



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 322 372**

51 Int. Cl.:
E02B 3/00 (2006.01)
E01D 19/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05709190 .2**
96 Fecha de presentación : **27.01.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1841921**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.10.2007**

54 Título: **Sistema para supervisar variaciones de nivel en un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios y procedimiento de supervisión.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.06.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.06.2009

73 Titular/es: **Lachesi S.R.L.**
Via Pier Carlo Boggio 61
10138 Torino, IT

72 Inventor/es: **Lopreiato, Domenico**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 322 372 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 supervisar variaciones de nivel en un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios y procedimiento de supervisión.

La presente invención se refiere a un sistema para supervisar las variaciones de nivel de por lo menos una zona inferior de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios, que comprende un elemento de supervisión afianzado a dicha parte inferior, comprendiendo dicho elemento de supervisión unos medios detectores para detectar la respuesta de dicho elemento de supervisión a una tensión.

En particular, el objetivo de la presente invención es la supervisión de la estabilidad de elementos de apoyo, particularmente elementos de apoyo verticales, tales como los pilares, los postes o los pilares de estructuras hidráulicas tales como los puentes, que están sometidos a agentes erosivos y sedimentarios, tales como el flujo de agua de un río. Aunque la presente invención hace referencia a los pilares que sostienen puentes, la presente invención es aplicable a cualquier campo en el que exista un elemento de apoyo, en particular un elemento de apoyo vertical que es operativo en condiciones similares a las condiciones en que dichos pilares de puentes son operativos, por ejemplo, un elemento operativo en un suelo que es propenso a derrumbarse, o a la supervisión de la estabilidad de los enrejados sometidos a la acción del viento. El sistema y el procedimiento y el elemento de supervisión relacionados según la presente invención son aplicables asimismo a la supervisión de operaciones en el nivel del suelo, ya sea este el lecho de un río o bien un suelo expuesto al aire, que no están conectadas con un elemento de apoyo particular erguido sobre dicho suelo.

En la figura 1, se representa esquemáticamente un elemento de apoyo vertical, designándose mediante el número de referencia 10 un elemento de apoyo vertical insertado en el suelo, tal como el lecho de un río, cuyo fondo se designa mediante el número de referencia 20. Haciendo referencia a la figura 1, el tramo subterráneo del pilar 10 situado dentro del fondo 20 se designa mediante la referencia L', mientras que el tramo libre del pilar 10 situado por encima del fondo 20 se designa mediante la referencia l'. Como consecuencia de una crecida, el fondo 20 desde donde emerge el pilar 10 (que puede ser, por ejemplo, un pilar que sostiene un puente) puede erosionarse por efecto de la turbulencia y de la distorsión de la corriente, inducida por el propio pilar, que se produce en su entorno, provocando la socavación de los cimientos. A continuación, se produce una consiguiente pérdida de estabilidad del pilar de soporte, que implica una pérdida de estabilidad del propio puente. El efecto de este fenómeno de socavación puede representarse con la reducción del tramo subterráneo L', correspondiente a un hundimiento Δl_p del fondo 20, con el consiguiente incremento del tramo libre l'.

Se conocen sistemas de técnica anterior para supervisar la estabilidad de elementos de apoyo vertical, en los que se utilizan elementos sensores externos a los elementos supervisados, situados en condiciones similares con respecto al hundimiento del fondo sobre el cual se levanta el elemento de soporte.

En el documento EP 0 459 749-B1, se describe un sistema de supervisión que comprende un sensor de brazo oscilante que se coloca sobre el pilar de un dique. Este sistema de supervisión, utilizado en particular para supervisar los lechos fluviales, prevé la presencia de un sensor que relaciona la señal de alarma con el estado del lecho fluvial supervisado. Este sensor se compone de un brazo oscilante que comprende una parte terminal que contiene un interruptor de mercurio omnidireccional. Este sensor se entierra en el río y presenta unas dimensiones tales que, en caso de quedar al descubierto debido a la erosión, un flujo de agua suficiente le permite generar una señal de alarma como respuesta a la correspondiente erosión del lecho.

Por consiguiente, los elementos de supervisión de técnica anterior conocidos, tales como el anterior, funcionan para supervisar las estructuras hidráulicas, pero las mediciones obtenidas con estos elementos de supervisión son del tipo "on/off", ya que dependen de la modalidad de funcionamiento de los sensores utilizados, que a su vez depende de las variaciones de la corriente. Los sensores descritos en el documento EP 0 459 749-B1 se activan debido a una corriente anómala y generan mediciones discretas, limitadas a los períodos en los que tiene lugar la condición de corriente anómala.

El documento JP-A-2001 108 491 da a conocer un sistema de supervisión similar.

Por consiguiente, los sistemas que emplean sensores de este tipo no permiten obtener mediciones con continuidad y no permiten realizar un análisis "a voluntad" de la situación de las estructuras hidráulicas supervisadas.

El objetivo de la presente invención es resolver el problema especificado anteriormente de una manera simple y eficaz, ofreciendo un sistema de supervisión que es capaz de funcionar a voluntad y con continuidad.

Para alcanzar dicho objetivo, la presente invención se refiere a un sistema para supervisar las variaciones del nivel de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios que presentan las características indicadas en la reivindicación adjunta 1. Las formas de realización preferidas de dicho sistema se describen en las siguientes reivindicaciones subordinadas. La presente invención se refiere asimismo a un procedimiento de supervisión que aprovecha las características del sistema de supervisión descrito.

ES 2 322 372 T3

A continuación, se describirá la presente invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos, que se proporcionan solo título de ejemplo no limitativo y en los que:

5 - la figura 1 es tal como se ha descrito;

- la figura 2 es una representación esquemática de un elemento de supervisión según la presente invención, dispuesto en su posición de trabajo;

10 2; - las figuras 3a y 3b representan esquemáticamente detalles estructurales del elemento de supervisión de la figura

- la figura 4 representa el sistema de supervisión según la presente invención en una configuración de utilización;

15 - la figura 5 representa una arquitectura global del sistema de supervisión;

- la figura 6 representa un diagrama de frecuencias del elemento de supervisión de la figura 2;

- la figura 7 representa un diagrama que ilustra los desplazamientos del elemento de supervisión de la figura 2;

20 - la figura 8 es un diagrama que ilustra la fuerza del fluido que actúa sobre el elemento de supervisión de la figura 2;

25 - la figura 9 es un diagrama adicional que ilustra la fuerza del fluido que actúa sobre el elemento de supervisión de la figura 2;

- las figuras 10a y 10b representan esquemáticamente diagramas de bloques que ilustran el funcionamiento de un sistema de supervisión que comprende el elemento de supervisión de la figura 2;

30 - las figuras 11a y 11b representan detalles estructurales adicionales del elemento de supervisión de la figura 2; y

- la figura 12 representa un detalle de una forma de realización del elemento de supervisión de la figura 2.

El sistema de supervisión descrito en la presente memoria permite medir la variación del nivel (en particular, el descenso) de las partes o los elementos inferiores de un suelo que está sometido a agentes erosivos y sedimentarios, tales como la corriente de un río o del viento. Esta medición se realiza por medio de un elemento de supervisión (también denominado sonda) enterrado en el fondo. El sistema de supervisión descrito en la presente memoria se refiere en particular a los fenómenos de supervisión y señalización que inciden negativamente en la estabilidad de los elementos de apoyo verticales, tales como los postes o los pilares, que sostienen estructuras hidráulicas tales como los puentes. Dicho elemento de apoyo vertical se supervisa para detectar la presencia de condiciones anómalas que determinan que dicho elemento de apoyo adopte posiciones inestables, lo cual podría crear problemas en la solidez de las estructuras hidráulicas sostenidas.

El elemento de supervisión propuesto se utiliza, en una forma de realización preferida, para medir el tamaño de un fenómeno de hundimiento localizado en el pie de los pilares de una construcción de un río, como consecuencia, por ejemplo, de una condición de corriente extraordinaria.

El elemento de supervisión propuesto, que constituye el núcleo operativo de un sistema para supervisar la variación del nivel de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios, se describe a continuación con referencia a las figuras 3a y 3b. El elemento de supervisión 15, o sonda, comprende una barra de sección 30 provista por su extremo libre de una brida 40 y una placa de carga 45, donde se sujeta un cárter de protección 50 que contiene y protege un agitador 60, que en una versión preferida es un agitador inercial, aunque también puede ser un percutor electromagnético. Dicho cárter protector 50 también comprende un LED indicador 70 con el cual está asociado por su parte superior. Por debajo de la brida 40, existen unos acelerómetros 120 situados sobre la barra de sección 30 (en particular, dos acelerómetros dispuestos preferentemente a 90° uno del otro), como los representados en la figura 3a. Como alternativa, los acelerómetros 120 pueden instalarse dentro del cárter sellado 50 situado en la parte superior de la barra de sección 30.

La figura 4 representa parcialmente un sistema de supervisión 500 que comprende el elemento de supervisión 15 en una configuración operativa. Puede observarse que el elemento de supervisión 15 está conectado por medio de unos cables a un módulo transceptor inalámbrico 230, que se comunica con un centro de control 150 (visible en la figura 5). Los valores medidos por los acelerómetros 120 se envían a través del módulo transceptor 230 (que utiliza, por ejemplo, la tecnología UMTS, GPRS o GSM) a una segunda unidad transceptora instalada en el centro de control remoto 150. Las mediciones realizadas por los acelerómetros 120 pueden llegar a la unidad 150 a través de Internet, también.

La figura 5 representa la arquitectura del sistema 500 que comprende, como se ha indicado anteriormente, el centro de control remoto 150 compartido por la totalidad o una parte de la pluralidad de elementos de supervisión 15 instalados y situados en diferentes posiciones geográficas, que configuran de ese modo una red de control dirigida

ES 2 322 372 T3

por una o más unidades centrales, tales como el centro de control remoto 150, interconectadas directamente con los elementos de supervisión 15 por un lado y, por el otro, con los centros de control 310 correspondientes a los organismos responsables de las tareas relacionadas con la seguridad (por ejemplo, protección civil).

5 La figura 4 también representa un accionador 100 que está instalado en un punto o coordenada vertical D de la barra de sección 30 sobre el pilar 10. Dicho accionador 100 comprende un vástago 110 asociado a un sensor de presión 130 y una válvula limitadora de presión 131, cuyo funcionamiento se describirá en mayor detalle más adelante con referencia a la figura 8. Por medio del vástago 110, que se extrae para permitir el agarre de la barra de sección 30, el accionador 100 provee un soporte frontal a la barra de sección por el punto D para impedir que ésta se desplace hacia el pilar 10 bajo la acción hidrodinámica del flujo.

15 La figura 2 representa la ubicación del elemento de supervisión 15 en relación con el pilar 10 en términos de distancia. La barra de sección 30 se inserta en el suelo 20 a una distancia δ del pilar 10 y se mantiene bajo tierra, por ejemplo, por medio de un dispositivo de percusión hidráulica o por medio de perforación guiada. Se deja libre un tramo l que depende de la altura máxima de la superficie libre del agua H esperada en ese punto del curso del agua, preferentemente para mantener el elemento de supervisión 15 por encima del agua, y permitir de ese modo un fácil acceso al agitador 60 para realizar operaciones de mantenimiento (tales como la comprobación de las soldaduras y las conexiones eléctricas) e impedir infiltraciones de agua, así como impedir la colisión del agitador con cuerpos sólidos pesados arrastrados por la crecida.

20 En la figura 2, la referencia f_s designa una fuerza (aleatoria, por ejemplo) que actúa sobre el elemento de supervisión 15 y que se origina en el agitador 60, mientras que F_l designa la fuerza resultante debida a la acción hidrodinámica, que actúa sobre el elemento de supervisión 15. El punto D donde está situado el accionador 100 sobre la barra de sección 30 se expresa como la distancia desde el fondo 20.

25 El elemento de supervisión 15 mide la depresión Δl del nivel del fondo 20, evaluando las frecuencias habituales λ_i del sistema material constituido por el elemento de supervisión 15 sometido a tensión por el agitador 60 o el percutor.

30 El agitador 60 funciona para someter la barra de sección 30 a una tensión con una fuerza que, por ejemplo, puede ser aleatoria y que tiene un espectro asignado que permite obtener por medio de las mediciones realizadas por los acelerómetros 120 cierto número de frecuencias resonantes del elemento de supervisión 15 para poder deducir, a partir de dichas frecuencias resonantes, las frecuencias naturales (del elemento de supervisión 15) y, a partir de estas, la depresión Δl del fondo 20 del elemento de supervisión 15, que será ligeramente inferior al hundimiento Δl_p del pilar 10, como se representa por ejemplo en la figura 2, donde la línea discontinua representa el fondo 20 socavado por el flujo del agua. Los acelerómetros 120 forman el núcleo del elemento de supervisión 15.

35 Como es bien conocido a partir de la teoría de Euler-Bernoulli, las frecuencias naturales λ_i de una viga, que puede asimilarse al elemento de supervisión 15, son inversamente proporcionales al cuadrado del tramo libre l de la barra de sección 30, tal como se estipula en la ley de Euler-Bernouilli:

$$\lambda_i = \frac{\beta_i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}$$

45

en la que:

- 50 - ρ representa la densidad de la barra de sección 30,
- E representa el coeficiente de elasticidad de la barra de sección 30,
- I_y representa el momento de inercia de la barra de sección 30, y
- 55 - A representa la superficie de la sección axial de la barra de sección 30.

60 Por otra parte, β_i representa unas constantes, presentes en la ecuación (1), que dependen de las condiciones de restricción. En el caso de un elemento en condiciones de restricción nula, se aplican los valores representados en la tabla siguiente:

Modalidades	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	i>4
β_i	-	1,875	4,694	7,855	10,996	$(i-1/2)\pi$

65

ES 2 322 372 T3

Las frecuencias naturales λ_i dependen pues de las características mecánicas del cuerpo (E y ρ), de su forma (A , l e I_y) y de sus condiciones de contorno (restricción). El sistema de supervisión descrito en la presente memoria permite, por lo tanto, calcular continuamente la depresión Δl midiendo experimentalmente dichas frecuencias naturales λ_i , puesto que a partir de la medición realizada por los acelerómetros 120 se deducen las frecuencias resonantes (designadas por λ_i^* en el diagrama de adquisición representado en la figura 7) y, a partir de estas, las frecuencias naturales λ_i , que de ese modo permiten determinar indirectamente el tramo libre de la barra de sección 30 y, por consiguiente, el nivel del fondo 20, como se indica en la ecuación (2):

$$l = \sqrt{\frac{\beta_i^2}{\lambda_i^2} \frac{EI_y}{\rho A}} \quad (2)$$

El tramo subterráneo L de la barra de sección 30 (denominado también parte piloteada) afianza el elemento de supervisión 15 al fondo 20. La reducción de dicho tramo subterráneo L (por el aumento de material ocasionado por la erosión) determina el incremento del tramo libre l de la barra de sección 30 y, en consecuencia, el cambio del valor de las frecuencias naturales del sistema. Los valores λ_i de las frecuencias naturales se convierten en los nuevos valores $\bar{\lambda}_i$ y experimentan una reducción. El sistema de supervisión está configurado para interpretar dicho cambio del comportamiento vibratorio del elemento de supervisión 15 como un cambio del nivel del fondo, en el que el tramo libre l se convierte en un nuevo tramo libre \bar{l} , en el que el tramo libre se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$\bar{l} = \sqrt{\frac{\beta_i^2}{\bar{\lambda}_i^2} \frac{EI_y}{\rho A}} \quad (3)$$

Partiendo de las ecuaciones (2) y (3), es posible calcular entonces el valor de la depresión Δl del fondo 20 que es igual a la diferencia del nuevo tramo \bar{l} con respecto al tramo libre l , es decir, $\Delta l = \bar{l} - l$.

Las ecuaciones (2) y (3) se evalúan enviando los valores medidos por los acelerómetros 120, tal como se ha indicado, al módulo transceptor 230 y de ahí al centro de control remoto 150. A continuación, los datos se introducen en un ordenador en el que se implementan los modelos vibratorios del elemento de supervisión 15 y de la restricción. Los resultados se resumen y representan mediante trazos en los monitores, que representan el perfil a lo largo del tiempo de las frecuencias naturales y, por consiguiente, del nivel del fondo 20. Una vez que se sobrepasa un cierto límite del valor de depresión Δl , el sistema de supervisión (es decir, un operador) comunica que la estabilidad de la estructura está en peligro debido a que los cimientos del pilar 10 están experimentando socavación en el fondo 20.

La base estructural del modelo aplicado en el centro de control 150 es el estudio del comportamiento flexural del elemento de supervisión 15 con la teoría de Euler-Bernouilli clásica (viga homogénea y prismática), basada en las hipótesis de que tanto la deformación por cizalladura y la inercia a la rotación son insignificantes si se comparan con la deformación por flexión y la inercia a la traslación. La restricción del elemento de supervisión 15 se modeliza tomando en consideración el módulo de elasticidad E_i del fondo 20 y del tramo subterráneo L de la barra de sección 30. La presencia física del agitador 60 se modeliza introduciendo una condición dinámica en la parte superior.

El modelo adopta la forma del sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{cases} 1y) \quad \rho A \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} + EI_x \frac{\partial^4 u_y}{\partial z^4} = -k_t u_y & \text{para } z < L \\ 2y) \quad \rho A (1 + \varphi c) \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} + EI_x \frac{\partial^4 u_y}{\partial z^4} = D_y(z, t) & \text{para } L < z < L+H \\ 3y) \quad \rho A \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} + EI_x \frac{\partial^4 u_y}{\partial z^4} = 0 & \text{para } z > L+H \end{cases} \quad (4)$$

en el que $D_y(z,t)$ representa la resistencia en la dirección y (que por término medio es nula).

ES 2 322 372 T3

Las condiciones de contorno impuestas a lo largo de la dirección y son las siguientes:

$$\begin{cases}
 \text{ay)} \quad T_y + f_s(t) = EI_x \frac{\partial^3 u_y}{\partial z^3} + f_s(t) = m^* \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} & \text{para } z=L+1 \\
 \text{by)} \quad M_x = EI_x \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} = 0 & \text{para } z=L+1 \\
 \text{cy) dy)} \quad T_y = M_x = 0 \Rightarrow \frac{\partial^3 u_y}{\partial z^3} = \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} = 0 & \text{para } z=0
 \end{cases} \quad (5)$$

Se puede escribir igualmente el sistema de ecuaciones para la dirección x , en el que $\varphi = (\rho_f/\rho)$ y c es la función de la forma de la sección axial de la barra de sección 30 con respecto a la influencia de la masa de fluido añadida alrededor de la misma barra de sección 30.

A continuación, se proporcionan las definiciones de los parámetros presentes en el sistema de ecuaciones (4) anterior y en el sistema de las condiciones del entorno (5):

- $k_t = k_t(E_t, D, z)$ es la constante elástica del suelo 20;
- ρ_f es la densidad del fluido;
- ρ es la densidad de la barra de sección 30;
- E es el módulo de elasticidad de la barra de sección 30;
- $f_s(t)$ es la fuerza del agitador 60;
- I_y es el momento de inercia de la barra de sección 30;
- H es la altura de la superficie libre de la corriente;
- A es la superficie de la sección axial de la barra de sección 30;
- U_∞ es la velocidad de la corriente en el infinito;
- C_d es el coeficiente de difusión;
- Re es el número de Reynolds;
- $De = 2R$ es el diámetro de la barra de sección 30;
- m^* es la masa del agitador 60 y de la superestructura;
- $u_y(z, t)$ es el desplazamiento longitudinal de la sección axial de la barra de sección 30;
- $T_{x,y}$ es la cizalladura en la sección axial; y
- $T_{x,y}$ es el momento de flexión en la sección axial.

La altura H puede ser medida automáticamente por el sistema (por ejemplo utilizando una cámara fotográfica) o puede ser introducida manualmente por un operador.

Evidentemente, para $k_t \rightarrow \infty$, se obtienen unas condiciones infinitamente rígidas en A , y los resultados de Euler-Bernouilli descritos anteriormente demuestran cómo las frecuencias naturales cambian con la longitud de la barra de sección.

Es fácil deducir que un código basado en el método de los elementos finitos (FEM) resultará particularmente adecuado para describir, en estas condiciones, el comportamiento vibratorio del elemento de supervisión 15 (sonda). A continuación en la presente exposición, se describe en detalle un ejemplo de análisis de conformidad con el método FEM.

En el modelo numérico, se evalúa la presencia de una masa de fluido adicional influyente alrededor del elemento de supervisión 15, y la acción del fluido sobre la barra de sección 30 y sobre su respuesta de frecuencia a la excitación del

ES 2 322 372 T3

agitador 60. La distancia δ del elemento de supervisión 15 desde la pared del pilar 10 introduce un factor de corrección η (que debe evaluarse experimentalmente, por ejemplo) en el código para hacer coincidir la socavación de la barra de sección 30 con la del pilar 10.

5 No obstante, para el cálculo de las frecuencias naturales solo, resulta redundante considerar la acción del agitador 60 y la acción dinámica del fluido.

El resultado del cálculo de los elementos finitos del sistema de supervisión 15 se ilustra en cuatro gráficos, representados en la figura 6, que representan las curvas F_i , respectivamente F_1 , F_2 , F_3 y F_4 , relativas a las respectivas cuatro primeras frecuencias naturales λ_i a las que se asignan parámetros en función de la depresión Δ .

Mediante la excitación de la barra de sección 30 por medio del agitador 60, los acelerómetros 120 miden las aceleraciones del elemento de supervisión 15, a partir del cual se obtienen las frecuencias resonantes del elemento de supervisión 15, a través de una transformada de Fourier, generándose de ese modo el diagrama experimental representado en la figura 7, que representa el módulo $|u_x|$ de la transformada de Fourier de los desplazamientos, y en el que se resaltan las cuatro primeras frecuencias resonantes a partir de las cuales pueden obtenerse las frecuencias naturales. De ese modo, pues, se obtienen cuatro frecuencias naturales experimentales λ_i^* .

Utilizando las cuatro frecuencias naturales experimentales λ_i^* obtenidas de este modo y los gráficos relativos a las curvas F_i representadas en la figura 6, es posible determinar un correspondiente valor experimental de la depresión Δ^* . Si la depresión Δ^* es superior al valor límite umbral Δ_{lim} , el sistema genera una alarma.

Para evaluar el módulo de elasticidad E_t del suelo 20, puede utilizarse una prueba sin carga por medio de la cual se instala el elemento de supervisión 15, se activa el agitador 60 y, a través de las aceleraciones medidas por los acelerómetros 120, se miden las frecuencias naturales λ_i^0 de la respuesta sin carga del elemento de supervisión 15. A partir de estas mediciones, se puede deducir el módulo de elasticidad E_t del suelo 20, puesto que se conoce la totalidad de las características geométricas y dicho valor representa la única incógnita.

A partir de la ecuación (1) de Euler-Bernouilli aplicada al caso de la prueba sin carga del sistema, se obtiene la ecuación (6):

$$\lambda_i^0 = \frac{\beta_i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} \quad (6)$$

en la que la única incógnita es la constante β_i que depende del tipo de restricción y, por lo tanto, en este caso, del módulo de elasticidad E_t . El valor del módulo de elasticidad E_t se utiliza a continuación en el código de elementos finitos.

Haciendo referencia a la figura 4, se utiliza el valor de presión p facilitado por el transductor de presión 130 para evaluar la fuerza resultante F_t de la acción del fluido sobre la barra de sección 30. Utilizando, en este caso también, el método de los elementos finitos, se resuelve la estructura equivalente:

$$u_{xD} = 0 \quad (7)$$

siendo la ecuación (7) la ecuación de la congruencia cinemática.

Se evalúa el brazo d de la fuerza resultante F_t relativa al fondo 20, teniendo en cuenta el perfil vertical de la velocidad de la corriente. La figura 8 representa un gráfico de la curva J de la fuerza resultante F_t en función de la fuerza H_D que se ejerce sobre el accionador 100 en el punto D, es decir, $F_t = F_t(H_D)$.

El accionador 100 provee en el punto D un soporte frontal a la barra de sección 30 para impedir que la barra de sección sea arrastrada hacia el pilar 10 bajo la acción hidrodinámica de la corriente del agua.

El valor de presión p medido por el transductor 130 corresponde realmente a la fuerza H_D ejercida sobre el accionador 100. Partiendo de dicha fuerza H_D , se determina la fuerza media resultante F_t y a partir de esta se obtiene la fuerza sobre el pilar 10. Puesto que también se dispone, a través de la resolución de las ecuaciones estáticas de la estructura, de las curvas que indican la dependencia de las reacciones de restricción del fondo con la fuerza H_D : $H_A = H_A(H_D)$ (reacción horizontal del fondo 20) y $M_A = M_A(H_D)$ (momento del fondo 20), se determinan las reacciones de restricción del fondo 20.

ES 2 322 372 T3

El conocimiento de estas reacciones de restricción permite una evaluación adicional del módulo de elasticidad del suelo E_t . Una vez se obtiene la fuerza resultante F_t , basándose en la curva J de la figura 8, la velocidad de la corriente en el infinito U_∞ se determina con la ecuación siguiente:

$$2F_t = \int_0^H C_d(Re) \rho_f U_\infty^2 D dz \quad (8)$$

que impone, por ejemplo, un perfil logarítmico a la velocidad. Esta velocidad es la que se introduce en el procesamiento de los elementos finitos.

La figura 9 representa el gráfico de la fuerza resultante F_t en función de la velocidad de la corriente en el infinito U_∞ . En la banda de la Figura 9, se tiene en cuenta el grado aleatorio de la medición de la densidad del fluido ρ_f debido al transporte de sólidos.

Realmente, la barra de sección 30 se halla en la zona de corriente que está alterada por la presencia del pilar 10 y, por consiguiente, la ecuación en la que se tiene en cuenta esta alteración y se describe la fuerza resultante debida a la acción hidrodinámica adopta la forma siguiente:

$$F_t = \sigma \int_0^H C_d(Re) \rho_f U_\infty^2 D dz \quad (9)$$

donde $\sigma < 1$ se evalúa experimentalmente.

Desde el punto de vista dinámico, para calcular las dimensiones del agitador 60, se resuelve numéricamente el sistema que describe el modelo que impone un desplazamiento máximo u_{yMAX} del extremo libre del elemento de supervisión 15 (estando situado dicho extremo en el punto ($z=L+1$)) y una excitación aleatoria con un valor máximo F_s : $f_s(t) = (F_s)$ aleatoria.

De este modo, se obtiene el valor máximo F_s que provoca el desplazamiento máximo u_{yMAX} .

El desplazamiento máximo u_{yMAX} impuesto debe permitir mantener la estructura y el fondo dentro del rango de elasticidad.

Por lo que respecta a las dimensiones del accionador 100, en el modelo se impone una tensión máxima que es debida a la fuerza resultante F_t relativa a la acción hidrodinámica, y se determina la fuerza H_D que se ejerce sobre el accionador 100 (curva J de la figura 8).

Se puede introducir en el modelo una excitación $f_s(z, t)$ que simula una colisión con un objeto pesado:

$$f_s(z, t) = F_M \delta(z - (L + H)) \delta(t) \quad (10)$$

La ecuación (10) representa un impulso de módulo F_H que está concentrado en la superficie libre. De esta forma se determina la fuerza ejercida sobre el accionador 100, y se calibra la válvula limitadora de presión 131 como corresponda.

Si el dispositivo de supervisión 15 es golpeado por un objeto sólido que es tan pesado como para poner en peligro la integridad estructural del accionador 100, entonces la válvula limitadora de presión se activa, lo cual a su vez permite la retracción del vástago 110 del accionador 100 que se ha extraído para poder agarrar la barra de sección 30.

En cuanto a las dimensiones de la barra de sección 30, dicha barra de sección 30 es hueca y de sección circular. El diámetro externo De de la barra de sección 30 se elige basándose en cuestiones relativas a la estabilidad del dispositivo de supervisión 15 y depende del tipo de suelo y del caudal máximo esperado.

La sección crítica es la sección terminal inferior del extremo libre. Los cálculos se llevan a cabo de la manera clásica, comparando las tensiones máximas obtenidas a partir del modelo con el límite elástico del material.

ES 2 322 372 T3

La sección se somete a una tensión mediante flexión recta y la consiguiente restricción es:

$$\sigma_{zMAX} = \frac{F_t d + F_s l}{\frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)} R \quad \Rightarrow \quad f(\sigma_{zMAX}) < \sigma_p \quad (11)$$

siendo R el radio externo y r el radio interno de la barra de sección circular 30.

En caso de impacto, la ecuación (11) se transforma como se indica a continuación:

$$\sigma_{zMAX} = \frac{F_M l}{\frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)} R \quad \Rightarrow \quad f(\sigma_{zMAX}) < \sigma_p \quad (12)$$

Estableciendo $D = 2R$ para el diámetro externo, se determina el valor del radio interno r.

Las figuras 10a y 10b representan el diagrama lógico del funcionamiento del sistema de supervisión 500. En particular, la figura 10a es un diagrama de bloques que representa en forma de bloques el accionador 100, el agitador 60, el conjunto de acelerómetros 120 y el transductor de presión 130, que ya se han descrito anteriormente. Mediante el número de referencia 140, se designa una conexión inalámbrica que adopta la forma de realización de, por ejemplo, la unidad transceptora 230 de la figura 4, situada entre el elemento de supervisión 15 y el centro de control 150. Dentro del centro de control 150, se implementa el procesamiento del modelo (por ejemplo, las ecuaciones (4) y (5)) que describe el sistema relativo al elemento de supervisión 15. La salida del centro de control 150 viene representada por un informe 160, ya sea electrónico o bien impreso en papel, que comprende los valores $\Delta\ell$, F_t , E_t y U_∞ .

En la figura 10b, se representan otros componentes del sistema de supervisión en un diagrama de bloques adicional.

Con el número de referencia 250, se designa el conjunto de acelerómetros 120 y el transductor de presión 130 que transmiten la señal a una etapa de compensación 240, que va seguida de una etapa de adaptación 220 para la unidad transceptora de radio 230 que transmite la señal por la red inalámbrica 140 hasta el centro de control remoto 150, a través de una unidad transceptora 230 y una etapa de adaptación 220 asociada a esta.

El centro de control remoto 150 es capaz de transmitir mandatos por la red inalámbrica 140, a través de una etapa de adaptación 220 y una unidad transceptora 230, siendo dichos mandatos recibidos por una correspondiente unidad transceptora 230 y una correspondiente etapa de adaptación 220 del elemento de supervisión 15, que envían los mandatos a un controlador 210 para controlar el conjunto del agitador 60 y del accionador 100, indicados globalmente mediante el número de referencia 200.

En general, el sistema de supervisión 500 funciona de la manera indicada a continuación. El sistema de supervisión 500 normalmente está apagado. En cuanto se enciende el sistema 500, el vástago 110 del accionador 100 se halla en su posición extraída y mantiene agarrada la barra de sección 30 con una presión mínima p_{min} suficiente para permitir un contacto seguro. En estas condiciones, la información enviada al centro de control remoto 150 es la única medición del transductor 130 de la presión p utilizada por el código para evaluar la fuerza ejercida por el fluido sobre la barra de sección 30 y, por consiguiente, sobre el pilar 10.

A intervalos de tiempo Δt , el vástago 110 se retrae, y por consiguiente se ordena al agitador 60 que ejerza tensión sobre la barra de sección 30, para permitir de ese modo que los acelerómetros 120 realicen las mediciones para determinar las frecuencias naturales experimentales λ_i^* . Las mediciones de los acelerómetros 120 se transmiten, a través de las unidades 230, al centro de control remoto 150 que determina el estado de la depresión Δl del fondo 20 aplicando el modelo descrito anteriormente. Una vez que se ha extinguido la vibración impartida por el agitador 60, el vástago 110 vuelve a su posición de agarre. Este procedimiento es completamente automático.

En el centro de control remoto 150, el operador puede cambiar los parámetros de prueba (intervalo de tiempo Δt y parámetros del agitador 60). Dicho centro de control remoto puede localizarse físicamente en cualquier punto geográfico que pueda ser alcanzado por la señal UMTS o GPRS. La unidad de control y cálculo puede ser portátil (por ejemplo, por medio de un PC tablet provisto de tarjetas transceptoras y de adquisición), lo cual permite su utilización en movimiento. Los resultados obtenidos pueden transmitirse, para información, a los ordenadores de bolsillo o teléfonos celulares de usuarios especiales autorizados para recibir dichos datos. También puede estar disponible una microcámara que fotografía los procesos (y comprueba asimismo el nivel H de la superficie libre) y envía imágenes al centro de control 150 a través de las unidades transceptoras 230.

ES 2 322 372 T3

Los acelerómetros 120 pueden medir las vibraciones también de forma independiente de la activación del agitador 60, y medir de ese modo el ruido de fondo generado por la acción de la corriente sobre el elemento de supervisión 15.

5 En principio, las tensiones generadas por la corriente pueden ser suficientes para determinar las frecuencias naturales del elemento de supervisión 15. No obstante, realmente, su intensidad y distribución espectral, que dependen de las condiciones de la corriente del río, pueden ser insuficientes para determinar con precisión las frecuencias naturales λ_i^* y extraer conclusiones fiables sobre el comportamiento vibratorio. Las comprobaciones del elemento de supervisión 15 se realizan preferentemente reproduciendo el hundimiento del suelo y el cambio del nivel del agua.
10 Estas comprobaciones tienen por objetivo introducir coeficientes de corrección experimentales del modelo. Por consiguiente, el agitador 60 se activa modulando la depresión Δl y comparando las frecuencias naturales λ_i^* medidas por los acelerómetros 120 con las calculadas mediante el modelo.

15 El dispositivo, el sistema y el procedimiento de supervisión descritos en la presente memoria admiten variantes adicionales.

Las dimensiones de la barra de sección 30 pueden reducirse colocando la unidad en la que se aloja el agitador 60 debajo de la superficie libre y blindando la unidad.

20 Por otra parte, puede resultar útil proporcionar al elemento de supervisión 15 una estructura modular, en la que una primera parte de la barra de sección 30 esté situada debajo del suelo y una segunda parte, sujeta a la primera, comprenda el agitador 60 y los acelerómetros 120.

25 La unidad 230 instalada sobre el puente puede no estar presente, y entonces los componentes electrónicos relativos a las unidades 230, 240, 220, 210 se disponen dentro de la caja 50. La unidad de procesamiento puede estar situada asimismo de manera conveniente a bordo del elemento de supervisión o al lado, con respecto a la conexión 140, del elemento estructural supervisado para limitar la información enviada al centro de control remoto 150 solo al informe 160. Por otra parte, el sistema puede estar configurado para interconectarse directamente con un indicador luminoso (semáforo) situado en las entradas del puente, e impedir de ese modo directamente que los usuarios crucen el puente
30 cuando está en condiciones de peligro. En este caso, no es necesario disponer de comunicación inalámbrica con el centro de control remoto 150.

En otra configuración posible, la barra de sección está doblemente sujeta: al fondo y al propio pilar.

35 El sistema de apoyo frontal de la barra de sección 30 sobre el pilar 10 también puede ser doble, con dos vástagos 110a y 110b inclinados adecuadamente como se representa en la figura 12.

40 El accionador 100 y los componentes relacionados (transductor de presión, válvula limitadora de presión...) pueden no estar presentes también.

45 Basándose en la corriente, los elementos de supervisión 15 pueden disponer de un perfil diferente respecto de la sección anular recta constante. El tramo subterráneo L puede presentar una sección axial con una forma diferente a la circular recta (por ejemplo, como se representa en la figura 11a, puede estar provisto de una "lengüeta" 400 para mejorar la estabilidad). El extremo bajo del elemento de supervisión 15 puede ser también puntiagudo, como se representa en la figura 11b, para facilitar su instalación en el suelo 20.

50 El sistema de supervisión descrito anteriormente es, pues, ventajosamente operativo para atender de manera permanente las peticiones externas del operador (a voluntad), gracias a la ubicación del agitador en el elemento de supervisión.

Ventajosamente, el sistema de supervisión descrito anteriormente no es invasivo para el entorno ni perjudicial para las especies de peces y de la flora que habitan en la masa de agua.

55 El sistema de supervisión también es capaz de medir un tipo de socavación denominada "socavación oculta" que es difícil de evaluar con sistemas ópticos o acústicos, en la que el fondo no se ha hundido de manera significativa, pero no está completamente consolidado debido, por ejemplo, a que el lodo ha reemplazado una parte del material que había en torno al pilar.

60 Más generalmente, el sistema de supervisión descrito anteriormente es ventajosamente capaz de evaluar la pérdida de la estabilidad de construcciones que están sujetas a condiciones de hundimiento potenciales del fondo sobre el cual se afianzan, tales como puentes, vigas, construcciones marítimas y construcciones hidráulicas en general.

65 A continuación, se describe en mayor detalle un ejemplo de aplicación del procedimiento FEM para calcular las frecuencias naturales.

Aplicando el método de Galerkin a la ecuación de la cantidad de movimiento en la dirección y ($1y$, $2y$, $3y$) en ausencia de resistencia y sin forzar el agitador, y designando con la letra de referencia G el espacio de las funciones

ES 2 322 372 T3

suficientemente regulares $g(z)$ definidas en $(0, L+1 = T)$ que satisfacen las condiciones del entorno del modelo físico, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 5 \quad & \rho A \int_0^T \partial_z^2 u_y g dz + \rho A \varphi c \int_L^{L+H} \partial_z^2 u_y g dz + EI_x \int_0^T \partial_z^4 u_y g dz + \int_0^L k_t(z) u_y g dz = 0 \quad \forall g \in G \\
 & \rho A \int_0^T \partial_z^2 u_y g dz + \rho A \varphi c \int_L^{L+H} \partial_z^2 u_y g dz + EI_x \int_0^T \partial_z^2 u_y \partial_z^2 g dz + \int_0^L k_t u_y g dz + EI_x [\partial_z^2 u_y \partial_z g]_0^T = 0 \\
 10 \quad & \rho A \int_0^T \partial_z^2 u_y g dz + \rho A \varphi c \int_0^{L+H} \partial_z^2 u_y g dz + EI_x \int_0^T \partial_z^2 u_y \partial_z^2 g dz + \int_0^L k_t u_y g dz + m^* \partial_z^2 u_y(T, t) g(T) = 0
 \end{aligned}$$

proporcionando $\forall g \in G$ con $u_y(z, t)$ la solución exacta.

15 Se introduce a continuación un subespacio G_N de dimensión N cuya base está constituida por las funciones φ_i . Imponiendo la condición de que la solución numérica debe satisfacer la última ecuación solo para los valores de g pertenecientes a G_N , y por consiguiente para cada una de las funciones de la base, se obtiene:

$$20 \quad \rho A \int_0^T \partial_z^2 u_y^N \varphi_i dz + \rho A \varphi c \int_0^{L+H} \partial_z^2 u_y^N \varphi_i dz + EI_x \int_0^T \partial_z^2 u_y^N \partial_z^2 \varphi_i dz + \int_0^L k_t u_y^N \varphi_i dz + m^* \partial_z^2 u_y^N(T, t) \varphi_i(T) = 0$$

25 para todos los valores de i de 1 a N .

Sea u_y^N la proyección de la solución numérica de u_y en el subespacio G_N :

$$30 \quad u_y^N \in G_N \subset G, u_y \sim u_y^N = \sum_{i=1}^N q_j(t) \varphi_j(z)$$

35 Sustituyendo la expresión de u_y^N , se obtiene:

$$40 \quad \sum_{j=1}^N M_{ij} q_j''(t) + \sum_{j=1}^N K_{ij} q_j(t) = 0$$

en la que las matrices M_{ij} y K_{ij} , que representan respectivamente la matriz de la masa y la matriz de rigidez global, vienen dadas por:

$$\begin{aligned}
 45 \quad & M_{ij} = \rho A \left(\int_0^T \varphi_i \varphi_j dz + \varphi c \int_L^{L+H} \varphi_i \varphi_j dz \right) + m^* \varphi_j(T) \varphi_i(T) \\
 50 \quad & K_{ij} = EI_x \int_0^T \varphi_i'' \varphi_j'' dz + \int_0^L k_t \varphi_i \varphi_j dz
 \end{aligned}$$

55 A continuación, se describen las funciones básicas φ_i del método de los elementos finitos. Dichas funciones comprenden polinomios de tercer grado para los segmentos de cada uno de los N_e elementos en los cuales se subdivide la estructura completa. El número de elementos N_e se obtiene sumando el número de elementos subterráneos N_t al número de elementos libres N_l .

$$60 \quad N_e = N_t + N_l$$

$$N = 2N_e + 2$$

65 Las matrices de masa y rigidez M_{ij} y K_{ij} se calculan sumando las matrices de masa y rigidez locales de cada elemento finito.

ES 2 322 372 T3

Las frecuencias naturales numéricas del sistema material se calculan resolviendo la ecuación siguiente:

$$\det (\underline{\underline{K}}_{ij} - \omega^2 \underline{\underline{M}}_{ij}) = 0 .$$

5

y la dependencia de estas con las características elásticas del suelo y del hundimiento Δl .

10

La introducción de las tensiones externas debidas al fluido y al agitador en el modelo es necesaria para simular la respuesta de frecuencia, pero es irrelevante para el objetivo de evaluar las frecuencias naturales.

La presencia de una restricción adicional (soporte retráctil en el punto D) se modeliza mediante la condición de contorno relacionada (congruencia cinemática).

15

En cualquier caso, independientemente de la construcción de un modelo físico y numérico, el sistema señala el descenso del nivel del fondo detectando la variación de las frecuencias naturales del sistema material constituido por el elemento 15.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Sistema para supervisar las variaciones de nivel de por lo menos una zona inferior (20) de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios, que comprende por lo menos un elemento de supervisión (15) fijado a dicha parte inferior (20), comprendiendo dicho por lo menos un elemento de supervisión (15) unos medios sensores (120) para detectar una respuesta ($|u_x|$) de dicho por lo menos un elemento de supervisión (15) con respecto a una tensión (f_s), siendo posible por medio de dicha tensión (f_s) determinar vibraciones, originando dichas vibraciones desplazamientos ($|u_x|$) de por lo menos una parte de dicho por lo menos un elemento de supervisión, y siendo dicha respuesta una función de dichos desplazamientos ($|u_x|$), **caracterizado** porque están previstos unos medios (150) para analizar dicha respuesta con respecto a dicha tensión (f_s), para identificar las frecuencias características (λ_i^*) de dicho elemento de supervisión (15) y para correlacionar dichas frecuencias características (λ_i^*) con el descenso (Δl_p) de dicha zona inferior (20).

2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha operación de supervisión de las variaciones del nivel de una parte inferior de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios comprende la supervisión de la estabilidad de por lo menos un elemento de apoyo (10), en particular el pilar a modo de puente, con respecto a dicha zona inferior (20) a la cual se ha fijado dicho elemento de apoyo (10), estando dispuesto dicho elemento de supervisión (15) en una posición externa a dicho elemento de apoyo (10).

3. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque dicho elemento de supervisión (15) comprende unos medios accionadores (60) que son capaces de responder a la orden de aplicar dicha tensión (f_s) a dicho elemento de supervisión (15).

4. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque dicha tensión mecánica es aplicada por la acción hidrodinámica del fluido.

5. Sistema según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizado** porque dichos medios sensores (120) son acelerómetros.

6. Sistema según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dichos medios accionadores (60) comprenden un agitador.

7. Sistema según una o más de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque comprende unos medios para recibir y transmitir los datos (230) relativos a dicha respuesta ($|u_x|$) a dicha tensión (f_s) de la información destinada a un centro de control (150).

8. Sistema según la reivindicación 7, **caracterizado** porque dicho centro de control (150) está situado en una posición remota.

9. Sistema según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado** porque dichos medios receptores y transmisores (230) son inalámbricos y, en particular, son unos medios receptores y transmisores para telefonía móvil.

10. Sistema según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado** porque dichos medios receptores y transmisores (230) transfieren los datos a través de Internet.

11. Sistema según una o más de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque comprende un accionador (100) que puede activarse selectivamente para alcanzar una posición de apoyo de dicho elemento de supervisión (15).

12. Sistema según la reivindicación 11, **caracterizado** porque comprende un transductor de presión (130) para medir una presión (p) a la cual está sujeto dicho elemento de supervisión (15).

13. Sistema según la reivindicación 12, **caracterizado** porque dicho accionador (100) está asociado a una válvula limitadora (131) que funciona como una función de dicha presión (p) a la cual está sujeto dicho elemento de supervisión (15).

14. Procedimiento para supervisar las variaciones de nivel de por lo menos una zona inferior (20) de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios y explotar un sistema de supervisión según la reivindicación 1, que comprende las operaciones siguientes:

- colocar por lo menos un elemento de supervisión (15) y fijado a dicha zona inferior (20);

- detectar, con unos medios detectores (120) situados en dicho por lo menos un elemento de supervisión (15), una respuesta ($|u_x|$) de dicho por lo menos un elemento de supervisión (15) con respecto a una tensión (f_s),

siendo posible mediante dicha tensión (f_s) determinar las vibraciones, originando dichas vibraciones unos desplazamientos ($|u_x|$) de por lo menos una parte de dicho por lo menos un elemento de supervisión;

- detectar dicha respuesta como una función de dichos desplazamientos ($|u_x|$) de por lo menos una parte de dicho por lo menos un elemento de supervisión (15);

ES 2 322 372 T3

- analizar dicha respuesta con respecto a dicha tensión (f_s),
- identificar las frecuencias características (λ_i^*) de dicho elemento de supervisión (15); y
- 5 - correlacionar dichas frecuencias características (λ_i^*) con un descenso (Δl_p) de dicha zona inferior (20).

15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado** porque dicha operación de supervisión de las variaciones de nivel de por lo menos una zona inferior (20) de un suelo sometido a agentes erosivos y sedimentarios comprende la supervisión de la estabilidad de por lo menos un elemento de apoyo (10), en particular un pilar a modo
10 de puente, con respecto a dicha zona inferior (20) a la cual se ha fijado dicho elemento de apoyo (10), y la colocación de dicho por lo menos un elemento de supervisión (15) en una posición externa a dicho elemento de apoyo (10).

16. Procedimiento según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** porque comprende la operación de aplicación de dicha tensión (f_s) a dicho elemento de supervisión (15) con unos medios accionadores controlables (60).

17. Procedimiento según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado** porque emplea la acción hidrodinámica de un fluido que aplica la acción erosiva a dicho elemento de supervisión para aplicar dicha tensión.

18. Procedimiento según la reivindicación 16 ó 17, **caracterizado** porque la operación de análisis de dicha respuesta comprende el análisis de un módulo ($|u_x|$) para la transformada de Fourier del desplazamiento detectado por dichos medios sensores (120).

19. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 14 a 18, **caracterizado** porque comprende la transmisión (230) de los datos relativos a dicha respuesta ($|u_x|$) a dicha tensión (f_s) de la información destinada a un centro de control (150) situado en una posición remota.

20. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 14 a 19, **caracterizado** porque comprende la transmisión (230) de mandatos para que por lo menos dichos medios accionadores (60) apliquen dicha tensión (f_s), desde dicho centro de control (60) situado en una posición remota.

21. Procedimiento según la reivindicación 19 ó 20, cuando están subordinadas a la reivindicación 16, **caracterizado** porque es operativo para ordenar a dichos medios accionadores (60) que apliquen dicha tensión (f_s) a intervalos de tiempo preestablecidos (Δt).

22. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 14 a 21, **caracterizado** porque comprende la operación de provisión (100) de un apoyo extraíble para dicho elemento de supervisión (15).

23. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones 14 a 22, **caracterizado** porque comprende la operación de medición de la presión (p) a la cual está sujeto dicho elemento de supervisión (15).

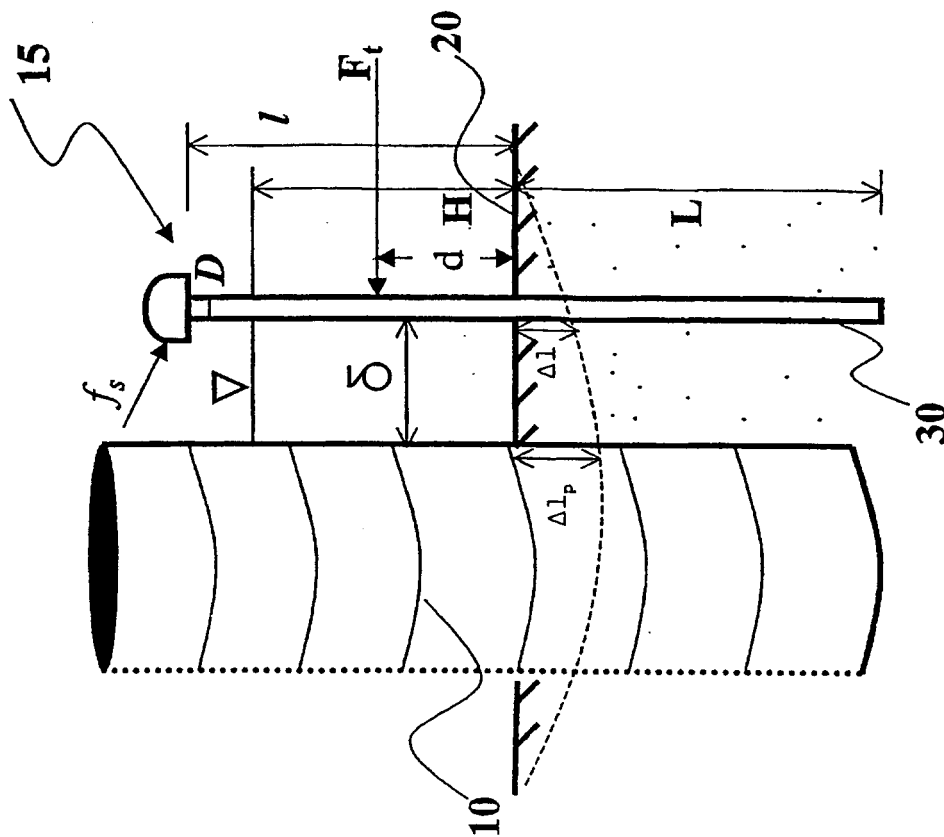


Fig. 1

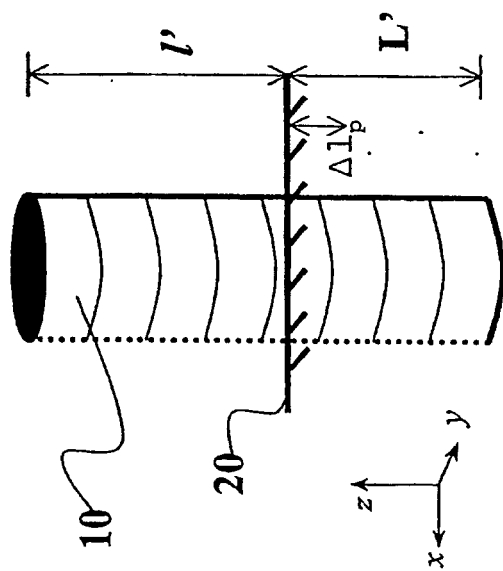


Fig. 2

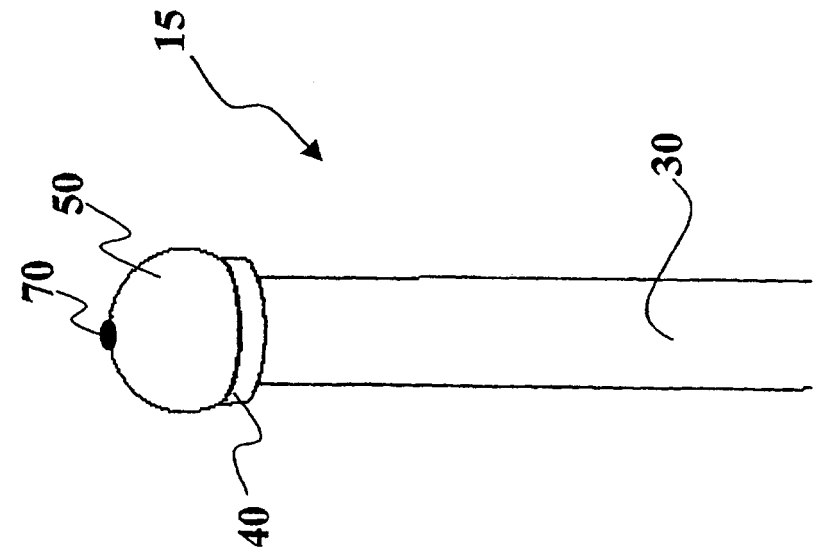


Fig. 3b

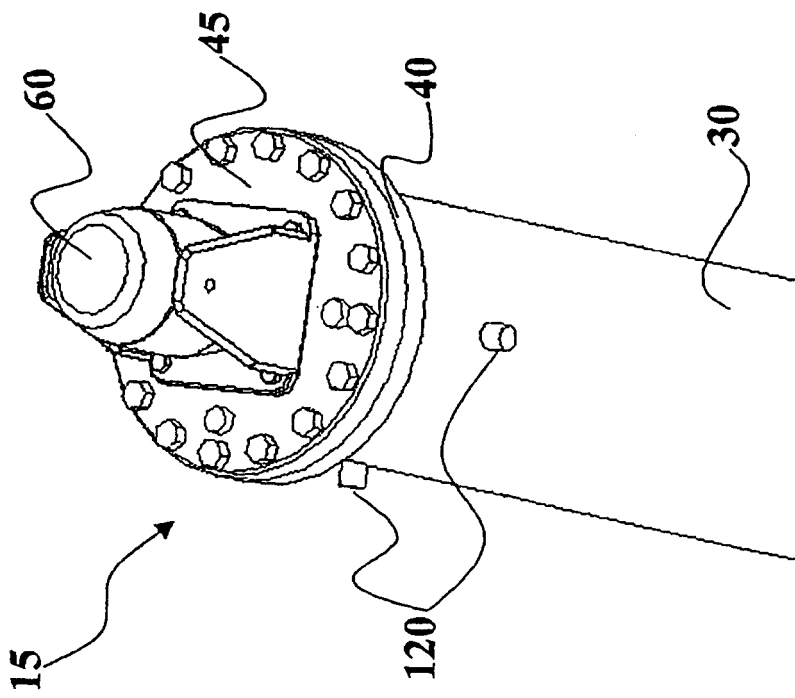


Fig. 3a

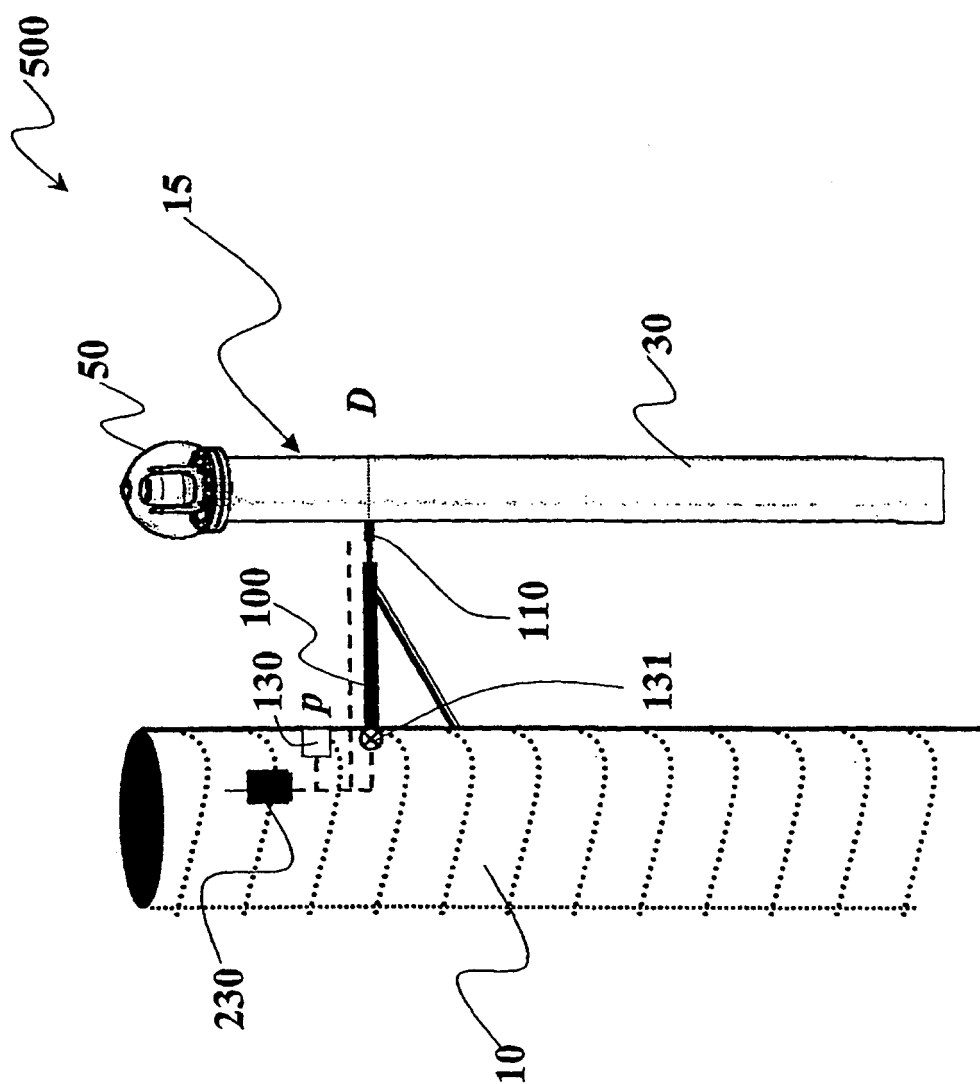


Fig. 4

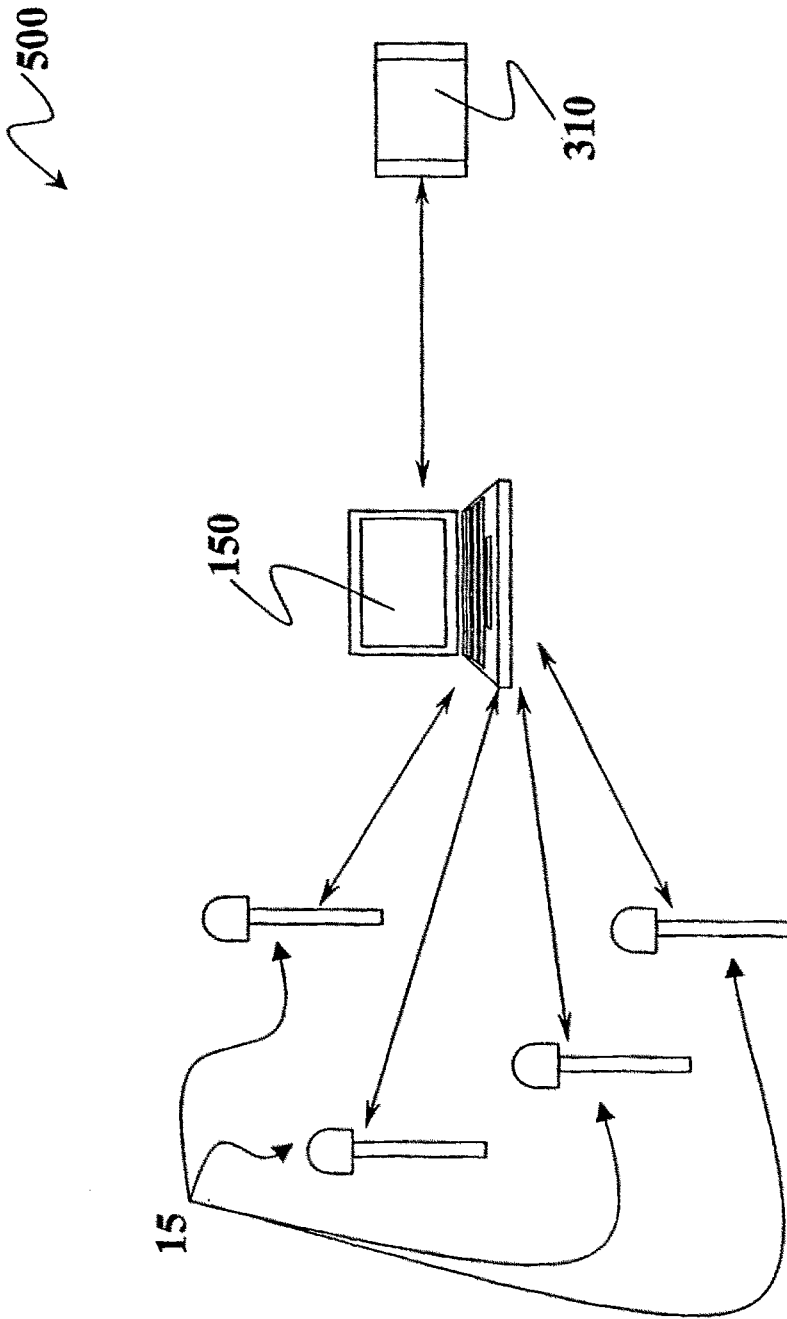


Fig. 5

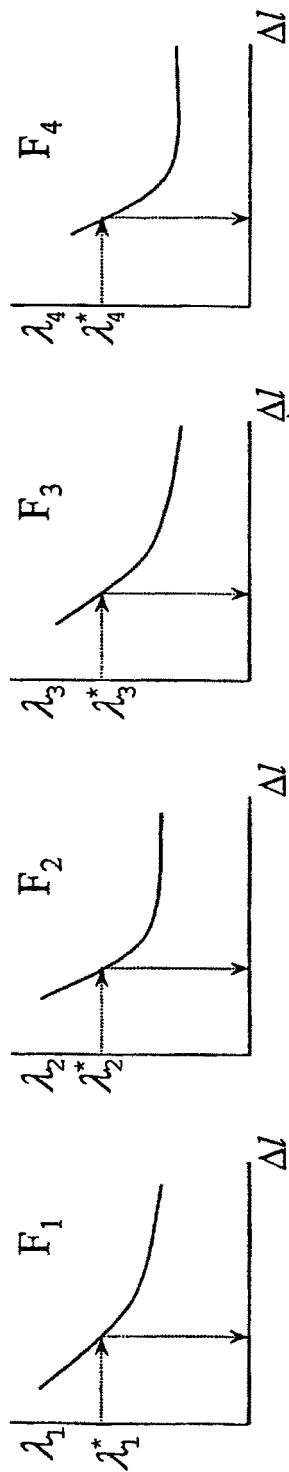


Fig. 6

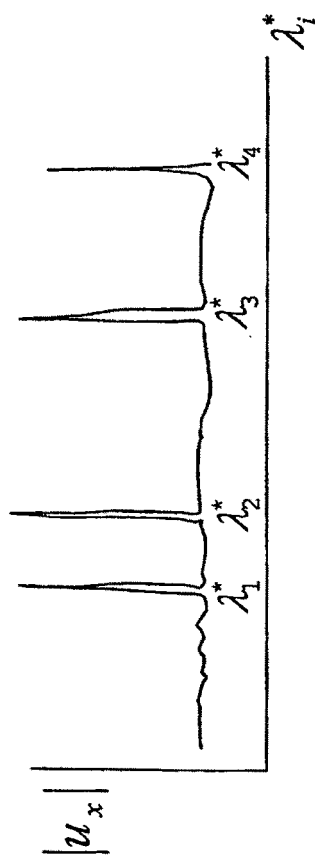


Fig. 7

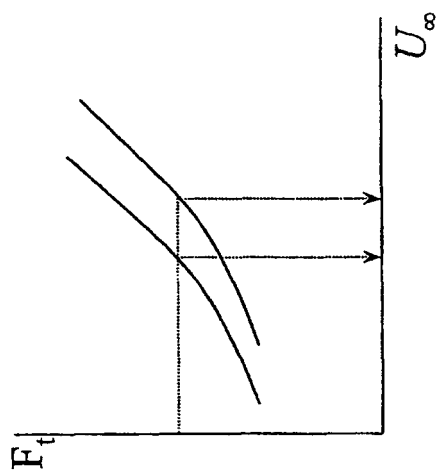


Fig. 9

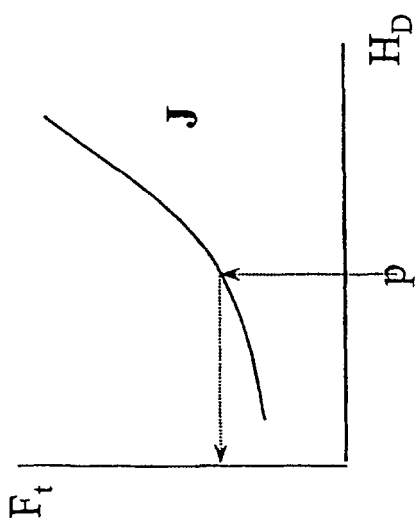


Fig. 8

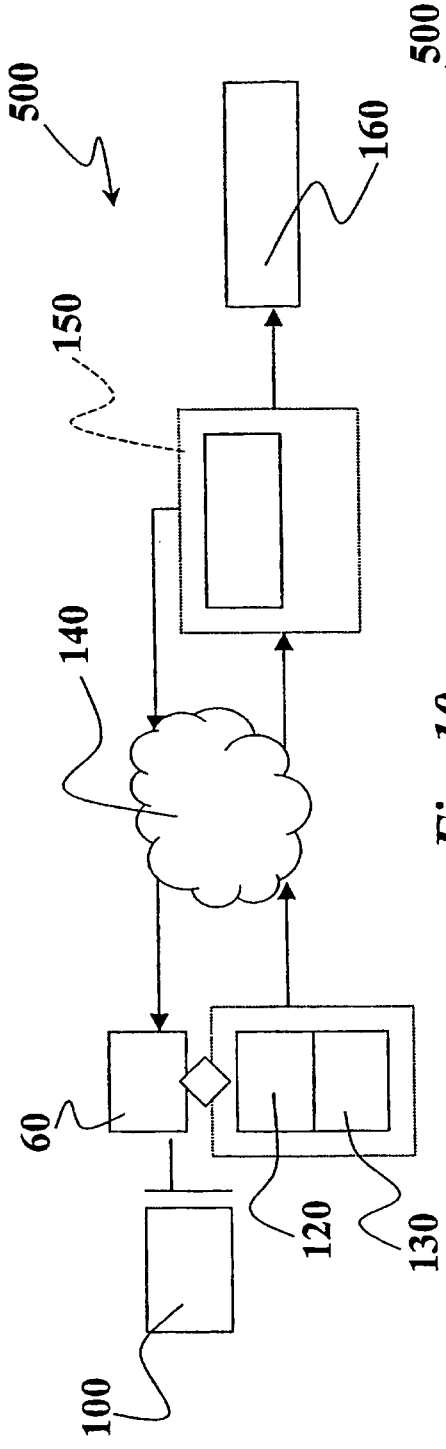


Fig. 10a

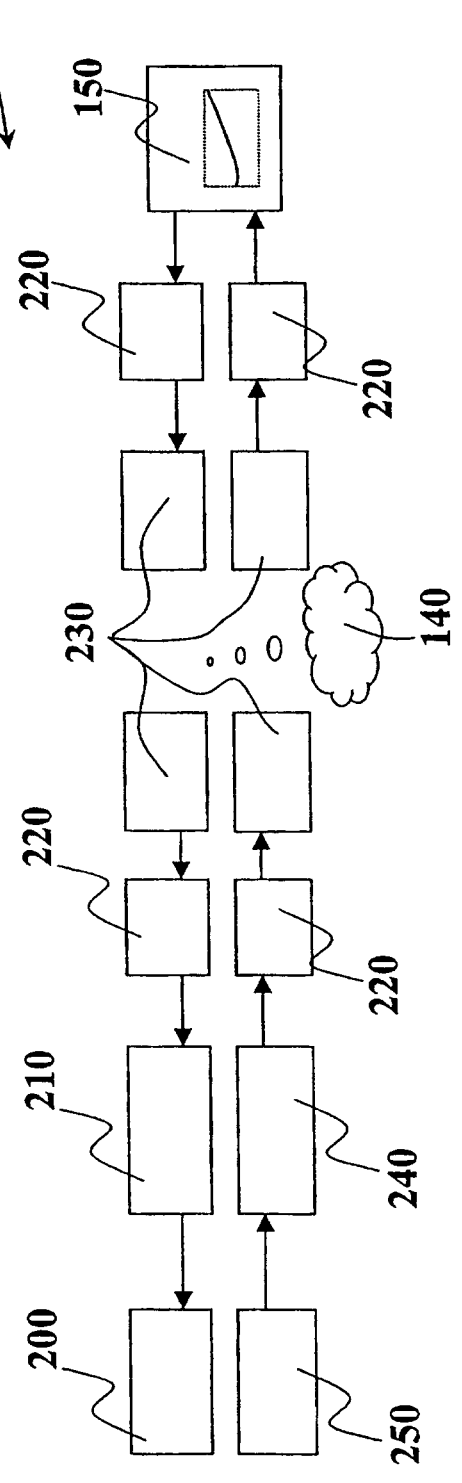


Fig. 10b

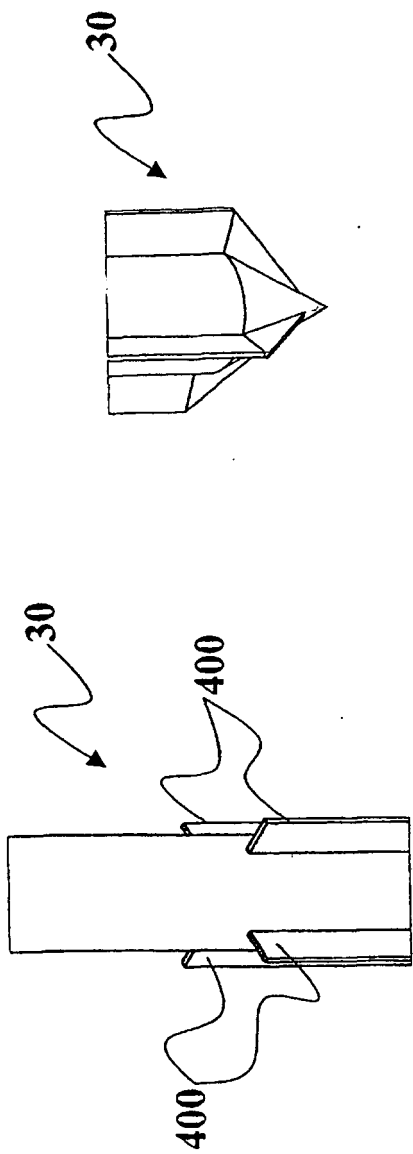


Fig. 11b

Fig. 11a

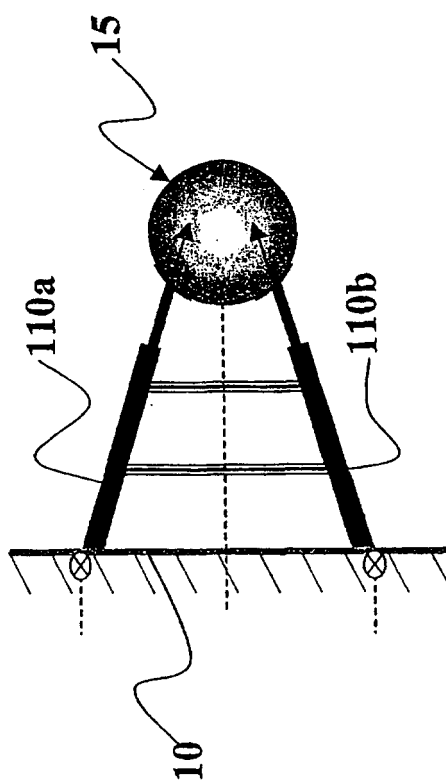


Fig. 12