

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 936 143**

51 Int. Cl.:

E02D 1/02 (2006.01)

G01N 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2018** **PCT/FR2018/051770**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.01.2019** **WO19016448**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2018** **E 18758916 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2022** **EP 3655591**

54 Título: **Penetrómetro estático y método de medición asociado**

30 Prioridad:

18.07.2017 FR 1756819

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

14.03.2023

73 Titular/es:

EQUATECH.R&D (100.0%)
6 Rue De L'Euro Pae Actigone 4, Meythet
74960 Annecy, FR

72 Inventor/es:

RIEGEL, PIERRE

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 936 143 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

Penetrómetro estático y método de medición asociado

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la geotécnica y la geología. Esta se refiere en particular a un dispositivo de medición la resistencia a la penetración de un suelo, comúnmente conocido como penetrómetro, y un método de medición asociado.

10

Plan de fondo tecnológico de la invención

La compacidad de los suelos generalmente se mide, ya sea en modo estático o en modo dinámico, mediante un dispositivo de medición llamado penetrómetro. Un penetrómetro comprende convencionalmente tubos conectados de un cabo al otro para formar una sarta de varillas en cuyo cabo se fija una punta de medición, que se destina a hundirse en el suelo a profundidades que pueden alcanzar varias decenas de metros.

15

En modo estático, la sarta de varillas se empuja mediante cilindros, que provoca la inserción progresiva de la punta de medición; este último mide la resistencia de la punta y, opcionalmente, la fricción lateral en un manguito cilíndrico ubicado sobre la punta. Estas mediciones se registran de forma continua o discontinua de acuerdo con un paso regular. La medición estática de la resistencia a la penetración del suelo es sin duda la más precisa porque se realiza directamente en la punta de medición, al fondo del sondeo.

20

Este método de medición estática tropieza sin embargo con algunas dificultades. Cuando la resistencia del suelo es significativa (suelos muy compactos), se vuelve muy complejo aplicar suficiente empuje para generar la inserción de la punta. Además, cuando la punta de medición y la sarta de varillas se hunden a varios metros, la fricción ejercida por el suelo en la sarta de varillas también debe superarse mediante un fuerte empuje para continuar la inserción. Como resultado, el peso, la potencia y la calidad del anclaje de las máquinas que accionan los gatos a veces no son suficientes para asegurar en todas las circunstancias una medición en modo estático.

25

30

Además, existe otro modo de medición que se denomina modo dinámico que se basa en la inserción de la punta mediante el hincado de la sarta de varillas. El hincado se realiza al hacer caer un mazo o un martillo en un yunque que inserta la sarta de varillas por tirones. Conocer la energía liberada por la caída de la masa y conocer la inserción por tirón, se calcula la resistencia a la penetración del suelo que tiene en cuenta varios coeficientes de pérdida de energía. Este modo dinámico tiene una capacidad más grande de penetración que el modo estático, especialmente en los suelos de alta compacidad. Una medición en modo dinámico es sin embargo mucho menos precisa que una medición en modo estático y proporciona solo una información parcial de la resistencia del suelo en función de la profundidad, debido a la inserción por tirón y, en general, a la no disociación de la resistencia de punta con respecto a la fricción lateral parasitaria.

35

40

El documento FR2584186 describe un dispositivo de medición de las características del suelo por penetración dinámica que comprende una sarta de varillas macizas terminadas en una punta y que se deslizan dentro de una sarta de varillas huecas, y un cabezal de hincado unido rígidamente a las varillas huecas y unido elásticamente a las varillas macizas por la interposición de un resorte. La caída de un martillo sobre el cabezal de hincado provoca la inserción de las sarta de varillas. Durante el levantamiento y la nueva caída del martillo de caída (duración de 0,3 a 5 segundos), el resorte se relaja y la punta continúa a hundirse hasta que la reacción del suelo sea igual a la fuerza de compresión del resorte. Este dispositivo tiene el inconveniente de realizar únicamente, entre dos inserciones dinámicas por la caída de un martillo sobre el cabezal de hincado, mediciones puntuales y discontinuas en modo estático, a profundidades aleatorias en función de la resistencia del suelo.

45

50

Otros penetrómetros dichos estáticos dinámicos son capaces de trabajar en modo dinámico y estático mixto, de modo que el modo estático ya no es posible, típicamente en presencia de capas de suelo con alta compacidad, la resistencia a la penetración se vuelve demasiado significativa.

55

Se conoce en particular el documento EP2535460, que describe un dispositivo que comprende una varilla de medición terminada en una punta de medición, un tubo de protección dispuesto alrededor de la varilla de medición, medios de descenso y elevación para realizar la inserción en el suelo en modo estático, medios de impacto para realizar la inserción en el suelo en modo dinámico y medios de medición para determinar la resistencia a la penetración del suelo. La particular construcción de este dispositivo permite aislar la inserción dinámica del tubo de protección exterior, de la toma de medición estática de la resistencia en la punta y de la fricción lateral a través de la varilla de medición interior. De esta manera, la varilla de medición no se sujeta a las fuerzas mecánicas ejercidas por los medios de impacto y la toma de medición puede realizarse en modo estático.

60

La estructura de este dispositivo sin embargo permanece compleja y engorrosa de implementar, tanto desde el punto de vista del propio dispositivo como del equipo relacionado necesario para mover y usar dicho dispositivo. Además, la fase de hincado no permite medir la resistencia en la punta (esta no se disocia de la fricción lateral del

65

manguito), y ésta es idéntica al dispositivo descrito en el documento FR2584186, por lo que ciertas peculiaridades del terreno pueden escapar al conocimiento del geólogo.

Objeto de la invención

Un objeto de la presente invención es proponer una solución alternativa a las soluciones del estado de la técnica, en particular un penetrómetro estático con asistencia vibrodinámica, simple de implementar y que permite mediciones precisas y continuas de la compacidad de un suelo.

Breve descripción de la invención

Con vistas a conseguir uno de estos objetivos, el objeto de la invención propone un penetrómetro para la medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo, que comprende:

- Al menos una varilla central terminada en un primer extremo por una punta de medición;
- Al menos un tubo hueco que rodea la varilla central, esta última capaz de deslizarse por el interior del tubo hueco;
- Una celda de medición en contacto con el tubo hueco, destinada a transmitir una fuerza aplicada por medios de apoyo, para provocar una inserción en modo estático en el suelo del tubo hueco y de la varilla central.

El penetrómetro comprende además:

- un dispositivo comprimible calibrado que proporciona una conexión elástica entre la celda de medición y un segundo extremo de la varilla central;
- un sensor de desplazamiento capaz de medir la longitud del dispositivo comprimible calibrado;
- medios de inserción adicionales capaces de aplicar al tubo hueco, una vibración a una frecuencia determinada, dicha frecuencia determinada está comprendida entre 35 y 100.

Según otras características ventajosas y no limitativas de la invención, consideradas solas o según cualquier combinación técnicamente factible:

- la celda de medición está unida al tubo hueco;
- los medios de inserción adicionales están acoplados a la celda de medición;
- los medios de inserción adicionales están directamente acoplados al tubo hueco;
- los medios de inserción adicionales están compuestos por al menos un dispositivo de vibroinserción hidráulico o eléctrico;
- la energía unitaria, por impulso, desarrollada por los medios de inserción adicionales está entre 25 y 400 Joules;
- el sensor de desplazamiento es capaz de medir continuamente la longitud del dispositivo comprimible calibrado, durante la inserción;
- la celda de medición se extiende alrededor del dispositivo comprimible calibrado y comprende luces que permiten visualizar el alargamiento o retracción de dicho dispositivo comprimible calibrado;
- la rigidez del dispositivo comprimible calibrado se adapta a la dureza del suelo;
- el dispositivo comprimible está formado por un resorte calibrado;
- el dispositivo comprimible está formado por una pluralidad de arandelas Belleville;
- el penetrómetro comprende un sensor de fuerza sostenido en la celda de medición y dispuesto en serie con el dispositivo comprimible calibrado;
- el sensor de fuerza es un medidor de tensión;
- el sensor de fuerza es capaz de medir continuamente la fuerza ejercida entre la celda de medición y el dispositivo comprimible calibrado, durante la inserción;
- el sensor de fuerza está adaptado para ser desactivado durante la aplicación de la vibración por los medios de inserción adicionales;
- los medios de apoyo capaces de aplicar una fuerza a la celda de medición, para efectuar una inserción en el suelo en modo estático del tubo hueco y de la varilla central;
- el penetrómetro comprende un chasis provisto de al menos un elemento de conexión mecánica destinado para conectarse a una masa pesada de reacción;
- dicha masa pesada de reacción se elige entre una grúa, una excavadora o un vehículo pesado;
- el penetrómetro comprende un controlador electrónico configurado para registrar las mediciones de los sensores y para activar o desactivar los medios de inserción adicionales.

La presente invención también se refiere a un método de medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo por medio del penetrómetro como el anterior, que comprende:

- La inserción en el suelo en modo estático del tubo hueco y la varilla central, a una velocidad de inserción;
- La medición, por el sensor de desplazamiento, de la longitud del dispositivo comprimible calibrado, durante la inserción;
- La aplicación de una vibración a una frecuencia determinada por los medios de inserción adicionales cuando la longitud es menor o igual a una longitud predeterminada.

Según otras características ventajosas y no limitativas de la invención, consideradas solas o según cualquier combinación técnicamente factible:

- el método comprende detener la vibración cuando el dispositivo comprimible calibrado tiene una longitud mayor que la longitud predeterminada;
- la velocidad de inserción en modo estático es del orden de 2 cm/s;
- la longitud predeterminada es una longitud mínima correspondiente a la máxima retracción del dispositivo comprimible calibrado;
- el proceso comprende:
 - detener la inserción en una pluralidad de profundidades sucesivas;
 - cada vez que se detiene la inserción, la medición por el sensor de desplazamiento de la longitud del dispositivo comprimible calibrado;
 - la reanudación de la inserción, después de dicha medición.
- detener la inserción dura entre 10 segundos y algunos minutos.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción detallada que se hará a continuación con referencia a las figuras adjuntas en las que:

- la figura 1 muestra un diagrama de bloques de un penetrómetro según la invención;
- la figura 2 muestra un método de medición según la invención;
- las figuras 3a y 3b muestran realizaciones de penetrómetros según la invención;
- la figura 4 muestra un ejemplo de medición de la resistencia del suelo realizada por el método según la invención y por medio de un penetrómetro según la invención;

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un penetrómetro 100 para la medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo.

El penetrómetro 100 comprende al menos una varilla central 1 terminada en un primer extremo por una punta de medición 11. A modo de ejemplo, podría montarse una conocida punta de medición de tipo "Gouda" al nivel del primer extremo de dicha varilla central 1.

El penetrómetro 100 comprende al menos un tubo hueco 2 que rodea la varilla central 1. Los diámetros respectivos del tubo hueco 2 y de la varilla central 1 se adaptan para que este último pueda deslizarse libremente dentro del tubo hueco 2.

El par formado por la varilla central 1 y el tubo hueco 2 se destinan a hundirse en el suelo, que tiene la punta 11 en el cabo la función de medir la resistencia a la penetración del suelo. Para probar la resistencia del suelo a varias profundidades, pueden conectarse varillas 1 y tubos 2 adicionales de cabo a otro, para formar una sarta de pares de varillas/tubos, que pueden hundirse en el suelo a profundidades de varias decenas de metros.

El penetrómetro 100 también comprende una celda de medición 3 en contacto con el tubo hueco 2, que comprende un cabezal 31 y un cuerpo principal 32. El cabezal 31 puede, como se ilustra en la figura 1, atornillarse al cuerpo principal 32. La celda de medición 3 se destina a transmitir una fuerza F aplicada por medios de apoyo, para que provoque una inserción en modo estático en el suelo del par formado por el tubo hueco 2 y la varilla central 1. La fuerza F se puede aplicar al nivel del cabezal 31 o del cuerpo principal 32. Los medios de apoyo capaces de aplicar dicha fuerza F se describirán más adelante.

La celda de medición 3 podrá en algunos casos ser integral con el tubo hueco 2, en particular, si se usa la fricción del tubo hueco 2 en el suelo como elemento de reacción. En los casos en que la celda de medición 3 está únicamente en contacto con el tubo hueco 2, es el empuje de los medios de apoyo a nivel del cabezal el que mantiene la continuidad mecánica entre la celda 3 y el tubo 2. Un adaptador en la cabeza del tubo hueco 2 puede permitir el paso indiferente de un modo a otro.

El penetrómetro 100 comprende además un dispositivo comprimible 6 calibrado que asegura una conexión elástica entre la celda de medición 3 y un segundo extremo 12 de la varilla central 1 (o de la sarta de varillas centrales). El segundo extremo 12 se encuentra opuesto al primer extremo que soporta la punta de medición 11.

En el ejemplo de la figura 1, el dispositivo comprimible 6 calibrado está situado en el cabezal 31 de la celda de medición 3; el cabezal 31 puede comprender luces que permitan en particular visualizar el alargamiento o la retracción de dicho dispositivo comprimible 6.

Cuando se aplica una fuerza a la celda de medición 3, estando esta última en contacto o unida al tubo hueco 2 y en unión elástica con la varilla central 1, el par tubo 2/varilla 1 se hundirá en el suelo. Según la dureza del suelo, la punta 11 del primer extremo de la varilla 1 encontrará más o menos resistencia; así, el dispositivo comprimible 6 se retraerá o alargará más o menos dependiendo de esta resistencia del suelo. Un objetivo del presente penetrómetro será medir el desplazamiento, ligado a los alargamientos y/o las retracciones del dispositivo comprimible 6, durante la inserción; esto equivale a medir la longitud del dispositivo comprimible 6 durante la inserción. La carga aplicada al dispositivo comprimible 6, relacionada con la fuerza de reacción del suelo R a la inserción del punto 11, es proporcional a esta longitud 1 según la ecuación: $R = k \times l$, donde k es la rigidez del dispositivo comprimible 6.

Ventajosamente, la longitud del dispositivo comprimible calibrado 6 puede variar de 40 a 100 mm entre su estado alargado y su estado completamente retraído.

Cabe señalar que la rigidez del dispositivo comprimible calibrado 6 puede, por supuesto, adaptarse a la dureza del suelo prevista después de una investigación preliminar.

Según una primera variante, el dispositivo comprimible 6 consiste en un resorte calibrado. La carga aplicada al resorte varía linealmente con su longitud.

Según una segunda variante, el dispositivo comprimible calibrado 6 consiste en una pluralidad de arandelas Belleville, montadas en oposición. La deformación de un conjunto de este tipo es casi lineal y su rigidez se puede

$$k = n \times P / h_0$$

definir como: , donde n es el número de arandelas, P es la carga de aplastamiento de una arandela, más allá de la cual la arandela ya casi no se deforma y h_0 es la deflexión máxima.

Esta variante tiene la ventaja de que la rigidez del conjunto de arandelas se puede ajustar fácilmente añadiendo o quitando arandelas, que se pueden montar en una amplia variedad de disposiciones: en oposición o en serie o incluso en una combinación de estas disposiciones, y en proporciones variables. La rigidez de la conexión se elige en función de la dureza del suelo. El uso de una pluralidad de arandelas Belleville es particularmente ventajoso porque permite un espacio vertical mucho más pequeño que cuando se usa un resorte.

De forma idéntica a la primera variante, la carga aplicada a la pluralidad de arandelas Belleville también se relaciona con la longitud del dispositivo comprimible, correspondiente al aplanamiento (retracción) y/o la expansión (alargamiento) del conjunto de arandelas.

En una u otra de las variantes descritas, el penetrómetro 100 según la invención, equipado con el dispositivo comprimible 6, tiene por objeto medir la longitud del dispositivo comprimible calibrado 6, proporcional a la resistencia del suelo, a medición que se produce una inserción en modo estático.

Para realizar una medición precisa y continua de esta longitud, el penetrómetro 100 comprende un sensor de desplazamiento 7. En la figura 1, se coloca una pieza intermedia 71 entre el extremo 12 de la varilla central 1 y el dispositivo comprimible 6. La pieza intermedia 71 es susceptible de desplazarse en función del alargamiento o retracción del dispositivo comprimible 6. Este desplazamiento se mide en una graduación de 72. Ventajosamente, el sensor de desplazamiento 7 comprende un sistema de registro para medir este desplazamiento, representativo de la longitud del dispositivo comprimible calibrado 6, de forma continua durante la inserción continua de este desplazamiento. A modo de ejemplo, el sensor de desplazamiento 7 podrá efectuar una medición de la longitud cada décima de segundo o incluso cada segundo. Se puede elegir ventajosamente un sensor de desplazamiento capaz de medir una amplitud de desplazamiento comprendida entre 40 y 100 mm, correspondiente a la amplitud de la variación de longitud del dispositivo comprimible 6.

El penetrómetro 100 comprende finalmente medios de inserción adicionales 8 capaces de aplicar al tubo hueco 2 una vibración a una frecuencia determinada. Estos medios adicionales 8 pueden acoplarse a la celda de medición 3 para aplicar la vibración al cabezal 31 (como se ilustra en las figuras 3a y 3b), o acoplarse directamente al tubo hueco 2 para aplicar la vibración directamente a dicho tubo 2. En ambos casos, la vibración se transmite al tubo hueco 2, en contacto o unido a la celda de medición 3. Veremos más adelante que esta vibración, aplicada temporalmente durante la inserción cuando se encuentra un suelo de alta resistencia, ayuda a continuar la inserción en modo estático, sin necesidad de una masa pesada de reacción sobredimensionada o el uso de asistencia dinámica que impida cualquier medición precisa de la resistencia del suelo.

Por tanto, el penetrómetro según la invención se basa en una asistencia vibrodinámica, que permite mantener una inserción en modo estático y una medición del desplazamiento (proveniente del alargamiento y/o retracción del dispositivo comprimible 6) continua y precisa, representativa de la dureza del suelo.

A modo de ejemplo, los medios de inserción adicionales 8 están compuestos por al menos un dispositivo de vibroinserción hidráulico o eléctrico, que proporciona energía mecánica por impulso, a una frecuencia determinada.

5 Según la invención, la frecuencia determinada de la vibración aplicada por los medios de inserción adicionales 8 está comprendida entre 35 y 100 Hz. Y la energía unitaria, es decir en cada impulso o golpe, desarrollada por los medios de inserción adicionales 8 está entre 25 y 400 Joules.

10 Preferiblemente, el penetrómetro 100 estático según la invención también comprende medios de apoyo 4, adaptados para aplicar una fuerza a la celda de medición 3, para realizar una inserción en el suelo en modo estático del par formado por el tubo hueco 2 y la varilla central 1. En particular, este puede consistir en un cilindro hidráulico capaz de desarrollar una potencia de entre 5 y 15 toneladas. La parte móvil 41 del cilindro fijada al cuerpo principal 32, aplica a la celda de medición 3 la fuerza necesaria para la inserción continua del par tubo/varilla. La parte fija 42 del cilindro debe estar fijada directa o indirectamente a una masa pesada de reacción 200. Los medios de apoyo 4 podrán comprender un grupo hidráulico autopropulsado, para accionar el cilindro 41,42.

15 Ventajosamente, los medios de apoyo 4 se sujetan mediante un chasis 5. El chasis 5 está provisto de al menos un elemento de conexión mecánica 51 destinado para conectarse a una masa pesada de reacción 200. Este elemento de conexión mecánico 51 puede consistir, por ejemplo, en una abrazadera hidráulica o mecánica, o incluso en un tornillo del mismo tipo. El hecho de que el chasis 5 esté equipado con dicho elemento de conexión mecánica 51 hace que pueda conectarse a cualquier tipo de masa pesada de reacción 200: grúa, excavadora, vehículo pesado, etc.

20 Ventajosamente, el penetrómetro 100 también comprende un sensor de fuerza (no mostrado) sostenido en la cabeza 31 de la celda de medición 3 y dispuesto en serie con el dispositivo comprimible calibrado 6. A modo de ejemplo, el sensor de fuerza es un medidor de tensión.

30 Este sensor es capaz de medir en continuo la fuerza ejercida entre la celda de medición 3 y el dispositivo comprimible calibrado 6, durante la inserción. Esta es una medición complementaria interesante para la medición de la longitud del dispositivo comprimible calibrado 6 mencionado anteriormente.

Tenga en cuenta que el sensor de fuerza puede, en ciertas realizaciones del penetrómetro 100, desactivarse durante la aplicación de la vibración por los medios de inserción adicionales 8.

35 El penetrómetro 100 puede comprender además un controlador electrónico capaz de registrar las mediciones de los sensores y de activar o desactivar los medios de inserción adicionales 8 según los criterios programados o definidos por un operador durante la prueba.

Las figuras 3a y 3b muestran realizaciones del penetrómetro según la invención.

40 El penetrómetro 100 ilustrado en la figura 3a (primera realización) tiene la particularidad de ser compacto tanto en tamaño como en peso total. Este se puede transportar en un vehículo utilitario solo con permiso de turismo (< 800 kg con el grupo hidráulico).

45 Este se pliega debido a sus cilindros (medios de apoyo 4) montados invertidos, sus dimensiones se reducen, en el orden de un metro de altura y medio metro en sección cuadrada. A esto hay que añadir el grupo hidráulico autopropulsado que permitirá el accionamiento de los cilindros y que va montado sobre orugas (no representado).

50 Esta primera realización es ventajosa porque permite transportar solo la parte "útil" de un penetrómetro (guiado, mediciones, fuerza hidráulica autónoma) y utilizar una masa pesada de reacción 200 (la masa), colocada a disposición en el lugar de estudio según las disponibilidades locales.

55 El elemento de conexión mecánica 51 para el acoplamiento entre el chasis 5 y la masa pesada de reacción 200 consiste en una pinza hidráulica que sujeta la hoja de una excavadora, o bien su cuchara, o fijada en un chasis de tractor, un camión... Alternativamente, el anclaje del penetrómetro 100 sobre una losa, o su apuntalamiento sobre una viga, también está previsto al nivel del chasis.

60 Una vez acoplado, el penetrómetro 100 lastrado es autónomo, a través de su grupo hidráulico autopropulsado en modo preferencial. El uso de grupos hidráulicos locales (por ejemplo, el motor de una excavadora) también puede contemplarse sin modificación sustancial del penetrómetro 100.

De esta forma, el penetrómetro vibroestático 100 se puede utilizar en cualquier sitio, cualquiera que sea la capacidad portante del suelo superficial, su pendiente, la estrechez del local, siempre que el dispositivo sea transportable y la masa pesada de reacción 200 se pueda elegir en función de las circunstancias.

65 En caso de resistencia del suelo excesiva, el dispositivo comprimible 6 se retrae hasta tener, por ejemplo, una longitud mínima; la medición de esta longitud mínima por el sensor de desplazamiento 7 provoca la implementación

de los medios de inserción adicionales 8 por parte del controlador electrónico. Los medios de inserción adicionales 8 genera una vibroinserción a una frecuencia del orden de 50 Hz, con una energía unitaria (por impulso) desarrollada entre 100 y 200 Joules. Aplicada a la celda de medición 3, tal vibración facilita el cruce de la capa de suelo resistente por el par tubo/varilla. Cuando aumenta la longitud del dispositivo comprimible 6, reflejando menos resistencia del suelo, el controlador electrónico controla la parada de los medios de inserción adicionales 8 y continúa la inserción continua y regular por parte de los medios de apoyo 4.

Según una segunda realización, ilustrada en la figura 3b, el penetrómetro 100 presenta una compacidad aún mayor y es transportable mediante palet normalizado. Este es particularmente ventajoso para su uso en áreas confinadas, incluso subterráneas, manteniendo capacidades de inserción muy altas.

Según una primera variante (no representada), el penetrómetro 100 utiliza un único juego de cilindros como medio de apoyo 4. Según una segunda variante, los medios de apoyo 4 están compuestos por un sistema de deslizamiento de husillo de rodillos eléctrico o hidráulico.

Para limitar el tamaño y el peso (<300 kg), los medios de inserción adicionales 8 pueden ser alimentados eléctricamente por una fuente de energía convencional (red, generador, convertidor de baterías, etc.), reduciendo la importancia del grupo hidráulico necesario.

De manera análoga a la primera realización, los medios de inserción adicionales 8 pueden activarse cuando la punta 11 encuentra un suelo muy resistente (lo que provoca la retracción total del dispositivo comprimible 6). A modo de ejemplo, los medios de inserción adicionales 8 pueden aplicar una vibroinserción a una frecuencia del orden de 50 Hz, con una energía unitaria (por impulso) desarrollada comprendida entre 50 y 100 Joules.

Según una tercera realización, el penetrómetro 100 puede montarse de forma permanente en un vehículo oruga pesado todo terreno: aquí pierde su carácter portátil en comparación con las realizaciones descritas anteriormente y tiene un carácter totalmente autónomo.

Se dispone de una gran potencia hidráulica y permite el uso de cilindros como medio de apoyo 4 de mayor sección, mayor recorrido y una energía de vibración diez veces mayor aplicable por los medios de inserción adicionales 8. A modo de ejemplo, la energía unitaria aplicada por los medios de inserción adicionales 8 estará entre 300 y 400 Joules.

El funcionamiento del penetrómetro 100 es similar al descrito anteriormente.

Este montaje también permite la implementación de un gran número de servomecanismos hidráulicos opcionales, así como una mayor variedad de herramientas (sondas insertadas en el suelo).

El penetrómetro según esta tercera realización es particularmente adecuado para campañas de sondeo a gran escala en términos de área, número y profundidad de las pruebas, así como en tamaño del proyecto.

La presente invención también se refiere a un método de medición en modo estático la resistencia a la penetración de un suelo por medio del penetrómetro 100 según una u otra de las diversas realizaciones descritas anteriormente.

El método comprende en primer lugar la inserción en el suelo en modo estático (inserción continua y regular) del par formado por el tubo hueco 2 y la varilla central 1, a una determinada velocidad de inserción. La velocidad de inserción en modo estático se comprende entre 1 y 5 cm/s; ventajosamente, para cumplir con los estándares de mediciones actuales, la velocidad de inserción es del orden de 2 cm/s.

Durante esta inserción, el método prevé la medición, por el sensor de desplazamiento 7, de la longitud del dispositivo comprimible calibrado 6. Como se ilustra en la figura 4, para sucesivas profundidades de inserción en el suelo, la medición de la longitud del dispositivo comprimible 6 permite aumentar hasta la resistencia en la punta del suelo (Q_c).

Cuando la punta de medición 11 encuentra un suelo muy resistente, el dispositivo comprimible 6 se retrae hasta alcanzar una longitud predeterminada. A modo de ejemplo, la longitud predeterminada puede ser la longitud mínima del dispositivo comprimible 6, correspondiente a su máxima retracción.

Para una longitud del dispositivo comprimible 6 inferior o igual a esta longitud predeterminada, el método prevé la aplicación, por los medios de inserción adicionales 8, de una vibroinserción a una frecuencia determinada. Como se mencionó anteriormente, la frecuencia determinada está entre 35 y 100 Hz, y la energía unitaria (por impulso) está entre 25 y 400 Joules. La vibración aplicada, transmitida al tubo hueco 2, ya sea directamente o a través de la celda de medición 3, permite ayudar a atravesar capas de suelo particularmente duras.

En la figura 4, el punto A corresponde al encuentro con una capa de suelo particularmente dura, cuya resistencia es superior a la capacidad de la masa pesada de reacción 200 utilizada. La aplicación de una vibración gracias a los

medios de inserción adicionales 8 permite atravesar esta capa, hasta llegar a una capa de menor dureza (punto B). En este momento, el dispositivo comprimible 6 se alargará, encontrando la punta de medición 11 en el extremo de la varilla 1 una resistencia menor: la longitud del dispositivo comprimible 6 aumentará así y será mayor que la longitud predeterminada. Los medios de inserción adicionales 8 se desactivan entonces y se reanuda la inserción en modo estático.

El método según la invención permite así medir la resistencia del suelo de forma continua y sin interrupción. El cruce de las capas duras en profundidad se realiza de forma paulatina, por vibroinserción. Tan pronto como disminuye la dureza del terreno, la medición del alargamiento del dispositivo comprimible calibrado 6 permite obtener un valor de resistencia del terreno. Así, no se pierde información sobre las características del suelo, que se miden continuamente a través de las variaciones de longitud del dispositivo comprimible 6.

Ventajosamente, el controlador electrónico está configurado para registrar las mediciones del o de los sensores (de desplazamiento 7, de fuerza 9) y para activar o desactivar los medios de inserción adicionales 8 según el algoritmo de la figura 2. Este también se puede configurar para controlar los medios de apoyo 4 y controlar la fuerza aplicada a la celda de medición 3 a la velocidad a la que el par tubo/varilla se inserta en el suelo.

Según un modo particular de implementación, el método de medición puede comprender detener la inserción en una pluralidad de profundidades sucesivas. Cada parada a una profundidad dada puede durar entre 10 segundos y algunos minutos. Para cada una de las paradas, después de una duración definida (entre 10 segundos y algunos minutos) que permite la relajación de las tensiones en el suelo al nivel de la punta de medición 11, se realiza una medición por el sensor de desplazamiento 7, de la longitud del dispositivo comprimible 6 calibrado. Después de esta medición, se reanuda la inserción.

El solicitante ha demostrado que las mediciones dobles, en modo estático (durante una inserción a una velocidad determinada) y en parada, a una profundidad determinada, pueden permitir identificar suelos potencialmente licuables. En efecto, la diferencia entre la resistencia del suelo en modo estático y la resistencia del suelo en parada (estas resistencias se deducen de las dos mediciones de longitud del dispositivo comprimible, en modo estático y en parada) parece característica de la evolución de las presiones intersticiales en el suelo: cuanto mayor sea esta diferencia (resistencia en modo estático mayor que la resistencia en parada), mayor será el riesgo de licuefacción del suelo en caso de terremoto. En particular, cuando esta desviación supera el 40 % de la resistencia del suelo medida en modo estático, las capas de suelo se identifican como licuables.

El penetrómetro y el método según la invención tienen por lo tanto también la ventaja de permitir dobles mediciones, capaces de diagnosticar riesgos de licuefacción de las capas del suelo.

REIVINDICACIONES

1. Penetrómetro (100) para la medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo, que comprende:

- al menos una varilla central (1) rematada en un primer extremo por una punta de medición (11);
- al menos un tubo hueco (2) que rodea la varilla central (1), pudiendo deslizarse esta última en el interior del tubo hueco (2);
- una celda de medición (3) en contacto con el tubo hueco (2), destinada a transmitir una fuerza aplicada por medios de apoyo (4), para provocar una inserción en modo estático en el suelo del tubo hueco (2) y de la varilla central (1); el

penetrómetro (100) se caracteriza porque comprende:

- un dispositivo comprimible (6) calibrado que proporciona una conexión elástica entre la celda de medición (3) y un segundo extremo (12) de la varilla central (1);
- un sensor de desplazamiento (7) capaz de medir la longitud del dispositivo comprimible (6) calibrado;
- medios de inserción adicionales (8) capaces de aplicar al tubo hueco (2), una vibración a una frecuencia determinada, dicha frecuencia determinada está comprendida entre 35 y 100 Hz.

2. Penetrómetro según la reivindicación anterior, en donde la celda de medición (3) está unida al tubo hueco (2).

3. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, en donde los medios de inserción adicionales (8) están acoplados a la celda de medición (3).

4. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, en donde los medios de inserción adicionales (8) están compuestos por al menos un dispositivo de vibroinserción hidráulico o eléctrico.

5. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores en donde los medios de inserción adicionales (8) desarrollan la energía unitaria entre 25 y 400 Joules.

6. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el sensor de desplazamiento (7) está adaptado para medir continuamente la longitud del dispositivo comprimible (6) calibrado, durante la inserción.

7. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la rigidez del dispositivo comprimible (6) calibrado se adapta a la dureza del suelo.

8. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo comprimible (6) está formado por un resorte calibrado o por una pluralidad de arandelas Belleville.

9. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un sensor de fuerza alojado en la celda de medición (3) y dispuesto en serie con el dispositivo comprimible (6) calibrado.

10. Penetrómetro según la reivindicación anterior, en donde el sensor de fuerza es capaz de medir continuamente la fuerza ejercida entre la celda de medición (3) y el dispositivo comprimible (6) calibrado, durante la inserción.

11. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende los medios de apoyo (4) capaces de aplicar una fuerza a la celda de medición (3), para efectuar una inserción en el suelo en modo estático del tubo hueco (2) y de la varilla central (1).

12. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende un chasis (5) provisto de al menos un elemento mecánico de conexión (51) destinado para conectarse a una masa pesada de reacción (200).

13. Penetrómetro según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende un controlador electrónico configurado para registrar las mediciones del o de los sensores (7) y para activar o desactivar los medios de inserción adicionales (8).

14. Método de medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo mediante el penetrómetro (100) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

- la inserción en el suelo en modo estático del tubo hueco (2) y de la varilla central (1), a una velocidad de inserción;
- la medición, por el sensor de desplazamiento (7), de la longitud del dispositivo comprimible (6) calibrado, durante la inserción;
- la aplicación de una vibración a una frecuencia comprendida entre 35 Hz y 100 Hz determinada por los medios de inserción adicionales (8) cuando la longitud es menor o igual a una longitud predeterminada.

15. Método de medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo según la reivindicación anterior, que comprende:

- 5 • Detener la vibración cuando el comprimible (6) calibrado tenga una longitud superior a la longitud predeterminada.

16. Método de medición en modo estático de la resistencia a la penetración del suelo según una de las tres reivindicaciones anteriores, en donde la longitud predeterminada es una longitud mínima correspondiente a la retracción máxima del dispositivo comprimible (6) calibrado.

10 17. Método de medición en modo estático de la resistencia a la penetración de un suelo según una de las cuatro reivindicaciones anteriores, que comprende:

- 15 • detener la inserción en una pluralidad de profundidades sucesivas;
 • en cada parada de la inserción, medir por medio del sensor de desplazamiento (7), la longitud del dispositivo comprimible (6) calibrado;
 • reanudar la inserción, después de dicha medición.

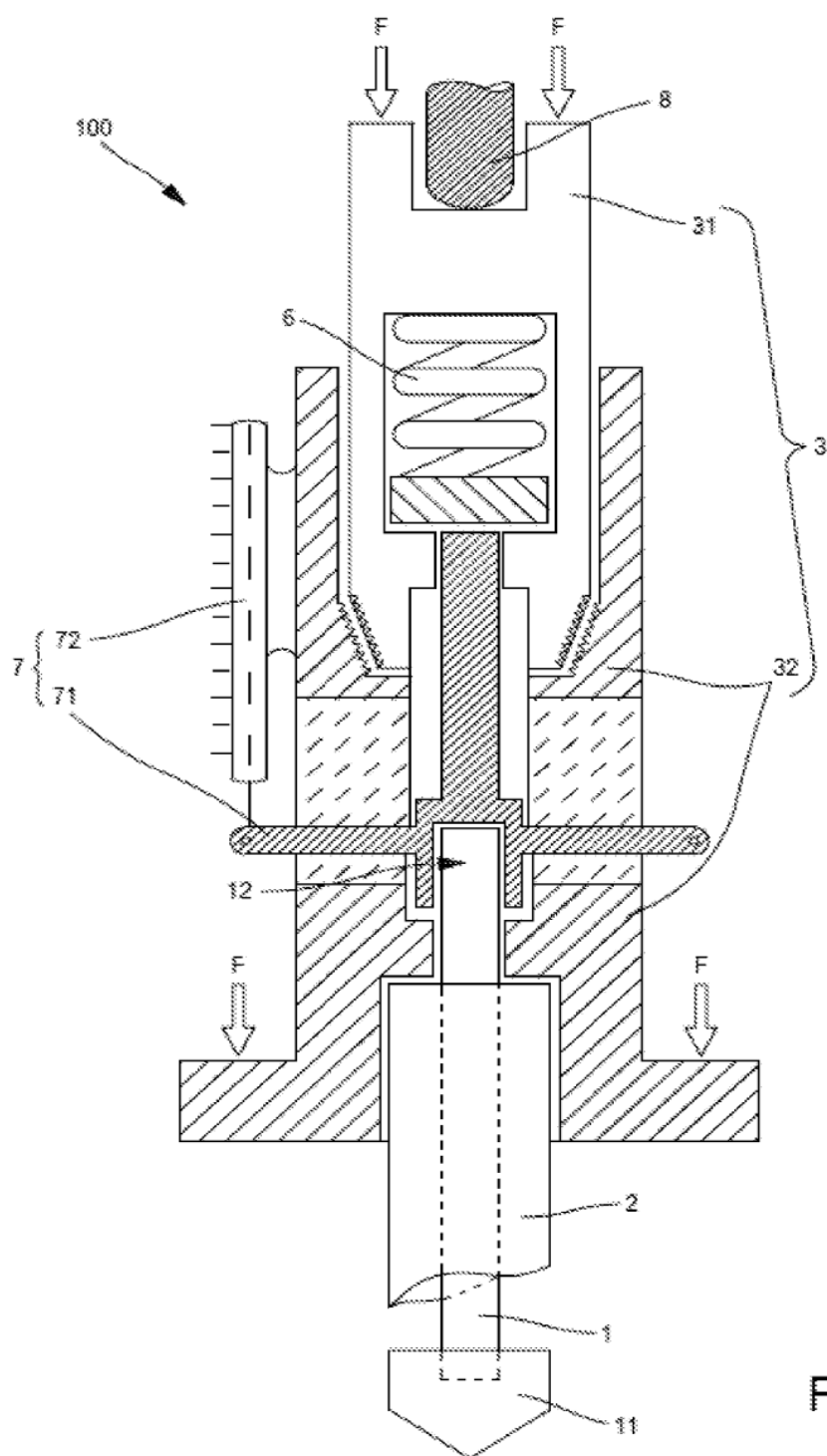


FIG. 1

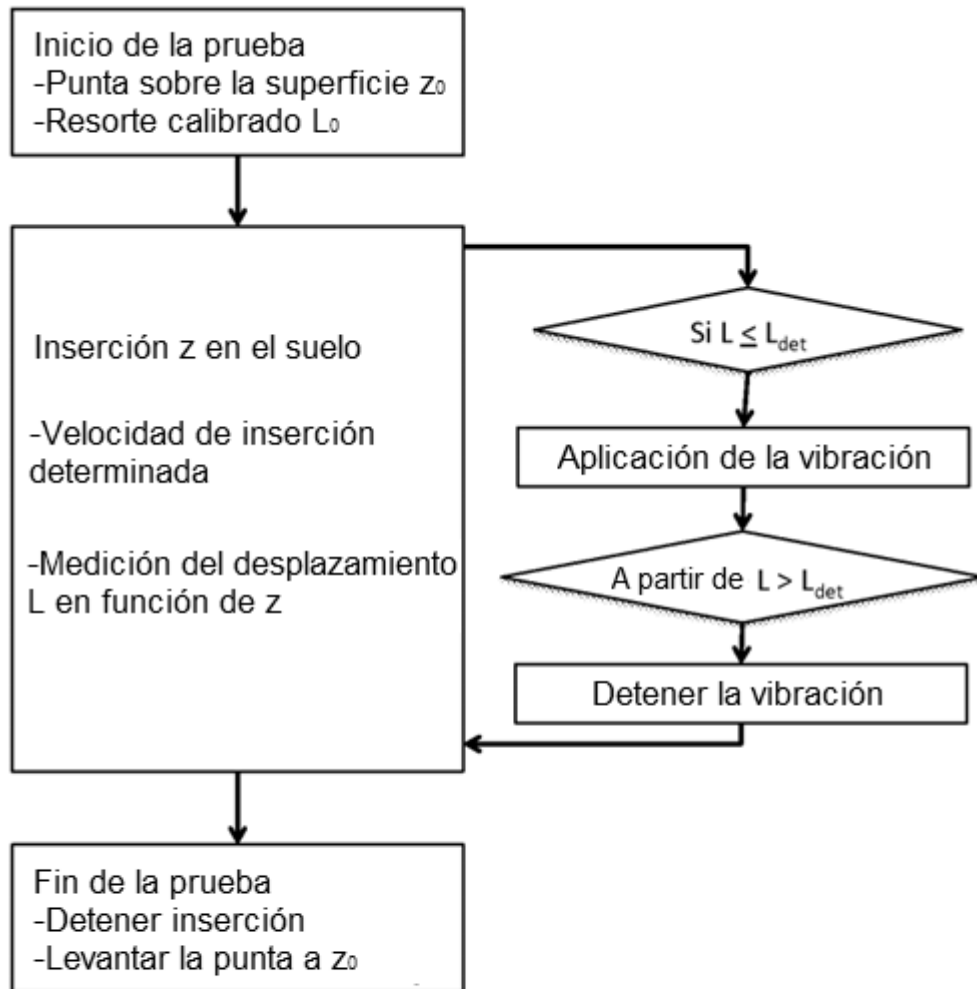


FIG.2

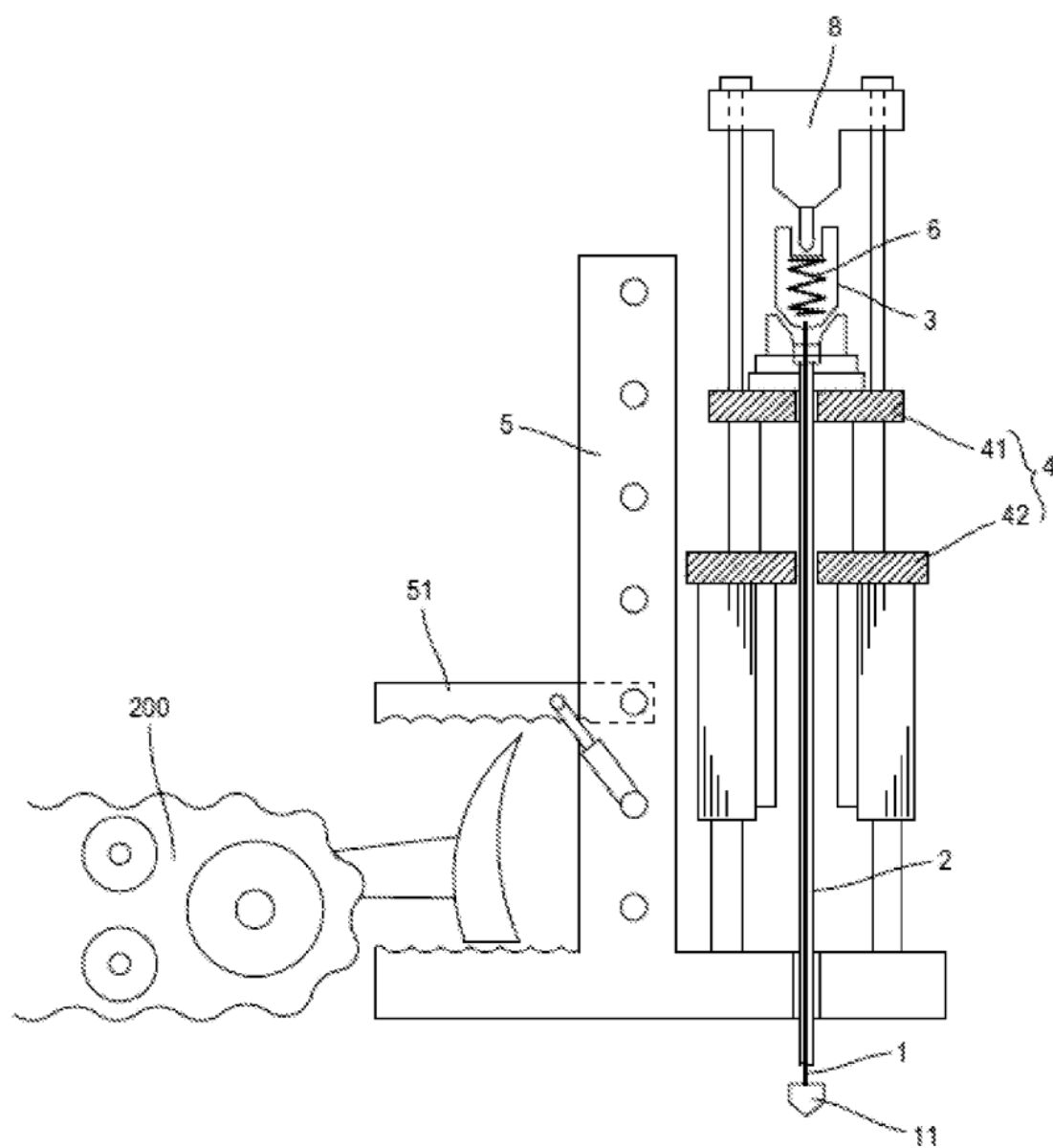
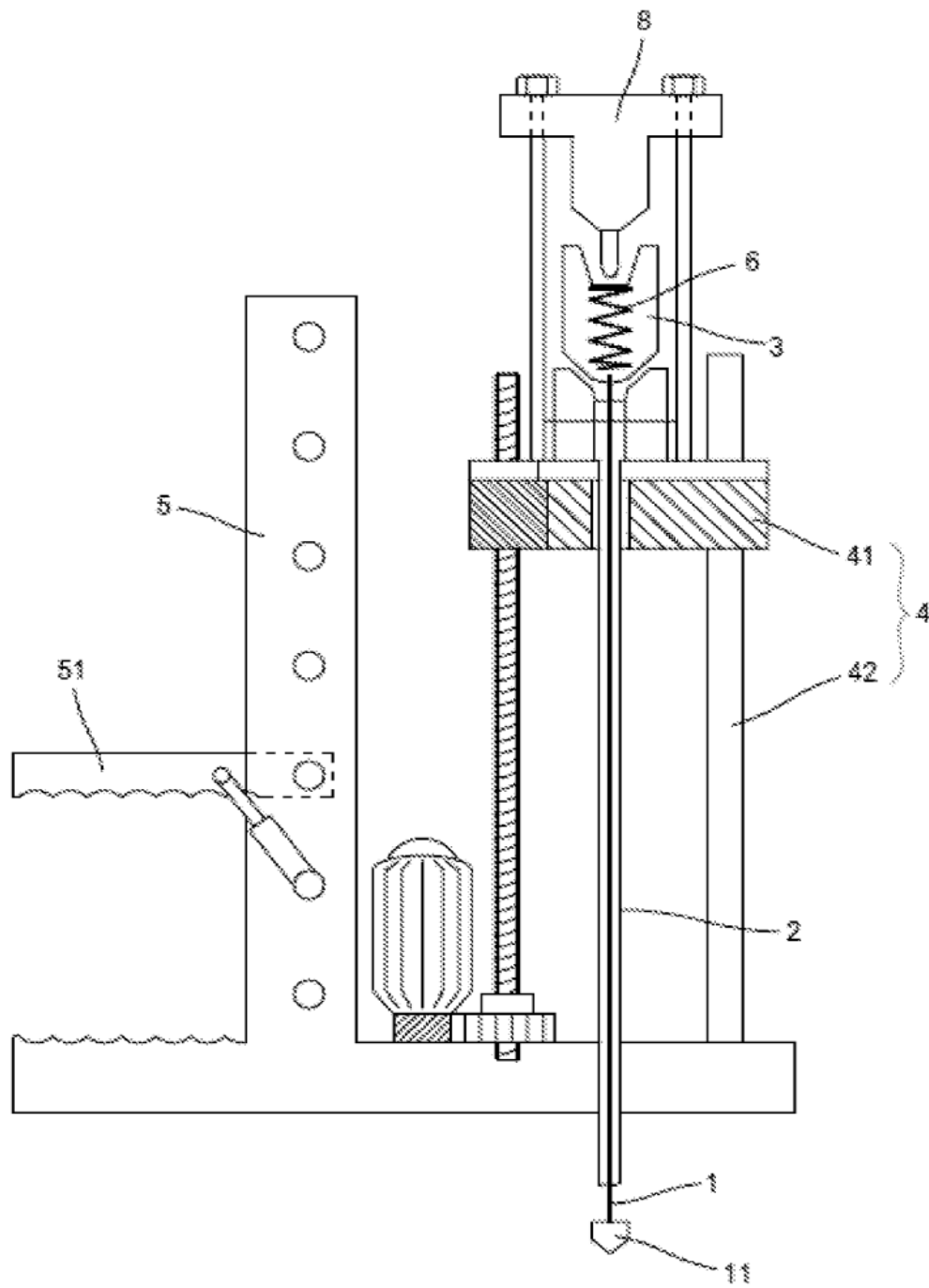


FIG.3a



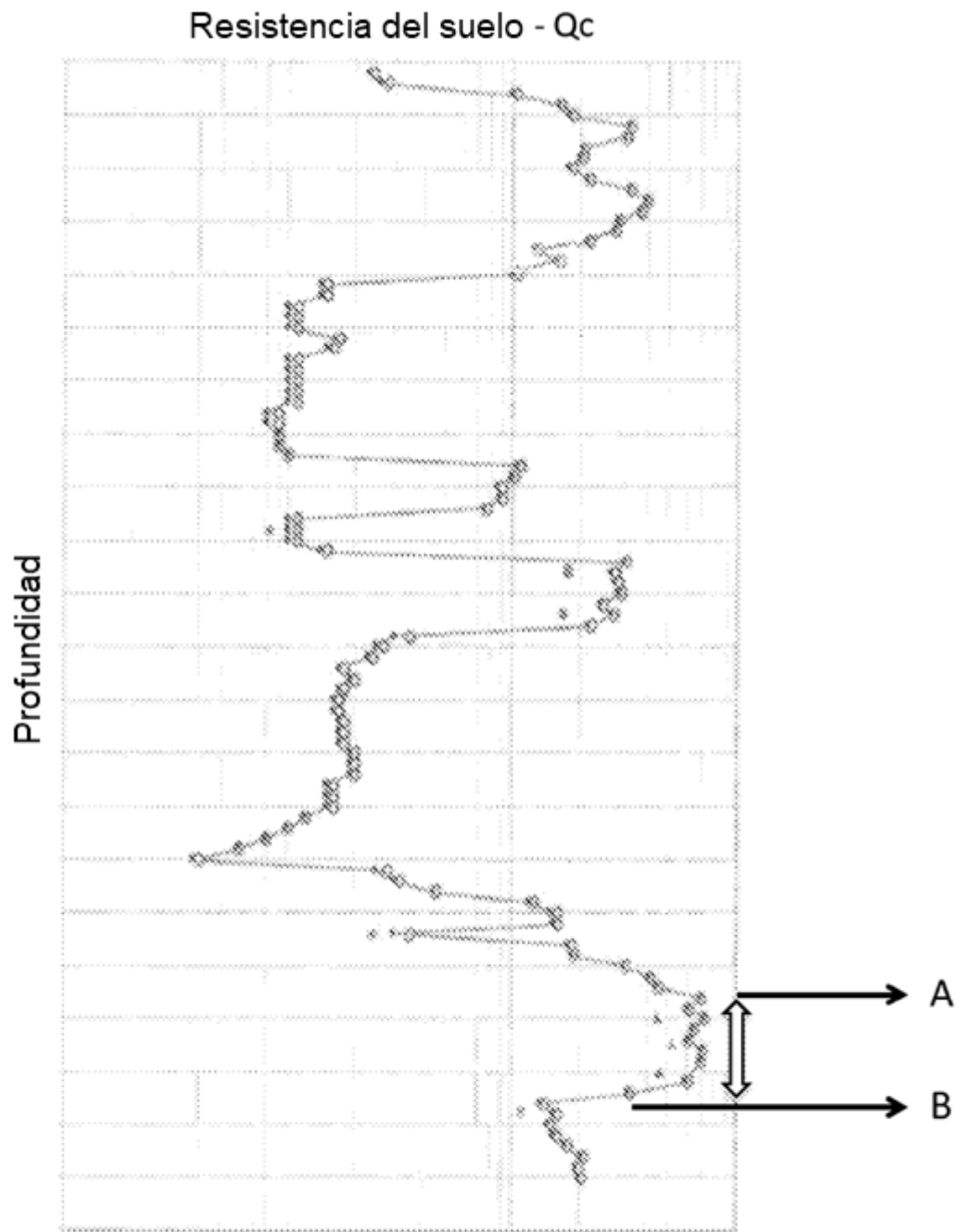


FIG.4