

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 668**

51 Int. Cl.:

E02D 3/12 (2006.01)

E02D 5/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.06.2017** **PCT/EP2017/065287**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018** **WO18001833**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2017** **E 17733414 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2022** **EP 3475488**

54 Título: **Procedimiento para reforzar suelos de cimentación**

30 Prioridad:

27.06.2016 IT UA20164665

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

30.11.2022

73 Titular/es:

THUR S.A.S. DI THUR RESINS SRL (100.0%)

Via Monte di Pietà 19

20121 Milano, IT

72 Inventor/es:

BIRTELE, ANDREA

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 929 668 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para reforzar suelos de cimentación

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para optimizar procesos para incrementar la capacidad de soporte de carga de suelos de cimentación y, específicamente, para identificar la mejor posición posible de los puntos de inyección y definir la cantidad óptima de mezclas de cemento y/o sintéticas en operaciones de inyección destinadas a mejorar las características hidráulicas o mecánicas de los suelos. Por el documento US 2 627 169 A, se conoce un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1.
- 10 Cualquier estructura construida transmite presiones al suelo que producen deformaciones en el suelo que emergerán a largo plazo, conocidas como subsidencias.
- 15 Cuando en la base de los dos puntos de la misma estructura construida las subsidencias son diferentes, la diferencia entre los valores medidos se denomina subsidencia diferencial.
- Usualmente, las subsidencias diferenciales del suelo en la base de las estructuras construidas no son muy significativas y no dan como resultado deformaciones de la estructura que sean tales que muestren grietas, aplastamientos o fallos en general.
- 20 Sin embargo, hay casos en los que las subsidencias diferenciales del suelo producen desplazamientos de la estructura construida superpuesta que son tales que provocan fracturas en la estructura, frecuentemente no apreciables. Hay casos en los que el suelo es particularmente deformable por las presiones transmitidas por estructuras construidas, o casos en los que las estructuras construidas están constituidas por materiales frágiles.
- 25 El procedimiento utilizado normalmente para resolver esta clase de problema, en la fase de diseño de la estructura construida, o en estructuras construidas existentes, implica un doble análisis del suelo de cimentación y la estructura construida.
- 30 El primer análisis evalúa la naturaleza y la textura del suelo y, como consecuencia, hace posible calcular su resistencia y deformabilidad con respecto a las cargas de la estructura construida.
- El segundo análisis examina los posibles movimientos diferenciales en función del tipo de estructura planeada en el diseño, o reconstruye en detalle los movimientos diferenciales de la estructura existente que han creado las grietas presentes en la estructura construida, tanto en términos de tiempo como en términos de geometría.
- 35 Para el análisis del suelo, el diseñador puede utilizar pruebas geotécnicas tradicionales, tanto in situ como en el laboratorio, o pruebas geofísicas que se han introducido recientemente en el mercado. El procedimiento se deriva sustancialmente de la geotécnica tradicional e implica calcular la resistencia y la deformabilidad del suelo con respecto a las presiones producidas en el suelo por los cimientos de la estructura construida, comenzando por los parámetros geotécnicos deducidos de los textos.
- 40 El análisis de la estructura construida sigue dos trayectorias diferentes.
- 45 Para edificios que todavía tienen que construirse, los desplazamientos se calculan según las especificaciones de la ciencia de la edificación, utilizando opcionalmente modelos digitales.
- Para edificios existentes, el análisis de la estructura construida es mucho más completo y complejo que el anterior y utiliza instrumentos de medición asociados con la topografía y con la monitorización estructural. Frecuentemente, la nivelación se lleva a cabo con instrumentos de precisión a fin de verificar qué parte de la estructura construida se ha hundido y la extensión del desplazamiento. Las lecturas topográficas se completan entonces vigilando el uso de medidores de grietas, inclinómetros, extensómetros, etc. cuya finalidad es verificar si la subsidencia está evolucionando y con qué velocidad.
- 50 Después de completar el análisis en el suelo de cimentación y en la estructura de la estructura construida, el diseñador define el procedimiento más adecuado para resolver las subsidencias diferenciales.
- Hay diversos sistemas para impedir o resolver subsidencias diferenciales. Se dividen en sistemas que actúan sobre la estructura y los sistemas que tratan el suelo.
- 60 El primer sistema busca modificar la manera en que las presiones de la estructura construida se transfieren al suelo a través de obras adaptadas para ensanchar la base de la cimentación o para profundizar en el suelo hasta que se encuentra con estratos que son más considerables y, por tanto, más resistentes. Los procedimientos en cuestión se aplican, en general, a toda la estructura: estos sistemas incluyen, por ejemplo, micropilotes y recalce.
- 65 El segundo sistema busca mejorar las características de resistencia y deformabilidad del suelo por medio de

acciones destinadas a densificar la masa o a introducir materiales o mezclas en ella que modifican física o químicamente las características del suelo natural. Estos procedimientos pueden limitarse a algunas partes de la estructura construida, en las que el suelo tiene características más pobres. Esta categoría incluye, entre otras, inyecciones de cemento y/o de resinas sintéticas.

Entre los diversos procedimientos conocidos para tratar el suelo con el fin de resolver subsidencias diferenciales por medio de inyecciones, está, por ejemplo, el procedimiento descrito en el documento EP0851064 que conlleva incorporar la capacidad de soporte de carga de los suelos de cimentación para edificios inyectando una sustancia que se expande después de una reacción química. El procedimiento divulgado incluye la verificación de la efectividad de la medición, utilizando receptores láser fijados a algunos puntos de la estructura que se superpone al volumen inyectado que, conectado a un emisor, informa sobre los desplazamientos verticales de la estructura construida después de la expansión de la sustancia en el suelo.

Existen otros procedimientos que implican la inyección de mezclas de naturaleza diferente. Uno de estos es la tecnología Soilfrac desarrollada por la empresa Keller Grundbau que conlleva el uso de mezclas de cementos y cementos expansivos. El procedimiento crea fracturas en el suelo en múltiples etapas, utilizando la mezcla que se inyecta por medio de una bomba que desarrolla presiones medias a altas. En este caso también, se monitorizan los desplazamientos del edificio o del suelo que se superpone a la inyección por medio de sistemas de nivelómetro que hacen posible observar el movimiento relativo de algunos puntos de la estructura construida con respecto a otros, utilizando el principio de los vasos comunicantes.

La finalidad de los sistemas de monitorización descritos que se utilizan por los procedimientos conocidos es evaluar indirectamente la efectividad de la intervención, es decir, detectan la consolidación que ocurre en el suelo a través de la observación del movimiento de la estructura que se superpone al punto tratado, o de la superficie del suelo.

Los procedimientos descritos, aunque indirectos, se utilizan muy extensamente debido a que son inmediatos y de bajo coste y no conllevan medidas invasivas en el suelo.

Sin embargo, ambos sistemas descritos presentan limitaciones que son debidas al hecho de que la elevación de la estructura construida o de la superficie del suelo que se superpone a la inyección, aunque necesaria, no siempre es suficiente para asegurar la mejora adecuada de todo el volumen del suelo afectado por las cargas de la estructura.

De hecho, puede suceder que el edificio o la superficie del suelo registre una elevación debido a sobrepresiones de agua contenidas en los intersticios del suelo, pero esto no es suficiente para asegurar valores adecuados de la capacidad de soporte de carga a largo plazo. Puede suceder además que el levantamiento de la estructura construida o de la superficie del suelo sea debido a las presiones que ejerce la mezcla inyectada a una cierta profundidad en el suelo, pero esto no es un indicador de mejora completa del volumen de suelo presente en toda la vertical que subyace al punto que se está monitorizando.

El movimiento vertical del edificio, como resultado de las inyecciones, depende en gran medida del peso y de la rigidez de la estructura. Los edificios más pequeños con limitaciones en su mayoría isostáticas se ven afectados localmente por presiones en el suelo, mientras que edificios mayores con estructuras más complejas y rígidas es menos probable que se eleven, puesto que se ven afectadas partes mayores de la estructura. Es especialmente con este último tipo de edificio que el criterio de la efectividad significa que no es posible evaluar la homogeneidad del tratamiento del suelo con precisión. De hecho, puede ocurrir que una parte completa de la estructura construida se eleve uniformemente, aunque en realidad la consolidación obtenida con las inyecciones no afecte a todo el volumen del suelo, sino solo a una parte reducida de este.

Para superar esta indeterminación impuesta por la imprecisión del procedimiento de medición indirecta, las mediciones llevadas a cabo en estructuras rígidas, pero también en otras estructuras, están generalmente sobredimensionadas, es decir, siguen geometrías de inyección muy densas que se apoyan en el solapamiento de los efectos, puesto que no son perfectamente controlables.

Para obtener la mejora de las características mecánicas e hidráulicas de todo el volumen tratado de suelo, los procedimientos que utilizan la evaluación indirecta de la efectividad observando el movimiento de la estructura que se superpone al punto tratado o de la superficie del suelo obligan a los diseñadores a seguir criterios de distribución no óptima de las inyecciones, con el incremento consiguiente del coste y el tiempo para llevar a cabo la obra.

Además, incluso después de llevar a cabo un número superabundante de inyecciones con respecto al número teóricamente necesario, e incluso después de inyectar una cantidad de mezcla de cemento y/o mezcla que produce una elevación, posiblemente considerable, de la estructura construida superpuesta, no es cierto que la mejora de las características mecánicas y/o hidráulicas del suelo será homogénea como se describe anteriormente.

De hecho, el levantamiento podría determinarse por un incremento temporal en la presión del agua contenida en los intersticios del suelo o podría determinarse en áreas alejadas del punto de inyección, por la rigidez de la

estructura y puede no ser, por tanto, un buen indicador de la efectividad de las inyecciones.

Además, la detección del levantamiento durante la etapa de inyección se hace exactamente, en general, con un nivel láser que mide el desplazamiento vertical de un punto de la estructura. Dicho punto puede estar por encima o por debajo de una grieta, dando como resultado una señal que a veces es engañosa.

El volumen de influencia de la inyección de mezcla de cemento y/o sintética depende estrictamente, además del tipo de mezcla, que puede ser o puede no ser expansivo, de la cantidad de mezcla dispensada, de las características físicas y mecánicas del suelo y de los parámetros de inyección tales como la presión y la temperatura.

Se conocen otros procedimientos de consolidación del suelo, aunque difieren de los descritos en la presente memoria; utilizan sistemas de control de las inyecciones de sustancias químicas en el suelo por medio de prospecciones geoelectricas. Un ejemplo de esto es el procedimiento descrito en la patente europea EP1914350 que implica el uso de tomografía 3D de la resistividad eléctrica del suelo en forma comparativa, es decir, realizada tanto en el suelo que no se ve afectado por fenómenos de subsidencia como en partes hundidas. En este caso, la finalidad de la medición tomográfica eléctrica en el suelo natural que no se ha hundido tiene la finalidad de definir los valores de resistividad eléctrica para tomar una referencia para la operación de consolidar el suelo, mientras que la tomografía llevada a cabo en el suelo afectado por subsidencia tiene la finalidad en primer lugar de definir un valor de inicio y, seguidamente, de comprobar la evolución de los valores de resistividad durante las inyecciones, que necesitarán decantarse por los valores medidos en el área que no se ha hundido.

Sin embargo, dicho sistema presenta claras limitaciones que pueden resumirse brevemente en los siguientes puntos. El área sobre la que se decide monitorizar la resistividad eléctrica de referencia, supuestamente, es un área no afectada por subsidencia, puede presentar en realidad problemas de pobre capacidad de soporte de carga y, por tanto, puede llevar al operario a establecer valores de resistividad eléctrica diana que sean incorrectos. En efecto, puede haber partes del edificio que no se vean afectadas por la inestabilidad, que en realidad estén sobre áreas del suelo que no tienen suficiente capacidad de soporte de carga, pero que permanezcan enterizas debido a que son muy fuertes y rígidas.

Puede darse también el caso cuando todo el edificio se ve afectado uniformemente por la inestabilidad y, por tanto, no es posible definir el valor de resistividad eléctrica de referencia.

De la misma manera, es imposible comparar los valores de resistividad eléctrica si la parte del edificio que se ha hundido está sobre el suelo de una naturaleza diferente al de la parte que no se ha hundido, o donde la geometría de los cimientos es evidentemente diferente entre las diversas partes.

Además, hay un tipo frecuente de caso en el que la subsidencia está vinculada a fenómenos de secado de suelo arcilloso. En este caso, la tomografía de referencia, es decir, la tomografía llevada a cabo en el área que no se ha hundido, desde el comienzo tendrá valores menores de resistividad que los de la parte hundida. Por tanto, cualquier operación de inyección llevada a cabo en el área hundida que mejore la resistividad del suelo no puede hacer que los valores medidos se inclinen hacia los valores de referencia.

Sin embargo, en todos los casos examinados, los valores de resistividad eléctrica medidos no hacen posible evaluar la eficacia de la operación debido a que se limitan a describir un parámetro asociado con las propiedades eléctricas del suelo que es muy diferente de los parámetros mecánicos utilizados para evaluar el estado de consolidación.

El procedimiento descrito adicionalmente no utiliza un sistema para controlar desplazamientos del edificio y, por tanto, no asegura la seguridad requerida durante la etapa de inyección. De hecho, puede suceder que el tratamiento del suelo por medio de inyección, destinado solo a modificar la resistividad eléctrica, pueda producir desplazamientos de la estructura construida superpuesta que sean tales que induzcan distorsiones angulares en la estructura que sean mayores que las tolerancias permitidas.

Se definen distorsiones angulares como la relación entre el desplazamiento vertical diferencial entre dos puntos de la misma estructura construida (subsidencia diferencial o levantamiento diferencial) y su distancia mínima.

El experto en la materia es siempre capaz de determinar las tolerancias admisibles con la ayuda, por ejemplo, de algunas tablas que contienen los valores admisibles y límite para las distorsiones angulares en función del tipo de edificio. A modo de ejemplo no exhaustivo, a continuación, están los valores más significativos:

Valores límite para distorsiones angulares según Bjerrum (1963)

Categoría de daño potencial	tanβ
Límite más allá del cual pueden surgir problemas en maquinaria sensible a subsidencias	1/750
Límite peligroso para estructuras de almacén de espacio	1/600

Categoría de daño potencial	$\tan\beta$
Límite de seguridad para edificios en los que no se admite ningún agrietamiento	1/500
Límite más allá del cual pueden aparecer las primeras grietas en paredes divisorias y dificultad en el uso de grúas puente	1/300
Límite más allá del cual pueden ser visibles inclinaciones en edificios altos	1/250
Grietas considerables en paredes divisorias y en paredes de ladrillo de soporte	1/150
Límite de seguridad para paredes de ladrillo de soporte con $h/L < 1/4$	1/150
Límite más allá del cual deben esperarse daños estructurales en los edificios	31/12/49

Distorsiones angulares admisibles según Sowers (1962)

Tipo de estructura	$\tan\beta$
Paredes de soporte de carga de varias plantas	$0.0005 \div 0.001$
Paredes de soporte de carga de una planta	$0.001 \div 0.02$
Grietas de yeso	0.001
Armazones de hormigón armado	$0.0025 \div 0.004$
Paredes de estructuras de armazón de hormigón armado	0.003
Armazones de acero	0.002
Armazones de acero simples	0.005

- 5 Los valores de distorsión angular admisibles para la estructura construida sometida a estudio se definen en la etapa de diseño.

La aplicación de un procedimiento de consolidación del suelo que no hace uso de un sistema de monitorización de las estructuras construidas que se superponen a los volúmenes tratados de suelo es, por tanto, excesivamente arriesgada y ciertamente carente de control.

10

Otro procedimiento convencional que utiliza tomografía 3D de resistividad eléctrica en consolidación del suelo es el procedimiento descrito en el documento EP2543769 que conlleva la consolidación del suelo y el uso secuencial simultáneo de la tomografía eléctrica. La finalidad de la prospección geofísica en este caso es cuantificar el valor de la resistividad eléctrica a fin de proveer al operario de indicaciones sobre el criterio para interrumpir la inyección. De hecho, el procedimiento indica como criterio para detener la inyección el movimiento cuando, entre dos inyecciones sucesivas, la variación en la resistividad eléctrica adquirida por tomografía es inferior al 5%.

15

En este caso, también el procedimiento presenta limitaciones. Considérese, por ejemplo, el caso en que el suelo se ha hundido debido al secado y está, por tanto, en condiciones de humedad muy baja. El valor de la resistividad medido en la etapa inicial, como se menciona, es muy alto y, por tanto, puede suceder que el valor posterior medido después de la primera inyección solo se habrá incrementado en un porcentaje de menos del 5% con respecto al valor inicial medido. En este caso, el procedimiento requiere detener la inyección, aunque no se haya conseguido la suficiente consolidación del suelo.

20

Adicionalmente, también en este caso, hay que observar que la ausencia de monitorización del edificio que no proporciona garantías de seguridad adecuadas durante la etapa de inyección contra el desarrollo de distorsiones angulares admisibles en la estructura.

25

La monitorización de la variación de resistividad en un volumen de suelo conlleva cambios que son diferentes de punto a punto. De hecho, hay puntos en los que se marca la variación y otros en las que tiene poco sentido. El procedimiento descrito no especifica cuáles son los volúmenes que hay que considerar al aplicar el criterio de eficacia o si el valor de referencia es el promedio.

30

Asimismo, en este caso, se mantiene el hecho de que el procedimiento se basa exclusivamente en una evaluación vinculada a las propiedades eléctricas del suelo que representan una medición indirecta e imprecisa de las características mecánicas del suelo.

35

Finalmente, aunque los procedimientos de consolidación del suelo que utilizan solo el sistema de medición de la resistividad eléctrica, por un lado, hacen posible identificar por lo menos aproximadamente el volumen del suelo que se ve afectado por los efectos de las inyecciones, por otro lado, no pueden evaluar la intensidad de las mismas, lo que es necesario para asegurar la mejora de las características mecánicas.

40

De hecho, puede suceder que incluso definiendo una distribución espacial de las inyecciones que hace posible obtener una variación significativa en la resistividad eléctrica del volumen tratado, con los procedimientos de consolidación descritos, no es posible definir la cantidad correcta de mezcla de cemento y/o sintética que debe utilizarse para las inyecciones individuales a fin de obtener la consolidación deseada e impedir distorsiones angulares excesivas en las estructuras construidas sobre la superficie.

45

La finalidad de la presente invención es resolver los problemas anteriormente mencionados proporcionando un procedimiento que sea capaz de identificar la mejor posición posible de los puntos de inyección y definir la cantidad óptima de mezclas de cemento y/o sintéticas en las operaciones de inyección destinadas a mejorar las características hidráulicas o mecánicas de los suelos.

Dentro de esta finalidad, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento que integre los sistemas de monitorización del edificio por medio de un sistema para controlar el suelo con prospecciones geoelectricas tales como, por ejemplo, tomografía eléctrica 2D o 3D.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento que sea de bajo coste y simple y rápido de llevar a cabo.

Esta finalidad y estos y otros objetivos que se pondrán más de manifiesto a continuación en la presente memoria son alcanzados por un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

Otras características y ventajas de la presente invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción de algunas formas de realización preferidas del procedimiento según la invención de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención se refiere a un procedimiento para optimizar procesos para incrementar la capacidad de soporte de carga de suelos de cimentación que comprende:

- una primera etapa de detección de por lo menos una parte de una estructura construida y/o de suelo;
- una etapa de identificación de por lo menos una región que debe tratarse del suelo de cimentación que está por debajo de por lo menos una parte de la por lo menos una parte de la estructura construida y/o del suelo;
- una etapa de inyección, en por lo menos un punto de inyección situado sustancialmente dentro de dicha por lo menos una región que debe tratarse, de una mezcla de cemento y/o sintética;
- por lo menos una segunda etapa de detección de por lo menos una parte de la estructura construida y/o del suelo que se encuentra por encima del suelo de cimentación inyectado;
- una etapa de interrupción de la etapa de inyección tras la detección de un movimiento de levantamiento de por lo menos una parte de la estructura construida y/o del suelo que se encuentra por encima del suelo de cimentación;
- una etapa de medición de por lo menos un parámetro físico que es susceptible de variación como consecuencia de la etapa de inyección sustancialmente en el volumen del suelo afectado por la etapa de inyección;
- una etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección sucesivos en función de los valores y de la distribución espacial de dicho por lo menos un parámetro físico medido en la etapa de medición.

En particular, dicho procedimiento está adaptado para identificar la mejor posición posible de los puntos de inyección y para definir la cantidad óptima de mezclas de cemento y/o sintéticas que debe inyectarse en tales puntos en las operaciones de inyección destinadas a mejorar las características hidráulicas o mecánicas del suelo.

Según la invención, este parámetro físico es la resistividad eléctrica.

Por tanto, la etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección se determina considerando que el volumen del suelo mejorado con la inyección corresponde al volumen del suelo en el que se observan unos valores de resistividad eléctrica por lo menos un 5% mayores que los medidos en la proximidad de ese mismo volumen de suelo.

Preferentemente, la variación del parámetro físico anteriormente mencionado se mide antes y después de la etapa de inyección.

La etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección se determina considerando que el volumen de suelo mejorado con la etapa de inyección corresponde al volumen de suelo, en el que se observan unos valores de resistividad eléctrica por lo menos un 5% mayores que los presentes en se mismo volumen de suelo antes de la etapa de inyección.

Es posible que la etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección se determine

considerando que el volumen de suelo mejorado con la inyección corresponde al volumen de suelo en el que se observan valores de resistividad eléctrica que son mayores que un valor predefinido.

5 El procedimiento comprende opcionalmente una etapa de almacenamiento de la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que se inyecta en la primera etapa de inyección: en particular, la cantidad de mezcla inyectada corresponde a la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que es necesaria para producir, en la etapa de inyección, un desplazamiento de la estructura construida y/o del suelo superpuesto de por lo menos 0.1 mm.

10 A este respecto, la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que debe inyectarse en los puntos de inyección identificados en la etapa de identificación corresponde sustancialmente a la cantidad inyectada en la etapa de inyección antes de la etapa de detención de la inyección.

15 Preferentemente, el escaneado de la estructura construida se lleva a cabo utilizando por lo menos un dispositivo de escaneado por láser monodimensional, bidimensional o tridimensional o con sistemas de radar.

Ventajosamente, las reconstrucciones realizadas por medio de dispositivos de escaneado por láser o por medio de sistemas de radar son digitales.

20 Dicho dispositivo de escaneado puede comprender un detector de escáner láser 3D o un sistema de radar tal como ARAMIS (*Advanced Radar for Microwave Interferometric Surveys*) que debe posicionarse en la proximidad de la estructura construida, en un punto que permite el escaneado de la fachada completa o de una parte de la misma (o de una parte de suelo) por debajo de la cual se llevará a cabo la inyección del suelo o con mezclas a presión o resinas expansivas.

25 Una vez que se posiciona el sistema de escáner láser 3D o ARAMIS, se llevan a cabo uno o varios escaneados de la fachada (o del suelo) para grabar el estado de consistencia de la estructura construida antes de que se inicien las inyecciones.

30 No hay ninguna razón por la que la primera etapa de escaneado y/o las segundas etapas de escaneado no puedan llevarse a cabo por otros tipos de dispositivos de escaneado tales como, por ejemplo, un nivel láser.

Es posible también que la primera y/o segunda etapa de escaneado se lleven a cabo por un dispositivo emisor/receptor de ondas electromagnéticas y/o de ondas sonoras o por dispositivos similares.

35 El procedimiento continúa ejecutando un orificio o una pluralidad de orificios, verticales o inclinados con respecto a la vertical, en el suelo o incluso a través de los cimientos de la estructura construida, de un diámetro que puede variar de 6 mm a 200 mm. La geometría inicial con la que el orificio o los orificios se distribuyen por debajo de la estructura construida se determina por un modelo informático o, en casos más simples, por la experiencia. Usualmente, la profundidad de estos orificios es una función de las características del suelo de cimentación y está comprendida usualmente entre la profundidad correspondiente al intradós del cimiento y 15-20 metros desde ese intradós y su distancia central está comprendida usualmente entre 0.50 y 3.0 m.

40 Seguidamente, las tuberías se alojan en el orificio u orificios y las mezclas y/o las resinas sintéticas se inyectan en el suelo a través de estas tuberías.

45 Las mezclas de cemento y/o sintéticas se inyectan en el suelo a través de sistemas de bombeo a presión que fuerzan la entrada de las mezclas en los espacios intergranulares o, en suelos con textura más fina, producen fracturado hidráulico, es decir, la rotura local del suelo y la formación de rejillas de mezcla que, una vez endurecidas, mejoran las características mecánicas de la masa. Los sistemas de bombeo para las mezclas de cemento y/o sintéticas dispensan caudales del orden de 5-30 litros por minuto y desarrollan usualmente presiones comprendidas entre 10 y 30 bar. Estas presiones son capaces de forzar la entrada de la mezcla de cemento y/o sintética en los espacios intergranulares de terrenos arenosos y de grava y de permitir que la mezcla de cemento y/o sintética accedan a suelos limosos o arcillosos a través de roturas locales denominadas fracturas hidráulicas.

50 Las mezclas de cemento y/o sintéticas pueden inyectarse además en el suelo a través de sistemas de bombeo a presión alta o muy alta (de entre 200 y 400 bar) que deshacen el suelo existente y permiten remezclar la matriz con la mezcla. Este último sistema se denomina lechada por chorro.

55 El cemento expansivo y/o las mezclas sintéticas se inyectan en el suelo a través de sistemas de bombeo a baja presión. La entrada del cemento expansivo y/o las mezclas sintéticas en los espacios intergranulares de suelos más gruesos o la fracturación hidráulica de suelos de textura más fina tiene lugar en virtud de la presión que desarrolla durante la etapa de expansión que, usualmente, ocurre por reacción química, alcanzando valores comprendidos entre 0.5 bar y 150 bar. En suelos de textura más fina, el procedimiento de fracturación hidráulica se produce por la misma presión de expansión de la mezcla de cemento y/o sintética. El endurecimiento posterior de la mezcla extendida a través del suelo produce la mejora de las características geotécnicas.

La difusión de las mezclas de cemento y/o sintéticas en los suelos, sean expansivas o no expansivas, produce la compactación del suelo que rodea los puntos de inyección con el consiguiente desplazamiento de la matriz, la reducción de espacios intergranulares y la expulsión de agua. La dimensión de la parte del suelo afectada por la compactación depende principalmente de la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética dispensada, así como de las características del suelo. Durante el proceso de inyección, a medida que se prosigue con la dispensación de la mezcla de cemento y/o sintética a un punto en el suelo, el volumen circundante afectado por la compactación aumenta gradualmente de forma radial comenzando por el punto de inyección hasta que se generan desplazamientos verticales de la superficie del suelo y de cualquier estructura construida que se superponga a esta que pueden detectarse con el sistema de monitorización. El movimiento vertical de la estructura construida o de la superficie del suelo que sigue a la inyección indica que la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética dispensada hasta ese momento es suficiente para producir una consolidación adecuada del suelo para las cargas en juego.

Sin embargo, dentro de los posibles modos de difusión de las mezclas de cemento y/o sintéticas, ya estén vinculados a la presión de un sistema de bombeo o a la expansión por reacción química, se sabe que la trayectoria y la ubicación siguen criterios que, en el momento, no pueden determinarse. Por tanto, puede suceder que las mezclas de cemento y/o sintéticas inyectadas, aunque producen una elevación de la estructura construida o del suelo superpuesto, no ocupan los volúmenes de diseño pretendidos, pero migran a áreas en las que su acción puede no ser necesaria o incluso en las que su presencia podría agravar la situación o provocar efectos no deseados.

Puede suceder también que la rigidez de las estructuras construidas sobre la superficie produzca desplazamientos verticales de partes que se superponen a volúmenes de suelo que no están adecuadamente compactados. Para vigilar la efectividad del procedimiento de consolidación del suelo por medio de inyección de mezclas de cemento y/o sintéticas, el sistema de monitorización de construcción está integrado, por tanto, necesariamente con la tomografía eléctrica en 2D o 3D que vuelve casi en tiempo real a la trayectoria de las mezclas de cemento y/o sintéticas en el suelo detectando la variación de la resistividad eléctrica.

La finalidad de una prospección geoelectrica es reconstruir indirectamente las propiedades eléctricas de un medio dado y, en particular, de la resistividad eléctrica, lo contrario de la conductividad eléctrica. La resistividad eléctrica es una característica intrínseca de un material que influye directamente en el flujo de corriente, que fluye con mayor facilidad en regiones del material que se caracterizan por baja resistividad y viceversa.

Se dice que un material caracterizado por altos valores de resistividad (baja conductividad) es resistivo y, como consecuencia, se dice que un material con baja resistividad (alta conductividad) es conductor.

El procedimiento geoelectrico es, por naturaleza, indirecto e implica, en general, generar un campo potencial eléctrico creado por la inyección de corriente a través de dos electrodos metálicos dirigidos hacia el material que se debe investigar. Estos dos electrodos se denominan dipolos de corriente.

Midiendo la diferencia de potencial eléctrico (voltaje) a través de un par de electrodos (denominados dipolo de potencial), es posible relacionar el voltaje medido con la corriente introducida. Dicha relación se denomina resistencia que se convierte en resistividad evidente por medio de un factor geométrico que tiene en cuenta la disposición recíproca de los electrodos.

La distancia entre los electrodos y la configuración utilizada influyen en la profundidad y la resolución espacial de investigación.

La resistividad evidente es un valor medio del volumen del suelo afectado por la medición y, por tanto, puede desviarse del valor real si están presentes heterogeneidades.

Para superar este problema, se lleva a cabo una operación denominada tomografía eléctrica, que implica la adquisición de un conjunto de datos de resistividad evidente que cubre la región afectada de una manera espacialmente uniforme.

Los datos adquiridos se procesan en virtud de software de inversión específico, que hace posible encontrar la distribución de la resistividad que se aproxima mejor a los datos experimentales en un modelo de elementos finitos por debajo de los electrodos de medición. La estimación se hace por medio de un proceso iterativo de minimización (mínimos cuadrados o mínimos valores absolutos).

La investigación de tomografía se dirige posicionando en el suelo, próxima al volumen que debe investigarse, comenzando por la superficie, una pluralidad de electrodos comprendida entre 8 y 72 según expansiones regulares con una distancia central comprendida entre 0.3 m y 1.5 m.

El conjunto de datos se adquiere usualmente al final de las operaciones de inyección. Las diferencias de resistividad evidente/invertida entre el volumen tratado de suelo y el suelo circundante no tratado por inyecciones

representan el volumen del suelo dentro del cual la mezcla de cemento y/o sintética se han difundido a lo largo del transcurso de la etapa de inyección precedente.

5 Algunas veces, puede ser necesario adquirir conjuntos de datos en dos etapas que se refieren a la condición de inicio (etapa 0) en la situación de preinyección y, tras la conclusión de la actividad del lugar de la obra, la condición de posinyección (etapa 1).

10 En este caso, la adquisición anterior (etapa 0) se refiere a la etapa de preinyección, y representa mejor las características geoelectricas del lugar, mientras que la etapa 1 describe el estado final de la operación, después de completar las inyecciones debajo de los cimientos afectados.

15 En este caso, el volumen de suelo dentro del cual se ha difundido la mezcla a lo largo del recorrido del proceso de inyección puede identificarse analizando las diferencias en la resistividad evidente/invertida entre las configuraciones de la etapa 1 con respecto a la etapa 0.

Entre los instrumentos utilizados para la adquisición están los medidores de georresistividad de corriente alterna de frecuencia modulable P.A.S.I. Polares y el medidor de georresistividad de corriente continua de frecuencia modulable Electra producido por Micromed.

20 Los datos adquiridos se procesan a continuación según un procedimiento que conlleva la inversión 2D o 3D del conjunto de datos referido a cada etapa analizado por medio de software dedicado y cálculo de las diferencias de las condiciones presentes fuera del volumen tratado o en la etapa 0.

25 A partir de las reconstrucciones en 2D o 3D del volumen de resistividad que está debajo de la estructura construida o la superficie de suelo, es posible identificar las zonas influidas por la inyección.

30 Después de la inyección de las mezclas de cemento y/o sintéticas en el suelo y después de la detección consiguiente del desplazamiento de la estructura construida o de la superficie del suelo que se superpone al volumen tratado y al final de las lecturas de tomografía eléctrica del suelo mejorado, llega la etapa de reexaminación del procedimiento.

35 La etapa de reexaminación conlleva el análisis de la cantidad de cemento y/o mezcla de resina sintética dispensados en los puntos de inyección individuales a fin de obtener el desplazamiento vertical de la estructura construida o de la superficie del suelo que se superpone a la inyección y la evaluación de los volúmenes de difusión del cemento y/o de la mezcla de resina sintética en los diversos puntos inyectados.

40 Si la etapa de reexaminación confirma que se ha conseguido la consolidación para todos los puntos del volumen que subyace a la parte de estructura construida o de la superficie de suelo que debe tratarse, entonces el técnico de diseño evalúa, sobre la base de las lecturas obtenidas, la conveniencia de incrementar la distancia entre los puntos de inyección mientras se mantiene inalterada la cantidad de cemento y/o mezcla de resina sintética por una sola inyección. De manera diferente, el técnico analiza la posibilidad de incrementar el número de inyecciones, global o localmente, y/o de incrementar la cantidad de cemento y/o mezcla de resina sintética por punto individual.

45 La etapa de inyección corresponde a una inyección en un único punto de inyección de mezclas de cemento y/o sintéticas.

En cualquier caso, es posible que la etapa de inyección corresponda a múltiples inyecciones, que pueden ser simultáneas o no, de mezclas de cemento y/o mezclas sintéticas distribuidas en un volumen de suelo.

50 La etapa de medición de la resistividad eléctrica del suelo después de la etapa de inyección se lleva a cabo en un entorno esférico del punto de inyección con un radio de más de un metro.

55 La distribución espacial óptima de las inyecciones corresponde a una rejilla bidimensional o tridimensional que presenta una distancia entre los puntos de inyección que es igual o menor que dos veces la distancia mínima entre el punto de inyección y la superficie externa del volumen de suelo que se mejora.

60 La distribución espacial de los puntos de inyección es prefijada en la fase de diseño: la etapa de identificación de la distribución espacial óptima es apta para determinar la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que debe inyectarse en cada punto y/o para incrementar o reducir los puntos de inyección, creando nuevos o dejando algunos sin utilizar.

65 En la práctica se ha encontrado que el procedimiento según la invención consigue completamente la finalidad de identificar la mejor posición posible de los puntos de inyección y definir la cantidad óptima de mezclas de cemento y/o sintéticas en las operaciones de inyección destinadas a mejorar las características hidráulicas o mecánicas de los suelos a bajo coste, de manera simple, rápida, efectiva y definitiva, integrando los sistemas para vigilar la estructura construida con sistemas para vigilar la resistividad eléctrica del suelo.

La integración entre el sistema para vigilar la estructura construida que constituye un criterio necesario para la efectividad de la operación y el control por medio de tomografía eléctrica en 2D o 3D hace posible obtener la seguridad de un tratamiento completo y homogéneo del volumen de suelo que subyace a la estructura construida.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para optimizar procesos para incrementar la capacidad de soporte de carga de suelos de cimentación, comprendiendo el procedimiento:

- una primera etapa de detección de por lo menos una parte de una estructura construida y/o de suelo;
- una etapa de identificación de por lo menos una región que debe tratarse del suelo de cimentación que está por debajo de por lo menos una parte de dicha por lo menos una parte de la estructura construida y/o de suelo;
- una etapa de inyección en por lo menos un punto de inyección situado sustancialmente dentro de dicha por lo menos una región que debe tratarse, de una mezcla de cemento y/o sintética;
- por lo menos una segunda etapa de detección de por lo menos una parte de la estructura construida y/o del suelo que se encuentra por encima del suelo de cimentación inyectado;
- una etapa de interrupción de dicha etapa de inyección tras la detección de un movimiento de levantamiento de por lo menos una parte de la estructura construida y/o del suelo que se encuentra por encima de dicho suelo de cimentación;
- una etapa de medición de por lo menos un parámetro físico que es susceptible de variación como consecuencia de dicha etapa de inyección sustancialmente en el volumen de suelo afectado por dicha etapa de inyección;
- una etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección sucesivos en función de los valores y de la distribución espacial de dicho por lo menos un parámetro físico medido en dicha etapa de medición;

caracterizado por que dicho por lo menos un parámetro físico es la resistividad eléctrica, siendo dicha etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección determinada considerando que el volumen de suelo mejorado con la inyección corresponde al volumen de suelo en el que se observan unos valores de resistividad eléctrica por lo menos un 5% mayores que los medidos en la proximidad de ese mismo volumen de suelo, y midiéndose la variación de dicho parámetro físico antes y después de dicha etapa de inyección y por que dicha etapa de identificación de la distribución espacial óptima de los puntos de inyección se determina considerando que el volumen de suelo que se mejora con dicha etapa de inyección corresponde al volumen de suelo en el que se observan unos valores de resistividad eléctrica por lo menos un 5% mayores que los presentes en ese mismo volumen de suelo antes de dicha etapa de inyección.

2. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una etapa de almacenamiento de la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que se inyecta en dicha primera etapa de inyección, correspondiendo dicha cantidad de mezcla inyectada a la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que es necesaria para producir, en dicha etapa de inyección, un desplazamiento de dicha estructura construida y/o del suelo superpuesto que es por lo menos igual a 0.1 mm.

3. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que debe inyectarse en los puntos de inyección identificados en dicha etapa de identificación corresponde sustancialmente a la cantidad inyectada en dicha etapa de inyección antes de dicha etapa de interrupción de la inyección.

4. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicha primera y/o segunda etapa de detección se lleva a cabo con sistemas de láser monodimensional, bidimensional o tridimensional.

5. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicha primera y/o segunda etapa de detección se lleva a cabo con sistemas de radar.

6. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la etapa de inyección corresponde a una inyección en un único punto de inyección de mezclas de cemento y/o sintéticas.

7. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la etapa de inyección corresponde a múltiples inyecciones, que pueden ser simultáneas o no, de mezclas de cemento y/o sintéticas distribuidas en un volumen de suelo.

8. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicha etapa de medición de la resistividad eléctrica del suelo después de dicha etapa de inyección se lleva a cabo en un entorno

esférico del punto de inyección con un radio de más de un metro.

- 5 9. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la distribución espacial óptima de las inyecciones corresponde a una rejilla bidimensional o tridimensional que presenta una distancia entre los puntos de inyección que es igual o menor que dos veces la distancia mínima entre el punto de inyección y la superficie externa del volumen de suelo que se mejora.

- 10 10. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la distribución espacial de los puntos de inyección es prefijada en la fase de diseño, siendo dicha etapa de identificación de la distribución espacial óptima apta para determinar la cantidad de mezcla de cemento y/o sintética que debe inyectarse en cada punto y/o para incrementar o reducir los puntos de inyección, creando puntos nuevos o dejando algunos sin utilizar.