

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 863**

51 Int. Cl.:

E02D 3/12 (2006.01)

E02D 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2015** **PCT/EP2015/000669**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015** **WO15149924**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2015** **E 15720257 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018** **EP 3134581**

54 Título: **Procedimiento y agente de estabilización del suelo**

30 Prioridad:

05.04.2014 DE 102014004936

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

28.09.2018

73 Titular/es:

MIKKELSEN, TERJE (100.0%)

Dybwadsgate 3

0367 Oslo, NO

72 Inventor/es:

MIKKELSEN, TERJE

74 Agente/Representante:

ÁLVAREZ LÓPEZ, Sonia

ES 2 683 863 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 y agente de estabilización del suelo

5 El objeto de la invención consiste en una tecnología de sistema, compuesta por las instrucciones del procedimiento y un componente activo utilizado para la estabilización, en lo posterior denominado "agente de estabilización del suelo", para la utilización de suelos minerales de grano fino y de grano mixto, con riesgo frente a heladas, no adecuados para fines de construcción, y para su transformación en capas resistente, duraderas, más seguras frente a heladas, con mayor capacidad de carga, de cimentación, de soporte, de balasto y de relleno, en el sector de la
10 construcción.

En la solicitud DE 26 33 749 A1 se describe un agente de estabilización del suelo para la estabilización del suelo en base a ésteres de resina epoxi. Como plastificante se indica éster alquilsulfónico. Después de la adición del agente de estabilización del suelo debe tener lugar una compactación y en particular un endurecimiento del suelo tratado
15 con el éster de resina epoxi, para obtener una capa de suelo con capacidad de carga, estabilizada.

En la solicitud DE 44 28 269 A1 se describe un agente de estabilización del suelo para la estabilización de tierra en base a ésteres de polivinilo. En dicho documento se describen plastificantes a base de ácidos alquilsulfónicos.

20 En la solicitud DE 195 09 085 A1 se describe una composición de plastisol. Se utilizan plastificantes a base de ésteres del ácido alquilsulfónico, y se expone que con una composición de plastisol de esa clase pueden efectuarse revestimientos de tipo general.

En la solicitud WO 1996/28505 A1 se describe la utilización de ácido alquilsulfónico y sus ésteres como plastificantes para agentes de estabilización de revestimiento.
25

No obstante, los agentes de estabilización del suelo mencionados, para la estabilización del suelo, presentan la desventaja de que hasta el momento no ha podido comprobarse una mejora duradera indestructible de las propiedades del suelo, de suelos cohesivos de grano fino y de grano mixto, con riesgo frente a heladas.
30

En la solicitud DE 10 2004 031 039 A1 se describe un procedimiento para la estabilización del suelo, en donde, sobre el suelo que debe estabilizarse, se aplican varios aditivos en forma de polielectrolitos, preferentemente polímeros o copolímeros a base de acrilamida, y de un ligante hidráulico o una emulsión de betún, y se mezclan con el suelo. Después de esto tiene lugar una compactación mecánica del suelo.
35

El objeto de la invención consiste en mejorar una tecnología de sistema para la estabilización del suelo, compuesta por las instrucciones del procedimiento y un agente de estabilización del suelo, en cuanto al desarrollo del procedimiento y a los costes, para alcanzar una mejora permanente no destructible de las propiedades del suelo, de suelos cohesivos de grano fino y de grano mixto, con riesgo frente a heladas.
40

Para solucionar el objeto planteado, se sugiere un agente de estabilización del suelo según la exposición técnica de la reivindicación independiente 7. El procedimiento para la aplicación del agente de estabilización del suelo es objeto de la reivindicación independiente 1.

45 Un área de aplicación preferente de la invención es la realización del procedimiento y la aplicación del agente de estabilización del suelo como capas de cimentación, de soporte, de balasto y de relleno con capacidad de carga elevada, seguras frente a heladas, en la construcción en altura, en la construcción de carreteras y caminos, y en la explanación y en la ingeniería civil.

50 La aplicación es válida en general para construcciones nuevas y también para saneamientos.

Un caso de aplicación de la invención especialmente preferente no se refiere solo a la construcción de carreteras y caminos, sino también a la construcción en altura. En la construcción en altura se utilizan capas de cimentación que se utilizan como rellenos de cimentación para placas base de edificios. Cuando en un plano de cimentación de un edificio no se encuentra presente ninguna capa con capacidad de carga, el agente estabilizante según la invención se utiliza también para la estabilización del subsuelo.
55

A través de la preparación especial de las capas de cimentación, de soporte, de balasto y de relleno según la invención con el agente de estabilización del suelo según la invención, se presenta la ventaja adicional de que se impide que suba humedad desde el subsuelo y que la humedad penetre de forma lateral. Las capas de agua de
60

infiltración se mantienen alejadas de forma fiable.

De este modo pueden producirse también capas de relleno estable en la construcción en altura, las cuales se utilizan por ejemplo para el llenado de zanjas excavadas.

5

Las capas de relleno estabilizadas de esa clase se utilizan también en la construcción de tuberías para cubrir las tuberías colocadas en el suelo.

De este modo se presenta la ventaja de que el suelo que se encuentra presente, quitado de la zanja o de los fosos para tuberías, no debe quitarse sin una sustitución, sino que puede ser incorporado nuevamente mediante un tratamiento posterior con el agente de estabilización del suelo según la invención.

Pueden también sanearse también construcciones existentes excavando por secciones el suelo incorporado previamente en el área de la zanja y, una vez terminado el tratamiento, incorporarse nuevamente con el agente de estabilización del suelo según la invención.

Otro caso de aplicación importante de la presente invención se encuentra en el tratamiento de canales, en los cuales los fondos o los taludes se encuentran en riesgo por la erosión. También en este caso los fondos o los taludes de canales pueden asegurarse contra la erosión y estanqueizarse a través del tratamiento con el agente de estabilización del suelo según la invención.

El agente de estabilización del suelo según la invención es adecuado inclusive para la producción de bloques de piedra o de otros cuerpos de construcción en el modo de construcción modular. De este modo, según un perfeccionamiento de la invención se sugiere que un suelo tratado con el agente de estabilización sea comprimido en moldes y que a continuación los bloques de piedra, cuerpos de construcción u otros elementos de construcción modulares se utilicen posteriormente para obras en la construcción en altura o en la ingeniería civil. Esos elementos son entonces especialmente impermeables, muy resistentes e impiden la penetración de la humedad.

La utilización del agente de estabilización del suelo según la invención es adecuada también para la construcción de diques o el saneamiento de diques. Pueden protegerse de la penetración de agua a presión tanto la totalidad del cuerpo de construcción de un dique, como también solo partes de un dique afectadas por el agua (por ejemplo también revestimientos impermeables).

Una característica esencial del agente de estabilización del suelo es que se logra una reducción duradera de las fuerza de absorción de agua de los componentes finos de esos suelos a través del agente de estabilización del suelo, el cual actúa como intercambiador de iones y catalizador.

El agente de estabilización del suelo utilizado se trata de un líquido claro, fácilmente soluble en agua, cuya composición química es un mezcla de diferentes ácidos sulfónicos + aditivos especiales + agua. La viscosidad es similar a la de un aceite.

Un constituyente principal de los componentes activos del agente de estabilización del suelo es un mezcla de diferentes ácidos sulfónicos que poseen como característica común el grupo funcional -SO₃H, combinado con un componente R orgánico hidrófobo. La representación es: R - SO₃ - H.

45

Los ácidos sulfónicos se disocian en el agua. El agente de estabilización del suelo según la invención actúa en el suelo como intercambiador de iones y catalizador.

El agente de estabilización del suelo provoca que los iones de hidrógeno H⁺ fijados de forma adhesiva a la superficie de las partículas del suelo, (y, con ello el agua fijada a esos iones mediante puentes de hidrógeno), sean expulsados y sean reemplazados por iones de metal (+) que se encuentran presentes en la cubierta de agua, por ejemplo Na⁺; K⁺; Mg⁺⁺; Ca⁺⁺; Al⁺⁺⁺;

De este modo, una gran parte del agua de adhesión fuertemente unida se separa de la superficie de las partículas del suelo, transformándose en agua intersticial libre. Ese agua intersticial libre puede salir del suelo fácilmente mediante secado o puede desplazarse hacia el espacio de los poros entre las partículas del suelo.

El agente de estabilización del suelo según la invención provoca además que los iones de metal (+) fijados a las partículas del suelo ya no puedan fijar más agua de hidratación, en donde los iones residuales de ácido contenidos en el agente de estabilización del suelo se unen a los iones de metal (+). Se trata por tanto de una reducción de la

60

cubierta de agua de adsorción, a través de un mecanismo de intercambio de iones.

Otro efecto tiene lugar a través de una hidrofobación ("impregnación hidrófoba") de las partículas del suelo.

- 5 Los iones residuales de ácido contenidos en el agente de estabilización del suelo y que se fijan en los iones de metal están combinados con una parte orgánica hidrófoba. Los componentes hidrófobos provocan que en el suelo compactado ya no pueda transportarse agua en el espacio de los poros.

- 10 Los iones de hidrógeno H^+ que se liberan durante la disociación en el agente de estabilización del suelo según la invención reaccionan directamente con los iones hidroxilo OH^- que se encuentran presentes en la cubierta de agua, formando iones de hidronio H_3O^+ y en otro paso formando agua H_2O . Con ello se ha eliminado el efecto del ácido y ha tenido lugar una neutralización.

- 15 Las reacciones químicas provocadas en el suelo a través del agente de estabilización del suelo según la invención son irreversibles. La modificación de las propiedades del suelo, de ese modo, es duradera. Las cubiertas de agua de adsorción reducidas a través del efecto de los agentes de estabilización del suelo ya no pueden formarse.

- 20 Debido a la reducción duradera de las cubiertas de agua alrededor de las partículas del suelo, los suelos tratados con el agente de estabilización del suelo pueden comprimirse en el estado de contenido de agua óptimo requerido para la compactación, con el mismo trabajo de compactación, a una densidad de secado más elevada que los suelos no tratados con el agente de estabilización del suelo.

- 25 A través de la ubicación más próxima de las partículas del suelo unas con respecto a otras se intensifican fuerzas de proximidad moleculares existentes entre las partículas del suelo, las cuales conducen a un aumento de la resistencia y, con ello, de la capacidad de carga. Dicho efecto ya no se pierde y se mantiene con ello de forma duradera.

- 30 Los componentes hidrófobos (que repelen el agua) del agente de estabilización del suelo provocan que en un suelo tratado con el agente de estabilización del suelo según las instrucciones del procedimiento y compactado, se impida el aumento capilar de agua y se evite absolutamente la penetración de agua en el cuerpo del suelo compactado.

- En caso de congelarse el suelo no se produce debido a ello el desplazamiento posterior de agua desde abajo hacia la zona de helada; la helada no puede provocar una modificación de la estructura, el suelo está protegido contra heladas.

- 35 La mayor cantidad de las rocas sueltas que se encuentran presentes en la superficie terrestre en muchos países del mundo son suelos minerales de grano fino y grano mixto, los cuales debido a su contenido de materia fina y a la sensibilidad al agua y a las heladas ligada a ello, no son adecuados para fines de construcción y, por eso, para fines de construcción, pero en particular para la construcción convencional de carreteras y caminos, deben cambiarse por mezclas de minerales seguras frente a heladas y no sensibles al agua.

- 40 Esto afecta a los tipos de suelo: arcilla, limo (denominado también como lodo o fango), mezclas minerales de rocas, grava o arena respectivamente con agregados de más del 15 % de limo y/o arcilla: como por ejemplo arena arcillosa, arena limosa, arena arcillosa limosa, mezcla arcillosa de arena y grava, mezcla limosa de arena y grava, mezcla arcillosa - limosa de arena y grava, loam (mezcla de arena fina + limo + arcilla), mezclas de rocas naturales o
45 partidas.

- El agente de estabilización del suelo según la invención puede utilizarse en general en el sector de la construcción, en particular en la construcción de carreteras y caminos, en la terracería y en la cimentación con el fin de estabilizar las rocas sueltas con riesgo frente a heladas, de grano fino y de grano mixto. Esos suelos minerales ya no necesitan retirarse de la obra como hasta el momento y reemplazarse por mezclas minerales seguras frente a heladas (como
50 capa de protección frente a heladas, capa soporte de gravilla, capa soporte de grava). Por el contrario, el suelo natural en la obra es tratado en el lugar con el agente de estabilización del suelo y después de la compactación subsiguiente se transforma en capas de construcción resistentes y duraderas, seguras frente a heladas y con capacidad de carga.

- 55 Clasificación mecánica del suelo, de los suelos adecuados que deben tratarse con el agente de estabilización del suelo:

- 60 Para un éxito óptimo al utilizar el agente de estabilización del suelo, los suelos minerales que deben utilizarse deben poseer las siguientes propiedades mecánicas del suelo $A + B + C + D$, las cuales se determinan en ensayos de

laboratorio mecánicos del suelo. Los suelos que principalmente pueden encontrarse son adecuados para la estabilización con el agente de estabilización del suelo.

Los suelos con valores característicos diferentes pueden tratarse previamente de forma selectiva y estabilizarse después igualmente con el agente de estabilización del suelo.

A) Parte de las partículas finas del suelo, en donde D equiv. $< 0,06 \text{ mm}$: > 15 masa % referido a la masa seca; medición de la parte a través de separación o a través de la determinación de la distribución del tamaño de los granos en el área fina, por ejemplo, a través de análisis de sedimentación en el laboratorio o a través de otros procedimientos usuales para la determinación de la distribución del tamaño de los granos;

En suelos minerales, en los cuales la parte de las partículas finas asciende a menos del 15% masa, pueden mezclarse otros suelos minerales con marcadamente más partes de materias finas, por ejemplo arcilla o loam, los cuales deben eliminarse de otras obras, de modo que la parte de materias finas en la masa total de los suelos mezclados, como resultado, asciende a más del 15 % masa. Como aditivos son adecuados también materiales de reciclaje con una parte elevada de materia fina, por ejemplo cenizas de centrales eléctricas. La ventaja reside en el hecho de que esos materiales no utilizables para otros fines de construcción pueden proporcionarse de forma muy conveniente en cuanto a los costes y, con ello, no deben ser eliminados por otros usuarios como desechos.

B) Plasticidad > 10

La plasticidad en la mecánica del suelo es la diferencia entre el contenido de agua en el límite de fluidez (= liquid limit) y el contenido de agua en el límite plástico (= plastic limit). Si la plasticidad es < 10 pueden mezclarse aditivos adecuados después de la parte A, hasta que se alcance la aptitud.

C) La parte de las impurezas orgánicas (por ejemplo humus) debe ser menor que el 4 % masa, referido a la masa seca.

D) El valor pH del suelo debe ser superior a pH6; si éste es menor que pH 6, el suelo puede adecuarse a través de un tratamiento previo especial.

1. Función de las partículas del suelo

Todas las partículas del suelo están rodeadas por una cubierta de agua. Las partículas gruesas del suelo tienen una superficie específica reducida y por unidad de masa pueden fijar solo una cantidad de agua reducida en la superficie. En la transmisión de fuerzas entre los granos predominan la presión, la fricción y la imbricación. Las partículas finas del suelo poseen una superficie específica grande y por unidad de masa pueden fijar una gran cantidad de agua en la superficie de las partículas. Predomina la cohesión que depende del contenido de agua. Al entrar agua, las cubiertas de agua se agrandan alrededor de las partículas del suelo y presionan las partículas mutuamente, alejándolas unas de otras; debido a ello, se reducen las fuerzas de fijación; la resistencia y la capacidad de carga de los suelos de granos finos se pierden al aumentar el contenido de agua.

En los suelos de granos mixtos con una materia fina de > 15 % masa, las propiedades del suelo se determinan mayormente a través de las propiedades activas superficiales de las materias finas. La parte y la distribución de las masas individuales de las fracciones individuales del tamaño del grano en la masa total de una muestra de suelo, de un suelo mineral, se denomina como distribución del tamaño del grano. Se trata de un medio de trabajo importante para valorar suelos minerales en cuanto a sus propiedades mecánicas del suelo para fines de construcción. La separación de las fracciones de grano, en el caso de suelos estrictamente de granos gruesos tiene lugar a través de análisis granulométrico y en el caso de suelos de grano fino, a través de análisis de sedimentación. La distribución de las fracciones de grano, para suelos de grano mixto que contienen tanto partes de grano grueso, como también partes de grano fino, se determina con una combinación de análisis granulométrico y análisis de sedimentación. La representación gráfica de la distribución del tamaño del grano, de manera preferente, tiene lugar como curva de valores acumulados.

2. Sobre el modo de acción del agua en los suelos de grano fino

El secado provoca una reducción de las cubiertas de agua alrededor de las partículas del suelo, la cual se denomina como "desaparición del suelo", lo cual corresponde a una aproximación de las partículas del suelo. Debido a ello tiene lugar un aumento de las fuerzas de fijación entre las partículas a través de la distancia reducida entre sí y a través del aumento de la tensión de succión del "agua de menisco" en los puntos de contacto de las partículas. A

esto se asocia un aumento de la resistencia y la capacidad de carga de los suelos de granos finos. En el caso de una entrada de agua tiene lugar un aumento de las cubiertas de agua - el así llamado "hinchamiento" del suelo, y con ello un "empuje de separación de una de otra" de las partículas del suelo, mediante las cubiertas de agua. En base a ello tiene lugar una reducción de las fuerzas de fijación entre las partículas a través de la distancia aumentada entre sí y a través de la reducción de la tensión de succión del agua en los puntos de contacto de las partículas. Por ello a continuación se produce una pérdida de la resistencia y de la capacidad de carga de los suelos de grano fino y de grano mixto. Aquí la invención determina que al incorporarse el agente de estabilización del suelo según la invención en el suelo se alcanza una reducción duradera de las cubiertas de agua. Ya no tiene lugar un aumento de esas cubiertas de agua en el caso de una nueva entrada de agua. Debido a ello se garantiza una aproximación recíproca mejorada de las partículas del suelo a través de compactación, a causa de las cubiertas de agua reducidas. Igualmente tiene lugar un aumento de las fuerzas de fijación entre las partículas a través de la distancia reducida entre sí y a través del aumento de la tensión de succión del "agua de menisco" en los puntos de contacto de las partículas. De esto resulta un aumento de la resistencia y la capacidad de carga de los suelos de granos finos. De ello resulta una compresión más densa de las partículas debido a las cubiertas de agua reducida y ya no se produce ninguna modificación de la densidad ni pérdida de resistencia en el caso de una entrada de agua y en el caso de una helada.

3. Sobre el modo de acción del agente de estabilización del suelo en suelos de grano fino como catalizador e intercambiador de iones

El agente de estabilización del suelo no se trata de un ligante como la cal o el cemento. Al utilizarse el agente de estabilización del suelo en el suelo no se forman estructuras cristalinas entre las partículas del suelo. El aumento de resistencia al aplicar el agente de estabilización del suelo resulta de la estrecha aproximación de las partículas del suelo al compactarse el suelo, a través de una reducción considerable e irreversible del tamaño de las cubiertas de agua adsorbidas que rodean las partículas. Existen tres mecanismos diferentes:

3. 1 Reducción de la cubierta de agua de adsorción a través del mecanismo de intercambio 1

El agente de estabilización del suelo provoca que una gran parte de los iones de hidrógeno H^+ fijados en la superficie de las partículas del suelo, (y, con ello el agua fijada a esos iones mediante otros puentes de hidrógeno), sean reemplazados por iones de metal (+) que se encuentran presentes en la cubierta de agua, por ejemplo Na^+ ; K^+ ; Mg^{++} ; Ca^{++} ; Al^{+++} ;

De este modo, una gran parte del agua de adhesión unida de forma fija se separa de la superficie de las partículas del suelo, transformándose en agua intersticial libre. Esa agua intersticial libre puede salir del suelo fácilmente a través de secado o puede distribuirse hacia el espacio de poros entre las partículas del suelo.

3.2 Reducción de la cubierta de agua de adsorción a través del mecanismo de intercambio 2 El agente de estabilización del suelo provoca además que los iones de metal (+) fijados a las partículas del suelo ya no puedan fijar más agua de hidratación, donde en lugar de ello los iones residuales de ácido (grupo sulfato) contenidos en el agente de estabilización del suelo se unen a los iones de metal (+).

3.3 Hidrofobación ("impregnación hidrófoba") Los iones residuales de ácido (grupo sulfato) contenidos en el agente de estabilización del suelo y que se fijan en los iones de metal están combinados con una parte orgánica hidrófoba. Esto provoca que las partículas finas del suelo pierdan la capacidad de absorber agua en la superficie de las partículas y que el suelo que se trata con el agente de estabilización pierda la capacidad de transportar agua hacia los capilares.

3.4 Neutralización

Los iones de hidrógeno H^+ que se liberan durante la disociación en el agente de estabilización del suelo reaccionan directamente con los iones hidroxilo OH^- que se encuentran presentes en la cubierta de agua, formando iones de hidronio H_3O^+ y en otro paso formando agua H_2O . Con ello está eliminado el efecto del ácido.

4. Resumen de la tecnología de sistema según la invención para la estabilización duradera y segura frente a heladas de suelos minerales de grano fino y de grano mixto en el ejemplo de una construcción de carreteras y caminos

4.1 Verificar el suelo en cuanto a la aptitud para la aplicación de la tecnología de sistema

4.2 Levantar y mullir la superficie de la explanada

4.3 Introducir en el suelo el agente de estabilización del suelo diluido con agua en varios pasos de trabajo y mezclar

4.4 Compactar el suelo en el estado del contenido de agua óptimo para la compactación

- 5 5. Tecnología de sistema según la invención detalla, para la estabilización duradera y segura frente a heladas, de suelos minerales de grano fino y de grano mixto en el ejemplo de una construcción de carreteras y caminos

5.1 Reconocimiento del subsuelo para las carreteras y caminos que deben construirse, realización de la prueba de aptitud desarrollada para esa tecnología de sistema y estudios mecánicos del suelo seleccionados, en el laboratorio,
10 en particular para determinar la parte de materias finas en el suelo con diámetro de las partículas $< 0,06$ mm para establecer la cantidad de aplicación del agente de estabilización del suelo, así como para determinar un contenido de agua óptimo requerido para la compactación del suelo.

5.2 Trazar gradiente y perfil de la carretera (del camino)

- 15 Aparatos necesarios: aparatos de medición

5.3 Retirar vegetación, humus + capas del suelo con una parte $> 4\%$ de impurezas orgánicas.

Aparatos necesarios, por ejemplo topadora recta, o niveladora, o máquina de explanación o fresadora de calzada

- 20 5.4 Análisis del suelo en la obra,

Extracción de una muestra del suelo para determinar el contenido de agua actual del suelo, profundidad de la extracción bajo explanada, en correspondencia con la profundidad de trabajo prevista de la fresadora de mezcla de suelo, en general hasta 30 cm de profundidad

25

Aparatos necesarios: dispositivo adecuado para la determinación rápida del contenido de agua de suelos minerales.

El resultado de la prueba es el contenido de agua actual w en el suelo hasta la profundidad de trabajo de la fresadora y sirve para calcular la cantidad de agua con la cual se diluye el agente de estabilización del suelo y se
30 introduce en el suelo.

5.5 Producir la explanada de forma irregular, en correspondencia con las especificaciones del proyecto,

Aparatos necesarios: máquina de explanación

35

La pendiente transversal debe extenderse paralelamente con respecto a la pendiente de la capa de cubierta posterior. Posteriormente, después de que el agente de estabilización del suelo fue distribuido sobre la explanada mullida, ya no pueden tener lugar grandes movimientos del suelo ni desplazamientos del suelo, para que la profundidad del tratamiento del suelo con el agente de estabilización del suelo no se reduzca en algunos puntos.

40

5.6 Levantado y mullido de la explanada aproximadamente a 10 cm de profundidad, para la absorción uniforme del agente de estabilización del suelo Aparatos necesarios: por ejemplo desbrozadora, o máquina separadora o cultivador, o grada de dientes flexibles o rastra simple o fresadora, hasta 10 cm de profundidad.

- 45 5.7 Medición del contenido de agua actual en el suelo, determinación de la cantidad de agua con la cual se diluye el agente de estabilización del suelo, para ser introducido en el suelo, para que después de la introducción de la solución de trabajo, compuesta por el agente de estabilización del suelo + agua, el contenido de agua en el suelo se ubique de forma óptima, en no más del 2% por encima del contenido de agua w óptimo requerido para la mejor compactación posible del suelo; dicho contenido de agua fue determinado en el laboratorio antes del inicio de la
50 obra.

5.8 Producir la primera cantidad parcial de una solución de trabajo compuesta por el agente de estabilización del suelo + agua en un depósito y mezclar para el primer paso de trabajo, determinar la cantidad del agente de estabilización del suelo que debe introducirse, en función de la parte de componentes finos $D < 0,06$ mm en el suelo.

55

De manera alternativa: proporcionar de forma separada la cantidad calculada del agente de estabilización del suelo + agua, para mezclar recién durante la introducción en el suelo.

5.9 Introducir en el suelo la primera cantidad parcial de la solución de trabajo de agente de estabilización del suelo +
60 agua de forma regular sobre la explanada previamente mullida

Variante de introducción 1: el agente de estabilización del suelo se mezcla previamente con agua en un depósito móvil, y en caída libre se aplica sobre la explanada mediante un tubo distribuidor con boquillas de descarga, la cantidad de salida desde el tubo distribuidor determina la velocidad de avance

5

Variante de introducción 2: el agente de estabilización del suelo se mezcla previamente con agua en un depósito móvil, y mediante bombas, después mediante un tubo distribuidor con boquillas de descarga, se aplica en el suelo explanada, la cantidad transportada por bombeo y la velocidad de avance se regulan en correspondencia con la cantidad de aplicación prevista

10

Variante de introducción 3: el agente de estabilización del suelo se mezcla previamente con agua en un depósito móvil, y mediante bombas, después mediante un tubo distribuidor con boquillas de descarga, se aplica en el suelo dentro de la fresadora de mezcla de suelo durante el proceso de fresado; la cantidad transportada por bombeo y la velocidad de avance de la fresadora se regulan en correspondencia con la cantidad de aplicación prevista

15

Variante de introducción 4: la cantidad de agua requerida para la dilución se pone a disposición en un depósito móvil, el agente de estabilización del suelo en el recipiente con el que ha sido entregado (recipiente de 200 litros o eurocontenedor de 1000 litros) se posiciona en el vehículo cisterna o en un remolque acoplado al vehículo cisterna. Mediante bombas separadas, ambos componentes se transportan separados hacia un tanque mezclador y después, mediante un tubo distribuidor con boquillas de descarga, son introducidos en el suelo; las cantidades transportadas por bombeo y la velocidad de avance del vehículo de tanque se regulan en correspondencia con las cantidades de aplicación previstas, en donde la relación de dilución entre el agente de estabilización del suelo y el agua puede modificarse durante la introducción en el suelo.

20

Variante de introducción 5: mezclar el agente de estabilización del suelo y aproximadamente diez veces la cantidad de agua en un pulverizador por presión portable e introducir manualmente en el suelo que debe ser tratado, para superficies pequeñas y cantidades de suelo pequeñas, y para áreas seleccionadas con un contenido de agua natural extremadamente elevado;

5.10 Desmenuzar el suelo y mezclar enérgicamente con el agente de estabilización del suelo; profundidad de trabajo de la fresadora de mezcla de suelo al menos 30 cm bajo explanada, con superposición de rodadas.

Aparatos necesarios: fresadora de mezcla de suelo adecuada

5.11 Nivelar la superficie, aplanar ondulaciones de las rodadas de trabajo de la fresadora, mullir puntos compactados en el subsuelo, especialmente en los bordes de las rodadas de trabajo de la fresadora de mezcla de suelo; mezclar otra vez el suelo, en varios pasos.

Aparatos necesarios: máquina separadora o cultivador o grada de dientes flexibles o rastra simple o fresadora de mezcla de suelo

5.12 Producir la segunda cantidad parcial de una solución de trabajo compuesta por agente de estabilización del suelo + agua en un depósito, y mezclar para el segundo paso de trabajo, determinar la demanda de agente de estabilización del suelo + agua, en función de la parte de los componentes finos $D < 0,06$ mm en el suelo.

45

De manera alternativa: proporcionar la cantidad calculada del agente de estabilización del suelo + agua, para mezclar durante la introducción en el suelo.

5.13 Introducir en el suelo la segunda cantidad parcial de la solución de trabajo de agente de estabilización del suelo + agua de forma regular sobre la explanada previamente mullida. Variantes para la introducción como en el punto 5.9

50

5.14 Mezclar enérgicamente el suelo, profundidad de trabajo hasta 30 cm bajo explanada, con superposición de rodadas.

55

Aparatos necesarios: fresadora de mezcla de suelo adecuada

5.15 Nivelar la superficie, aplanar ondulaciones de las rodadas de trabajo de la fresadora, mullir puntos compactados en el subsuelo, especialmente en los bordes de las rodadas de trabajo de la fresadora de mezcla de suelo; mezclar otra vez el suelo, en varios pasos.

60

Aparatos necesarios: máquina separadora o cultivador o grada de dientes flexibles o rastra simple, fresadora de mezcla de suelo

- 5 5.16 Control del contenido de agua actual w en el suelo antes de la compactación: Si el contenido de agua actual w es más elevado que el contenido de agua óptimo determinado w_{opt} para la compactación, entonces es necesario un secado y otra mezcla del suelo, hasta que $w = w_{opt}$.

Si el contenido de agua actual w es más reducido que el contenido de agua óptimo determinado para la compactación, entonces es necesaria una humidificación y otra mezcla del suelo, hasta que $w = w_{opt}$.

5.17 Producir la explanada de forma nivelada.

Aparato necesario: Máquina de explanación y dispositivos para la medición de pendientes

- 15 5.18 Compactar el suelo desde la superficie de la explanada,

Desarrollo de la compactación siempre desde el borde hacia el centro de la carretera/del camino a través de la introducción por etapas de la energía de compactación. Esto se realiza comenzando con aparatos de compactación livianos, por ejemplo con compactadores de placas de vibración. Se continúa con aparatos de compactación pesados, por ejemplo mediante apisonadoras > 15 t de peso propio sin vibración, después se continúa la compactación con apisonadoras con > 15 t de peso propio con vibración y finalmente compactación con apisonadoras pesadas con ruedas de goma.

- 25 5.19 Durante la compactación con apisonadoras con > 15 t de peso propio con vibración, una capa de nivelación compactada, de aproximadamente 5 cm, de una mezcla de rocas partidas gruesas, seguras contra heladas, sin partes finas $D < 0,06$ mm, por ejemplo grava de 16/32 mm, se aplica sobre la explanada terrestre y se distribuye con un grosor de la capa uniforme. Esto debe tener lugar en momento en el que los granos gruesos partidos aún pueden comprimirse parcialmente en la explanada de la capa de estabilización. (La capa de nivelación, en el caso de carreteras y caminos transitados de forma directa sin capa de cubierta fijada adicionalmente, cumple la función de asegurar la fricción entre las ruedas de los vehículos y la superficie compactada, lisa y firme, de la capa de estabilización. En el caso de carreteras y caminos que en otro paso de trabajo son cubiertos con una capa de cubierta adicional, esa capa de nivelación asegura la fricción y la imbricación entre la capa de cubierta y la superficie de la capa de estabilización compactada).

- 35 5.20 Aplicar la tercera cantidad parcial de la solución de trabajo de agente de estabilización del suelo + agua de modo uniforme sobre la capa de nivelación, sin mezclar

- 40 5.21 Final de la compactación, cuando las mediciones según 5.21; 5.22 y 5.23 muestran una compactación suficiente, de lo contrario nueva compactación con aparatos de compactación pesados, según 5.18

5.22 Determinación de la densidad en seco con el cilindro de excavación (en el caso de suelo de granos finos sin rocas) o por ejemplo con el densitómetro de suelo u otros procedimientos de medición adecuados (en el caso de suelos con rocas)

- 45 5.21 Medición de la capacidad de carga alcanzada en la explanada compactada, 24 horas después de finalizada la compactación, con el aparato de compresión de placas, determinación de la curva de carga - asentamiento en el caso de una entrada de carga en etapas de las cargas estáticas, sobre una placa de carga de 30 cm de diámetro, resultado de medición = EV_2 [MPa]

- 50 5.22 Medición de la capacidad de carga alcanzada en la explanada compactada, 24 horas después de finalizada la compactación, con el aparato de compresión de placas dinámico, determinación de la profundidad de hundimiento y velocidad de hundimiento de una placa de carga de 30 cm de diámetro al colocar un contrapeso, resultado de medición = EV_{dyn} [MPa] Con estos pasos de trabajo, a partir del suelo de granos finos y de granos mixtos, con riesgo frente a heladas, del subsuelo, se produce una capa soporte inferior con capacidad de carga de forma durable, segura frente a heladas, en la construcción de carreteras, preparada para la aplicación de una capa de cubierta fijada, de asfalto u hormigón. En el caso de carreteras secundarias y caminos rurales esa capa estabilizada de este modo puede ser transitada directamente, sin una capa de cubierta adicional.

- 60 6. Efectos de la aplicación del agente de estabilización del suelo Las nuevas propiedades de los suelos tratados con

el agente de estabilización del suelo después de la compactación, formando capas de construcción en el área de la construcción de carreteras y caminos, conducen a una estabilidad y capacidad de carga altamente duraderas y no destructibles, así como a una resistencia duradera contra la acción del agua y la helada.

- 5 Ya no tienen lugar un hinchamiento ni una desaparición mensurables, modificaciones del volumen o deformaciones de las capas de construcción compactadas. Está garantizado un contenido de agua reducido uniforme en el suelo compactado, independientemente de la humedad ambiente. Se impide de forma permanente el aumento capilar del agua. Se brinda con ello una resistencia durable frente a heladas.
- 10 Las otras ventajas de la tecnología de estabilización del suelo en la construcción de carreteras y caminos son las siguientes:
- No se requiere en la obra un intercambio de suelo inadecuado, con riesgo frente a heladas. Se suprimen de este modo la separación, obtención, carga, transporte, de suelos no utilizables, incluyendo el almacenamiento en un
 - 15 vertedero de materiales del suelo.
 - Se suprimen la obtención, carga, transporte e incorporación de mezclas de rocas certificadas, seguras frente a heladas, para la utilización como capas soporte;
 - 20 • Esos dos ahorros producen una reducción de los costes de construcción y una reducción del tiempo de construcción, así como una reducción del consumo de energía / reducción de la emisión de CO₂
 - Además resultan ventajas considerables para la economía, porque debido a la supresión de los transportes considerables se cargan menos las vías de tráfico existentes y, con ello, mantienen más tiempo su vida útil
 - 25 La utilización del agente de estabilización del suelo puede aplicarse con grandes ventajas en zonas que no disponen de yacimientos de rocas adecuados para obtener mezclas de rocas seguras frente a heladas, con capacidad de carga, para capas soporte.
 - 30 Del mismo modo, la tecnología puede aplicarse ventajosamente para la fijación de vías de tráfico en zonas con suelos permafrost que en el verano se deshuelan hasta mayores profundidades, ablandándose, perdiendo así su capacidad de carga en el subsuelo.
- El objeto de la invención, de la presente invención, no resulta solo del objeto de las reivindicaciones individuales,
- 35 sino también de la combinación de las reivindicaciones individuales entre sí.
- Todos los datos y características descritos en los documentos, incluyendo el resumen de los datos descritos, en particular el diseño espacial representado en los dibujos, se reivindican como esenciales para la invención, en tanto los mismos, de forma individual o en combinación, sean nuevos con respecto al estado de la técnica.
- 40 A continuación la invención se explica con más detalle mediante dibujos que representan solamente una vía de realización. De los dibujos y de su descripción resultan otras características esenciales para la invención y ventajas de la invención.
- 45 Las figuras muestran:
- Figura 1: la producción de una subestructura de carretera según la tecnología base de la invención
- Figura 2: la producción de una subestructura de carretera según la figura 1, donde en el suelo que debe
- 50 estabilizarse, con poca cantidad de materia fina, se añade adicionalmente suelo con una cantidad de materia fina elevada
- Figura 3: la producción de una subestructura de carretera con el agregado adicional de una capa de cubierta dañada existente
- 55 Figura 4: la producción de una subestructura de carretera con el agregado adicional de suelo, obtenido de una extracción lateral en las proximidades de la obra
- Figura 5: la producción de una subestructura de carretera con la adición de suelo sin o con una parte reducida de
- 60 materias finas de menos del 15 % masa, donde el suelo natural posee una elevada parte de materias finas.

Figura 6: la producción de una subestructura de carretera con el agregado de material de construcción reciclado.

Figura 7: la producción de una subestructura de carretera con la incorporación de suelos tratados previamente con el agente de estabilización del suelo, desde el sitio de almacenamiento de material de suelo

Figura 8: los pasos del procedimiento según la invención para producir una subestructura de carretera

Figura 9: los pasos del procedimiento para producir una subestructura de carretera según el estado de la técnica

10

En la figura 1, en los pasos del procedimiento a-j se representan la estructura paso a paso y la producción de una subestructura de carretera para producir una carretera con la tecnología de sistema según la invención.

Partiendo de un borde superior 31 de la subestructura, la subestructura puede tener que estar diseñada como un suelo de grano fino y de grano mixto en el subsuelo. La parte de las partículas finas del suelo, en donde $D < 0,06$ mm, asciende por ejemplo a más del 15 % de la masa seca. Una subestructura 1 de esa clase se encontraría en riesgo frente a la influencia de heladas y del agua, y por eso no es posible aplicar una capa de cubierta 10, por ejemplo de asfalto, sobre una subestructura de esa clase.

Por ese motivo, según el paso del procedimiento A b, la subestructura 1 es levantada primero hasta una profundidad de la capa 2 de preferentemente 10 cm por debajo de la explanada, en las direcciones de la flecha 6, y es mullida, asociándose a esto un aumento del volumen a través del mullido.

En el paso del proceso c, sobre esa capa se aplica sobre gran parte de la superficie el agente de estabilización del suelo 3 según la invención (abreviatura: BSM) en la dirección de la flecha 4, y es absorbido por la capa mullida.

En el paso del procedimiento d, la subestructura impregnada ahora con el agente de estabilización del suelo 3 es fresada en las direcciones de las flechas 6 hasta una profundidad de la capa de preferentemente 30 cm y es mezclada, de modo que el agente de estabilización del suelo está distribuido de modo uniforme hasta la profundidad de 30 cm en el subsuelo.

Sobre la superficie mullida, en el paso del procedimiento y nuevamente el agente de estabilización del suelo 3 se distribuye de modo uniforme sobre la superficie, en la dirección de la flecha 4, y se absorbe en el área del suelo próxima a la superficie.

35

En el paso del procedimiento f, nuevamente toda la capa de estabilización 5 impregnada con el agente de estabilización del suelo se mezcla y se seca, debido a lo cual la cantidad total introducida del agente de estabilización del suelo 3 está distribuida de modo uniforme hasta una profundidad de 30 cm en el subsuelo.

En el paso del procedimiento g, la capa de estabilización 5 transformada se comprime en alto grado ahora con un compactador 7, debido a lo cual se produce una compactación del volumen y resulta un nuevo subsuelo, con mayor capacidad de carga, en forma de la capa de estabilización 5 que ahora se encuentra presente.

En el paso del procedimiento h, una capa de nivelación 8 se aplica sobre la capa de estabilización 5 transformada, y en el paso del procedimiento i se rocía y se impregna en gran parte de la superficie con el agente de estabilización del suelo 3, en la dirección de la flecha 4.

A través de otra compactación con el compactador 7, en el paso del procedimiento j la capa de nivelación 8 se presiona parcialmente hacia la capa de estabilización 5 comprimida que se sitúa debajo. Gracias a ello resulta una subestructura más resistente, más segura frente a heladas y más estable para la estructura posterior de una cubierta de carretera, compuesta por capa soporte 34 superior fijada, y por una capa de cubierta 10 (véanse las figuras posteriores).

La figura 2 parte de otra situación inicial, en donde se supone que partiendo de una subestructura 1 con menos de 15 % masa de partes finas, en donde $D < 0,06$ mm, a partir de ahora, en el paso del procedimiento b, tiene lugar sobre la subestructura una aplicación de suelo mineral que ha sido traído desde cerca del lugar, con una parte elevada de materias finas (por ejemplo arcilla, loam), a continuación denominada como capa de loam 9.

En el paso del procedimiento c, esa capa de loam 9 se rocía en gran parte de la superficie con el agente de estabilización del suelo 3 según la invención, en la dirección de la flecha 4, de modo que el agente de estabilización

60

del suelo 3 penetra en la capa suelta.

En el paso del procedimiento d tienen lugar el fresado y el mezclado hasta una profundidad de 30 cm en las direcciones de flecha 6, debido a lo cual se produce una capa de estabilización 5 uniforme, con cohesión y homogénea.

En el paso del procedimiento e, la capa de estabilización 5 se trata nuevamente con el agente de estabilización del suelo 3 y en el paso del procedimiento f se mezcla nuevamente en las direcciones de flecha 6, y se seca.

10 En el paso del procedimiento g tienen lugar la compactación y la compresión de la capa de estabilización impregnada con el agente de estabilización del suelo 3 mediante el compactador 7, y en el paso del procedimiento h se aplica una capa de nivelación 8 que en el paso del procedimiento i es rociada en gran parte de la superficie nuevamente con el agente de estabilización del suelo 3, en la dirección de la flecha 4.

15 En el paso del procedimiento j, la capa de nivelación 8 se compacta entonces con el compactador 7, produciéndose con ello una unión con la capa de estabilización 5 compactada.

Por último, en el paso del procedimiento k, sobre la capa de estabilización 5 así producida, con una capa de nivelación 5 que se sitúa sobre la misma, se aplican una capa soporte superior 34 fijada y una capa de cubierta 10 que corresponde a un revestimiento de carreteras corriente.

Cabe señalar que en los ejemplos de realización 1 a 2 precedentes y en todos los otros ejemplos de realización 3 a 7 descritos a continuación, para las mismas partes se utilizan los mismos signos de referencia y los mismos pasos de trabajo.

25 Por eso, el ejemplo de realización según la figura 3 se diferencia de los ejemplos de realización precedentes según la figura 1 y la figura 2 solo en que en la figura 3 se parte del hecho de que se encuentra presente una carretera con el borde superior 32 y una capa de cubierta 10, donde esa capa de cubierta 10 puede estar compuesta por asfalto u hormigón. Esa capa de cubierta 10 está dañada, y en base a esa carretera dañada debe producirse una nueva carretera con la subestructura según la invención.

Además, en la figura 3, en el paso del procedimiento a (situación inicial), se parte del hecho de que por debajo de la capa de cubierta 10 dañada se encuentra presente una capa soporte 11 convencional, y que esa capa soporte 11 se apoya sobre un subsuelo 1 usual.

35 Para producir una nueva carretera, en el paso del procedimiento b se levantan primero la capa de cubierta 10 dañada existente y la capa soporte 11, junto con el subsuelo 1, en las direcciones de flecha 6, y se mezclan. La profundidad de la capa 2 se indica aquí por ejemplo en 30 cm por debajo del borde superior 32 de la capa de cubierta antigua.

40 En el paso del procedimiento c, sobre la capa así mezclada y homogeneizada se aplica en gran parte de la superficie el agente de estabilización del suelo 3 en la dirección de la flecha 4, el cual es absorbido en el área superficial por el suelo mullido.

45 En el paso del procedimiento d, la capa de estabilización 5 es fresada en las direcciones de flecha 6 y es mezclada, debido a lo cual el agente de estabilización del suelo está distribuido de modo uniforme en la capa.

En el paso del procedimiento e, nuevamente el agente de estabilización del suelo 3 se aplica en gran parte de la superficie sobre la capa de estabilización 5 así preparada, en la dirección de la flecha 4, y en el paso del procedimiento f tienen lugar nuevamente un mezclado y un secado simultáneos de la capa de estabilización 5 homogeneizada de ese modo e impregnada con el agente de estabilización del suelo.

En el paso del procedimiento g tiene lugar ahora una compactación con el compactador 7, y en el paso del procedimiento h tiene lugar una aplicación de una capa de nivelación 8.

55 En el paso del procedimiento i tiene lugar una nueva aplicación de un agente de estabilización del suelo 3 en la dirección de la flecha 4, sobre la capa de nivelación 8, para estanqueizar la superficie.

En el paso del procedimiento j, con el compactador 7, se provoca una compresión de la capa de nivelación 8 y una presión parcial hacia la capa de estabilización 5, y la subestructura ahora preparada por completo, en el paso del

procedimiento k, es cubierta con una capa soporte superior fijada corriente y con una capa de cubierta de asfalto, hormigón o materiales similares. De este modo se crea una nueva carretera con una subestructura altamente resistente, segura frente a heladas y estable.

- 5 En el ejemplo de realización según la figura 4 se parte del hecho de que en el subsuelo 1 con riesgo frente a heladas, tal como en las figuras 1 a 3, se encuentran presentes adicionalmente rocas 12 de gran tamaño y bloques. Los mismos están integrados de forma fija en las partículas finas del suelo y no deben desmenuzarse para no destruir la estructura densa en el subsuelo y para cuidar de la fresadora. El subsuelo mencionado, al igual que en las figuras 1 a 3, se trata de un suelo de granos finos y de granos mixtos, con riesgo frente a heladas, en donde la parte de las partículas finas del suelo, en donde $D < 0,06 \text{ mm}$, es $>$ que el 15 % de la masa seca.

La permeabilidad elevada del subsuelo que se encuentra presente en este ejemplo permite distribuir de modo uniforme el agente de estabilización del suelo 3 sin un mezclado mecánico, en el área inferior de la capa de estabilización 5.

- 15 Por el motivo mencionado, en el paso del procedimiento b tiene lugar primero un mullido de la superficie con una desbrozadora 14 que se desplaza en la dirección de la flecha 15 a lo largo de la superficie de la subestructura, hasta una profundidad de la capa 13 de por ejemplo 5 cm por debajo del borde superior 31.

- 20 En el paso del procedimiento c, sobre la superficie mullida se rocía el agente de estabilización del suelo 3 según la invención, en la dirección de la flecha 4. A través del efecto de la gravitación, éste penetra hacia dentro en la subestructura 1 con las rocas, en la dirección de la flecha 17 y en el paso del procedimiento d la impregna de modo uniforme, sin destruir la estructura densa en el subsuelo.

- 25 En el paso del procedimiento y se obtiene un suelo adecuado desde una extracción lateral y a través de un separador 19 con un ancho de la malla de 50 mm se coloca en la dirección de la flecha 18, donde las rocas 12, en donde $D > 50 \text{ mm}$, son retenidas y no deben desmenuzarse de forma posterior. Tan solo dejan el separador las partes del suelo con un diámetro $< 50 \text{ mm}$.

- 30 La fracción que ha pasado por el separador 20, en donde $D < 50 \text{ mm}$, en el paso del procedimiento f, se sacude sobre la explanada existente previamente mullida y tratada con el agente de estabilización dl suelo, en la dirección de la flecha 21, y se distribuye con un grosor de la capa uniforme.

- 35 En el paso del procedimiento g, la capa sacudida se impregna con el agente de estabilización dl suelo 3 según la invención en la dirección de la flecha 4, donde el agente de estabilización dl suelo se absorbe en el área superior del relleno, por los poros del suelo.

- 40 En el paso del procedimiento h, esa capa 22 sacudida e impregnada con el agente de estabilización dl suelo se mezcla y se seca; y en el paso del procedimiento i se compacta con el compactador 7. En el paso del procedimiento j, se aplica entonces una capa de nivelación 8 que después en el paso del procedimiento k se impregna y humedece con el agente de estabilización dl suelo 3 según la invención, en la dirección de la flecha 4.

- 45 Por último, en el paso del procedimiento l, las capas 8 + 22 + 5 así preparadas e impregnadas con el agente de estabilización dl suelo 3, se compactan con un compactador 7, debido a lo cual se proporciona una subestructura segura frente a heladas y con gran capacidad de carga, para la aplicación de una capa soporte superior 34, por ejemplo una capa soporte de asfalto, y una capa de cubierta 10, por ejemplo de asfalto o de hormigón.

- 50 En el ejemplo de ejecución según la figura 5 se parte del hecho de que en un subsuelo 1 que se compone de un suelo de granos finos y de granos mixtos, se encuentra presente una cantidad muy elevada de partículas finas del suelo, en donde $D < 0,06 \text{ mm}$, la cual es esencialmente más del 15 % de la masa seca. Puede estar presente por ejemplo una parte elevada de arcilla. Un subsuelo 1 de esa clase se encontraría en riesgo debido a heladas y a la acción del agua.

- 55 Por ese motivo, en la invención, según el ejemplo de realización según la figura 5, en el paso del procedimiento b, se prevé que primero por encima del borde superior 31 se aplique una capa de estructura 23 con una parte de materias finas reducida. Esa capa de estructura posee preferentemente partículas con un diámetro $D < 0,06 \text{ mm}$ y $<$ que 15 % en peso, para hacer más fino el suelo existente en el subsuelo, con una parte de materias finas muy elevada.

- 60 Sobre esa capa de estructura 23 que se encuentra presente mullida, en el paso del procedimiento c, se aplica el en la dirección de la flecha 4, el cual humedece la capa de estructura 23 en la dirección de la flecha 17, y en el

paso del procedimiento d, la capa de estructura humedecida con el agente de estabilización del suelo se integra hasta la profundidad 2 en el subsuelo, y se mezcla y desmenuza toda la capa de estabilización 5.

En el paso del procedimiento y tiene lugar una nueva aplicación del agente de estabilización del suelo 3 en la dirección de la flecha 4, sobre la superficie mullida.

A continuación, en el paso del procedimiento f, la capa de estabilización 5 se mezcla nuevamente y se seca, de modo que la cantidad total de agente de estabilización del suelo está distribuida de modo uniforme en la capa de estabilización 5, y en el paso del procedimiento g se compacta con el compactador 7.

10

En el paso del procedimiento h se aplica una capa de nivelación 8 y en el paso del procedimiento i, se humedece e impregna nuevamente con el agente de estabilización del suelo 3, en la dirección de la flecha 4.

15

En el paso del procedimiento j, la estructura así producida se compacta una vez más con el compactador 7, de modo que la capa de nivelación se presiona parcialmente hacia la capa de estabilización previamente compactada, y por último, en el paso del procedimiento k, sobre la capa de nivelación 8 que ahora está unida de forma fija y homogénea con la capa de estabilización 5, se aplica una capa soporte superior 34 fijada, usual, por ejemplo como capa soporte de asfalto, y una capa de cubierta 10, por ejemplo de asfalto u hormigón.

20

El ejemplo de realización según la figura 6 se diferencia de los ejemplos de realización antes mencionados según las figuras 1 a 5, solamente en que sobre la explanada del subsuelo 1 existente se agrega aún material reciclado adicional. Un material reciclado de esa clase puede ser por ejemplo residuos de construcción no cargados, cenizas de filtrado, fragmentos de ladrillos, fragmentos de hormigón o cantos.

25

En el paso del procedimiento a, se parte por tanto de una subestructura 1 con riesgo frente a heladas, tal como se indica también como punto inicial en los ejemplos de realización antes mencionados.

En el paso del procedimiento b tiene lugar una aplicación del material reciclado 24, el cual eventualmente puede contener también rocas 12, fragmentos de ladrillos, fragmentos de hormigón y cantos.

30

En el paso del procedimiento c, sobre la capa de material reciclado 24 se inicia una primera aplicación del agente de estabilización del suelo 3 en la dirección de la flecha 4, donde el agente de estabilización del suelo penetra en la capa mullida aplicada, en las direcciones de flecha 7 y, con ello, genera una capa de estabilización 5 homogénea en el paso del procedimiento d, cuando esa capa de estabilización se fresa y se mezcla.

35

En el paso del procedimiento e, sobre la capa de estabilización 5 homogeneizada de ese modo se aplica un agente de estabilización del suelo 3 en la dirección de la flecha 4, y en el paso del procedimiento f esa capa humedecida con el agente de estabilización del suelo se mezcla y se seca.

40

En el paso del procedimiento g tiene lugar la compactación con el compactador 7 y a continuación, en el paso del procedimiento h, se aplica una capa de nivelación 8.

En el paso del procedimiento i, sobre la capa de nivelación 8 se aplica por tercera vez el agente de estabilización del suelo 3, el cual humedece la capa de nivelación 8 y sella la superficie.

45

Finalmente, en el paso del procedimiento j se efectúa una compactación de la capa de estabilización 5 y de la capa de nivelación 8, de modo que en el paso del procedimiento k, sobre la subestructura 5, 8 homogeneizada de ese modo puede aplicarse una capa soporte superior 34 fijada, usual, por ejemplo como capa soporte de asfalto, y una capa de cubierta 10, por ejemplo de asfalto o de hormigón.

50

El ejemplo de realización según la figura 7 parte del hecho de que todo el suelo se produce para una nueva subestructura que debe crearse, en un sitio de almacenamiento de materiales de suelo. Conforme a ello, se trata de un suelo de granos finos y de granos mixtos, con riesgo frente a heladas, el cual ha sido llevado a un sitio de almacenamiento de materiales de suelo o a un depósito de almacenamiento. La parte de las partículas finas del suelo, $D < 0,06 \text{ mm}$, se ubica preferentemente hasta en una parte $> 15 \%$ de la masa seca. Un suelo de esa clase, como subestructura prevista para una carretera, se encontraría bajo gran riesgo a través de las influencias de heladas y del agua, y por eso se considera inadecuado.

55

Por ese motivo, en primer lugar, en el paso del procedimiento b se inicia una primera aplicación del agente de estabilización del suelo 3 sobre el suelo puesto a disposición, extendido para el tratamiento, y en el paso del

60

procedimiento c, el suelo se fresa y se mezcla.

En el paso del procedimiento d tiene lugar una segunda aplicación del agente de estabilización del suelo 3 con un nuevo mezclado subsiguiente en el paso del procedimiento e, y el suelo así homogeneizado para una capa de estabilización 5 posterior, se almacena en una atmosfera protegida, la cual por ejemplo puede estar provista de una cubierta 27, como protección contra precipitaciones y humedad, hasta un procesamiento posterior. De este modo, un suelo preparado para una incorporación como capa de estabilización 5, con un contenido de agua óptimo para la compactación, se tiene a disposición en un depósito de almacenamiento, donde dicho suelo, en caso necesario, puede utilizarse para la estructura de una carretera. Esto tiene lugar en el paso del procedimiento f, en donde sobre un subsuelo 28 tiene lugar una incorporación por capas de la capa de estabilización 5, después del paso del procedimiento e.

La altura de vertido de la incorporación corresponde a la profundidad de acción del compactador 7 utilizado en el paso del procedimiento g. Se presupone que el compactador 7 posee una profundidad de acción tal, que la compactación de la capa de estabilización 5 en el paso del procedimiento g tiene también lugar hacia el interior del subsuelo 28.

Por último, en el paso del procedimiento h, sobre la capa de estabilización 5 homogeneizada de ese modo, la cual fue compactada, se aplica una capa de nivelación 8, y en el paso del procedimiento i tiene lugar la tercera aplicación del agente de estabilización del suelo 3 sobre la capa de nivelación 8.

Finalmente, en el paso del procedimiento j se compacta y en el paso del procedimiento k, sobre la estructura 5, 8 así compactada, puede aplicarse una capa soporte superior 34 fijada, usual, y una capa de cubierta 10 de asfalto u hormigón.

La figura 8 muestra la construcción y el desarrollo de la obra para producir una subestructura según la invención con el agente de estabilización del suelo 3 según la invención. Por debajo de una capa de cubierta 10 y una capa soporte superior 4 fijada, se encuentra dispuesta una capa de nivelación 8, y el suelo natural del subsuelo, el cual fue impregnado varias veces con el agente de estabilización del suelo 3 y fue mezclado, y debido a ello se transformó formando una capa de estabilización 5, se apoya sobre un subsuelo 1 que está presente en la obra. Dicho subsuelo 1 puede componerse de rocas sueltas acumuladas de forma natural y usualmente es sensible a las heladas. A través de las medidas según la invención, ese subsuelo 1 existente, desde la superficie existente hasta la profundidad de trabajo de la fresadora, se transforma en una capa de estabilización 5 impregnada y, con ello, posee una capacidad de carga elevada y está protegido de las influencias de las heladas y del agua.

De manera esquemática se representa el hecho de que en el paso del procedimiento (1) tiene lugar una retirada de tierra vegetal, en el paso dl procedimiento (2) tienen lugar un mullido del subsuelo y un desmenuzado y un mezclado con una fresadora.

En el paso del procedimiento (3) se produce la explanada de forma irregular, y en el paso dl procedimiento (4), una mezcla de agua y del agente de estabilización del suelo 3 (BSM) según la invención se introduce según las instrucciones del fabricante, y se mezcla con el suelo de forma enérgica. Se utilizan en este caso preferentemente fresadoras. La introducción del agente de estabilización del suelo, según los pasos del procedimiento (4a) y (4b), puede tener lugar varias veces, donde preferentemente tienen lugar al menos dos pasos de trabajo.

De este modo, después del paso del procedimiento (4) se encuentra presente una capa de estabilización 5 completamente homogeneizada, preparada para la compactación.

En el paso del procedimiento (5), sobre la superficie de esa capa se produce una explanada de forma nivelada.

En el paso del procedimiento (6) se controla si esa capa del suelo prevista como capa de estabilización 5 posee el contenido de agua óptimo para garantizar a continuación una compactación óptima. Si el contenido de agua actual es más elevado que el contenido de agua óptimo requerido para la compactación, el suelo debe secarse. Si el contenido de agua actual es más reducido que el contenido de agua óptimo requerido para la compactación, el suelo debe humedecerse.

En el paso del procedimiento (7) tiene lugar una compactación, preferentemente con una apisonadora (compactador 7), donde ese compactador preferentemente debe tener un peso propio superior a 15t. Esto procura una fuerte compactación de la capa de estabilización 5.

En el paso del procedimiento (8) se incorpora una capa de nivelación 8.

Por último, en el paso del procedimiento (9) se incorpora la capa soporte superior 34 fijada, por ejemplo como capa de asfalto, y a continuación en el paso del procedimiento (10) se incorpora la capa de cubierta (10), por ejemplo como capa de cubierta de asfalto, y con ello la carretera se produce con los pasos de trabajo antes descritos.

En comparación con respecto a ello, la figura 9 muestra un desarrollo de la obra convencional y una construcción de una carretera convencional.

- 10 En primer lugar, en la ilustración puede observarse que una carretera convencional según el estado de la técnica se compone de una capa de cubierta y de dos capas soporte que se sitúan debajo, a saber, de una capa soporte superior fijada (oTS) y de una capa de soporte inferior no fijada (uTS), donde la capa soporte inferior preferentemente está realizada como capa de protección contra heladas.
- 15 El subsuelo 1 existente, el cual pierde su capacidad de carga debido a la influencia del agua y de las heladas, en el desarrollo convencional de la obra debe ser retirado y reemplazado por mezclas de rocas sin partes finas, seguras frente a heladas, las cuales deben ser suministradas. De ello resulta ya la inversión de trabajo esencialmente mayor en la producción de una subestructura de carretera según el estado de la técnica.
- 20 Asimismo, en la figura 9 puede observarse que la subestructura existente es sometida eventualmente varias veces a una estabilización del suelo, combinada con la incorporación de material geotextil y/o geomallas, para aumentar la capacidad de carga.

Los pasos del procedimiento (1) a (11) muestran la producción de la estructura de carretera según la figura 9, conforme al estado de la técnica.

- 30 La inversión más elevada en comparación con el procedimiento según la figura 8 reside en el hecho de que una mejora del subsuelo debe tener lugar con procedimientos de estabilización convencionales (por ejemplo estabilización con cal o estabilización con cemento), de modo que se necesitan componentes adicionales (material geotextil, geomallas), pero ante todo: el fondo del subsuelo, con riesgo frente a heladas, con poca capacidad de carga, debe ser excavado y transportado y, con ello, debe ser reemplazado por costosas mezclas de rocas, seguras frente a heladas, las cuales deben ser suministradas, y las cuales deben ser incorporadas, niveladas y compactadas como capa soporte inferior.
- 35 Por último, recién en el paso del procedimiento (10) puede tener lugar la incorporación de una capa soporte superior 34 fijada, por ejemplo como capa soporte de asfalto, y en el paso del procedimiento (11) puede tener lugar la incorporación de una capa de cubierta 10, por ejemplo como capa de cubierta de asfalto.

- 40 La comparación del desarrollo del procedimiento según la figura 9 con el desarrollo del procedimiento según la figura 8 muestra las ventajas de la presente invención. La presente invención prescinde de una estructura de múltiples capas de una subestructura, a través de mezclas de rocas seguras frente a heladas, suministradas, como reemplazo para el fondo del subsuelo que debe retirarse, porque con la introducción reiterada de agentes de estabilización del suelo en el subsuelo existente y a través del mezclado reiterado y de la compactación subsiguiente se produce una capa de estabilización homogénea y, por lo tanto, puede prescindirse de una estructura de múltiples capas según la figura 9 (estado de la técnica).

Referencias del dibujo

- 1 Subsuelo existente
- 50 2 Profundidad de la capa 2'
- 3 Agente de estabilización del suelo BSM
- 4 Dirección de la flecha
- 5 Capa de estabilización
- 6 Dirección de la flecha
- 55 7 Aparato de compactación
- 8 Capa de nivelación
- 9 Capa de loam
- 10 Capa de cubierta, por ejemplo capa de cubierta de asfalto
- 11 Capa soporte inferior, no fijada
- 60 12 Rocas

- 13 Profundidad de la capa
- 14 Desbrozadora
- 15 Dirección de la flecha
- 16 Capa delgada
- 5 17 Dirección de la flecha
- 18 Dirección de la flecha
- 19 Separador
- 20 Fracción que ha pasado por el separador
- 21 Dirección de la flecha
- 10 22 Fracción que ha pasado por el separador, tratada con agente de estabilización del suelo 3
- 23 Capa de estructura
- 24 Material reciclado
- 25 Subestructura
- 26 Subsuelo
- 15 27 Cubierta
- 28 Subsuelo
- 29 Suelo suministrado
- 30 Suelo suministrado, mezclado con BSM
- 31 Superficie - explanada del subsuelo existente
- 20 32 Superficie capa de cubierta
- 33 Superficie de la capa soporte estabilizada con BSM
- 34 Capa soporte superior fijada, por ejemplo capa soporte de asfalto

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la estabilización duradera del suelo de suelos minerales de grano fino y de grano mixto, con riesgo de frente a heladas, como capas de cimentación, de soporte, de balasto y de relleno con capacidad de carga elevada, seguras frente a heladas, en la construcción de carreteras y caminos, y en la explanación y en la ingeniería civil, donde para producir una o varias capas de construcción (5, 8) resistentes y duraderas, seguras frente a heladas y con capacidad de carga elevada, de una subestructura (1), un agente estabilizante líquido del suelo (3) se mezcla enérgicamente con al menos una capa de la subestructura (1) y, a continuación, se compacta,
- 10 caracterizado porque como agente estabilizante del suelo (3) se utiliza exclusivamente una mezcla acuosa de diferentes ácidos sulfónicos que como característica en común poseen el grupo funcional -SO₃H, combinado con un componente R orgánico hidrófobo según la representación R - SO₃ - H.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por los siguientes pasos:
 - (1) Retirada de tierra vegetal (capa de vegetación), si se encuentra presente
 - (2) Mullir, desmenuzar y mezclar el subsuelo
 - (3) Producir la explanada de forma irregular
 - 20 (4) Introducir una mezcla de agua y agente estabilizante del suelo (3) y mezclar con el suelo
 - (5) Producir la explanada de forma nivelada
 - (6) Control del contenido de agua requerido para la compactación
 - (7) Compactación con aparatos de compactación (7) pesados
 - (8) Incorporación de una capa de nivelación
 - 25 (9) Compactación con aparatos de compactación (7) pesados
 - (10) Incorporación de una capa de cubierta (10)
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque a continuación del paso del procedimiento (4) se mezcla la capa de estabilización (5) producida de ese modo y, a continuación, tiene lugar un segundo entremezclado e impregnación de la capa de estabilización (5) con el agente de estabilización del suelo (3).
- 30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque después de la segunda introducción del agente de estabilización del suelo (3) en el suelo, se comprime la capa de estabilización (5) así producida porque, a continuación, se aplica una capa de nivelación superior (8) y porque, a continuación, tiene lugar una tercera impregnación, del lado superficial, de la capa de estabilización (5) con el agente de estabilización del suelo (3).
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque como último paso de trabajo para producir la explanada tiene lugar una compactación de la capa de nivelación (8) con la capa de estabilización (5) situada debajo, impregnada varias veces.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque en el caso de que el suelo que debe ser estabilizado posea demasiados pocos materiales finos, como primera capa sobre la subestructura (1) tiene lugar una aplicación de una capa del suelo con mayor cantidad de materiales finos, por ejemplo de arcilla y/o limo y/o barro y/o rocas sueltas arcillosas y/o cenizas de filtro.
- 45 7. Agente de estabilización del suelo para la estabilización duradera del suelo de suelos minerales de grano fino y de grano mixto, con riesgo frente a heladas, como capas de cimentación, de soporte, de balasto y de relleno con capacidad de carga elevada, seguras frente a heladas, en la construcción en altura, en la construcción de carreteras y caminos, y en la explanación y en la ingeniería civil, caracterizado porque el agente de estabilización del suelo (3) se compone exclusivamente de una mezcla acuosa de diferentes ácidos sulfónicos que como característica en común poseen el grupo funcional -SO₃H, combinado con un componente R orgánico hidrófobo según la representación R - SO₃ - H.
- 50 8. Agente de estabilización del suelo según la reivindicación 7, caracterizado porque el agente de estabilización del suelo (3) provoca que los iones de hidrógeno H⁺ fijados de forma adhesiva a la superficie de las partículas del suelo (y, con ello, el agua fijada a esos iones mediante puentes de hidrógeno) sean expulsados a través de iones de metal (+) que se encuentran presentes en la cubierta de agua, por ejemplo Na⁺; K⁺; Mg⁺⁺; Ca⁺⁺; Al⁺⁺⁺.
- 60 9. Agente de estabilización del suelo según una de las reivindicaciones 7 u 8, caracterizado porque con

el agente de estabilización del suelo (3) se expulsa una gran parte del agua de adhesión unida de forma fija, desde la superficie de las partículas del suelo, y se transforma en agua intersticial libre.

10. Agente de estabilización del suelo según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque a través de la utilización del agente de estabilización del suelo (3), los iones de metal (+) fijados a las partículas del suelo ya no pueden fijar más agua de hidratación, en donde los iones residuales de ácido contenidos en el agente de estabilización del suelo (3) se unen a los iones de metal, de modo que tiene lugar una reducción de la cubierta de agua de adsorción a través de un mecanismo de intercambio.
- 10 11. Agente de estabilización del suelo según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado porque los iones residuales de ácido (grupo sulfato) contenidos en el agente de estabilización del suelo (3) y que se fijan en los iones de metal están combinados con una parte orgánica hidrófoba.

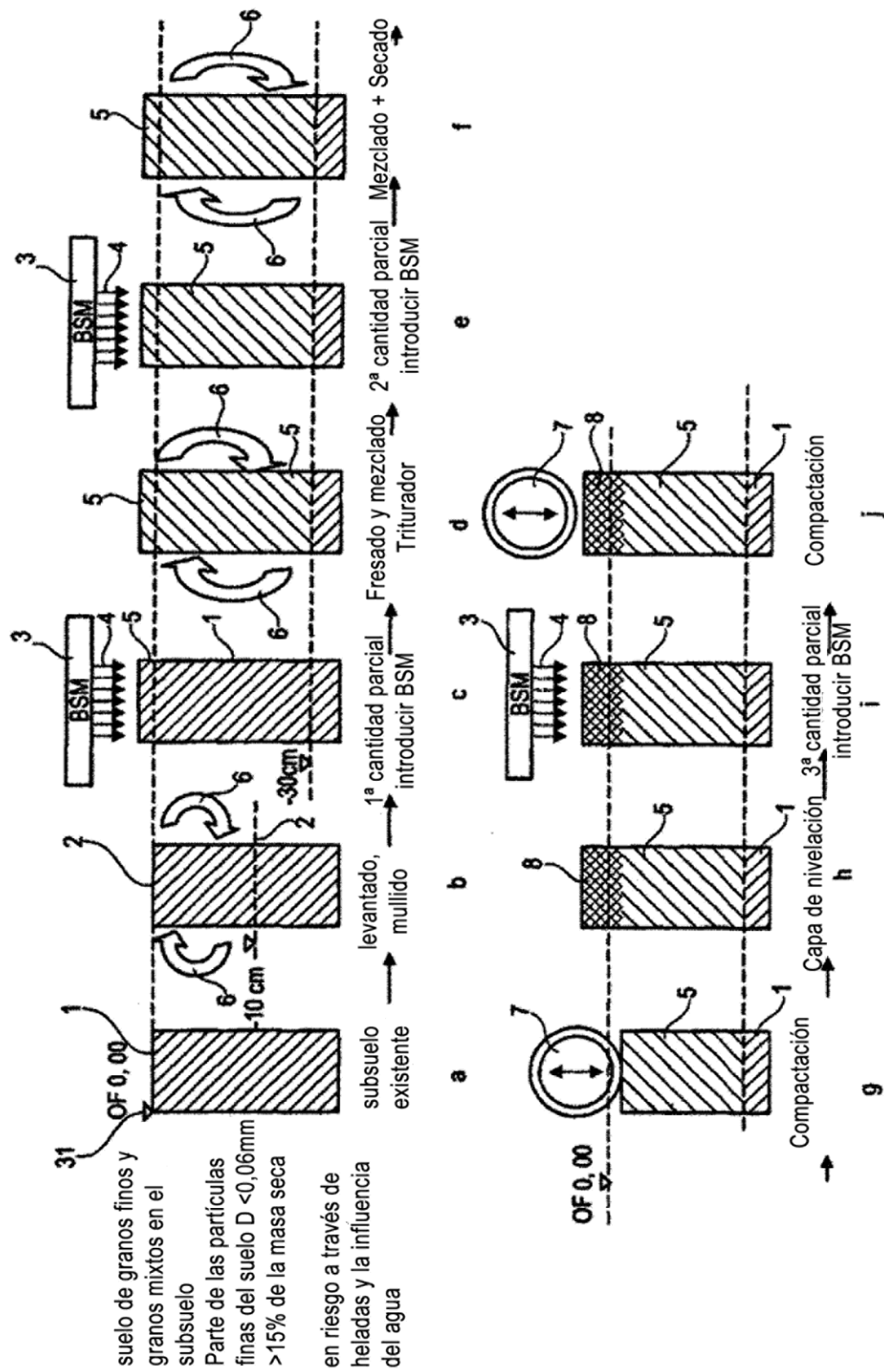
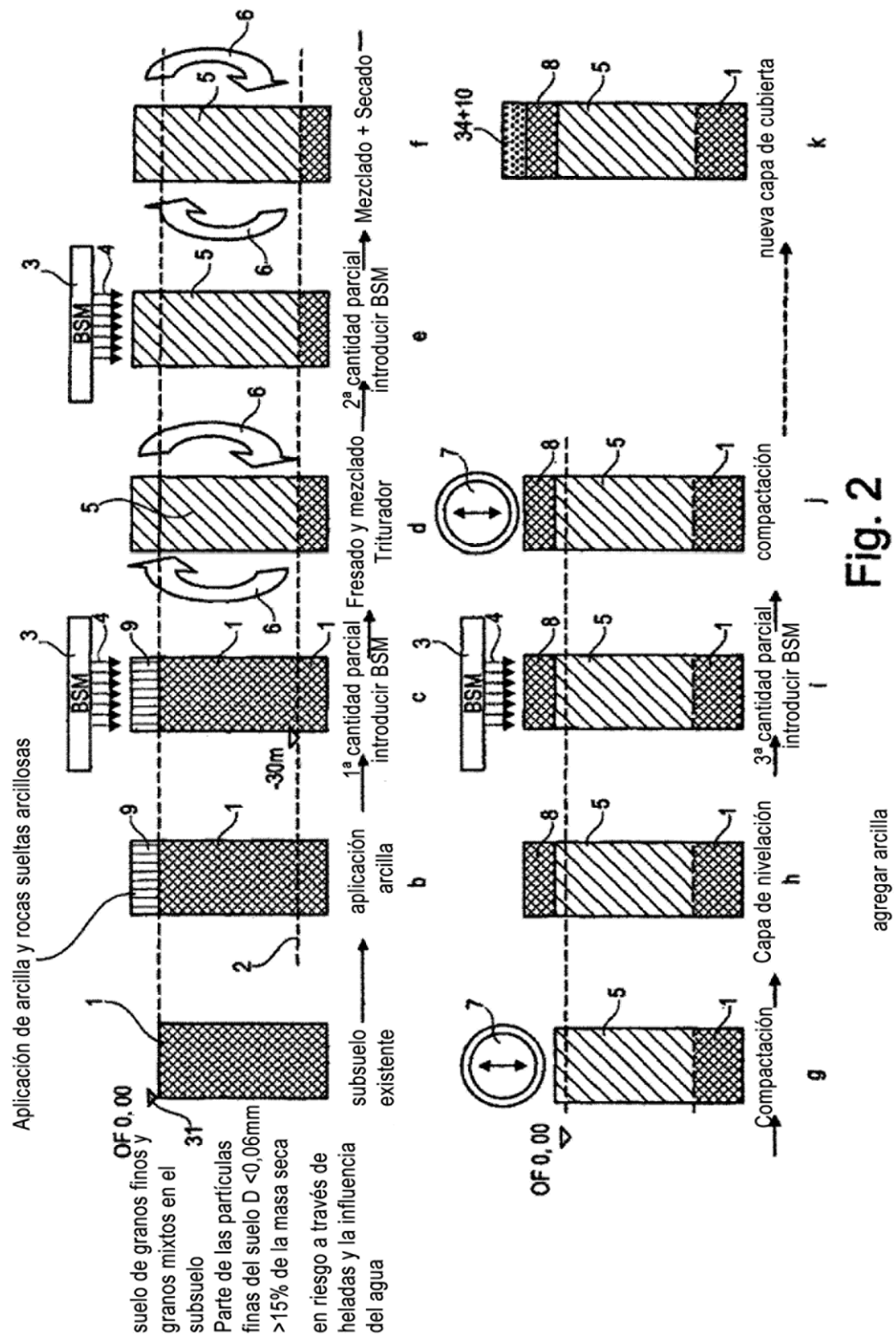


Fig. 1



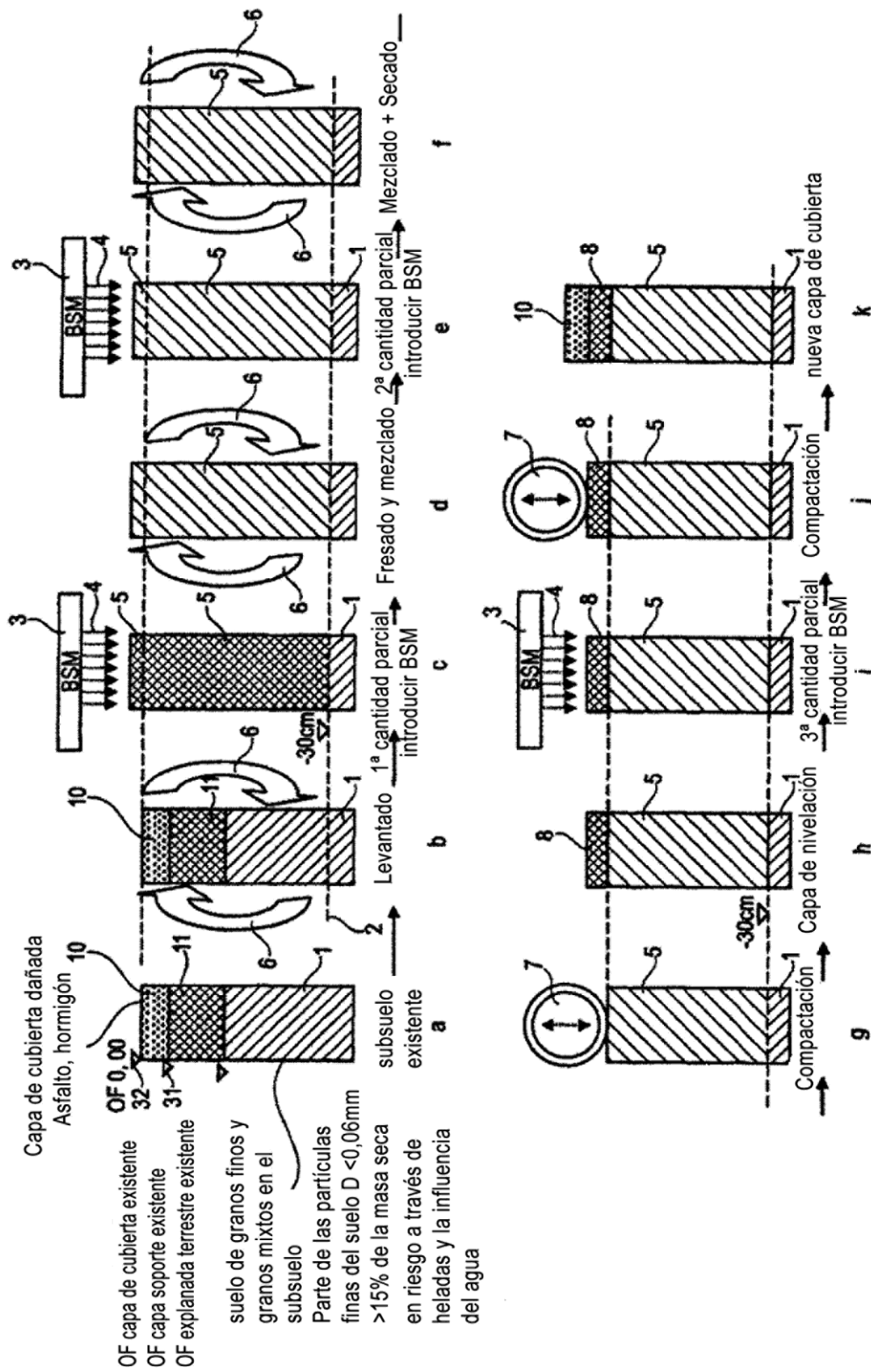


Fig. 3

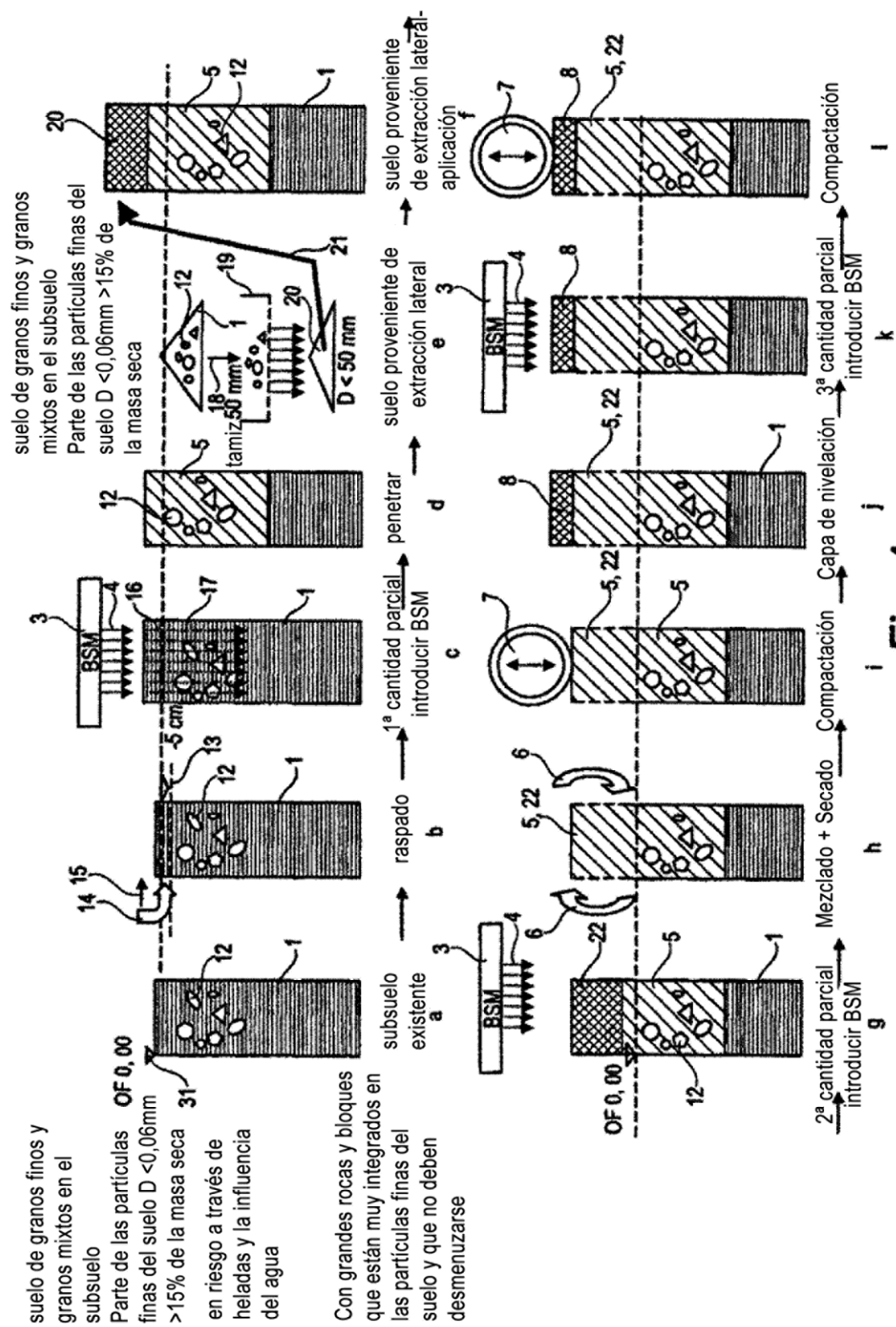
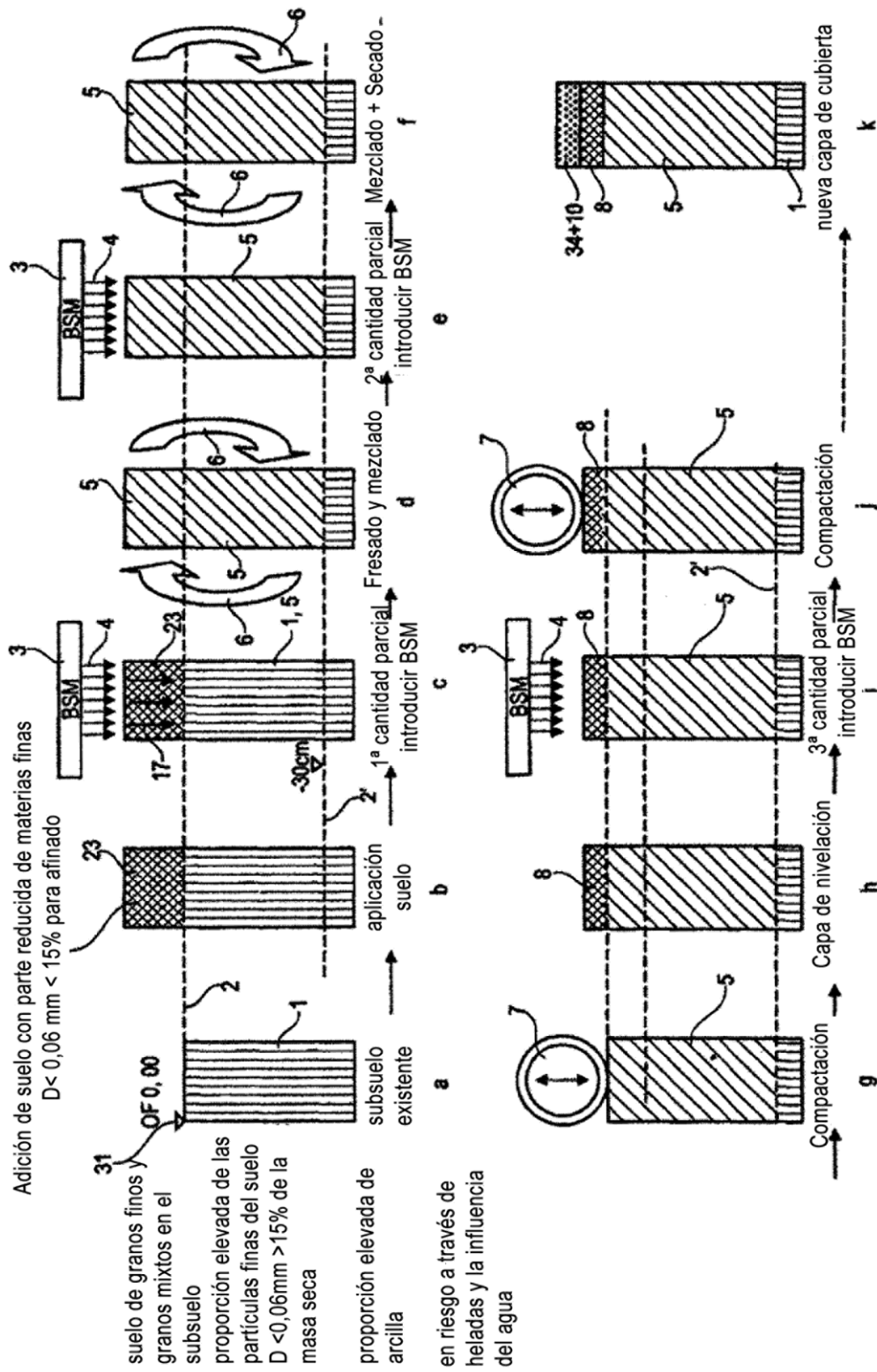


Fig. 4



Adición de suelo sin y con parte reducida de materias finas

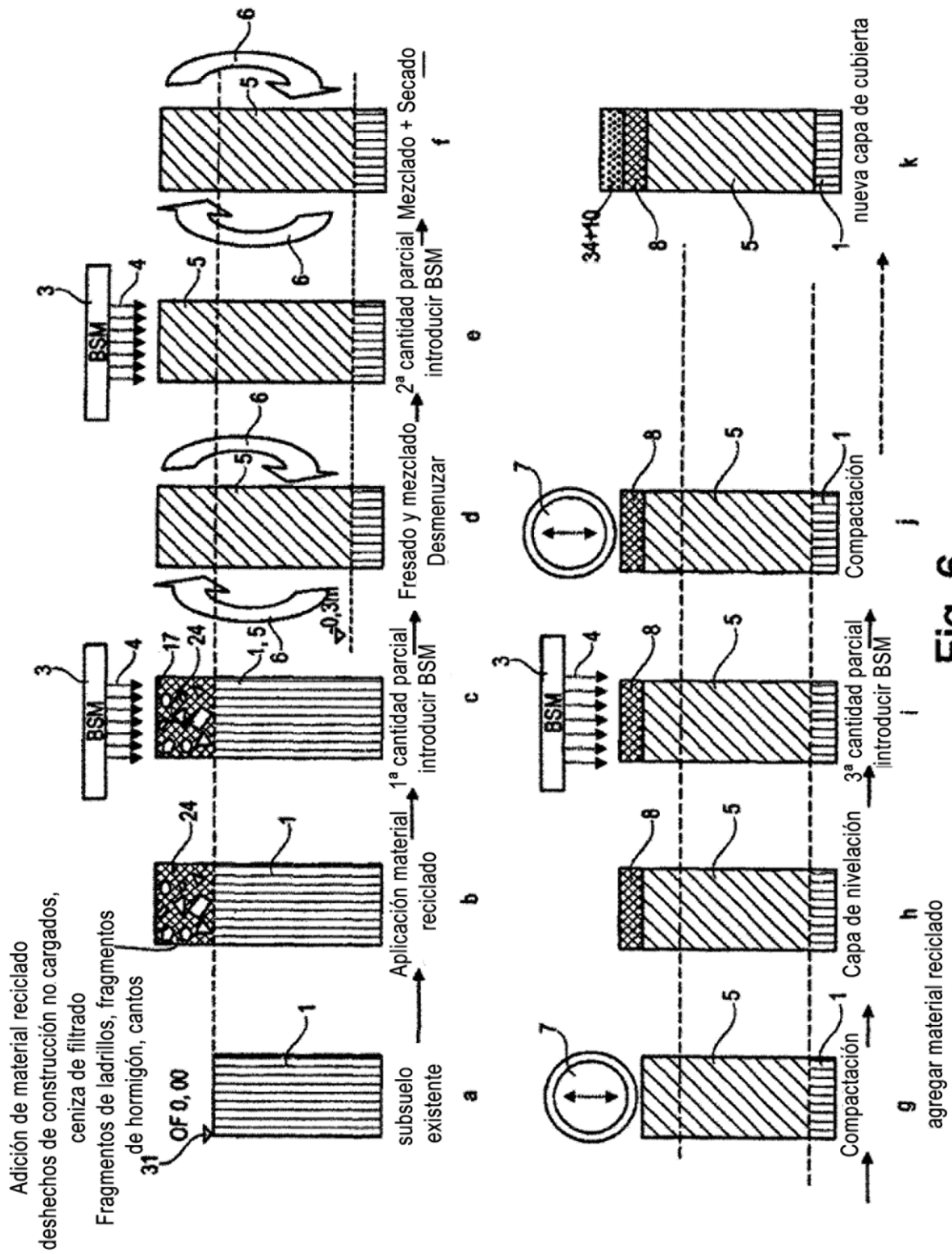


Fig. 6

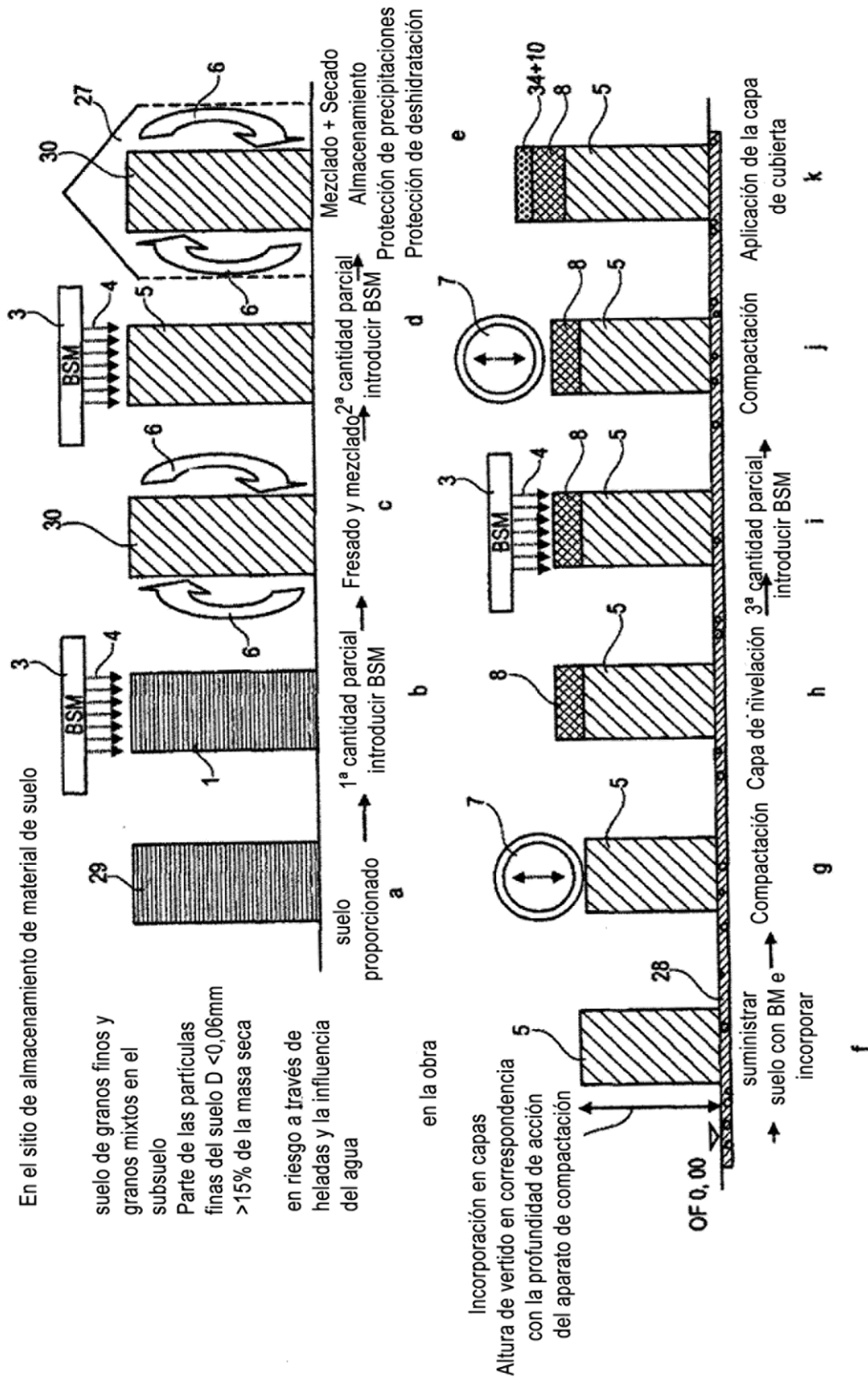


Fig. 7

Construcción y desarrollo de la obra con: GE

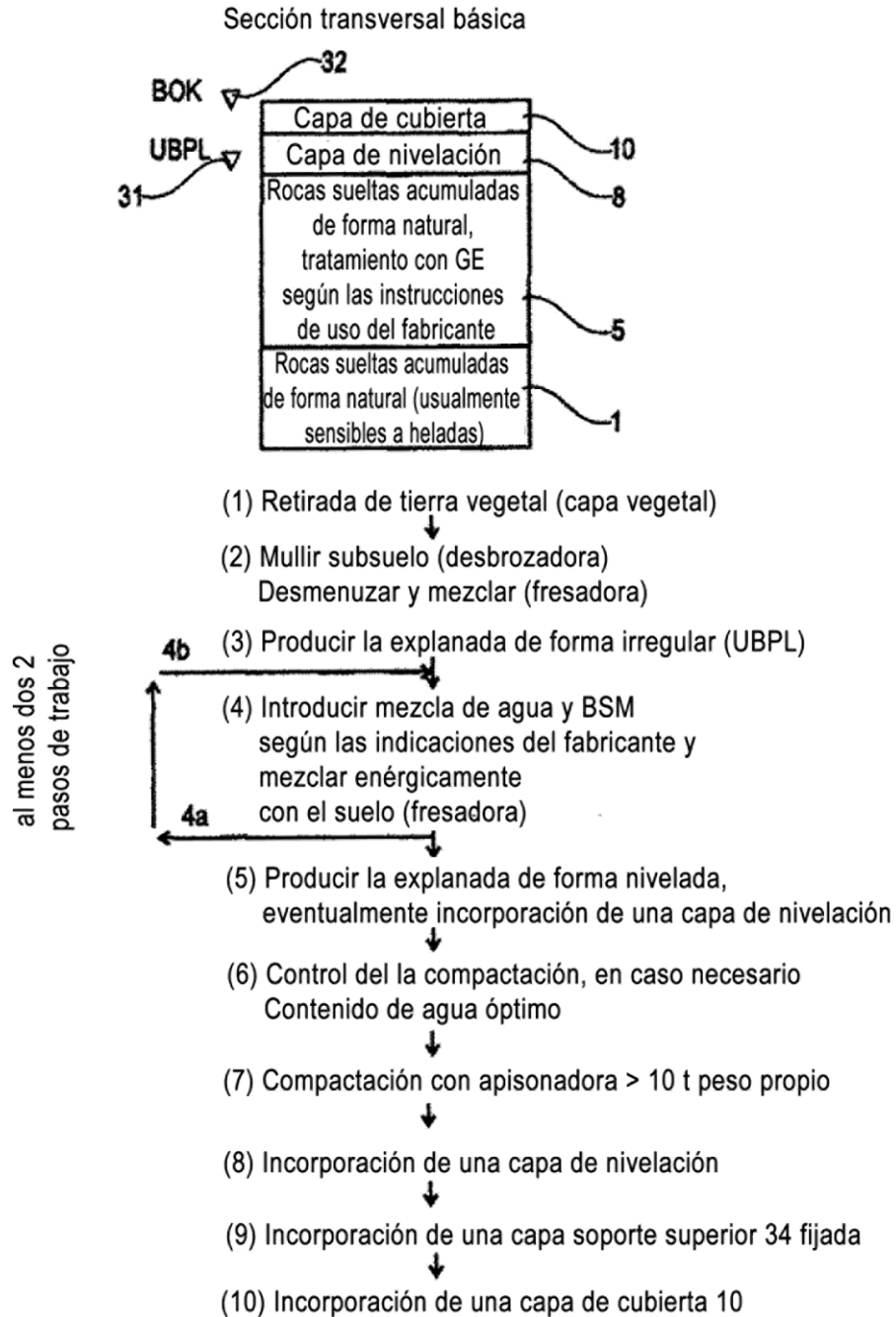


Fig. 8

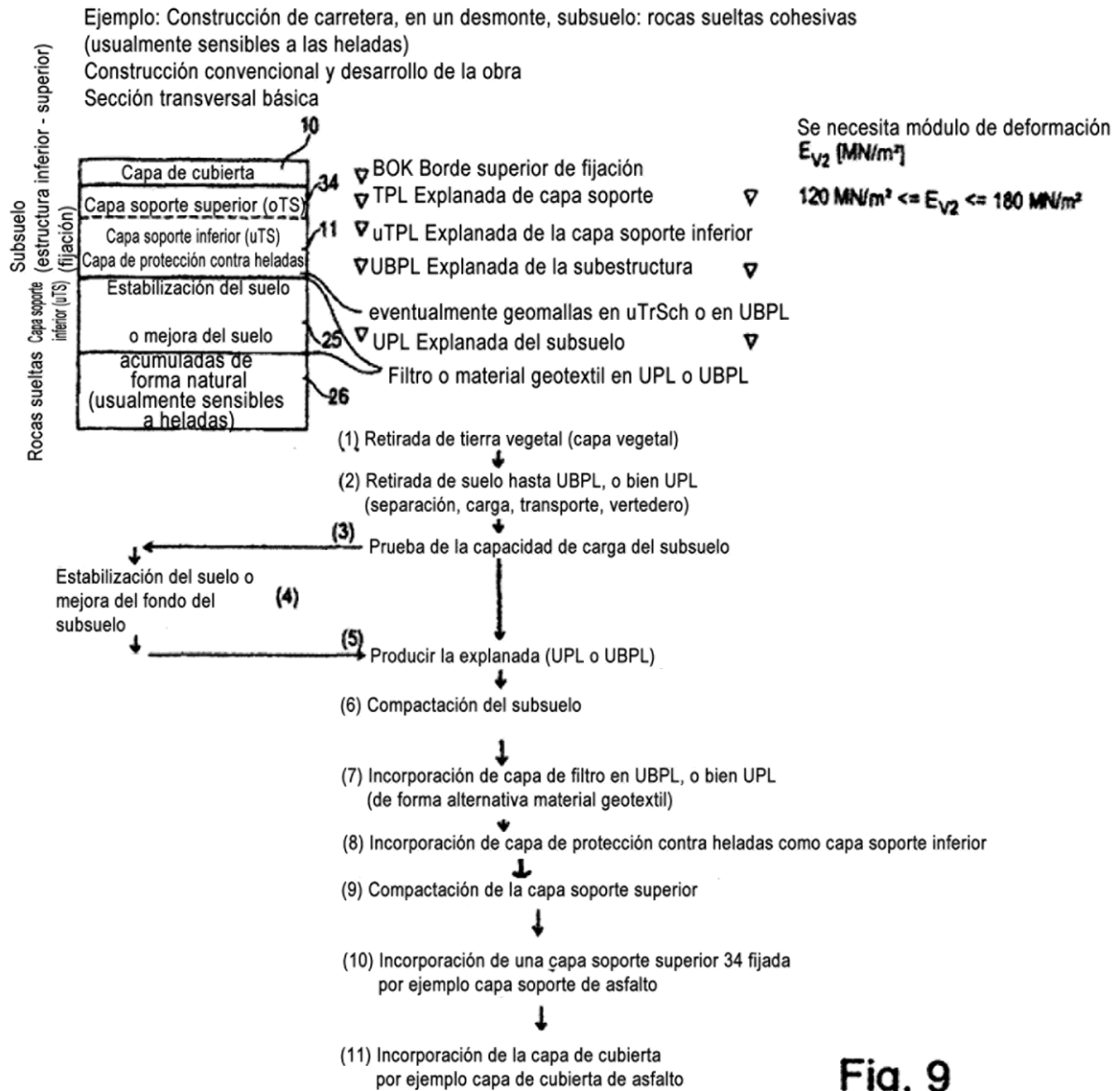


Fig. 9
 (Estado de la técnica)