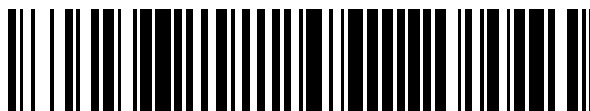


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 837**

51 Int. Cl.:

E01C 3/00 (2006.01)

E02D 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2004** **E 04025845 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012** **EP 1655410**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una capa de soporte**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.04.2013

73 Titular/es:

KÜGLER, JOST-ULRICH, DIPL.-ING. (100.0%)
IM TEELBRUCH 61
D-45219 ESSEN, DE

72 Inventor/es:

KÜGLER, JOST ULRICH DIPL.-ING.;
BELOUSCHEK, PETER PROF. DR. y
KÜGLER, KATJA DIPL.-ING.

74 Agente/Representante:

FÀBREGA SABATÉ, Xavier

ES 2 401 837 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 la fabricación de una capa de soporte

5 **1. Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento para la preparación de una capa de soporte, en particular para la construcción de carreteras, o como una superficie para edificios.

10 **2. La técnica anterior**

El crecimiento de los desiertos es un problema común en muchos países alrededor del mundo. Una recuperación de regiones de desierto hasta incluso una recultivación requiere de una infraestructura correspondiente, en particular la construcción de carreteras para urbanizar las superficies.

15 En estas áreas, pero también en áreas con escasas precipitaciones, que aún no son (completamente) desiertos, las llamadas zonas áridas, se encuentran principalmente arenas de grano uniforme, de grano fino en estratificaciones huecas, que no tienen capacidad de soporte suficiente para la construcción de carreteras u otros fundamentos. Debido a su grano uniforme tampoco se pueden compactar. La resistencia al cizallamiento es por lo tanto muy baja. 20 La causa de la resistencia al cizallamiento baja es la forma de grano redondeada y la uniformidad de grano de la arena.

En un enfoque convencional para la construcción de carreteras y caminos en estas áreas por tanto, es necesario utilizar una gran cantidad de material de capa de soporte, tales como una mezcla de mineral triturado, materiales reciclados o rocas trituradas como una capa de soporte en un grosor suficiente. Otra alternativa es la estabilización por lechada de las capas de arena. Sin embargo, esto requiere una proporción muy alta de cemento y por lo tanto es poco económico. Además, debido a la baja resistencia al cizallamiento de la arena, este enfoque requiere capas de soporte unidas de manera hidráulica muy grandes, porque de lo contrario pueden romperse sobre el suelo hueco, blando.

30 Otro problema con la preparación de la capa de soporte estabilizada por lechada en la zona climática caliente es la hidratación hasta el curado final, que requiere varios días. Las capas estabilizadas por lechada tienen que fabricarse con un contenido de agua suficiente y mantenerse húmedas con una gran cantidad de agua hasta la unión hidráulica final, de manera que estas capas no se quemen en el sol caliente, y que no solamente se unan de manera hidráulica parcialmente, lo cual tiene considerables pérdidas de fuerza.

35 Semejante construcción de carreteras o la fabricación de capas de soporte para fundamentos no es sólo debido a la falta de materiales en estas áreas extremadamente costoso. Por tanto, es necesario desarrollar alternativas para la fabricación de capas de soporte para la construcción de carreteras y caminos o para fundamentos para la urbanización a gran escala de regiones de franjas desérticas, tales como las que se encuentran por todo el norte de África y Arabia. Aquí, un procedimiento de construcción sólo es económico si se pueden aprovechar los tipos de suelo presentes en las zonas áridas y, además, se pueden utilizar materiales adecuados de desecho para el acondicionamiento de las capas de soporte.

45 Un problema técnico relacionado surge con el aprovechamiento de materiales de residuos o restos de desechos domésticos tratados de manera mecánica-biológica, los llamados residuos MBA. Esto es principalmente restos fibrosos de madera y plásticos con desechos de tipo turba con una estructura de fibras gruesas con diferente tamaño de grano y longitud en el estado seco. Estos residuos se generan en grandes cantidades en las plantas de tratamiento mecánico-biológico y no se pueden llevar al vertedero. Si estos materiales se depositan en un vertedero y se estratifican, no se logra solidez alguna y se da una alta sensibilidad al tiempo, ya que los materiales ligeros se arrastran por la lluvia. Esto se aplica incluso si se añaden a los residuos MBA las escorias de incineración de desechos.

50 Por lo tanto, existen los siguientes requisitos estrictos respecto a la instalación de estos desechos residuales tratados de manera mecánica-biológica en un vertedero.

- Perfilado de las áreas de instalación con un gradiente de entre el 5 % y 10 % para el drenaje dirigido y controlado del agua de lluvia, en el que la superficie se alisa, y se cubre con materiales impermeables al agua con compactación.
- Para garantizar un cuerpo de vertedero de baja permeabilidad se debe instalar el desecho mediante el procedimiento de película fina de manera altamente comprimida. Mediante el ajuste de un contenido óptimo de agua de los residuos se debe garantizar una compresibilidad al máximo, de manera que hay que ajustar un contenido de agua apropiado.

Con estos requisitos se debe lograr tanto una mejora de la calidad del agua superficial que sale del cuerpo de desechos, así como una minimización de la cantidad de agua de infiltración en la base de vertedero. Sin embargo, como ha mostrado la experiencia de primeros operadores de instalación con experimentos llevados a cabo a gran escala, aunque ajustando el material a un contenido de agua optimizado para el beneficio de una compresión optimizada, aún no es posible resolver el objetivo antes mencionado, porque a pesar de una buena compactación se mantiene una alta porosidad del material y por lo tanto una alta permeabilidad, y el material compactado ablanda en la lluvia y es arrastrado de modo que el agua de desagüe es altamente contaminada con estos ingredientes. Para evitar esto, se requieren medidas de cubierta laborosas o los residuos MBA deben ser alimentadas a una combustión a un costo alto.

Por último, existen problemas de capacidad portante como en el caso de la arena del desierto de grano uniforme en terraplenos huecos de material abandonado a llevar a cabo, como se pueden encontrar en las antiguas zonas industriales, por ejemplo en la cuenca del Ruhr. Hasta ahora era necesario desmontar tales capas de suelo de los sitios industriales abandonados y reemplazarlos por materiales de construcción de sustitución granulares compactables tales como materiales reciclados, arena o grava de arena en favor de un fundamento superficial. Con capas de terraplén profundas incluso tuvieron que llevarse a cabo fundamentos de palos. Aquí también, por lo tanto, existe una necesidad de un uso razonable de tales capas de suelo, por ejemplo como las extendidas ampliamente en la cuenca del Ruhr.

En los terraplenos, puede tratarse de capas de suelo granular con fuerza granular demasiado bajo tales como, por ejemplo, las cenizas domesticas de caldera o cenizas de escorias. Estos suelos no son suficientemente sólidos a pesar de la compresión, ya que el grano se rompe bajo carga. Terraplenes de arena de fundición, arena de escoria, chorro de arena, etcétera, comparables a una arena de desierto de grano uniforme, no tienen una capacidad suficiente portadora en forma compacta a causa de su uniformidad de grano. Terraplenes de granos diferentes, donde se encuentran también granos finos, limo y que se han además mojados, no se pueden compactar a causa de su alto contenido de agua, porque se ablandan durante el tratamiento mecánico y incluso en el estado compactado, bajo el supuesto de un contenido óptimo de agua para la compactación, no presentan una capacidad suficiente portadora para fundamentos de edificios.

Por el documento BE-822838 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de una capa de soporte, en el que se mezcla lodo de depuradora con cal muerta y ceniza volante.

El documento FR-1433508 A describe un procedimiento para la fabricación de una capa de soporte, en el cual se mezcla arena con escorias, ceniza volante y cal. Sin embargo, este documento ni describe el mezclar de la arena con arena de gravilla de un tamaño de grano pequeño ni la adición del 20 al 30 % en volumen de lodo o limo que contiene agua.

La presente invención se basa por tanto en el problema de especificar un procedimiento, en el cual se pueden utilizar materiales de partida con porosos abiertos de poca resistencia al cizallamiento en capas de soporte para la construcción de carreteras u otros fines, incluso bajo condiciones climáticas extremas, por soporte de grano físico.

3. Resumen de la invención

La presente invención resuelve este problema mediante un procedimiento para la fabricación de una capa de soporte, en particular para la construcción de carreteras, o como una superficie para edificios, con las etapas indicadas en la reivindicación 1.

Con el procedimiento según la invención se crean los siguientes requisitos básicos para resolver el problema anteriormente citado: a la arena porosa, los residuos de MBA o terraplenes mencionados se añaden materiales de construcción de sustitución que consiguen una buena capacidad de compresibilidad y altas resistencias al cizallamiento, llenando la estructura de los poros más finos del material de partida. Por lo tanto, la mezcla de material se lleva inmediatamente a un estado en el cual ya presenta una capacidad mínima portadora de modo que se puede aplicar y compactar como una capa de soporte incluso en un clima húmedo.

Con el limo que contiene agua se le añade a la mezcla de material, si es necesario, un portador de agua, de modo que el fraguado hidráulico en la capa de soporte, preferiblemente ya solidificado, puede llevarse a cabo durante varios días sin mantenimiento húmedo costoso. Si es necesario, la mezcla de material se puede tratar adicionalmente con agua de mar, sin causar daño a la capacidad portadora generado por estructuras salinas que se están formando.

Al inicio, el material de partida se mezcla con arena de gravilla de un tamaño de grano de un promedio de ≤ 6 mm, en el que la arena de gravilla se añade con el 20 a 30% en volumen del material de partida. La arena de gravilla de este tamaño es capaz de llenar los poros abiertos del material de partida, mediante el cual se obtiene un soporte de grano y, por tanto, una resistencia al cizallamiento superior. Los materiales mencionados como materiales de sustitución de construcción presentan preferiblemente un contenido de cal libre del $\geq 20\%$. El tamaño de grano de los materiales de sustitución de construcción es preferiblemente ≤ 2 mm, más preferiblemente ≤ 1 mm. Materiales de

sustitución de construcción con estas propiedades contribuyen por un lado al soporte de grano y permiten por otro lado un fraguado hidráulico en la capa de soporte para su solidificación posterior.

El limo que contiene agua, a usar si es necesario, comprende preferiblemente un suelo sucesible a fraguar con tamaños de grano de $\leq 0,06$ mm. Para ello, por ejemplo, el limo puede ser lodo de depuradora o lodo de agua. El contenido de agua de los lodos es preferiblemente del 75% en peso al 85% en peso, preferiblemente del 70% en peso al 80% en peso.

Otros desarrollos ventajosos de los procedimientos reivindicados se definen en otras reivindicaciones dependientes.

Por último, la presente invención se refiere, de acuerdo con un aspecto adicional, a una capa de soporte, en particular para la construcción de carreteras, o como una capa de soporte para edificios, que ha sido fabricada por uno de los procedimientos analizados anteriormente.

4. Descripción detallada de ejemplos preferidos de realizaciones

En primer lugar, se explica en más detalle un ejemplo actualmente preferido de realización para la fabricación de una capa de soporte a partir de arena de desierto como material de partida:

Para ello, la arena de desierto se mezcla con materiales reciclados rotos, y por tanto preferiblemente agudos, como el escombros o escombros de roca de modo que el volumen de poros de la arena está esencialmente lleno de arena de gravilla aguda. Para alcanzar un rendimiento máximo posible de material de hormigón de demolición, ha de elegirse la gravilla del tamaño de grano de 0 a 6 mm. Un grano más grande no es necesario porque es importante llenar esencialmente los poros abiertos de la arena con arena de gravilla para obtener resistencias altas al cizallamiento, y por lo tanto, obtener un soporte de grano.

El volumen de poro abierto de la arena es preferiblemente el 30% en volumen hasta un máximo del 35% en volumen. Se ha demostrado que los valores más altos de cizallamiento se obtienen cuando en la adición de la arena de gravilla no se lleva a cabo un exceso de mezcla, es decir, un máximo de llenado de los poros. Las cantidades añadidas deberían ser el 15 % en volumen, preferiblemente el 20% en volumen, como máximo el 30 % en volumen. Debe tenerse en cuenta aquí que hay que mezclar todavía otros materiales en los poros de arena.

Mientras que con el material de partida, es decir, en el presente caso, arena de desierto de grano uniforme, sólo se determina valores de cizallamiento de $\rho = 30^\circ$, se obtiene un valor de cizallamiento de 38° a 42° por un soporte de grano con arena de gravilla, dependiendo de la resistencia de roca de los materiales reciclados. Estos valores de cizallamiento corresponden la resistencia al cizallamiento de mezclas de minerales, tales como se aplican en Europa como valores mínimos para la construcción de carreteras.

Con la adición descrita sola del tamaño de grano con un diámetro de entre 0 y 6 mm y una proporción de volumen del 20 al 30% en volumen no se pueden obtener valores de capacidad portadora, tal y como es necesario con materiales de roca para la construcción de carreteras para tráfico pesado ($E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$). Sin embargo, incluso con estas mezclas se obtienen valores de capacidad portadora de $E_{v2} \sim 80 \text{ MN/m}^2$.

Por esta razón, es ventajoso para muchos fines, aumentar más el material de partida de la capa de soporte llenando también las estructuras de grano fino para aumentar los valores de capacidad portadora y por unión hidráulica adicional. Mediante una alta cantidad de adición, se consigue un soporte de grano adicional hasta el grano fino, es decir, una granulación de $\leq 0,06$ mm de diámetro, debido a la granulación de dichos materiales de sustitución de construcción, que en una adición homogénea ya resulta en un aumento de resistencia después de la compactación. Por ello, cenizas de hulla volantes secas, cenizas de lecho fluidizado, escoria de horno de cuchara o cenizas de carbón marrón y también cenizas de papel son adecuadas. Estos materiales de construcción de sustitución se caracterizan en particular por el hecho de que tienen un contenido de cal libre del $\geq 25\%$. El tamaño de grano de estos materiales de construcción de sustitución es de 0,01 a 1,0 mm, a veces de hasta 2,0 mm. Es importante que los materiales de construcción de sustitución en grandes cantidades están disponibles para estas tareas en forma esencialmente completamente seca como el cemento. Materiales de construcción de sustitución humedecidos muertos de este tipo son menos adecuados para este fin.

La adición de los citados materiales de construcción de sustitución en la mezcla de capa de soporte de suelo húmeda explicada anteriormente en el orden del 15 al 25% en volumen y una posterior compactación producen después de 4 a 5 días una capa de soporte estabilizada y unida hidráulicamente. La capa de soporte así fabricada debería incorporarse por capas con espesores de capa de preferentemente 30 a 40 cm y compactarse con rodillos de tambor liso vibratorios pesados con un peso de entre 10 a 15 t hasta preferiblemente el 100% de la densidad Proctor.

La unión hidráulica, finalmente, se lleva a cabo durante varios días. Cuando la mezcla se mantiene húmeda para la fraguada hidráulica, se obtienen valores óptimos después de una semana. El período de tiempo más largo se debe a la absorción de CO_2 desde el aire necesaria para el fraguado hidráulico, cuando la cal muerta por el agua se convierte en cal endurecida. Para ello, el CO_2 ha de penetrar inicialmente en la capa, para que tenga lugar la

reacción química necesaria. Debido a la resistencia comparativamente alta incluso antes de la unión hidráulica, la capa de soporte puede exponerse ya a cargas moderadas durante este tiempo, haciendo posible en cierta medida una aplicación racional de medidas adicionales de procesamiento apoyado por máquinas.

- 5 A fin de facilitar en regiones desérticas el fraguado hidráulico lento explicado, se le añade a la mezcla de capa de soporte preferiblemente un lodo que corresponde aproximadamente con la granulación de un suelo mixto de arcilla, limo y arena de un barro de loess con tamaños de grano de 0,001 a 0,06 mm y hasta 2 mm, pero que tiene una muy alta estanqueidad respecto a limos naturales. Esto es el caso de una forma ideal en lodos de depuradoras y/o lodos de aguas, tal como se obtienen en las profundizaciones de puertos. Es conocido que el lodo de depuradora se utiliza como material de adición para impermeabilizaciones de superficies. Se trata aquí preferiblemente de lodo de depuradora con una materia seca de $TS = 30\%$ en peso y 70% en peso de agua. El uso preferido de lodo de depuradora con un contenido de agua de $W = 70\%$ fue elegido debido a la capacidad de procesamiento en movimientos de tierras. Lodos de depuradora demasiado húmedos pueden secarse previamente en el sol y posteriormente se mezclan en la capa de soporte, de modo que incluso lodos muy blandos con una materia seca de $TS = 20\%$ en peso y agua de $W = 80\%$ en peso pueden ser aprovechados.

- 20 La incorporación de dichos lodos en la mezcla de gravilla de arena de desierto con cantidades de adición del 20 al 25% en volumen y materiales de construcción de sustitución del 15 a 20% en volumen, resulta en una buena mezcla de suelo compactable, húmeda de tierra que se mantiene húmeda a pesar de la intensa luz solar, que tiene una buena capacidad portadora en estado compactado y que adicionalmente fragua de manera hidráulica. Tales mezclas proporcionan después de una semana unos valores de capacidad portadora de $E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ o resistencias a la presión de 7 N/mm^2 , tal como requerido por las directrices estatales para la normalización de las zonas de tránsito de pista de la República Federal de Alemania para la clase de construcción de tráfico pesado bajo capas de asfalto. Se puede fundamentar también edificios en tales capas de soporte acondicionadas de tal manera con arena desértica.

- 30 Como resultado, se encontró que se pueden añadir lodos de depuradora como suelo de retención de agua a la mezcla de sellado hidráulica en el orden de la mezcla de poros abiertos de la capa de soporte, que es alrededor del 20 al 30%, preferentemente el 25%, sin que la capa de soporte pierda sus valores de capacidad portadora. Además, se encontró que en este estado el fraguado hidráulico en condiciones climáticas extremas de la irradiación de sol caliente conserva su función y no se quema. Sólo en la superficie preferiblemente ha de mantenerse húmedo el área de suelo de la capa de soporte con suficiente agua, por lo que convenientemente estas capas de soporte son revestidas con una capa de desgaste o cubierta, por ejemplo con un pavimento. No son necesarios grandes cantidades de agua para la hidratación de la capa de soporte en el interior, ya que se pueden utilizar las propiedades del lodo como "agua seca".

- 40 Con el fin de comprobar que el procedimiento descrito anteriormente es también adecuado para la fabricación de capas de soporte a partir de terraplenes de sitios industriales abandonados, se mezclaron campos de ensayo de mezcla de suelos, arenas de moldeo, otras cenizas con residuos de escombros para formar un barro al 20% hasta 30% y se prepararon campos de ensayo de barro de loess puro con contenidos de agua elevados de $w = 20$ a 24%. Debido a su alto contenido de agua, los materiales de suelo no fueron sucesibles a la compactación. En el estado compactado después del resecado en el sol estos materiales de suelo llegaron solamente a valores bajos de capacidad portadora de 10 a 20 MN/m^2 .

- 45 Mediante la adición del 20% de ceniza de lecho fluidizado o escoria de horno de cuchara en el suelo húmedo, no sucesible a la compactación, sin embargo, se obtuvo una buena capacidad de compactación, de modo que los suelos pudieron ser compactados de manera óptima. Después del fraguado hidráulico dentro de una semana se determinaron valores de capacidad portadora en los mismos materiales de $E_{v2} \geq 120$ a 180 MN/m^2 . Lo sorprendente en ello es que barro de loess de grano uniforme logró valores de capacidad portadora muy altos de $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$, lo que no se consiguió en estabilizaciones de cal convencionales con cantidades añadidas de cal viva del 4 al 7%. Los valores están a $E_{v2} \geq 45$, como máximo 60 MN/m^2 .

- 55 Incluso después de un año las capas no mostraron cambios negativos en la capacidad portadora. Por el contrario, se detectó un aumento de los valores de alrededor del 10%, de modo que tales mejoras deben considerarse como permanentemente estable. Esto se aplica incluso si, por ejemplo, lodos de depuradora se añadió con un 20%. Esto es probablemente debido al efecto de sellado de tales materiales compuestos de capa de soporte y al valor pH efectivo en el intervalo básico.

- Otro ejemplo confirma el efecto estabilizante del limo en la mezcla de suelo.:

- 60 Cenizas domésticas de caldera depositadas en los años 40 a 50 en varios metros de espesor resultó en valores iniciales de capacidad portadora de $E_{v2} = 1$ a 10 MN/m^2 , compactados en valores de sólo $E_{v2} = 5$ a 15 MN/m^2 . La ceniza estabilizada con adición de ceniza de lecho fluidizado al 25% resultaron en valores de $E_{v2} \leq 30 \text{ MN/m}^2$.

- 65 Si, sin embargo, se estabiliza la ceniza de caldera doméstica con 20% de limo demasiado mojado y luego se mejora la cualidad con cenizas de lecho fluidizado o escorias de horno de cuchara al 25%, se midieron valores de

capacidad portadora después de 1 semana de $E_{v2} = 120$ a 150 MN/m^2 . Estos valores de capacidad portadora sorprendentemente altos se atribuyen, como ya se ha descrito anteriormente, al material de adición y el soporte de grano físico causado por ello, especialmente en suelos de grano uniforme. El fraguado hidráulico es sólo relevante en segundo lugar, no obstante, estando a disposición en la adición del 20% de dichos materiales de construcción de sustitución menos cal que une de manera hidráulica que en la adición del 7% de cal viva. Esta es una razón más de que el aumento de capacidad portadora se atribuye esencialmente al soporte de grano, es decir, a las propiedades físicas.

Con el procedimiento descrito, es por tanto posible mejorar terraplenes viejos de sitios industriales abandonados respecto a su capacidad portadora mediante la adición de materiales de construcción de sustitución descritos anteriormente con otra adición de limo, si no está presente, de manera que se puede fundamentar nuevas obras con presiones de suelo. En este contexto hay que señalar que terraplenes granulares tales como escombros, escorias, etcétera que son suficientemente estable de grano y compactable, no necesitan tal mejora. La relación entre la resistencia y la anchura de fundamento es la siguiente:

Ancho [m]	0,5	1,0	1,5
Carga [kN/m2]	250	350	400

Estas presiones de suelo corresponden con valores de capacidad portadora de capas compactadas, gujarreñas de arena y de grava y arena o materiales de escombros con una granulación de un promedio de entre 0 y 45 mm, en los cuales se fundamentan habitualmente con las mismas presiones del suelo.

Debido a los valores alcanzables muy altos de capacidad portadora con la adición de los materiales de construcción de sustitución mencionados anteriormente, incluso en suelos húmedos que fraguan, existe ahora la posibilidad de preparar en la superficie capas de soporte de alta calidad a partir de suelos de terraplenes en un espesor suficiente (de 2 a 4 m, en función del espesor total de los terraplenes hasta $\geq 10 \text{ m}$) y fundamentar por encima edificios comerciales o de oficinas con las presiones de suelo antes mencionados. Este tratamiento representa una solución muy económica para la reconstrucción de los sitios industriales abandonados mencionados anteriormente.

El procedimiento descrito se puede aplicar además para preparar capas de soporte a partir de los llamados residuos de MBA para que estos materiales que se pueden depositar de manera mala son por lo tanto alimentados a un aprovechamiento de materiales. Para ello, estos desechos se tratan preferentemente como sigue:

- Al material se le añaden escorias rotas de incineración de desechos o desechos equivalentes de grano firme, afilados para aumentar la resistencia al cizallamiento y la capacidad de compactación.
- El material se mezcla con un portador de agua en forma de lodo, lodo de depuradora o de aguas para el cierre de poros para una humedad de larga duración para el fraguado hidráulico y el cierre de poros.
- Hay que añadir al grano fino de $\leq 0,06 \text{ mm}$ materiales de construcción de sustitución que soportan el grano y fraguan de manera hidráulica, de los materiales mencionados anteriormente en cantidad suficiente.
- Los materiales son procesados de manera homogénea en instalaciones de mezcla forzada y luego se compactan después de la instalación con rodillos pesados de aproximadamente 10t.

En particular, se ha demostrado que, con las medidas de mejora de capacidad portadora por la adición de escorias trituradas de incineración de desechos de la granulación de 0 a 32 mm o de 0 a 45 mm con una fracción del 25% en volumen al 30% en volumen se aumenta la resistencia al cizallamiento de la mezcla de $\phi = 20^\circ$ a 24° a $\phi = 30^\circ$ a 33° . Mediante la adición de lodos adecuados, como por ejemplo lodo de depuradora o de aguas, en una cantidad del 15% en volumen al 25% en volumen, a la mezcla anterior, la estructura de poros de esta mezcla se rellena adicionalmente y mediante la adición de dichos materiales de construcción de sustitución en una cantidad del 20% en volumen al 33% en volumen se alcanzan la capacidad de instalación, la compresibilidad, la capacidad portadora necesaria y la fuerza de erosión como de deflación de las mezclas con materiales de MBA. Los valores de capacidad portadora son de 20 a 30 MN/m^2 después de 14 días de duración; con la escoria de desechos sola, sin embargo, se han logrado solamente valores de 5 a 10 MN/m^2 que corresponde a un barro blando. En caso de lluvia ya no se ha producido desgaste alguno sobre la superficie acondicionada con los materiales de construcción de sustitución y el lodo.

Debido al cierre de poros, la capacidad portadora y la buena compactibilidad se forman capas de soporte con carácter repelente al agua, y especialmente con suficiente resistencia a la erosión, de manera que en los taludes el material de partida no se elimina por lavado por las lluvias.

Además, las capas de soporte, debido a la resistencia al cizallamiento suficiente tiene una estabilidad suficiente en taludes y una estabilidad suficiente, sea para el uso posterior o sea para transportar los materiales para la deposición posterior adecuada en capas con equipos de movimiento de tierra habituales, incluso en condiciones climáticas húmedas. A través de las propiedades repelentes al agua de los residuos de MBA se reduce de manera significativa la formación de agua de infiltración en el área base del vertedero. Sólo a través de este enfoque, se pueden cumplir los requerimientos gubernamentales mencionados anteriormente para la deposición en vertederos.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Procedimiento para preparar una capa de soporte, en particular para la construcción de carreteras, o como una superficie para edificios, con las etapas en el orden siguiente:
 - a. proporcionar un material de partida que tiene un volumen de poros abiertos de entre el 25% y 40%, cuyo material de partida comprende:
 - 10 i) arena y/o
 - ii) residuos de plantas mecánica-biológicas de tratamiento de desechos para desechos municipales y desechos que pueden ser eliminados como desechos municipales, y/o
 - iii) terraplén de un sitio industrial abandonado;
 - 15 b. mezclar el material de partida con arena de gravilla de un tamaño de grano de un promedio de ≤ 6 mm;
 - c. mezclar con materiales de construcción de sustitución que presentan en la mezcla una fracción de volumen de entre el 15% y 25%, cuyos materiales de construcción de sustitución comprenden los siguientes compuestos:
 - 20 i) ceniza volante seca de hulla y/o
 - ii) ceniza de lecho fluidizado y/o
 - iii) ceniza de carbón marrón de una central eléctrica o
 - iv) escorias de horno de cuchara descompuestas y/o
 - v) cenizas de papel,
 - 25 en el que estos materiales de construcción de sustitución presentan un contenido de cal libre de $\geq 20\%$; y
 - d. añadir un lodo o limo que contiene agua, cuando el material de partida tiene un contenido de agua demasiado bajo, a fin de facilitar una unión hidráulica en la mezcla, en el que la capa de soporte después de la etapa de procedimiento d. presenta al 20 % en volumen hasta el 30 % en volumen de lodo o limo y al 15 % en volumen hasta el 25 % en volumen de uno o más de dichos materiales de construcción de sustitución.
 - e. compactar posteriormente la mezcla de material de partida, arena de gravilla, materiales de construcción de sustitución y lodo o limo.
- 35 **2.** procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la arena de gravilla se añade al 20 hasta el 30 % en volumen.
- 40 **3.** procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el tamaño de grano de los materiales de construcción de sustitución es de ≤ 2 mm, preferiblemente de ≤ 1 mm.
- 4.** procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la capa de soporte se incorpora en capas, en el que una capa tiene preferiblemente un espesor de 30 hasta 40 cm.
- 45 **5.** procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la capa de soporte se compacta después de la instalación con un rodillo de tambor liso vibratorio con un peso de entre 10t y 15t hasta el 100% de la densidad Proctor.
- 50 **6.** procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el lodo o limo que contiene agua comprende lodo de depuradora y/o agua lodo de agua.
- 7.** procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el lodo que contiene agua presenta un contenido de agua del 40 hasta el 85 % en peso, preferiblemente del 70 hasta el 80 % en peso.
- 55 **8.** Capa de soporte, en particular para la construcción de carreteras o para edificios, producida por un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.