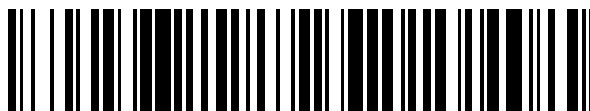


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 579**

51 Int. Cl.:

E01C 13/08 (2006.01)

C09K 17/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2016** E 16181427 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019** EP 3276077

54 Título: **Método de refuerzo de suelos utilizando materiales finos y fibras naturales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.02.2020

73 Titular/es:

CEMEX RESEARCH GROUP AG (100.0%)
Römerstrasse 13
2555 Brugg bei Biel, CH

72 Inventor/es:

GUERINI,, ALEXANDRE y
VOLPATTI, GIOVANNI

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 741 579 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

Método de refuerzo de suelos utilizando materiales finos y fibras naturales

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para reforzar el suelo según el preámbulo de la reivindicación 1. En particular, la presente invención se refiere a un método para reforzar suelos arcillosos mezclando un material fino y fibras naturales en la matriz del suelo. La mayor resistencia final del suelo lo hace especialmente adecuado para actividades deportivas, como fútbol o rugby.

Antecedentes del estado de la técnica

15 Un gran número de actividades deportivas se llevan a cabo en campos deportivos especialmente concebidos para ese fin. Más específicamente, algunos deportes, como el fútbol, el rugby o el cricket, se juegan en campos de césped hechos de suelos arcillosos. Debido a la alta actividad física de los jugadores involucrados en tales deportes, dichos campos de césped pueden sufrir daños graves durante un juego, lo que conlleva altos costos de mantenimiento y posibles lesiones a los jugadores. Por lo tanto, debe garantizarse que los campos deportivos que se usan intensivamente también sean más resistentes al daño. Cuando el campo deportivo está hecho de hierba, lo ideal es que las raíces de la hierba se fijen firmemente al suelo, asegurando que no se creen agujeros mientras se realiza la actividad deportiva que podría provocar lesiones a los jugadores.

25 El documento WO2011051744 proporciona un césped para deportes, actividades recreativas y/o para fines ornamentales que comprende una esterilla de material flexible equipada con una primera cara y una segunda cara opuestas entre sí. A la esterilla se conectan una pluralidad de fibras de un material artificial de tal manera que forma un césped artificial que sobresale de la primera cara. El césped comprende, además, una cantidad medida de un material de relleno suelto, por ejemplo de tipo granulado, distribuido en la cara de la esterilla. El césped comprende, además, material vegetal natural, es decir, plantas, que pertenecen a una o más especies de plantas puestas en el material de relleno suelto mediante siembra, trasplante de porciones de plantas o una combinación de las dos soluciones.

35 El documento WO2012159145 describe una superficie de césped que comprende: (a) una esterilla de refuerzo permeable a la raíz; (b) un respaldo removible permeable a la raíz ubicado debajo de la esterilla de refuerzo permeable a la raíz; (c) una capa de medio de crecimiento ubicada en la esterilla de refuerzo permeable a la raíz; y (d) plantas de césped natural que tienen raíces que se extienden hacia abajo a través de la capa de medio de crecimiento y la esterilla de refuerzo permeable a la raíz y el respaldo removible permeable a la raíz.

40 El problema con estas soluciones es que una fijación permanente de las raíces de la hierba no es tan fácil y todavía se producen daños en el campo que solo pueden repararse a posteriori.

Una alternativa que se ha explotado últimamente es el uso de campos artificiales basados en material granulado unido a bitumen o agua, tal como grava o arena, pero normalmente este tipo de superficies es más abrasivo y extremadamente duro, lo que lleva a los jugadores a lesionarse fácilmente.

45 Otra alternativa es el césped sintético, pero es demasiado costoso de instalar y tiene altos costos de mantenimiento /reparación. Además, la resistencia a la fricción de este material es muy alta, causando heridas y lesiones a los jugadores. También, el material más común utilizado en el relleno de césped artificial es el caucho desmenuzado, que está hecho de neumáticos para automóviles pulverizados, que pueden contener productos químicos y carcinógenos potencialmente peligrosos. Esto ha lanzado un debate sobre los posibles riesgos para la salud de los campos de césped artificial. Por lo tanto, se necesita una alternativa natural que presente la misma resistencia que la contraparte artificial.

55 Los métodos para el refuerzo del suelo con fibras para resistir la actividad intensa han sido descritos en el estado de la técnica, como se detalla a continuación.

60 El documento GB2342029 describe un compuesto para formar una superficie artificial para el deporte que comprende arena, piezas de un material sintético (plástico o caucho), suelo y semillas de hierba. Las piezas de material sintético, cuando son de plástico, pueden ser fibras de poliéster, fibras de poliamida y/o fibras de polialqueno. Para producir dicha superficie, se mezclan piezas de arena y sintéticas. Se puede agregar agua a la arena sola o a la mezcla. Esta mezcla se coloca luego para formar una capa uniforme. Se pueden agregar semillas de pasto durante la mezcla o después de la colocación del compuesto. La capa finalmente se enrolla.

65 En este documento, se describe el uso de materiales plásticos o de caucho en lugar de sustancias a base de aceite, que pueden filtrarse al agua subterránea, lo que plantea un problema ambiental. Sin embargo, el uso de materiales plásticos o de caucho no representa una alternativa sostenible, ya que la fuga de estos productos en las aguas subterráneas también es peligrosa para el medio ambiente. Por lo tanto, se necesita una alternativa más sostenible,

que también garantice un buen refuerzo del suelo para la actividad deportiva. Además, la invención menciona que la mezcla se debe regar "a fondo", pero no se divulga la cantidad de agua que se debe agregar.

El documento FR2835258 describe un sustrato permeable y flexible utilizado especialmente para la creación de terrenos deportivos con césped que comprende fibras de coco (1-5% en peso) y un material granulado como la arena, así como material poroso como la puzolana y material orgánico como compost. El material granulado es una arena no calcárea de granulometría 0/2, y representa 75-80% en peso del sustrato. El material mineral poroso comprende 15-25% en peso del sustrato. El material orgánico representa aproximadamente el 1% del peso seco del sustrato. Se presenta una reivindicación independiente por la utilización del sustrato para la creación o la renovación de terrenos deportivos con césped.

El documento EP2161981 proporciona una superficie de césped para deportes y otras actividades recreativas basadas en la mezcla de arena, un medio orgánico de soporte del crecimiento y dos tipos de fibras (fibras de poliuretano y polipropileno). La mezcla se suministra al sitio de trabajo, en donde se retira la capa superior del campo y se coloca la mezcla mencionada anteriormente. Finalmente, se agregan semillas de hierba y agua como etapa final. El documento describe que cuando se usa suelo, esta es preferiblemente una capa superior de buena calidad (tamizada y/o esterilizada) de una fuente aprobada. El documento revela que el sistema de dos fibras garantiza un equilibrio en la dureza y el rebote de la bola; también, enseña que las fibras de polipropileno deben ser rectas y de cierta longitud, para asegurar el "entrecruzamiento" necesario y la homogeneidad de la mezcla. Esto reduce aún más la elección de las fibras que se pueden usar, convirtiendo este método en uno más costoso y no disponible fácilmente.

El documento GB2274997 detalla una superficie que comprende arena, un medio de soporte de crecimiento orgánico y fibras sintéticas alargadas, que necesitan tener una longitud entre 5 mm y 75 mm y ser rectas, de modo que se pueda asegurar el efecto de "entrecruzamiento" que conduce a una mejor dispersión y un material final más resistente.

El documento WO9914288 proporciona un método para reforzar un suelo arcilloso, que comprende las etapas de mezclar el suelo con fibras poliméricas y compactar la mezcla resultante. Las fibras tienen una longitud promedio de 12 mm; si es inferior a 6 mm, no se observa mejoría en la resistencia del suelo, mientras que si es superior a 18 mm, las fibras se "hinchan" durante el mezclado. Preferiblemente, dichas fibras también están recubiertas con un agente dispersante para evitar su agregación mientras se mezclan con el suelo. La especificidad de las fibras que se utilizarán de acuerdo con esta patente dificulta su implementación; además, el uso de fibras sintéticas plantea un inconveniente medioambiental que se quiere evitar con la presente invención, al retirar o eliminar el suelo después de algunos años.

El documento WO9949137 intenta superar los problemas de la técnica anterior enseñando un método a través del cual pueden usarse fibras rizadas en estas superficies sin problemas de mezcla. El documento WO9949137 presenta una superficie artificial (que comprende una capa de material formado a partir de una mezcla de material sólido en partículas inorgánicas y fibras rizadas) y una superficie semiartificial (que comprende una capa de material formado a partir de una mezcla de hierba y/o semillas de hierba, un material sólido particulado inorgánico, un medio de soporte de hierba y fibras rizadas). De acuerdo con la invención, el material sólido particulado inorgánico está compuesto de arena, suelo, arcilla, ladrillo, granito, piedra caliza, agregados, cenizas, coque o carbonilla, o una mezcla de cualquiera de estos. El documento enseña que las propiedades mejoradas de la superficie se deben al hecho de que las fibras empleadas están onduladas, teniendo dichas fibras una longitud entre 5-100 mm cuando se mide en forma ondulada.

Resumen de la invención

Se sabe que la mezcla debe estar lo suficientemente seca para evitar el hundimiento del rodillo, pero lo suficientemente húmeda como para permitir una distribución satisfactoria de las fibras y el material fino con el suelo. La etapa de riego es importante; debe garantizar la distribución correcta de los materiales pero evitar terminar con un material en suspensión.

El método de acuerdo con la presente invención proporciona un suelo con buenas propiedades y respetuoso con el medio ambiente, que usa solo fibras naturales.

A pesar de las muchas propuestas para superficies reforzadas, ninguna asegura una mezcla adecuada de los materiales involucrados y la consiguiente distribución aleatoria y el enclavamiento de las fibras en la matriz. Se ha observado en aplicaciones de campo que las fibras tienden a separarse de la matriz de arena/suelo una vez aplicadas; por lo tanto, no todas las fibras agregadas a la mezcla serán parte de la malla final, se enclavarán y contribuirán a la mejora de las propiedades del suelo. Esto se observa instantáneamente cuando se utilizan fibras rectas y rizadas, lo que da como resultado un producto final donde las fibras se notan de inmediato en la matriz de suelo/arena incluso cuando se agregan pequeñas cantidades, sin ningún entrecruzamiento visible entre ellas.

La presente invención propone un método novedoso para reforzar los suelos en el que los diferentes materiales se mezclan de acuerdo con una nueva metodología que asegura la distribución aleatoria de fibras en una matriz de suelo/material fino, sin segregación de los materiales. Además, el producto obtenido es biodegradable pero duradero, lo que significa que al final de su vida útil, el producto puede eliminarse fácilmente, lo que no ocurre con las contrapartes

sintéticas disponibles, que deben llevarse a un relleno, lo que conlleva costos adicionales y problemas ambientales, por ejemplo, las fibras sintéticas que contaminan los suelos y/o terminan en corrientes de agua.

La presente invención proporciona un método que tiene las características de la reivindicación 1 para el refuerzo de la mezcla de suelo para el cultivo de césped para aplicaciones deportivas, comprendiendo la mezcla de suelo tierra, material fino y fibras naturales, seleccionándose el material fino del grupo que consiste en arena, polvo de piedra, polvo de derivación, piedra caliza, polvo de ladrillo y combinaciones de los mismos, seleccionándose las fibras naturales del grupo que consiste en fibras de banano, sisal, coco, cáñamo, caña de azúcar/bagazo, bambú, yute, lino, pasto elefante, musamba, madera, algodón, kenaf y sus combinaciones, que comprenden las siguientes etapas:

(a) excavar y eliminar la capa superior de un suelo original a una profundidad de 10 a 30 cm,
(b) mezcla

- el suelo original eliminado en la etapa (a) en una porción de 5 a 45% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo y una relación en peso de material fino a suelo de 1,2 y 19,
- el material fino en una porción de 55 a 95% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo,
- las fibras naturales en una porción de 0,6% a 3% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo, y
- agua en una porción del 8% al 20% en peso del contenido total de sólidos del suelo,

(c) descargar la mezcla de suelo obtenida en la etapa (b) y colocarla en un lugar y
(d) compactar la superficie obtenida después de la etapa (c).

Se pueden usar equipos comunes para excavar y remover el suelo en la etapa (a), tales como excavadoras, buldóceres, raspadores de remolque, raspadores de semirremolque, raspadores autopropulsados, niveladoras o autoniveladoras.

El suelo original eliminado en la etapa (a) se evacua y se elimina o se lleva a un relleno ya que puede estar lleno de material de cultivo, raíces, etc. El suelo utilizado en la etapa (b) es una nueva fuente de suelo que se proporciona en el lugar donde se fabrica la mezcla de suelo preparada en la etapa (b). La nueva fuente de suelo puede ser cualquier suelo de acuerdo con la definición dada a continuación.

Según una realización adicional, solo se usa una fracción (5% a 45%) del suelo original en la etapa (b), el resto del suelo original se evacua y se elimina o se lleva a un relleno.

Según una realización adicional de la invención, el suelo usado en la etapa (b) es una mezcla del suelo original y un suelo nuevo.

Como la mezcla de suelo puede contener materiales finos adicionales, y dado que la mezcla de suelo se compactará en el espacio dejado por el suelo original que se retiró, al menos del 55% al 95% del suelo original tendrá que ser evacuado y eliminado o se lleva a un relleno.

En la etapa (b) del método de la invención, se puede usar cualquier mezclador para mezclar los ingredientes, por ejemplo, granuladores de disco, mezcladores de paletas, granuladores de tambor, aglomerantes de mezcladores de clavijas, mezcladores de cinta, mezcladores de paletas individuales o mezcladores planetarios.

Más preferiblemente, el mezclador utilizado en la etapa (b) es un homogeneizador continuo o discontinuo equipado con tres rotores helicoidales y una cámara de mezcla para la mezcla mecánica homogénea de los diferentes materiales.

En la etapa (b) del método de la invención, el material fino puede ser, pero no está limitado a, agregados finos. La invención permite el uso de cualquier material donde la mayoría de sus partículas (90%) sean menores de 30 mm. Ejemplos de material finamente dividido que se puede usar según la realización de esta invención son arena, polvo de piedra, polvo de derivación, piedra caliza, polvo de ladrillo o una combinación de los mismos. Preferiblemente, el material fino es la arena de norma EN 196-1- (0/2 mm). Para lograr la mejor combinación de propiedades mecánicas del suelo y permeabilidad al agua (ver ejemplos), la relación en peso entre los materiales finos y el suelo de acuerdo con la invención se ubicará entre 1,2 y 19.

En el método de la invención, se pueden usar cualquier fibra natural, por ejemplo, pero sin limitación, fibras de banano, sisal, coco, cáñamo, caña de azúcar/bagazo, bambú, yute, lino, hierba elefante, musamba, madera, algodón, kenaf o una combinación de los mismos. Preferiblemente, las fibras naturales utilizadas son fibras de coco. Este componente está altamente disponible; de 1.000 cocos se pueden extraer alrededor de 10 kg de fibras de coco. Debido a su alta concentración de lignina, las fibras de coco son más fuertes que el algodón pero menos flexibles. Las fibras de coco tienen buena resistencia a la acción microbiana y, aunque son un producto natural y por lo tanto biodegradable, las fibras de coco tienen una baja tasa de descomposición, lo que significa que el refuerzo del suelo durará un período más largo, normalmente hasta 3 años. Además, las fibras de coco tienen la capacidad de retener la humedad, evitando que el suelo se seque y permitiendo que la vegetación prospere.

ES 2 741 579 T3

El contenido seco de fibras naturales está en el intervalo de 0,6% en peso a 3% en peso de la suma del peso total del suelo y del material fino.

- 5 De acuerdo con el método de la invención, las fibras naturales no necesitan ningún tratamiento previo ni ninguna configuración especial. Las fibras con cualquier longitud o diámetro pueden usarse como se recibieron.

10 Para determinar el contenido óptimo de agua que se agregará en la etapa (b) en la que el suelo alcanzará su densidad seca máxima, se debe realizar una Prueba de Compactación Proctor, ya que dicho contenido óptimo de agua dependerá del tipo de suelo a ser reforzado. Se pueden usar tanto la Prueba Proctor Estándar (de acuerdo con la norma ASTM D698) como la Prueba Proctor Modificada (de acuerdo con la norma ASTM D1557); la única diferencia entre los dos métodos es la energía de compactación (600 kN-m/m³ para la Prueba Proctor Estándar versus 2.700 kN-m/m³ para la Prueba Proctor Modificada).

15 La prueba de Compactación Proctor consiste en compactar muestras de suelo con un cierto contenido de agua con energía de compactación estándar. En la prueba de Compactación Proctor, el suelo que se va a analizar primero se seca al aire y luego se divide en 4 a 6 muestras. Luego se agrega agua a cada muestra de suelo con incrementos de 3% a 5% entre muestras o más, dependiendo del tipo de suelo. Esto permite tener de 4 a 6 muestras de suelo con diferentes contenidos de agua entre ellas. Las muestras de suelo se colocan luego en un molde de 10 cm de diámetro en tres capas diferentes. Cada capa recibe 25 golpes de martillo. En la prueba Proctor estándar, se usa un martillo de 2,5 kg que cae 305 mm, mientras que en la prueba Proctor modificada, se usa un martillo de 4,5 kg que cae 457 mm. Antes de colocar una nueva capa, la superficie de la anterior se raspa para garantizar la distribución de los efectos de compactación.

25 Al final de la prueba, la muestra se retira y se seca y se determina la densidad seca para cada muestra. Con base en dicha densidad seca y el contenido de agua de cada muestra, se traza una curva para la densidad seca en función del contenido de agua. Entonces se puede determinar el contenido de agua que producirá la densidad más alta. Una desviación de $\pm 3\%$ del contenido óptimo de agua dado por la prueba Proctor es aceptable.

30 Se descubrió que la cantidad mínima de agua que debe agregarse a la mezcla es la cantidad de agua que es absorbida por las fibras naturales, lo que asegura que las fibras se separen y también proporciona lubricación a las fibras en la mezcla final.

35 La adición de una cantidad insuficiente de agua, por ejemplo, cantidades de agua que están por debajo del agua que pueden absorber las fibras, conducirá a una distribución no homogénea de las fibras ya que las fibras se aglomerarán en grumos.

40 Para determinar la cantidad óptima de agua que debe agregarse a la mezcla, las pruebas de Compactación Proctor deben realizarse en la mezcla que contiene todos los constituyentes (suelo, finos y fibras).

45 Las adiciones de exceso de agua conducirán a la segregación de los finos (típicamente 125 micras) en la mezcla y, por lo tanto, mala homogeneidad de la mezcla, problemas de compactación de la mezcla usando equipos de colocación y compactación por exceso de plasticidad y finamente conducirán a una alta contracción cuando el exceso de agua se seque, dejando grietas y huecos.

50 Para la mayoría de las muestras analizadas que tienen una proporción de suelo entre 5% en peso y 45% en peso del contenido de sólido total, material fino entre 55% en peso y 95% en peso del contenido de sólido total y fibras naturales entre 0,6% en peso y 3 % en peso del contenido de sólido total, el agua óptima agregada o el contenido de agua libre (agregado al material fino seco y al suelo y a las fibras saturadas de agua) de acuerdo con la Prueba de Compactación Proctor, preservando las características de mezcla y colocación y permitiendo una distribución homogénea de las fibras saturadas de agua en la mezcla se ubicaron entre 8% en peso y 20% en peso del contenido de sólido total de la mezcla de acuerdo con la invención.

55 Después de la etapa (c) del método de la invención, la mezcla de suelo se distribuye uniformemente manual o mecánicamente por medio de una motoniveladora, que es una pieza de maquinaria utilizada en la construcción, más específicamente utilizada en la creación de superficies planas y en la preparación de un trayecto base para carreteras pavimentadas.

60 En la etapa (d) del método de la invención, la compactación de la mezcla de suelo en la etapa (d) se logra por medio de un equipo rodante. Este equipo rodante es típicamente un rodillo, que compacta el asfalto o el concreto, pero también suelo o grava durante la construcción de infraestructura utilizando dichos materiales.

65 A fin de facilitar el transporte de fibras naturales, con frecuencia se agrupan en grandes trozos que deben desglosarse antes de ser utilizados. Por lo tanto, los componentes en la etapa (b) se pueden agregar todos juntos en una sola etapa o alternativamente, especialmente si las fibras naturales se proporcionan en grandes trozos, las fibras naturales se dispersan primero en agua y luego se mezclan con arena y solo después de que el suelo está agregado a la mezcla.

Por lo tanto, otra realización es el método de la invención, en el que en la etapa (b) se añaden material fino, fibras naturales y agua simultáneamente.

- 5 Otra realización es el método de la invención, en el que el material fino se selecciona del grupo que consiste en arena, polvo de piedra, polvo de derivación, piedra caliza, polvo de ladrillo o una combinación de los mismos.

Para lograr la mejor combinación de propiedades mecánicas del suelo y permeabilidad al agua (véase los ejemplos), la relación en peso entre los materiales finos y el suelo de acuerdo con la invención se ubicará entre 1,2 y 19.

- 10 El agua total añadida o el agua libre se encuentra entre el 8% en peso y el 20% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de acuerdo con la invención.

- 15 Como el material fino o el suelo pueden tener cierto nivel de humedad, el agua total añadida se adaptará al agua (humedad) ya presente en el material fino o el suelo.

Otra realización es el método de la invención, en el que la proporción de fibras naturales está comprendida entre 0,6% y 3% (p/p) del contenido total de sólidos.

- 20 Otra realización es el método de la invención, en el que las fibras naturales se seleccionan de planta/fruta de banano, sisal, coco, cáñamo, caña de azúcar/bagazo, bambú, yute, lino, hierba elefante, musamba, madera, algodón, kenaf o una combinación de los mismos.

- 25 La Tabla 1 muestra las diversas características de las fibras típicas utilizadas para la mezcla de suelo de acuerdo con la invención.

Tabla 1 - Propiedades de las fibras naturales que pueden usarse de acuerdo con la invención

	Longitud	Diámetro	Absorción de agua	Densidad	Resistencia a la tracción	Módulo E
Unidad	mm	mm	%	kg/m ³	Mpa	Gpa
Banano	-	-	-	-	6	-
Sisal	-	-	-	-	280-560	13-26
Coco	50-350	0,1-0,4	130-180	1,12-1,15	120-200	19-26
Cáñamo	-	-	-	-	7	-
Caña de azúcar/Bagazo	-	0,2-0,4	70-75	12-1,3	170-290	15-19
Bambú	-	0,05-0,4	40-45	1,5	350-500	33-40
Yute	180-300	0,1-0,2	-	1,5-1,9	250-350	26-32
Lino	500	-	-	-	100	100
Hierba elefante	-	-	-	-	178	5
Musamba	-	-	-	-	83	1
Madera	2,5-5	0,015-0,08	50-75	1,5	700	-
Algodón	-	-	-	1,5-1,6	400	5-13
Kenaf	-	-	-	1,45	930	53

- 30 Otra realización es el método de la invención, en el que las fibras naturales son preferiblemente fibras de coco.

En la etapa b) del método de la invención, también se pueden agregar polímeros superabsorbentes (SAP) a la mezcla. En términos generales, los SAP son redes de polímeros reticulados que se hinchan cuando entran en contacto con agua o soluciones acuosas, formando un gel, y liberan dicho líquido gradualmente con el tiempo cuando se exponen a condiciones secas. Los SAP pueden absorber cantidades de agua unos cientos de veces su propio peso; cuando se agregan a los suelos, mantendrán su humedad constante, por lo que son extremadamente ventajosos si se planea que la vegetación crezca en ese suelo (por ejemplo, si el suelo reforzado se va a utilizar en un campo deportivo).

- 35

Se deben agregar SAP en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

- 40 Por lo tanto, otra realización es el método de la invención, en el que se añaden polímeros superabsorbentes en la mezcla en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

- 45 En la etapa (b) de la invención, se pueden agregar adiciones de materiales porosos saturados en agua finamente divididos (menos de 10 mm) como hidratos de silicatos de calcio, zeolitas, perlita expandida, vermiculita, hormigón expandido o espumado triturado o combinaciones de los mismos. Las dosis de las adiciones de materiales porosos finamente divididos se clasifican entre 0,5 y 5% en peso (contenido sólido seco versus contenido sólido seco del

material fino y el suelo). Estas partículas actuarán como reservas de agua de la misma manera que los superabsorbentes.

5 En la etapa (b) del método de la invención, las semillas de hierba también se pueden agregar a la mezcla en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

Otra realización es el método de la invención, en el que se añaden semillas de hierba en la mezcla en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

10 Además, en la etapa (b) del método de la invención, también se puede agregar fertilizante, en el que si el fertilizante es líquido, primero se mezcla en el agua. La concentración de fertilizante agregado depende de la vegetación que se plantará en el suelo reforzado.

15 La mezcla final de acuerdo con la invención presenta una buena dispersión de los materiales, con un buen enclavamiento de las fibras, en donde todas las fibras introducidas en la mezcla permanecen en la matriz y contribuyen a la mejora de las propiedades del suelo en términos de resistencia al desgaste. El producto también es biodegradable y no plantea problemas medioambientales.

20 Otra ventaja de acuerdo con la invención es que la permeabilidad al agua de la mezcla (suelo + material fino) disminuirá con la presencia de las fibras, mientras que la cohesión de la mezcla de suelo (suelo y material fino) mejora con la presencia de fibras (véase los Ejemplos 1-3) sin afectar el valor del ángulo de fricción logrado por el contenido de material fino. Los diversos suelos, los materiales finos y la mezcla de acuerdo con la invención se probaron utilizando la prueba de corte directo ASTM D 3080 estándar americano. Para identificar 4 valores que caracterizaron la resistencia mecánica de acuerdo con los criterios de falla de Mohr-Coulomb.

25 1) Ángulo de fricción interna ϕ'

30 El ángulo de fricción del suelo es un parámetro de resistencia al corte de los suelos. Su definición se deriva del criterio de falla de Mohr-Coulomb y se usa para describir la resistencia al corte por fricción de los suelos junto con la tensión efectiva normal.

En el plano de tensión de la tensión efectiva normal de la tensión de corte, el ángulo de fricción del suelo es el ángulo de inclinación con respecto al eje horizontal de la línea de resistencia al corte de Mohr-Coulomb.

35 2) Cohesión del suelo c'

La cohesión es el componente de la resistencia al corte de una roca o suelo que es independiente de la fricción entre partículas.

40 1') Ángulo residual de fricción interna ϕ^r

El ángulo de fricción residual del suelo es un parámetro de resistencia al corte de los suelos después de alcanzar el máximo. Su definición se deriva del criterio de falla de Mohr-Coulomb y se utiliza para describir la resistencia al corte por fricción de los suelos junto con el esfuerzo efectivo normal, después de alcanzar el máximo.

45 2') Cohesión residual del suelo c^r

La cohesión es el componente de la resistencia al corte de una roca o suelo que es independiente de la fricción entre partículas, calculada después de alcanzar el máximo.

50 Los valores característicos c , ϕ se calculan mediante ajuste inverso con la interpolación lineal de acuerdo con las siguientes fórmulas:

55
$$\tau' = c' + \sigma'v \cdot \tan\phi'$$

$$\tau^r = c^r + \sigma'v \cdot \tan\phi^r$$

60 Los resultados de las pruebas en cada muestra están representados por los diversos esfuerzos de corte versus desplazamiento de corte de acuerdo con la prueba (Figura 2) con diferentes esfuerzos normales aplicados (1,2,3). Los resultados se grafican en un gráfico con el esfuerzo máximo (o residual) en el eje y y el esfuerzo de restricción en el eje x (Figuras 3 y 4). La intersección en y de la curva que se ajusta a los resultados de la prueba es la cohesión, y la pendiente de la línea o curva es el ángulo de fricción.

65 Las pruebas de corte directo se pueden realizar bajo varias condiciones. La muestra normalmente está saturada antes de que se realice la prueba, pero se puede llevar a cabo con el contenido de humedad *in situ*. La tasa de deformación se puede variar para crear una prueba de condiciones no drenadas o drenadas, dependiendo de si la deformación se

ES 2 741 579 T3

aplica lo suficientemente lento para que el agua en la muestra para evitar la acumulación de presión de agua en el poro. Se requiere una máquina de prueba de corte directo para realizar la prueba. La prueba que usa la máquina de corte directo determina la resistencia al corte consolidada y drenada de un material de suelo en corte directo.

- 5 Típicamente, un material fino puro (por ejemplo, arena de 0,1-4 mm) tiene un alto ϕ' típicamente de 25°- 40° pero tiene una cohesión c' que está cerca de cero. Por otro lado, un suelo con alto contenido de arcilla tendrá un ϕ' bajo típicamente de 5° a 25°, pero la cohesión c' será mayor que el material fino (entre 10 KPa y 80 KPa).

Las propiedades mecánicas específicas derivadas de la prueba son las siguientes:

10

$$\begin{aligned} 15^\circ < \phi' < 45^\circ \\ 5 \text{ KPa} < c' < 80 \text{ KPa} \\ 10^\circ < \phi' r < 40^\circ \\ 2 \text{ KPa} < c' r < 60 \text{ KPa} \end{aligned}$$

15

Los valores residuales ($\phi'r$ y $c'r$) describen la resistencia mecánica restante de un suelo después de que se ha superado la resistencia máxima.

20

Los diversos suelos, materiales finos y mezclas de acuerdo con la invención también se probaron con respecto a la permeabilidad al agua, que es una medida que indica la capacidad del suelo o la roca para permitir que los fluidos pasen a través de ella (de acuerdo con la norma ASTM D2434-68 aprobada nuevamente en 2006).

25

La permeabilidad al agua K (mm/s) debe ser lo suficientemente alta como para permitir que se libere la presión del agua sin afectar las propiedades mecánicas del suelo o la mezcla de acuerdo con la invención, aunque no debe ser demasiado alta para permitir que se retenga el agua en el suelo o mezclar de acuerdo con la invención para que el pasto pueda crecer (las raíces puedan absorber el agua requerida).

Típicamente, la invención se dirige a valores de permeabilidad al agua K que varían de 0,001 mm/s a 0,1 mm/s.

30

Otra forma de realización es el método, en el que la mezcla de suelo tiene una cohesión c' de 5 KPa a 80 KPa, un ángulo de fricción interno ϕ' de 15° a 45°, un ángulo residual de fricción interna $\phi'r$ de 10° a 40° y una cohesión residual $c'r$ de 2 KPa a 60 KPa.

35

La presente invención proporciona además un método, en el que la etapa (b) comprende las siguientes etapas:

- (b1) dispersar las fibras naturales en agua,
- (b2) añadir las fibras dispersas en agua de la etapa (b1) al material fino y mezclar;
- (b3) agregar el suelo y mezclar.

40

El agua libre (o agua añadida) puede añadirse durante las etapas intermedias (b1) y/o (b2) y/o (b3).

La etapa intermedia (b1) requiere el uso de al menos la cantidad de agua que las fibras naturales puedan absorber para obtener una dispersión suficiente de las fibras para que la mezcla final del suelo tenga una homogeneidad optimizada.

45

Otra realización es el método, en el que en las etapas (b2) y (b3), la mezcla se realiza en un mezclador durante 2 a 10 minutos.

50

Otra realización es el método, en el que se agrega agua durante las etapas intermedias (b2) y/o (b3).

En otra realización de la invención, las etapas intermedias (b2) y (b3) se realizan simultáneamente.

55

Otra realización es el método, en el que en la etapa (c) la mezcla se distribuye uniformemente de forma manual o mecánica.

Otra realización es el método, en el que los componentes en la etapa (b) se agregan simultáneamente.

60

Otra realización es el método, en el que se añaden polímeros superabsorbentes a la mezcla en la etapa (b). En una realización particular, los polímeros superabsorbentes se agregan en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

Otra realización es el método, en el que se agrega material poroso saturado de agua con un tamaño de partícula de adiciones de menos de 10 mm a la mezcla en la etapa (b).

65

Otra realización es el método, en el que el material poroso saturado de agua se selecciona del grupo que consiste en hidratos de silicatos de calcio, zeolitas, perlita expandida, vermiculita, hormigón expandido triturado o espumado y

combinaciones de los mismos. En una realización particular, se añade material poroso saturado de agua de 0,5 a 5% en peso del contenido de sólido seco con respecto al contenido de sólido seco del material fino y el suelo.

5 Otra realización es el método, en el que se añaden semillas de hierba a la mezcla en la etapa (b). En una realización particular, se añaden semillas de hierba en la mezcla en la etapa (b) en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.

Lista de definiciones

10 Fibras: material utilizado para aumentar el desempeño estructural. Las fibras incluyen: todos los tipos de fibras naturales se seleccionan de planta/fruto de banano, sisal, coco, cáñamo, caña de azúcar/bagazo, bambú, yute, lino, hierba elefante, musamba, madera, algodón, kenaf o una combinación de los mismos.

15 Agregados finos: minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor de 4 mm y un tamaño máximo menor de 8 mm.

Arena: minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula inferior a 4 mm.

20 Suelo: el suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se producen en la superficie del suelo, ocupa espacio y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas, que son distinguibles del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o la capacidad de soportar plantas enraizadas en un entorno natural, mezcla de minerales, materias orgánicas, gases y líquidos e innumerables organismos.

25 Breve descripción de los dibujos

Figura 1. Esfuerzo de corte versus deformación de corte para 3 cargas de confinamiento

Figura 2. Envoltura de falla de Mohr-Coulomb en la resistencia máxima de acuerdo con la norma ASTM D3080

30 Figura 3. Envolturas de resistencia residual de Mohr-Coulomb calculadas a una deformación de 12 mm de acuerdo con la norma ASTM D3080

Figura 4 . Agua absorbida por las fibras de coco durante el tiempo. Esta Figura muestra el peso total (fibras de coco + agua) y el agua absorbida (en gramos y en % en peso).

Figura 5. Prueba de Compactación Proctor, por ejemplo 1

Figura 6. Prueba de Compactación Proctor, por ejemplo 2

35 Figura 7. Prueba de Compactación Proctor, por ejemplo 3

Descripción de las realizaciones

40 Se llevaron a cabo pruebas para medir la cantidad de agua que pueden absorber las fibras.

Las fibras se secaron en un horno a 105 °C durante 24 horas y luego se remojaron en agua durante 12 horas. Se tomaron muestras cada 30 minutos para medir por diferencia de masa el agua absorbida por las fibras.

45 En los ejemplos, las fibras eran fibras de coco con una longitud de 30-60 mm con una densidad de fibras de 1400 kg/m³ y una densidad aparente de 420 kg/m³. Los resultados se muestran en la Figura 4, en la que se muestra que las fibras están completamente saturadas en agua después de 4 horas (240 minutos).

50 De acuerdo con la invención, las fibras deben saturarse con agua antes de mezclarse con los otros componentes del suelo de mezcla y el agua de adición, de lo contrario, las fibras no se desagregarán fácilmente y la mezcla final no será homogénea.

Por lo tanto, es importante evaluar la cantidad de agua que se utilizará para saturar las fibras con el fin de determinar la cantidad de agua libre disponible para la optimización de la compactación de la mezcla final (prueba Proctor).

55 Finalmente, se debe estimar la humedad del material fino y del suelo para corregir la cantidad de agua libre (agua añadida).

Ejemplo 1

60 El ejemplo 1 muestra una mezcla de suelo según la invención, caracterizada por una baja relación material fino/suelo, un material fino que es una clase de arena 0/4, un suelo (que proviene completamente de otro lugar que el suelo excavado), contenido de medio de fibras de coco (1,5%). El proceso de remojo se realizó agregando solo el mínimo de agua requerida (saturación de las fibras); se añadió todo el agua restante al mezclar con los otros componentes.

65

ES 2 741 579 T3

Tabla 2. Caracterización de la materia prima para el ejemplo 1

Caracterización de la materia prima		
Material fino		
Clase de granulometría	mm	0/4
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1750
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	13,2%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	2,35E-02
E - Módulo elástico	kPa	24100
c' - Cohesión máxima	kPa	0
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	37,45
c'r- Cohesión residual	kPa	0
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	32,28
Humedad	% de masa	1,2%
Suelo		
Clase de granulometría	mm	0/2
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	2010
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	7,5%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	7,86E-04
E - Módulo elástico	kPa	8800
c' - Cohesión máxima	kPa	25,3
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	27,95
c'r- Cohesión residual	kPa	14,8
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	23,8
Humedad	% de masa	4,3%
Fibras		
Material	-	Coco
Densidad seca	kg/m ³	1150
Densidad aparente	kg/m ³	250
Longitud	mm	15-60
Diámetro	mm	0,05-0,5
Resistencia a la tracción	Mpa	180
E - Módulo Elástico	Mpa	21500
Absorción de agua	% de masa	175%
Humedad	% de masa	14%

Tabla 3. Composición de la mezcla de suelo, para el ejemplo 1

MEZCLA SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Composición (materiales secos)		
Material fino	kg	750
Suelo	kg	250
Fibras	kg	15
Material fino/suelo	-	3
Fibras	% de masa (material fino + suelo)	1,50%
Proctor (Suelo + material fino + fibras)		
Densidad seca 1	kg/m ³	1650
Densidad seca 2	kg/m ³	1784
Densidad seca 3	kg/m ³	1815
Densidad seca 4	kg/m ³	1800
Densidad seca y 5	kg/m ³	1720
Agua 1	% de masa	7,8%
Agua 2	% de masa	9,3%
Agua 3	% de masa	11,7%
Agua 4	% de masa	13,6%

ES 2 741 579 T3

Agua 5	% de masa	14,5%
Densidad seca Proctor máx.	kg/m ³	1815
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	11,7%
Tratamiento de remojo de la fibra		
Fibra	kg	15
Humedad	% de masa	14%
	kg	2,1
Absorción de gua	% de masa	175%
	kg	26,25
Mínimo de agua agregada al proceso de remojo	kg	24,15
Total de agua agregada en el proceso de remojo	kg	24,15
Agua adicional en el proceso de remojo (respecto a la absorción de agua)	kg	0
Agua que se agrega en el proceso de mezcla		
Material fino	kg	750
Suelo	kg	250
Fibras	kg	15
Material fino + Suelo + Fibras	kg	1015
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	11,7%
	kg	118,755
Humedad del material fino	% de masa	1,2%
	kg	9
Humedad del suelo	% peso	4,3%
	kg	10,75
Agua aportada por el agua adicional en el proceso de remojo	kg	0
Agua debida a la humedad y al proceso de remojo de fibra	kg	19,75
Agua que se añade en el proceso de mezcla	kg	99,005

Tabla 4. Propiedades mecánicas y físicas de la mezcla de suelo para el ejemplo 1

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Suelo + material fino + fibras + agua		
Clase de granulometría	mm	0/4
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1815
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	11,7%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	1,78E-02
E - Módulo elástico	kPa	20300
c' - Cohesión máxima	kPa	5,6
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	34,2
c'r- Cohesión residual	kPa	4,2
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	30,4
Humedad	% de masa	11,7%

5 La Figura 5 muestra la Prueba de Compactación Proctor para este ejemplo.

Ejemplo 2

10 El ejemplo 2 muestra una mezcla de suelo de acuerdo con la invención, que se caracteriza por una alta relación material fino/suelo (19), un material fino con granulometría clase 0/1, un suelo (que proviene parcialmente del sitio de trabajo y parcialmente de otro ubicación diferente del suelo excavado) y bajo contenido de fibras de yute. El proceso de remojo se realizó agregando un exceso de agua con respecto al agua mínima requerida; se añadió todo el agua restante al mezclar con los otros componentes.

ES 2 741 579 T3

Tabla 5. Caracterización de la materia prima, para el ejemplo 2

CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA		
Material fino		
Clase de granulometría	mm	0/1
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1680
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	6,8%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	7,65E-03
E - Módulo elástico	kPa	31000
c' - Cohesión máxima	kPa	0
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	32,45
c'r- Cohesión residual	kPa	0
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	31,56
Humedad	% de masa	0,4%
Suelo		
Clase de granulometría	mm	0/4
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1950
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	14,7%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	4,38E-03
E - Módulo elástico	kPa	11400
c' - Cohesión máxima	kPa	14,6
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	31,5
c'r- Cohesión residual	kPa	7,5
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	28,5
Humedad	% de masa	3,1%
Fibras		
Material	-	Yute
Densidad seca	kg/m ³	1610
Densidad aparente	kg/m ³	360
Longitud	mm	30-50
Diámetro	mm	0,1-0,2
Resistencia a la tracción	Mpa	320
E - Módulo Elástico	Mpa	28,2
Absorción de agua	% de masa	115%
Humedad	% de masa	5%

Tabla 6. Composición de la mezcla de suelo para el ejemplo 2

MEZCLA SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Composición (materiales secos)		
Material fino	kg	1780
Suelo	kg	95
Fibras	kg	12
Material fino/suelo	-	19
Fibras	% de masa (material fino + suelo)	0,64%
Proctor (Suelo + material fino + fibras)		
Densidad seca 1	kg/m ³	1540
Densidad seca 2	kg/m ³	1650
Densidad seca 3	kg/m ³	1695
Densidad seca 4	kg/m ³	1750
Densidad seca y 5	kg/m ³	1710
Agua 1	% de masa	7,3%
Agua 2	% de masa	9,5%
Agua 3	% de masa	11,2%
Agua 4	% de masa	14,1%

ES 2 741 579 T3

Agua 5	% de masa	17,5%
Densidad seca Proctor máx.	kg/m ³	1710
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	14,1%
Tratamiento de remojo de la fibra		
Fibra	kg	12
Humedad	% de masa	5%
	kg	0,6
Absorción de agua	% de masa	115%
	kg	13,8
Mínimo de agua agregada al proceso de remojo	kg	13,2
Total de agua agregada en el proceso de remojo	kg	70
Agua adicional en el proceso de remojo (respecto a la absorción de agua)	kg	56,8
Agua que se agrega en el proceso de mezcla		
Material fino	kg	1780
Suelo	kg	95
Fibras	kg	12
Material fino + Suelo + Fibras	kg	1887
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	14,1%
	kg	266,067
Humedad del material fino	% de masa	0,4%
	kg	7,12
Humedad del suelo	% de masa	3,1%
	kg	2,945
Agua aportada por el agua adicional en el proceso de remojo	kg	56,8
Agua debida a la humedad y al proceso de remojo de fibra	kg	66,865
Agua que se añade en el proceso de mezcla	kg	199,202

Tabla 7. Propiedades mecánicas y físicas de la mezcla de suelo para el ejemplo 2

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Suelo + material fino + fibras + agua		
Clase de granulometría	mm	0/4
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1710
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	7,7%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	7,29E-03
E - Módulo elástico	kPa	28800
c' - Cohesión máxima	kPa	3,2
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	32,04
c'r- Cohesión residual	kPa	2,8
φ' - Ángulo residual de fricción interna	°	31,25
Humedad	% de masa	14,1%

5 **Ejemplo 3**

El ejemplo 3 muestra una mezcla de suelo de acuerdo con la invención, que se caracteriza por una relación material fino medio/suelo (10), un material fino con granulometría clase 0/2, un suelo originalmente muy húmedo (proveniente totalmente del sitio de trabajo) y alto contenido de fibras de sisal (3,2%). El proceso de remojo se realizó agregando un exceso de agua con respecto al agua mínima requerida; se añadió todo el agua restante al mezclar con los otros componentes.

10

ES 2 741 579 T3

Tabla 8. Caracterización de materia prima para el ejemplo 3

CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA		
Material fino		
Clase de granulometría	mm	0/2
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1920
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	8,1%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	4,32E-02
E - Módulo elástico	kPa	28500
c' - Cohesión máxima	kPa	0
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	36,53
c'r- Cohesión residual	kPa	0
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	34,53
Humedad	% de masa	1,0%
Suelo		
Clase de granulometría	mm	0/1
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	2150
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	16,1%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	9,82E-03
E - Módulo elástico	kPa	13200
c' - Cohesión máxima	kPa	35,2
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	34,6
c'r- Cohesión residual	kPa	28,1
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	27,5
Humedad	% de masa	7,1%
Fibras		
Material	-	Sisal
Densidad seca	kg/m ³	1300
Densidad aparente	kg/m ³	420
Longitud	mm	15-40
Diámetro	mm	0,1-0,4
Resistencia a la tracción	Mpa	450
E - Módulo Elástico	Mpa	24,3
Absorción de agua	% de masa	70%
Humedad	% de masa	1%

Tabla 9. Composición de la mezcla de suelo para el ejemplo 3

MEZCLA SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Composición (materiales secos)		
Material fino	kg	400
Suelo	kg	40
Fibras	kg	14
Material fino/suelo	-	10
Fibras	% de masa (material fino + suelo)	3,18%
Proctor (Suelo + material fino + fibras)		
Densidad seca 1	kg/m ³	1650
Densidad seca 2	kg/m ³	1880
Densidad seca 3	kg/m ³	1955
Densidad seca 4	kg/m ³	1910
Densidad seca y 5	kg/m ³	1750
Agua 1	% de masa	4,2%
Agua 2	% de masa	7,5%

ES 2 741 579 T3

Agua 3	% de masa	10,2%
Agua 4	% de masa	12,8%
Agua 5	% de masa	15,2%
Densidad seca Proctor máx.	kg/m ³	1955
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	10,2%
Tratamiento de remojo de la fibra		
Fibra	kg	14
Humedad	% de masa	1%
	kg	0,14
Absorción de agua	% de masa	70%
	kg	9,8
Mínimo de agua agregada al proceso de remojo	kg	9,66
Total de agua agregada en el proceso de remojo	kg	48,618
Agua adicional en el proceso de remojo (respecto a la absorción de agua)	kg	38,958
Agua que se agrega en el proceso de mezcla		
Material fino	kg	400
Suelo	kg	40
Fibras	kg	9
Material fino + Suelo + Fibras	kg	449
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	10,2%
	kg	45,798
Humedad del material fino	% de masa	1,0%
	kg	4
Humedad del suelo	% de masa	7,1%
	kg	2,84
Agua aportada por el agua adicional en el proceso de remojo	kg	38,958
Agua debida a la humedad y al proceso de remojo de fibra	kg	45,798
Agua que se añade en el proceso de mezcla	kg	0

Tabla 10. Propiedades mecánicas y físicas de la mezcla de suelo para el ejemplo 3

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO + MATERIAL FINO + FIBRAS + AGUA		
Suelo + material fino + fibras + agua		
Clase de granulometría	mm	0/2
Densidad seca Proctor máxima	kg/m ³	1955
Agua a una densidad seca Proctor máxima	% de masa	9,5%
k - Permeabilidad al agua	mm/s	3,75E-02
E - Módulo elástico	kPa	26000
c' - Cohesión máxima	kPa	12,3
φ' - Ángulo de fricción interna máximo	°	35,2
c'r- Cohesión residual	kPa	14,5
φ'- Ángulo residual de fricción interna	°	33,2
Humedad	% de masa	10,2%

La figura 7 muestra la Prueba de Compactación Proctor para este ejemplo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para el refuerzo de la mezcla de suelo para el cultivo de césped para aplicaciones deportivas, comprendiendo la mezcla de suelo tierra, material fino y fibras naturales, seleccionándose el material fino del grupo que consiste en arena, polvo de piedra, polvo de derivación, piedra caliza, polvo de ladrillo y combinaciones de los mismos, seleccionándose las fibras naturales del grupo que consiste en fibras de banano, sisal, coco, cáñamo, caña de azúcar/bagazo, bambú, yute, lino, pasto elefante, musamba, madera, algodón, kenaf y sus combinaciones, caracterizado porque el método comprende las siguientes etapas:
- 5
- (a) excavar y eliminar la capa superior de un suelo original a una profundidad de 10 a 30 cm,
 (b) mezcla
- 10
- el suelo original eliminado en la etapa (a) en una porción de 5 a 45% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo y una relación en peso de material fino a suelo de 1,2 y 19,
 - 15 - el material fino en una porción de 55 a 95% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo,
 - las fibras naturales en una porción de 0,6% a 3% en peso del contenido total de sólidos de la mezcla de suelo, y
 - agua en una porción del 8% al 20% en peso del contenido total de sólidos del suelo,
- (c) descargar la mezcla de suelo obtenida en la etapa (b) y colocarla en un lugar y
 (d) compactar la superficie obtenida después de la etapa (c).
- 20
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la mezcla de suelo tiene una cohesión c' de 5 KPa a 80 KPa, un ángulo de fricción interna ϕ' de 15° a 45°, un ángulo residual de fricción interna $\phi'r$ de 10° a 40° y una cohesión residual $c'r$ de 2 KPa a 60 KPa.
- 25
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque la etapa (b) comprende las siguientes etapas:
- (b1) dispersar las fibras naturales en agua,
 (b2) añadir las fibras dispersas en agua de la etapa (b1) al material fino y mezclar;
 (b3) agregar el suelo y mezclar.
- 30
4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque en las etapas (b2) y (b3), la mezcla se realiza en un mezclador durante 2 a 10 minutos.
- 35
5. Método de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado porque se agrega agua durante las etapas intermedias (b2) y/o (b3).
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque en la etapa (c) la mezcla se distribuye uniformemente de forma manual o mecánica.
- 40
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado porque los componentes en la etapa (b) se agregan simultáneamente.
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se añaden polímeros superabsorbentes a la mezcla en la etapa (b).
- 45
9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque se añaden polímeros superabsorbentes en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.
- 50
10. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque se agrega material poroso saturado de agua con un tamaño de partícula de adiciones de menos de 10 mm a la mezcla en la etapa (b).
11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque el material poroso saturado de agua se selecciona del grupo que consiste en hidratos de silicatos de calcio, zeolitas, perlita expandida, vermiculita, hormigón expandido o espumado triturado y combinaciones de los mismos.
- 55
12. Método de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque se añade material poroso saturado de agua de 0,5 a 5% en peso de contenido sólido seco con respecto al contenido sólido seco del material fino y el suelo.
- 60
13. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque se añaden semillas de hierba a la mezcla en la etapa (b).
14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado porque se añaden semillas de hierba en la mezcla en la etapa (b) en el intervalo de 0,1% a 2% (p/p) del contenido total de sólidos.
- 65

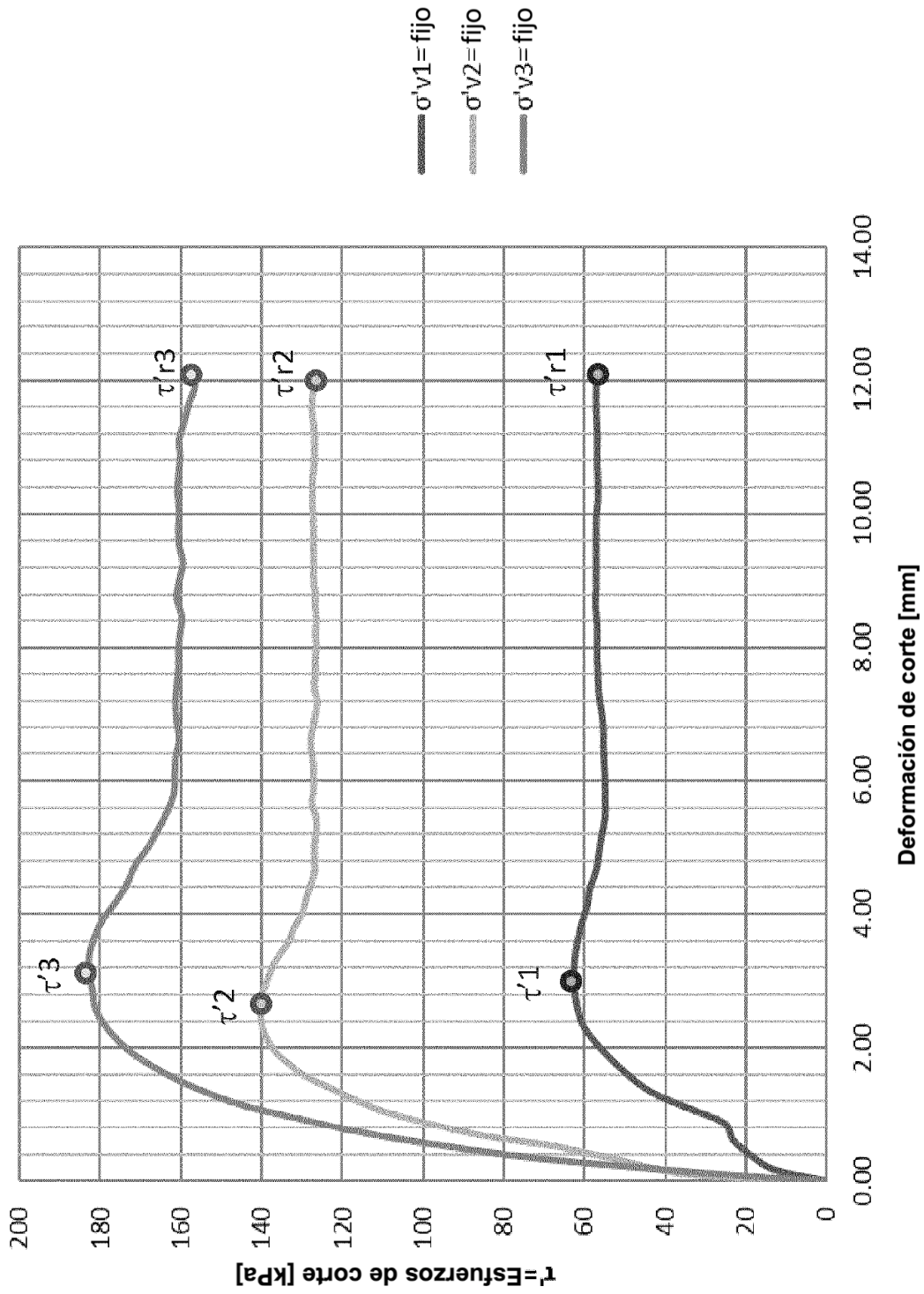


Fig. 1

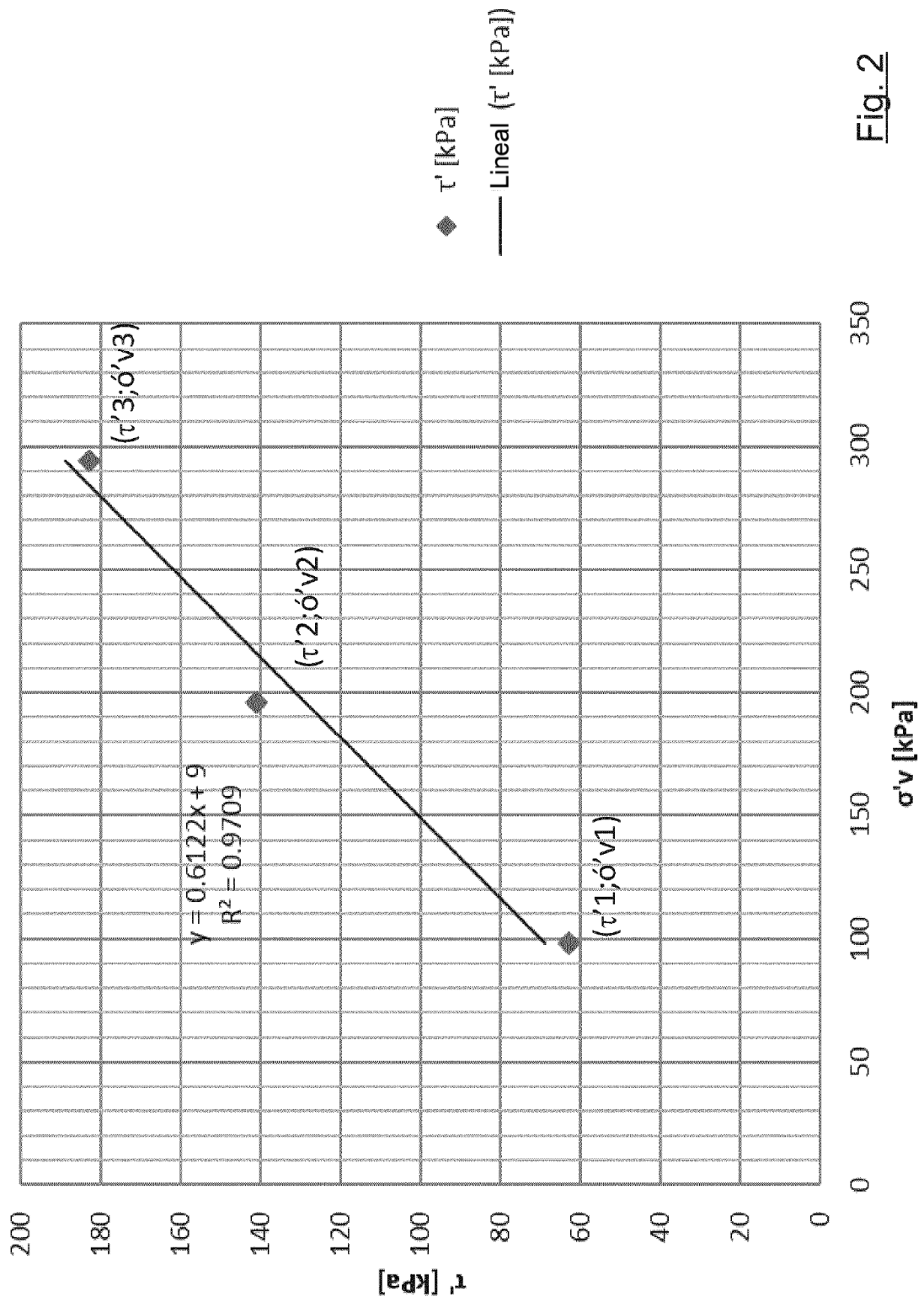


Fig. 2

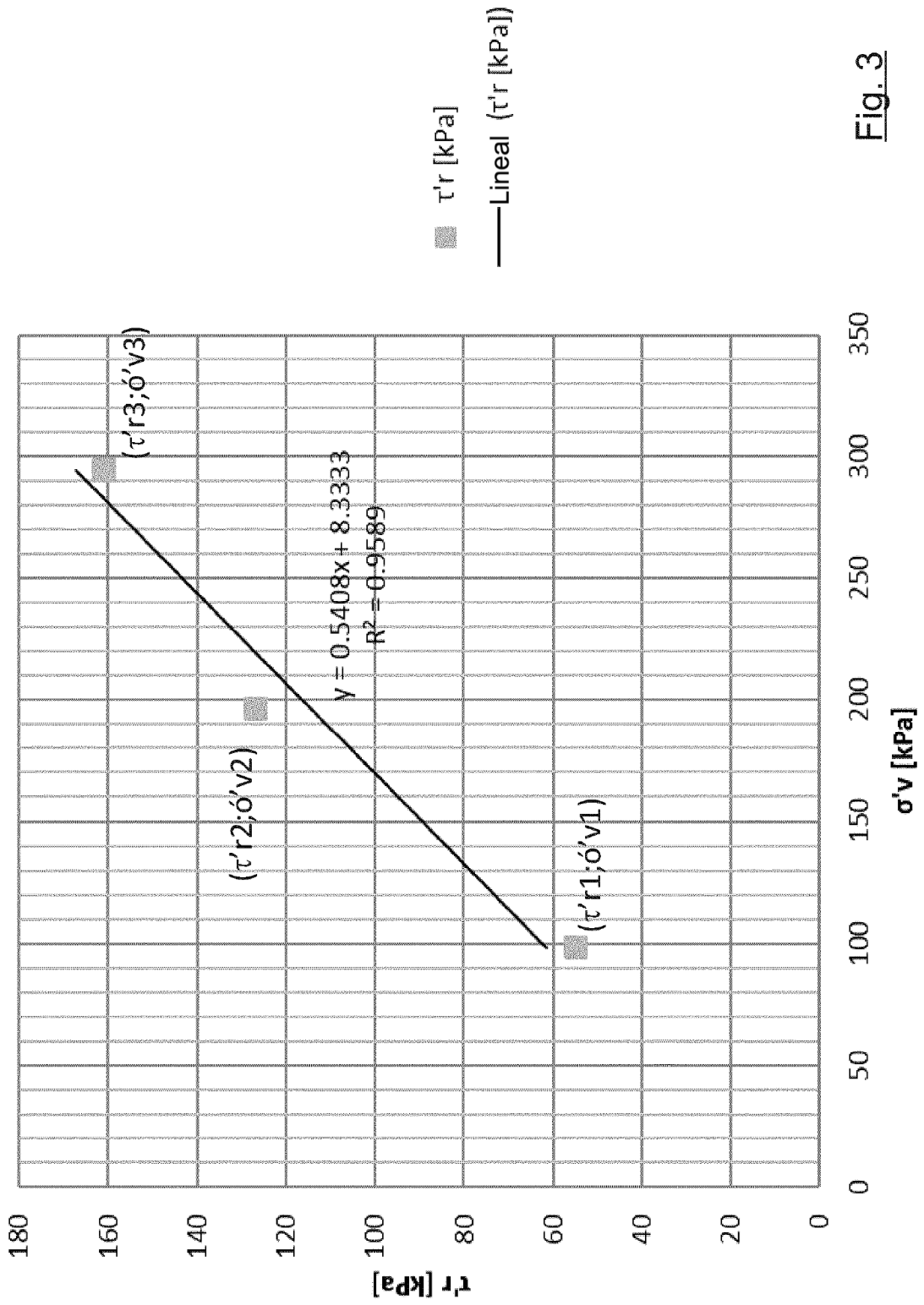


Fig. 3

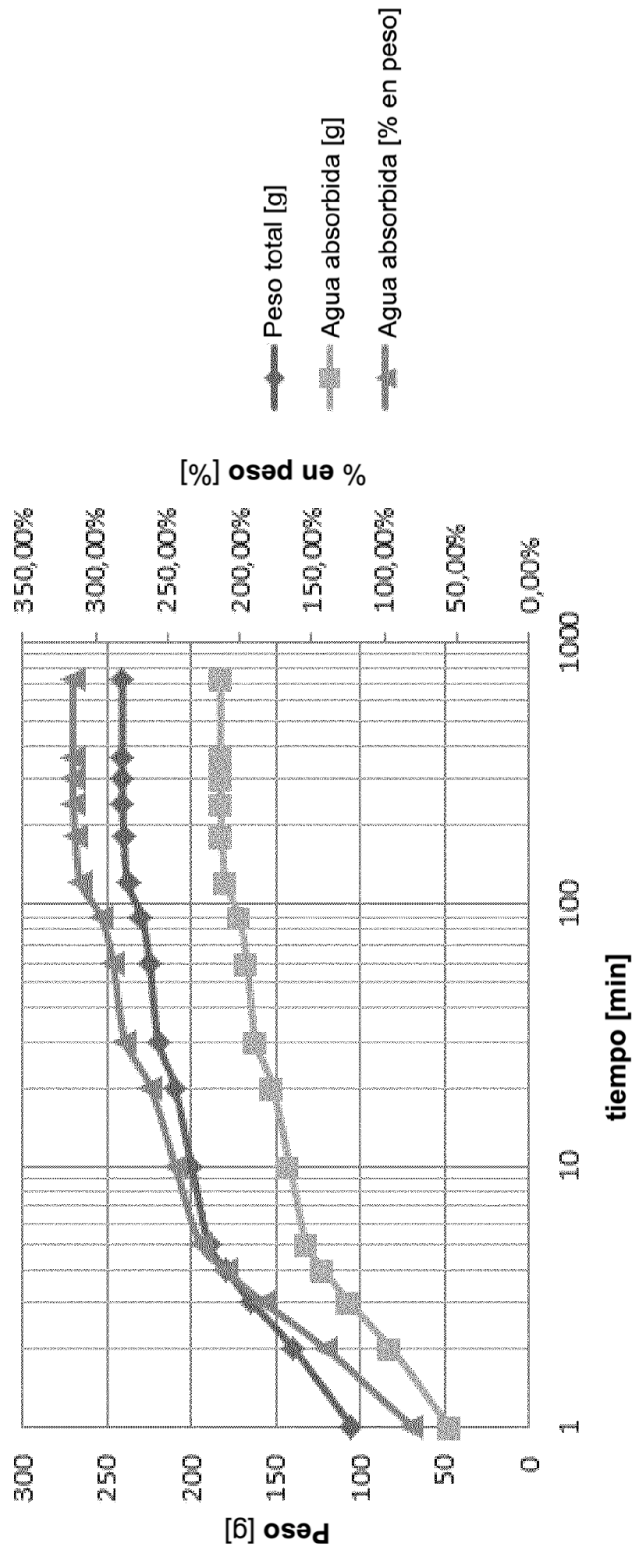


Fig. 4

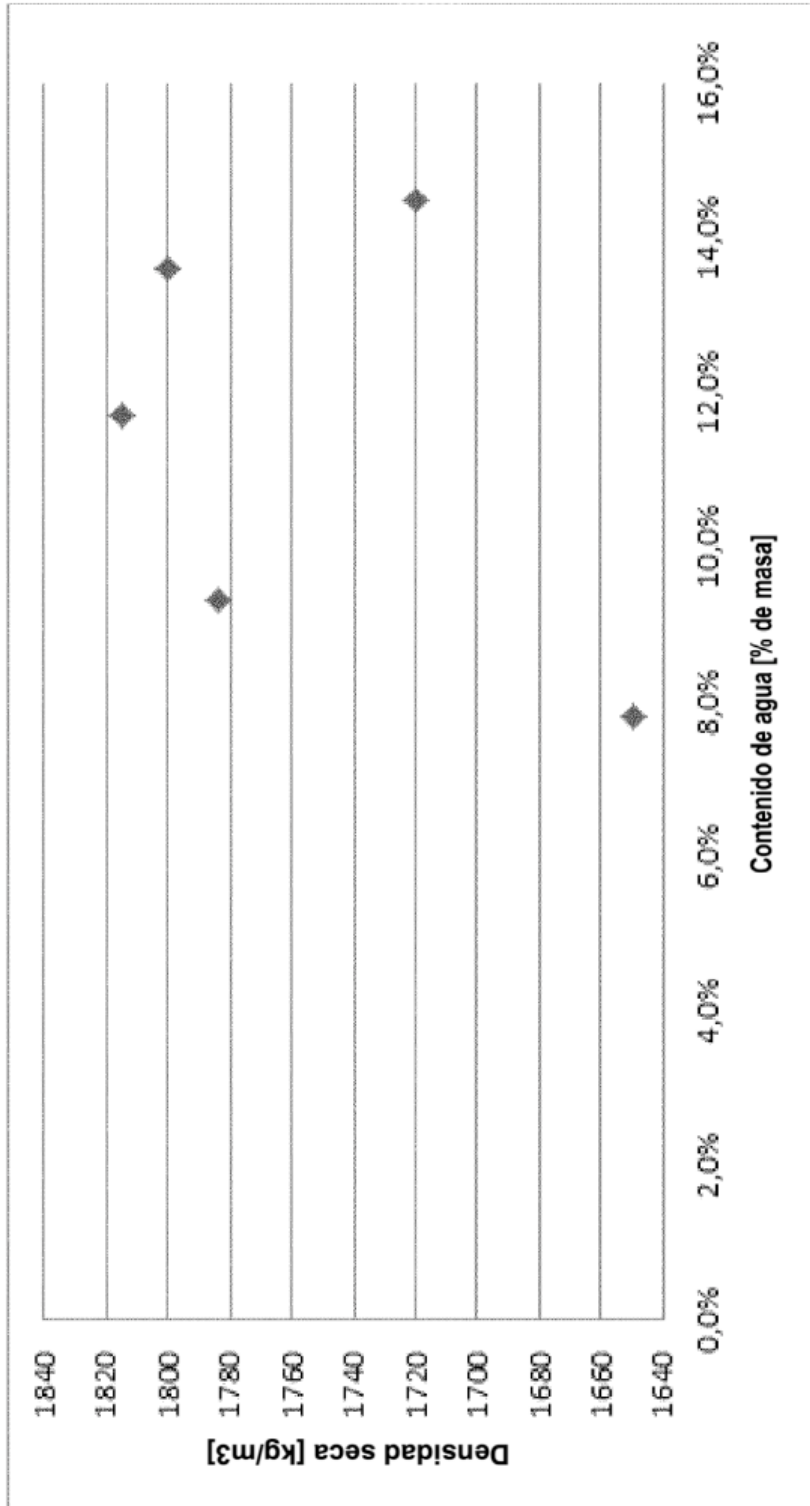


Fig. 5

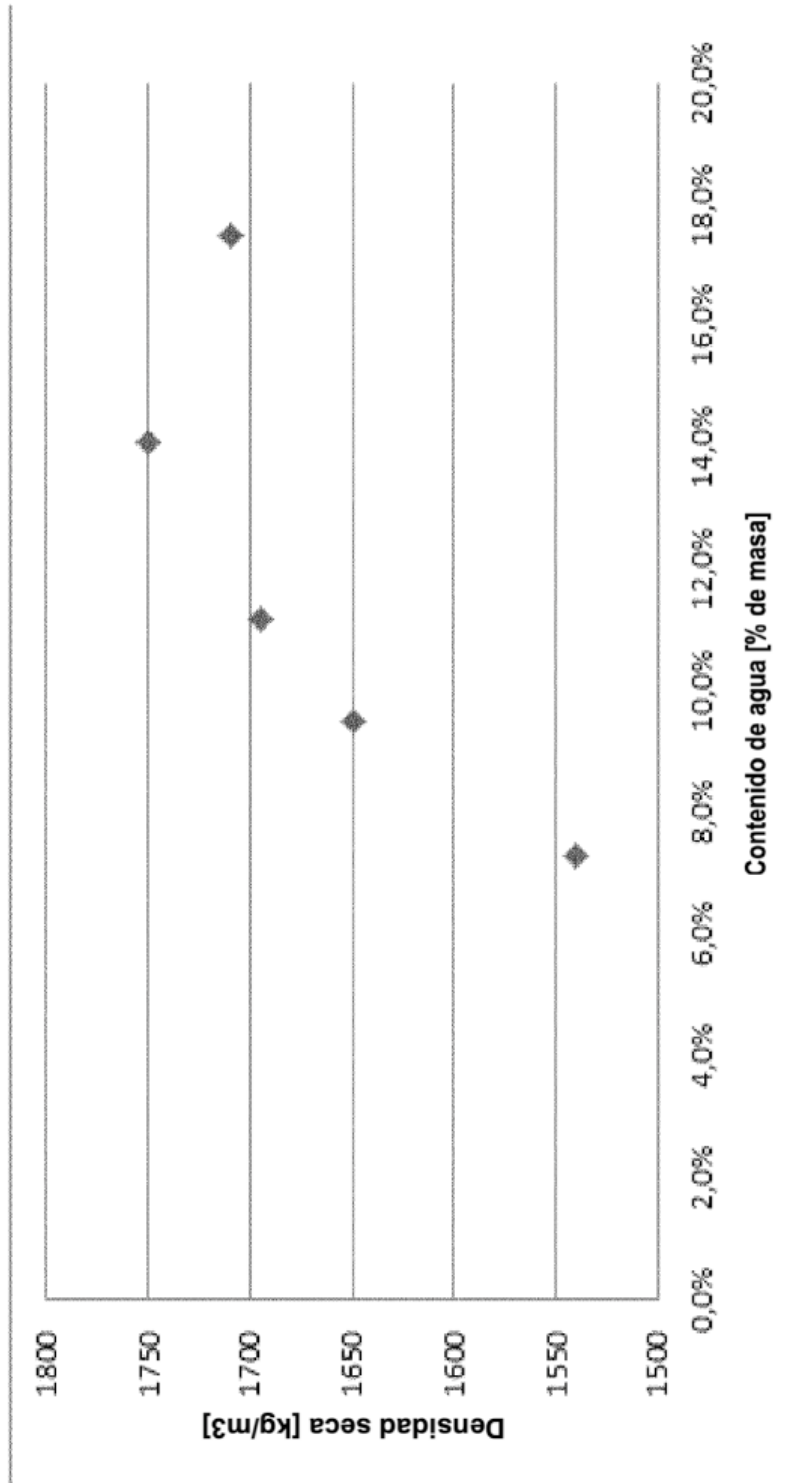


Fig. 6

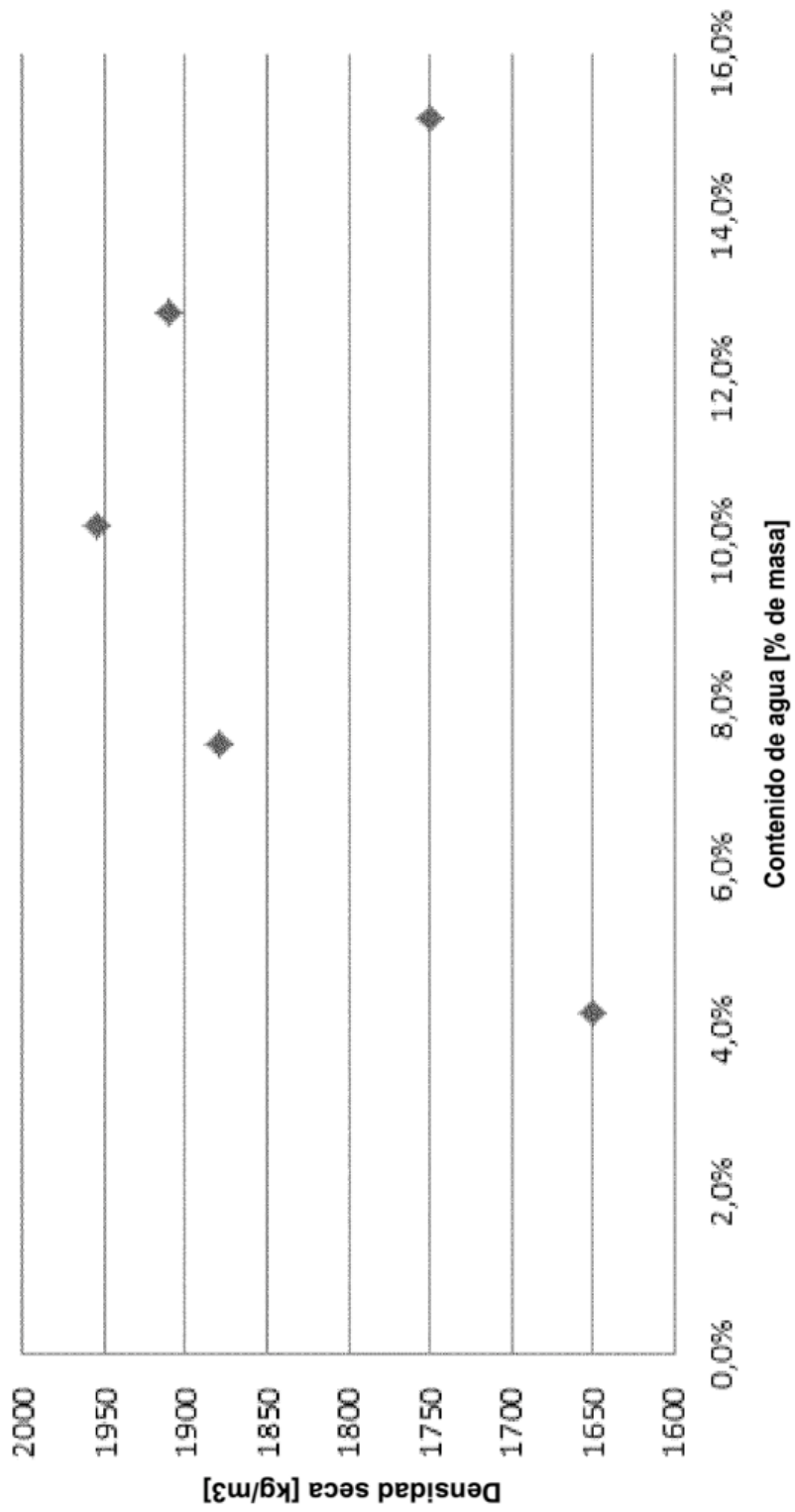


Fig. 7