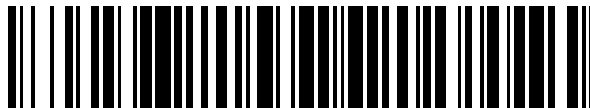


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 898 772**

51 Int. Cl.:

E02D 17/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.05.2017 PCT/EP2017/062995**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2018 WO18219431**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2017 E 17728477 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.09.2021 EP 3631094**

54 Título: **Geotextil**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.03.2022

73 Titular/es:
**ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE
LAUSANNE (EPFL) (100.0%)
EPFL-TTO, EPFL Innovation Park J
1015 Lausanne, CH**

72 Inventor/es:
**TERZIS, DIMITRIOS y
LALOU, LYESSE**

74 Agente/Representante:
VIDAL GONZÁLEZ, Maria Ester

ES 2 898 772 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

Geotextil

5 Campo técnico

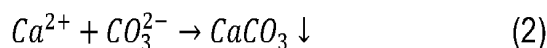
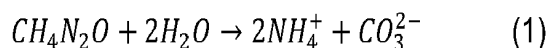
La presente invención se refiere a un elemento geosintético para aplicaciones de ingeniería geotécnica. Más específicamente, el elemento geosintético de acuerdo con la presente invención comprende portadores de bacterias para calcificar bacterias y una red de flujo. La presente invención también se refiere a un método para inducir la precipitación de carbonato de calcio microbiano en un geomaterial mediante el uso del elemento geosintético.

Antecedentes de la invención

Las fuerzas impulsoras detrás de la concepción e implementación de los métodos de refuerzo de suelos están, por un lado, relacionadas con la complejidad de las soluciones de cimentación o estabilización de tierras de las obras de ingeniería modernas. Por otro lado, a medida que las infraestructuras envejecen, hay una necesidad incrementada de obras de rehabilitación y de implementación de herramientas que permitan a los ingenieros fortalecer el subsuelo. Además, cuando se enfrentan a proyectos de infraestructura a gran escala, tal como las obras de transporte, los ingenieros a menudo se enfrentan con sustratos no homogéneos y varios tipos de suelo. Algunos de ellos no brindan la capacidad de carga necesaria o son susceptibles a amenazas ambientales, tales como la erosión y licuefacción, por lo que requieren extensas operaciones de fortalecimiento y estabilización.

Las técnicas industriales existentes, tales como las que se describen en FR2873725A, permiten abordar algunos de los desafíos anteriores, hasta cierto punto, sin el uso de bacterias calcificantes. Tales técnicas se basan en el uso de fluidos cementosos fabricados artificialmente, bombeados al suelo a alta presión (inyección de lechada, lechada de cemento, lechada de microcemento) o en la implementación de geosintéticos. Los materiales geosintéticos generalmente están compuestos de polipropileno u otras sustancias poliméricas y tienen como objetivo estabilizar las formaciones del suelo para la construcción de terraplenes y para la protección de taludes o riberas de ríos contra la erosión. Se identifican ocho categorías principales de productos: geotextiles, geomallas, georredes, geomembranas, revestimientos de arcilla geosintética, geoespumas, geoceldas y geocompuestos, todos dirigidos a diversas aplicaciones y usados con varios métodos de instalación.

La precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente (MICP) es un mecanismo reactivo conocido que da como resultado la formación y el crecimiento de partículas de carbonato de calcio (CaCO) (también conocido como cemento microbiano) dentro de la matriz del suelo. La MICP puede usarse para mejorar la estabilidad del suelo y sus propiedades mecánicas. En soluciones conocidas, las bacterias calcificantes ureolíticas se han introducido directamente en el suelo u otras formaciones geológicas. Las aplicaciones de la MICP vía infiltración, vía sistemas de bombeo y pozos de extracción, o vía mezcla directa con áridos son conocidas para consolidar suelos. También se conoce el uso de la MICP para la producción de mampostería, para el control del polvo y para la fabricación de algunos materiales de construcción. La MICP es un proceso natural basado en la hidrólisis de urea inducida por microbios (Ecuación 1). Este mecanismo de reacción natural es catalizado por la enzima ureasa que se encuentra en varias cepas bacterianas. Una hidrólisis de urea catalizada se completa 10^{14} veces más rápido en comparación con una reacción no catalizada. El bicarbonato disponible (CO_3^{2-}) producido por la hidrólisis de urea precipita en cristales sólidos de carbonato de calcio (Ecuación 2) bajo la presencia de una fuente de calcio, tal como cloruro de calcio.



Por ejemplo, FR2873725 y FR2911887 describen el uso de una familia de bacterias calcificantes y la de bacterias desnitrificantes para incrementar la resistencia de materiales porosos. En estas publicaciones, se describe un método para aplicar la MICP mediante la alimentación directa de los suelos con bacterias calcificantes y soluciones reactivas. FR2985746 también introduce la recirculación de agua a lo largo de las diferentes etapas del proceso de la MICP, como una forma de economizar recursos y reducir aún más los costos de instalación. Sin embargo, la alimentación directa de los suelos con bacterias vía un solo pozo de inyección no siempre es una solución óptima, ya que conduce a una precipitación limitada de carbonato de calcio en las cercanías de la fuente de inyección y una mala propagación de las bacterias calcificantes en el geomaterial circundante. Así, se requieren equipos de alimentación pesados y repeticiones de inyecciones que requieren mucho tiempo para mejorar volúmenes de suelo más grandes.

Resumen de la invención

La presente invención tiene como objetivo superar al menos algunos de los problemas identificados anteriormente relacionados con el uso de la MICP en aplicaciones de ingeniería geotécnica.

5 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un elemento geosintético para una aplicación de ingeniería geotécnica como se indica en la reivindicación 1.

Algunas de las ventajas del elemento geosintético propuesto son las siguientes:

- 10 • El elemento geosintético propuesto puede implementarse, por ejemplo, como una membrana compuesta sólida o celosía, un sistema de fibras expandibles o un desagüe prefabricado. Estos elementos, sin las células bacterianas y la red de circulación, son conocidos y usados para innumerables aplicaciones en el campo de la ingeniería geotécnica. Los nuevos elementos geosintéticos propuestos ofrecen un valor adicional en comparación con los elementos convencionales gracias a los medios que permiten la implementación de la MICP para mejorar el rendimiento mecánico de los suelos. Así, el elemento geosintético de acuerdo con la invención es fácilmente reproducible para aplicaciones industriales y la industria ya está familiarizada con tipos de productos similares.
- 15 • El diseño de elementos geosintéticos que comprenden bacterias calcificantes y la red de circulación permite aplicar la MICP de forma controlada. Además, las ubicaciones de las células bacterianas en el elemento geosintético pueden determinarse en la fábrica o en el lugar de instalación, antes o durante la aplicación de la biocementación. Esto da como resultado una distribución final homogénea de bacterias calcificantes y, eventualmente, de cemento microbiano.
- 20 • El proceso de fabricación del elemento geosintético propuesto requiere ajustes relativamente menores en comparación con los procesos de fabricación de elementos geosintéticos existentes sin las bacterias y la red de circulación.
- 25 • Producir el elemento geosintético propuesto en una fábrica, en lugar de alimentar directamente las bacterias al suelo, permite realizar pruebas de control de calidad fácilmente y reduce la necesidad de monitorear el proceso de la MICP en el sitio de instalación. Esto también conduce a un ahorro de costes.
- 30 • Dado que la red de circulación es parte del elemento geosintético, no hay necesidad de tener, por ejemplo, pozos de perforación u otros arreglos de perforación extensos en el sitio de instalación. Esto da como resultado una estrategia de aplicación de la MICP más flexible.
- 35 • Si el elemento geosintético se implementa como un sistema de fibras expandibles, entonces colocar este sistema en suelos con un contenido en finos incrementado (tales como limos y arcillas), crea la porosidad necesaria para hacer circular los reactivos e inducir la MICP a bajas presiones.

40 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para inducir la precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente en un geomaterial como se indica en la reivindicación 12.

Otros aspectos de la invención se mencionan en las reivindicaciones dependientes adjuntas a la misma.

45 Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de modalidades de ejemplo no limitantes, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 50 • La Figura 1 ilustra esquemáticamente una geomembrana en una vista en perspectiva de acuerdo con una primera modalidad de la presente invención;
- La Figura 2 es una vista en sección transversal parcial de la geomembrana de la Figura 1;
- 55 • La Figura 3 ilustra esquemáticamente una geomalla en una vista en perspectiva de acuerdo con una segunda modalidad de la presente invención;
- La Figura 4 ilustra esquemáticamente la geomalla de la Figura 3 en una vista en perspectiva en una aplicación de ejemplo;
- 60 • Las Figuras 5a y 5b ilustran esquemáticamente un sistema de microfibras expandibles en vistas en perspectiva de acuerdo con una tercera modalidad de la presente invención;
- 65 • Las Figuras de la 6a a 6d ilustran esquemáticamente un proceso de inserción del sistema de microfibras expandibles de las Figuras 5a y 5b en el suelo; y

- La Figura 7 ilustra esquemáticamente un drenaje geosintético en una vista en perspectiva de acuerdo con una cuarta modalidad de la presente invención.

5 Descripción detallada de las modalidades de la invención

Algunas modalidades de la presente invención se describirán ahora en detalle con referencia a las figuras adjuntas. A los elementos funcionales y estructurales idénticos o correspondientes que aparecen en los diferentes dibujos se les asignan los mismos números de referencia.

10 La presente invención describe nuevos elementos geosintéticos y sus métodos de aplicación para la implementación de la MICP como medio para mejorar la estabilidad y/o propiedades mecánicas de geomateriales, tales como diversos tipos de suelo, arena, grava y roca, o sus formaciones en obras subterráneas. Los nuevos elementos geosintéticos propuestos pueden comprender capas de celosía compuestas prefabricadas, sistemas de fibras, desagües prefabricados, etc., dispuestos para portar células bacterianas calcificantes, tal como *Sporosarcina*
 15 *pasteurii*. La aplicación del proceso la MICP mediante el uso de los nuevos elementos o productos geosintéticos propuestos proporciona una alternativa a la introducción directa (vía infiltración, vía sistemas de bombeo y pozos de extracción, o vía mezcla directa con agregados) de bacterias ureolíticas, calcificantes en suelos u otras formaciones geológicas. La aplicación del proceso de la MICP mediante el uso de los elementos geosintéticos propuestos tiene como objetivo, por ejemplo, incrementar la capacidad de carga de los geomateriales, estabilizar taludes, consolidar geomateriales, restaurar cimentaciones débiles, proteger suelos contra la erosión y/o mejorar su resistencia a la licuefacción.

25 Las Figuras 1 y 2 ilustran esquemáticamente un elemento geosintético 1 de acuerdo con la primera modalidad de la presente invención. La Figura 1 es una vista esquemática en perspectiva, mientras que la Figura 2 es una vista en sección transversal parcial tomada a lo largo de la línea A-A de la Figura 1 pero sin mostrar la sección transversal a lo largo de toda la línea A-A. De acuerdo con esta modalidad, el elemento geosintético 1 es una geomembrana 1, que cuando se pliega forma un rollo, y cuando se despliega forma un elemento sustancialmente plano de tipo estera que puede colocarse horizontalmente o en planos inclinados. La geomembrana 1 en este ejemplo comprende un conjunto de cápsulas huecas, cavidades o portadores 3 para recibir o alojar células bacterianas calcificantes, denominadas simplemente bacterias, en diversas formas como se explica más adelante. En este ejemplo, las cápsulas 3 están dispuestas en múltiples filas sustancialmente paralelas para formar una red portadora para las bacterias. Sin embargo, son posibles otras formas de disponer las cápsulas 3. En este ejemplo, las cápsulas 3 están dispuestas para sobresalir de una primera superficie 5 de la membrana 1, por lo demás plana, denominada superficie superior. En este ejemplo ilustrado, las cápsulas 3 sobresalen solo de la superficie superior 5 de la membrana, pero en otra solución, podrían sobresalir también de una segunda superficie 7, denominada superficie inferior, de esta manera atraviesan completamente el ancho de la sección transversal de la membrana 1. Sin embargo, en lugar de atravesar la membrana 1, podría haber un primer conjunto de cápsulas 3 en la superficie superior 5 y un segundo conjunto de cápsulas 3 en la superficie inferior 7. Las cápsulas 3 pueden ser permeables, biodegradables o solubles (solubles en agua) o comprender un tamiz para permitir que las bacterias se dispersen en el entorno circundante. Las cápsulas 3 están diseñadas para la colocación de células bacterianas liofilizadas (liofilizadas), esporas o células bacterianas vegetativas (en medio líquido). Si las cápsulas comprenden un tamiz u otro elemento similar, entonces las cápsulas 3 pueden estar hechas del mismo material plástico compuesto que la membrana restante.

45 Las células bacterianas, que comprenden la enzima ureasa, se encapsulan en posiciones predeterminadas en la red portadora geosintética. En este ejemplo, la encapsulación se lleva a cabo en dos etapas, como se explica a continuación:

50 (a) Crecimiento de cultivos bacterianos y liofilización: las células vegetativas se cultivan en condiciones estériles en un medio nutritivo líquido y se recogen a una concentración de biomasa deseada. La recolección se refiere a centrifugar el cultivo líquido, eliminar el sobrenadante y recolectar el sedimento. El sedimento se resuspende en un medio que comprende preferiblemente agua desionizada y sacarosa al 10 % o cualquier elemento adicional para fijar la fuerza iónica de la solución. Después de la resuspensión, el sedimento se
 55 congela a -80 °C. Posteriormente, se liofiliza para obtener las células liofilizadas. El gránulo resuspendido se coloca preferiblemente en soportes prefabricados antes de congelar a -80 °C para obtener finalmente un cultivo bacteriano liofilizado en la forma deseada correspondiente a la forma de las cápsulas o soportes en el elemento geosintético 1.

60 (b) Colocación de células liofilizadas: las células bacterianas se colocan en las cápsulas 3 compuestas por el mismo material que la membrana geosintética 1 u otro material biodegradable o soluble en agua, en posiciones predeterminadas en la rejilla, antes de la instalación. La masa final y las posiciones de las celdas secas encapsuladas se determinan en función de la aplicación geotécnica prevista, el tipo de geomaterial en el lugar de instalación, así como la cantidad deseada de cemento microbiano.

65

La membrana 1 también comprende una red de circulación de reactivo o una red de flujo para hacer circular una solución o medio de reactivo, denominado simplemente reactivo, y opcionalmente bacterias adicionales en dependencia de la estrategia de la MICP adoptada. La red de circulación puede incrustarse en la membrana como se muestra en la Figura 2 o podría colocarse, por ejemplo, en la superficie superior y/o inferior 5, 7 de la membrana. Así, en el ejemplo de las Figuras 1 y 2, la red de circulación discurre sustancialmente en paralelo con las superficies superior e inferior 5, 7 y entre ellas. Además, en este ejemplo, la red de circulación está conectada a las cápsulas 3 a través de aberturas en la red de circulación de tal manera que el reactivo y, opcionalmente, las bacterias adicionales escapan de la red de circulación al entorno circundante a través de las cápsulas 3. Cabe señalar que cuando el reactivo escapa de la red de circulación a través de las cápsulas, desplaza simultáneamente las células bacterianas. Una vez que las bacterias entran en contacto con el reactivo, se forma cemento microbiano para estabilizar el geomaterial alrededor del elemento geosintético 1. En el ejemplo que se muestra en la Figura 2, la red de circulación corre a través de las cápsulas 3. La red de circulación puede comprender conductos o tubos 9. La dimensión de la sección transversal más grande (por ejemplo, el diámetro si la sección transversal es de forma circular) puede estar entre 1 cm y 0,1 mm. Sin embargo, en ciertas aplicaciones, la dimensión de la sección transversal más grande puede ser mayor, por ejemplo, hasta 10 cm.

La membrana comprende además un conjunto de entradas 11 y un conjunto de salidas 13 para la red de circulación. En el ejemplo de la Figura 1, solo se muestra una entrada 11 y tres salidas 13. El reactivo y opcionalmente las bacterias adicionales se introducen en la red de circulación a través del conjunto de entradas 11, mientras que al menos una parte del reactivo se dispone para salir de la red de circulación a través del conjunto de salidas 13 para ser reusado si es necesario. El conjunto de entradas 11 están en los primeros puntos finales de la red de circulación, mientras que el conjunto de salidas 13 están en los segundos puntos finales diferentes de la red de circulación. La red de circulación puede llenarse parcial o sustancialmente con el reactivo antes o después de haber colocado la membrana en o sobre el geomaterial. La circulación de las soluciones reactivas en la red de flujo incrustada da como resultado la difusión de las células desde las cápsulas 3 al geomaterial circundante. Sobre la base del diseño del proceso de la MICP, es posible suministrar a la red de circulación volúmenes adicionales de medios reactivos, incluidas las células calcificantes vegetativas. El reactivo puede comprender combinaciones de urea disuelta y/o calcio disuelto en agua u otros elementos, tal como cloruro de amonio. Por ejemplo, el reactivo puede incluir concentraciones equimolares de cloruro de calcio y urea. La red de circulación puede llenarse con el reactivo mediante un flujo continuo a través de la red de circulación. Alternativamente, la circulación de reactivos se produce vía flujos discontinuos de intervalos de tiempo fijos o variables a través de la red de circulación. También es posible que las direcciones de flujo del reactivo sean diferentes entre capas contiguas consecutivas de membranas 1 o entre filas consecutivas de tubos 9 dentro de una sola capa. Además, es posible seleccionar y variar dinámicamente el número de entradas y/o salidas activas. El régimen de flujo exacto aplicado a través de la red integrada se elegirá en función de la estrategia de la MICP deseada. Cabe señalar que la descripción anterior sobre la solución reaccionante y su configuración de flujo también se aplica a las modalidades explicadas a continuación.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente la segunda modalidad de la presente invención. En este ejemplo, el elemento geosintético 1 es una geomalla o celosía, que puede enrollarse y desenrollarse de manera similar a la membrana de la primera modalidad. La geomalla 1 comprende un conjunto de varillas 15 o tubos, que en este ejemplo están dispuestos sustancialmente paralelos entre sí. Las varillas 15 pueden ser compuestas de plástico, y todas o solo algunas de ellas son huecas para portar las bacterias y permitir que el reactivo pase a través de las varillas 15. En otras palabras, las varillas 15 están dispuestas para recibir tanto las bacterias como el reactivo. Las varillas también proporcionan integridad estructural adicional a los suelos. Algunas de las varillas 15 pueden ser sólidas y no huecas para incrementar la resistencia de la geomalla 1. Un primer extremo de la varilla 15 puede formar la entrada 11, mientras que un segundo extremo de la varilla 15 puede formar la salida 13. Las varillas 15 comprenden aberturas, agujeros, orificios, cortes o hendiduras 17 en su superficie para permitir la difusión de las células bacterianas y la solución reactiva al entorno circundante. Las aberturas 17 pueden estar distribuidas alrededor de la periferia de las varillas de manera uniforme o desigual y longitudinalmente a lo largo de las varillas 15 (la red de circulación). El tamaño y/o ubicación de las aberturas dependen nuevamente de la forma elegida para aplicar el proceso de la MICP y/o del medio ambiente. Como puede verse en la Figura 3, las varillas 15 están conectadas entre sí con elementos de conexión 19, que en este ejemplo son fibras metálicas o plásticas. Estas fibras incrementan aún más la resistencia y estabilidad de la geomalla compuesta 1.

La Figura 4 muestra esquemáticamente la geomalla 1 cuando se usa para la construcción de un terraplén. En este caso, la geomalla 1 junto con el proceso de la MICP aplicado mitigan el riesgo de licuefacción, por ejemplo. Los terraplenes se construyen en capas de suelo 21 con elementos geosintéticos a menudo colocados entre ellos para incrementar su estabilidad general. En otras palabras, las geomallas 1 de la Figura 3 pueden colocarse en múltiples capas horizontales con su espaciado vertical determinado de acuerdo con el diseño. Por simplicidad, solo se muestra una capa de geomalla en la Figura 4. En la Figura 4, el ancho de la geomalla 1 excede el ancho del terraplén para permitir que la punta de la geomalla se pliegue hacia arriba siguiendo la pendiente del terraplén y luego hacia atrás para atrapar el suelo para incrementar la estabilidad. Una vez colocadas las geomallas 1 entre las capas de suelo 21, se aplica el proceso de la MICP mediante el uso de la red de varillas huecas 15 incorporadas en la geomalla 1. Los terraplenes se construyen típicamente en obras de transporte (carreteras, ferrocarriles, etc.) y son susceptibles al peligro de licuefacción en zonas sísmicas. La aplicación de la MICP da como resultado la nucleación y el crecimiento de partículas de cemento microbiano, que dotan al suelo de la cohesión necesaria para evitar la

licuefacción. La principal ventaja del método de diseño propuesto es que la red de varillas o tubos 15 puede activarse de múltiples formas alternativas durante o después de la construcción del terraplén (en caso de que se necesiten obras de rehabilitación). Como ejemplo, las varillas individuales 15 de la misma capa de geomalla pueden usarse alternativamente como tubos de inyección y extracción para el reactivo. Además, una determinada capa de geomalla individual puede usarse como fuente de inyección, mientras que las de arriba y de abajo actúan como fuentes de extracción, y viceversa. Así, este método de diseño ofrece flexibilidad en la aplicación de la MICP y asegura la homogeneidad del cemento microbiano precipitado.

Las Figuras 5a y 5b ilustran un elemento geosintético 1 de acuerdo con la tercera modalidad de la presente invención. En esta modalidad, el elemento geosintético 1 es un sistema de microfibras expandibles o extensibles. El sistema comprende un conjunto de microfibras de plástico 19 colocadas entre una primera placa o tapa 23 y una segunda placa o tapa 25 en un estado extendido del sistema como se muestra en la Figura 5b. Estas dos placas 23, 25 pueden separarse entre sí. La Figura 5a muestra el sistema en un estado cerrado o retraído, mientras que la Figura 5b muestra el sistema en un estado abierto o extendido. En este ejemplo, el sistema comprende microfibras expandibles 19, que pueden recubrirse con resina bacteriana para la aplicación de la MICP, vía perforación, como se explica más adelante. El recubrimiento puede ser un recubrimiento de resina bacteriana soluble, tal como resina de hidrogel. El recubrimiento comprenderá células bacterianas liofilizadas (liofilizadas) que, una vez disuelto el recubrimiento, podrían entrar en contacto con el reactivo. Tras la separación de las placas primera y segunda 23, 25, las fibras se despliegan de abajo hacia arriba con la ayuda de una barrena u otro mecanismo de perforación similar. Las microfibras 19 no solo brindan integridad adicional al geomaterial, sino que también aseguran que: (i) las células bacterianas se distribuyen a lo largo de la trayectoria de perforación y (ii) se genera suficiente espacio aéreo durante la perforación para aplicar el proceso de la MICP a suelos con un contenido en finos incrementado. En este ejemplo, el sistema comprende además una red de microtubos 9 para recibir la solución reactiva y, opcionalmente, las bacterias para permitir que el orificio de perforación se llene con la solución reactiva. Además, pueden proporcionarse anillos de microfibra 27 para añadir integridad adicional al sistema. La primera y segunda placas terminales 23, 25 son huecas para acomodar las fibras 19, los tubos 9 y los anillos 27 en el estado cerrado del sistema. La primera y/o la segunda placa 23, 25 también pueden recibir una solución rica en bacterias vegetativas para que las fibras 19, los tubos 9 y/o los anillos 27 puedan impregnarse en bacterias calcificantes. Cuando estos elementos se despliegan, todavía mantendrán al menos algunas de las bacterias en sus superficies y cuando estas bacterias entren en contacto con el reactivo, se formará el cemento microbiano.

Las Figuras 6a a 6d ilustran el proceso de aplicación del sistema de microfibras plásticas expandibles 1 en el suelo vía perforación y despliegue del sistema hacia abajo para inducir la MICP a profundidades específicas. La perforación en este ejemplo se realiza mediante un sinfín 29, que tiene una punta modificada para incorporar las placas separables 23, 25. Las dos placas 23, 25 están protegidas en la punta del sinfín. Una vez que se alcanza la profundidad deseada (como se muestra en la Figura 6a), la barrena 29 se mueve hacia arriba (Figuras 6b y 6c) y una varilla de fijación 31 se extiende o se estira para mantener la primera placa (placa inferior) 23 fija en la profundidad deseada, mientras que la segunda placa (placa superior) 25 se mueve hacia arriba siguiendo la punta de la barrena. Al desplegarse, las microfibras 19 se mezclan con el geomaterial circundante. Las líneas discontinuas en las Figuras 6c y 6d indican que la longitud total de las fibras 19 incorporadas en el sistema está determinada por la profundidad deseada, el tipo de geomaterial y/o la naturaleza de la aplicación prevista. Una vez que el sistema de microfibras 1 se ha desplegado suficientemente (Figura 6d), la placa superior 25 puede recuperarse y reusarse. La varilla 31 usada para fijar el fondo 23 puede comprender un conducto para la circulación de la solución reactiva para inducir la MICP en las proximidades de las microfibras 19. Para ello, el conducto y la varilla 31 comprenden aberturas en sus superficies para permitir que el reactivo escape del conducto y la varilla 31. Los microtubos 19 también pueden usarse para hacer circular y esparcir la solución reaccionante. La ventaja de este tipo de aplicación es que las células bacterianas pueden colocarse en el suelo durante la perforación (por ejemplo, mediante la aplicación del recubrimiento de resina sobre las fibras 19 y/o mediante el método de impregnación) y su presencia asegura la precipitación del cemento microbiano a lo largo del recorrido de la perforación. Además, se genera espacio de aire durante la perforación e instalación del sistema de microfibras 1. Esto permite extender la aplicación de la MICP a suelos con un contenido de finos incrementado.

La Figura 7 ilustra el elemento geosintético 1 de acuerdo con la cuarta modalidad de la presente invención. En esta modalidad, el elemento geosintético 1 es un drenaje prefabricado que puede colocarse en el geomaterial. En la Figura 7, solo se muestra un extremo del drenaje 1. Estos desagües 1 pueden tener muchos metros de longitud. Un número determinado de desagües se coloca normalmente de forma sustancialmente vertical dentro de un área determinada, donde el número depende, por ejemplo, de la composición del suelo. Como puede verse en la Figura 7, el desagüe 1 comprende un conjunto de microtubos 9 rodeados por una tela exterior 33 o manga, que en este ejemplo es permeable. En este ejemplo, los microtubos tienen una sección transversal rectangular. Sin embargo, serían igualmente posibles otras formas, tal como, circular. Se dispone agua u otros medios reactivos para que corran a través del conjunto de microtubos 9 y/o la tela exterior 33 para conducir el agua desde la superficie a una formación de suelo subterráneo. Los microtubos 9 están dispuestos para recibir y retener las bacterias calcificantes, y también se usan para hacer circular la solución reactiva. Las aberturas en su periferia permiten difundir las bacterias y la solución reactiva al entorno circundante. Así, los microtubos 9 forman los portadores de encapsulación y posteriormente la red de circulación del reactivo. El drenaje 1 también puede comprender varillas macizas (que pueden ser huecas o no) que corren, por ejemplo, junto a los tubos 9 para incrementar la resistencia del drenaje 1.

5 Como se explicó anteriormente, las Figuras 1 a 4 ilustran nuevos diseños de las capas compuestas del elemento geosintético 1 con la provisión de redes de circulación incrustadas y la de posiciones predeterminadas para la encapsulación bacteriana para aplicación directa a geomateriales. Las Figuras 5a y 5b muestran un nuevo diseño del sistema de microfibras expansibles 1, mientras que la Figura 7 ilustra un nuevo diseño para el desagüe prefabricado 1. En todos estos diseños, los elementos geosintéticos 1 comprenden las bacterias (al menos antes de hacer circular el reactivo) y la red de circulación además de algunos (otros) elementos estructurales. La ventaja de tales diseños es la incorporación de las redes de circulación y las cápsulas 3 o portadores de las células calcificantes en posiciones predeterminadas. Esto asegura una distribución homogénea de la biomasa calcificante al colocarla en el lugar de instalación. Las células bacterianas no tienen que viajar largas distancias desde una fuente de inyección fija, ya que su posición está predeterminada como resultado de la encapsulación, por ejemplo, en el cuerpo compuesto. Como se mencionó, las cápsulas 3 pueden ser solubles o biodegradables o estar hechas del mismo material compuesto que el elemento geosintético 1 restante pero que comprenden un tamiz, por ejemplo, para permitir la propagación homogénea de las células bacterianas al entorno circundante. La red de los microtubos 9 o las varillas 15 se usa para aplicar directamente la MICP, que apunta a un incremento en la adhesión entre las capas compuestas y geomateriales y a un incremento de la resistencia y rigidez general del volumen circundante. Otra ventaja de la invención es que los elementos geosintéticos 1 propuestos son ligeros y pueden transportarse y desenrollarse o desplegarse fácilmente en el lugar de instalación. Además, productos similares, sin embargo, sin la provisión de bacterias calcificantes encapsuladas o de las redes de flujo, se producen y usan en aplicaciones geosintéticas tradicionales. Así, existe un conocimiento establecido en torno a su fabricación e instalación, ya sea por emplazamiento entre capas de suelo, o por aplicación directa en el interior de perforaciones vía perforación y/o mezcla.

25 Las enseñanzas de diferentes modalidades pueden combinarse para obtener más modalidades. El proceso de flujo de reactivo explicado en relación con la primera modalidad puede aplicarse también a las otras modalidades. Una variante adicional de la presente invención puede obtenerse fácilmente, por ejemplo, a partir de la primera modalidad mediante la eliminación de las superficies superior e inferior continuas. De acuerdo con esta variante, la red de circulación estaría directamente expuesta al geomaterial circundante. La manera de disponer la red de circulación (por ejemplo, qué tan cerca corren los tubos de la red de circulación entre sí y en qué ángulo) definiría cómo se vería la matriz o celosía geosintética resultante. La matriz resultante podría verse como una combinación de triángulos interconectados (o rectángulos u otras formas), donde los bordes del triángulo estarían formados por los tubos de la red de circulación, y el área dentro de los bordes del triángulo estaría vacía u ocupada por el geomaterial una vez que se ha instalado la matriz.

REIVINDICACIONES

1. Un elemento geosintético (1) para una aplicación de ingeniería geotécnica, el elemento geosintético (1) se **caracteriza porque** comprende:
 - portadores de bacterias (3, 15, 19) que portan bacterias, las bacterias son del tipo que inducen la precipitación de carbonato de calcio sólido, y están dispuestas para propagarse desde los portadores de bacterias (3, 15, 19) a un geomaterial circundante; y
 - una red de flujo que comprende aberturas (17) en su superficie para permitir que un reactivo se propague desde la red de flujo al geomaterial circundante a lo largo de la red de flujo para producir carbonato de calcio sólido, la red de flujo comprende además un conjunto de entradas (11) para alimentar el reactivo en la red de flujo, y un conjunto de salidas (13) para expulsar al menos una parte del reactivo de la red de flujo.
2. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento geosintético (1) comprende al menos uno de los siguientes: una membrana, una rejilla, un desagüe y un sistema de tubos expandibles.
3. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la membrana es una esterilla enrollable sin agujeros a través de la esterilla.
4. El elemento geosintético (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los portadores de bacterias (3, 15, 19) comprenden cavidades (3) para recibir las bacterias, y en el que las cavidades (3) están conectadas a la red de flujo.
5. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 4, en el que las cavidades (3) comprenden una capa biodegradable, un elemento en forma de tamiz, una membrana soluble o una de sus combinaciones para permitir que las bacterias y el reactivo escapen de las cavidades (3).
6. El elemento geosintético (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la red de flujo comprende un conjunto de varillas (15), las varillas (15) están conectadas entre sí con elementos de conexión (19).
7. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 6, en el que las varillas (15) están dispuestas para recibir las bacterias y el reactivo, y en el que las bacterias y el reactivo están dispuestos para escapar de las varillas (15) a través de las aberturas (17).
8. El elemento geosintético (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento geosintético (1) comprende una primera placa terminal (23) y una segunda placa terminal (25) para conectar fibras expandibles (19) a ellas y para permitir que las fibras (19) se expandan longitudinalmente entre la primera y segunda placas terminales (23, 25) cuando se separan entre sí.
9. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la red de flujo comprende tubos expansibles (9) entre la primera y segunda placas terminales (23, 25), los tubos comprenden las aberturas (17).
10. El elemento geosintético (1) de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que las fibras expandibles (19) comprenden un recubrimiento de resina bacteriana.
11. El elemento geosintético (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la red de flujo comprende un conjunto de tubos (9) que corren sustancialmente paralelos, y en el que se dispone una manga alrededor del conjunto de tubos (9).
12. Un método para inducir la precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente en un geomaterial mediante el uso de un elemento geosintético (1) que porta bacterias y un reactivo en una red de flujo que comprende aberturas (17) en su superficie para permitir que el reactivo escape de la red de flujo al geomaterial circundante a lo largo de la red de flujo, la red de flujo comprende además un conjunto de entradas para alimentar el reactivo en la red de flujo, y un conjunto de salidas para expulsar al menos una parte del reactivo de la red de flujo, el método comprende:
 - introducir las bacterias en el elemento geosintético (1) en ubicaciones predeterminadas de manera tal que las bacterias estén dispuestas para propagarse desde el elemento geosintético (1) al geomaterial circundante;
 - colocar el elemento geosintético (1) en su ubicación de instalación para que entre en contacto con el geomaterial;

- alimentar el reactivo en la red de flujo a través del conjunto de entradas para permitir que el reactivo circule en la red de flujo y permitir que al menos una parte del reactivo y las bacterias se propaguen desde el elemento geosintético (1) al geomaterial para producir carbonato de calcio sólido en el geomaterial.

- 5
13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el método comprende además alimentar bacterias adicionales en la red de flujo a través del conjunto de entradas (11).
- 10
14. El método de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en el que el reactivo se alimenta en la red de flujo mediante el uso de flujos discontinuos de intervalos fijos o variables, o mediante un flujo continuo de reactivo.
15. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que las bacterias son al menos una de las siguientes: células bacterianas liofilizadas, células bacterianas vegetativas, esporas bacterianas y un recubrimiento de resina bacteriana.

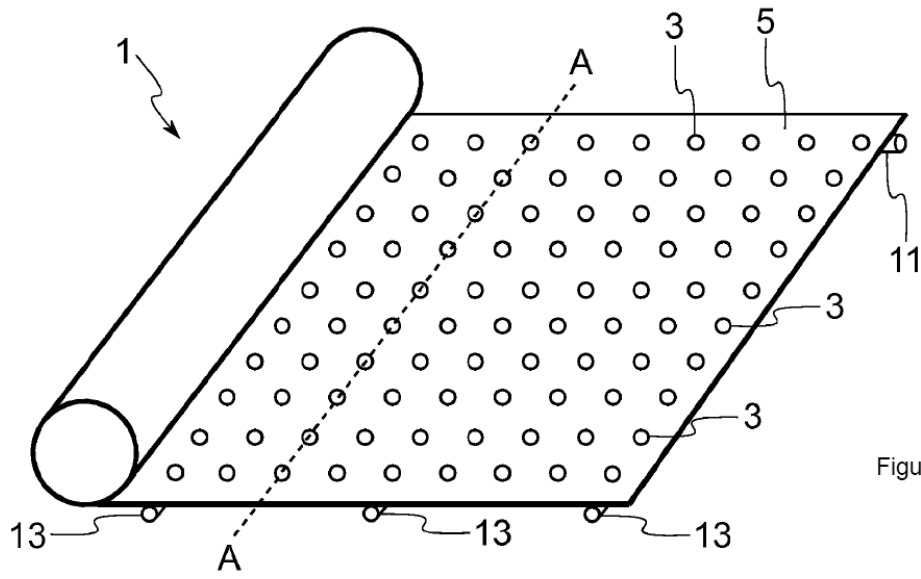


Figura 1

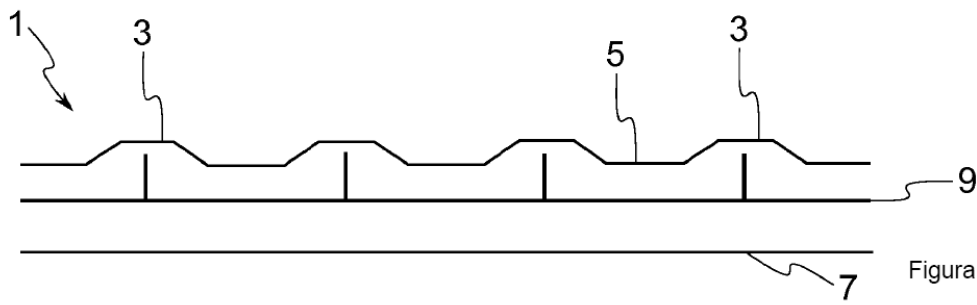


Figura 2

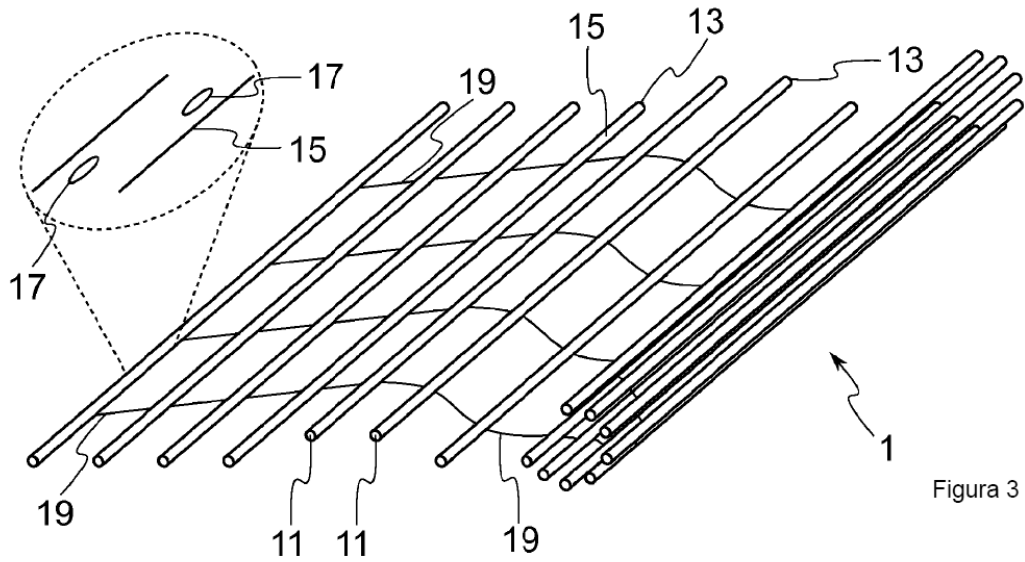
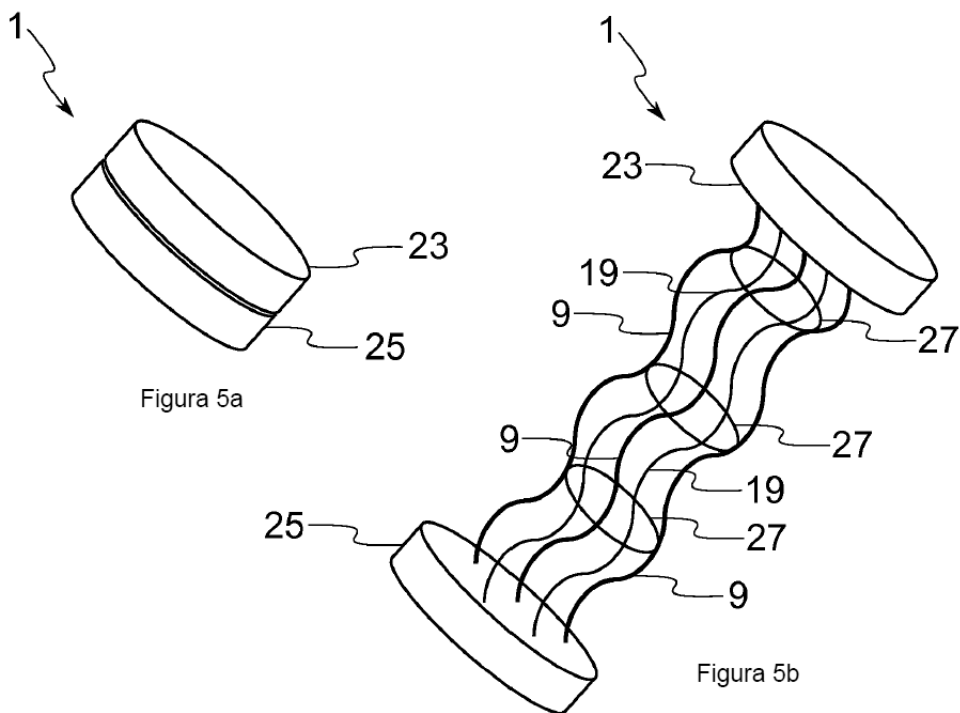
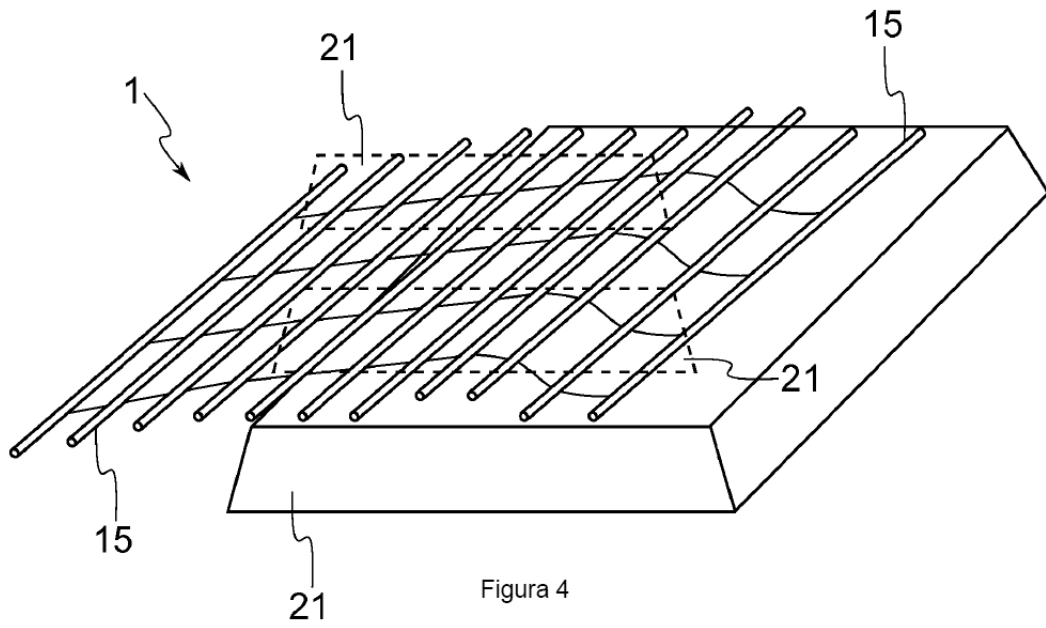
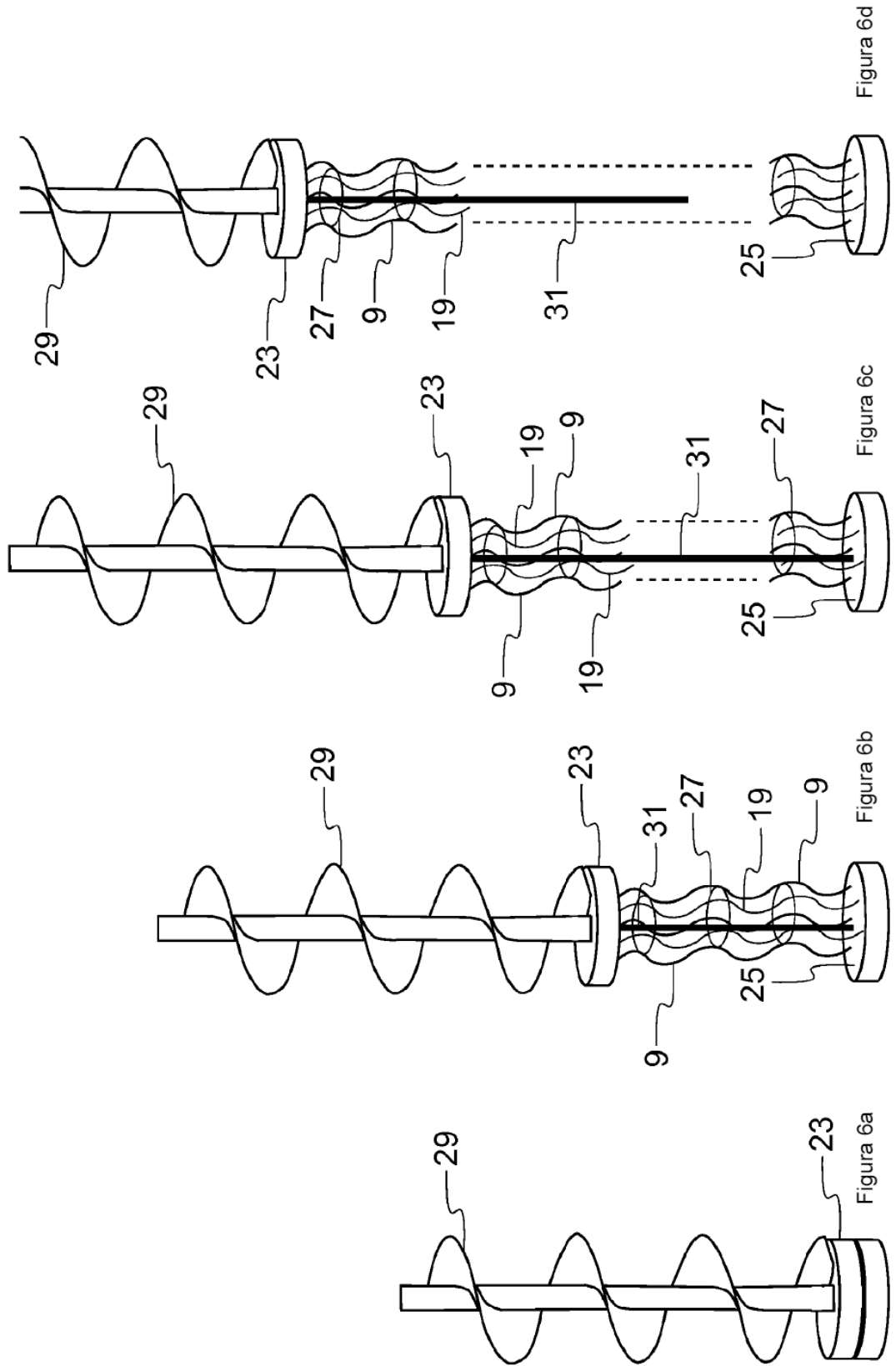


Figura 3





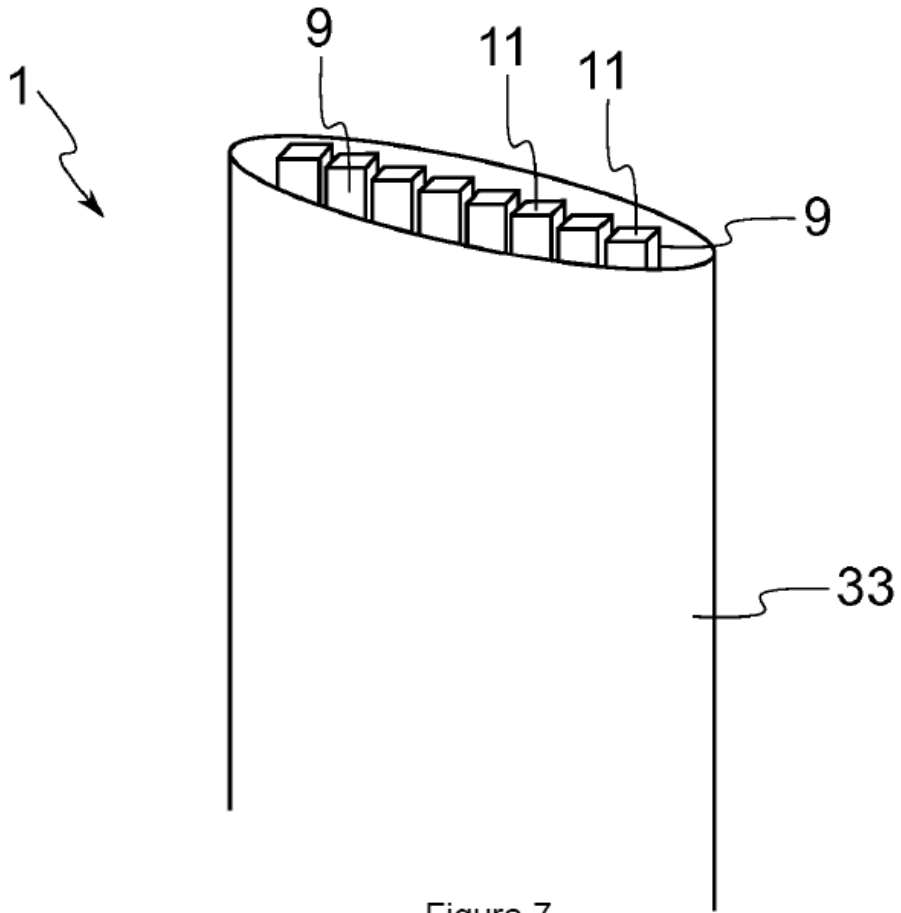


Figura 7