



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 363 587**

⑫ Número de solicitud: 201100456

⑤① Int. Cl.:  
**E02D 17/20** (2006.01)  
**G06F 17/50** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **19.04.2011**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **09.08.2011**

⑫③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**09.08.2011**

⑦① Solicitante/s: **Universidad de Cantabria**  
**Pabellón de Gobierno**  
**Avda. de los Castros, s/n**  
**39005 Santander, Cantabria, ES**  
**Universidad de Oviedo**

⑦② Inventor/es: **Blanco Fernández, Elena;**  
**Castro Fresno, Daniel y**  
**Coz Díaz, Juan José del**

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Método de diseño de sistemas flexibles anclados al terreno.**

⑤⑦ Resumen:

Método de diseño de sistemas flexibles anclados al terreno.

Un método de diseño de un sistema flexible anclado al terreno para la estabilización de un talud, donde dicho sistema flexible comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones para anclar dicha membrana flexible al terreno, y donde dicho talud comprende una masa estable y una masa inestable. El método comprende las etapas de: calcular la forma y las dimensiones de una masa inestable de un talud, siendo dicha masa inestable el círculo de rotura en el caso de un talud de suelo y la cuña en el caso de un talud de roca; introducir al menos los siguientes componentes geométricos: la masa inestable (2) del talud calculada en la etapa anterior, la masa estable (1) del talud, la membrana flexible (3) y la ubicación (4) de las cabezas de dicha pluralidad de bulones; asignar una formulación numérica a cada componente geométrico anterior; introducir las propiedades de los materiales de al menos los siguientes componentes geométricos anteriores: masa inestable (2) del talud, masa estable (1) del talud y membrana flexible (3); definir las siguientes interacciones o contactos entre componentes geométricos: masa inestable (2) del talud y masa estable (1) del talud, masa inestable (2) del talud y membrana flexible (3), y masa estable (1) del talud y membrana flexible (3); simular numéricamente de forma dinámica la caída de dicha masa inestable de talud como consecuencia de la fuerza de la gravedad, obteniendo los valores instantáneos en el tiempo de la fuerza a tracción en al menos dicha membrana flexible.

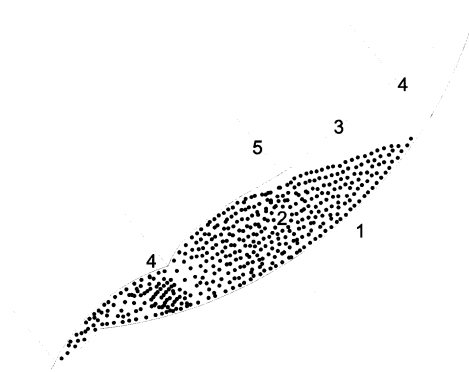


FIGURA 2

ES 2 363 587 A1

## DESCRIPCIÓN

Método de diseño de sistemas flexibles anclados al terreno.

5 **Campo de la invención**

La presente invención pertenece al sector de los sistemas flexibles de alta resistencia anclados al terreno para la estabilización de taludes, ya sean de roca o de suelos, y a los procedimientos para el diseño y cálculo de estos sistemas.

10 **Antecedentes de la invención**

Los sistemas flexibles de alta resistencia anclados al terreno son una de las distintas técnicas existentes para la estabilización de taludes, ya sean de roca o de suelos. Consisten en una membrana flexible, formada por una red de cables o una malla de alambre, la cual va sujeta al terreno mediante anclajes, generalmente de barra (bulones), pudiendo incorporar, además, cables de refuerzo horizontales y/o verticales que confluyen en los bulones formando patrones generalmente cuadrados. Su objetivo es evitar que el deslizamiento de un suelo o la caída de una roca alcancen la calzada. Un adecuado diseño y cálculo es fundamental para evitar daños materiales o vidas humanas o bien incurrir en excesivos costes de ejecución.

La mayor parte de fabricantes así como investigadores independientes postulan que el funcionamiento de estos sistemas se basa en ejercer una presión sobre el terreno, por medio de una pretensión inicial aplicada en la membrana, de tal manera que evita que se produzca la rotura en un talud de suelo o el deslizamiento de un bloque en un talud de roca, denominándolos “sistemas activos”. Al no existir una documentación técnica oficial, generalmente son los propios fabricantes de estos sistemas los que desarrollan sus propios métodos de cálculo, en base a la hipótesis de comportamiento activo. El asumir esta hipótesis condiciona todo el sistema de cálculo. En la mayor parte de los casos se plantea un mecanismo de rotura concreto, en donde aplicando una determinada presión perpendicular sobre el terreno se consigue que no se alcance el criterio de rotura de Coulomb en suelos o de Barton en rocas, empleando un análisis estático en equilibrio límite. La diferencia principal entre unos modelos y otros es el asumir distintos mecanismos de rotura.

Se han analizado un total de nueve modelos analíticos procedentes de dos investigadores independientes (Da Costa García, A., 2004, “Inestabilidades por degradación superficial de taludes en suelos. Corrección mediante sistemas de refuerzo anclados”, PhD thesis, Universidad de Cantabria, Santander, Spain; Castro Fresno, D., 2000, “Estudio y análisis de las membranas flexibles como elemento de soporte para la estabilización de taludes y laderas de suelos y/o materiales sueltos”, PhD thesis, Universidad de Cantabria, Santander, Spain), tres empresas (Iberotalud, Maccaferri y Geobrugg) fabricantes de este tipo de sistemas (IberoTalud and Universidad de Cantabria, 2005, “DRET®, Programa de dimensionamiento de redes para estabilización de taludes. Manual de ayuda”; Officine Maccaferri S.p.A., 2006, “MAC.RO.1®. User’s guide.” 1.0.; Flum, D. *et al*, 2004, “L’impiego di sistemi di consolidamento flessibili in reti di acciaio ad alta resistenza nell’ingegneria geotecnica in ambiti di adeguamento e protezione delle infrastrutture”, *Congresso AGI XXII Convegno Nazionale di Geotecnica*, Università degli Studi di Torino Facoltà di Agraria, Grugliasco, Palermo, Italia) y un apartado del manual del CIRLA (UK) sobre suelo claveteado (del inglés “soil nailing”) (Phear, A. *et al*, 2005, “Soil nailing - best practice guidance”, *Rep. No. C637*, CIRIA, London).

Además, se han encontrado dos tentativas de modelos numéricos en 2D que emplean los elementos finitos para describir el comportamiento tanto del talud estable como del inestable (Luis Fonseca, R. J., 2010, *Aplicación de Membranas Flexibles para la Prevención de Riesgos Naturales*. Geobrugg Ibérica, S.A., Madrid; Da Costa García, A., 2004, “Inestabilidades por degradación superficial de taludes en suelos. Corrección mediante sistemas de refuerzo anclados”, PhD thesis, Universidad de Cantabria, Santander, Spain) y elementos tipo “shell” para definir a la membrana. En ambos casos, los resultados de estas simulaciones son poco realistas ya que las deformaciones que obtienen son muy reducidas, del orden de pocos milímetros, cuando las observaciones en campo demuestran que son mucho mayores, tal y como se ilustra por ejemplo en la figura 1, que muestra un sistema flexible anclado al terreno y un talud de suelo que ha sufrido una inestabilidad.

Además, la hipótesis de comportamiento activo de los sistemas flexibles de alta resistencia no ha sido comprobada por ninguno de los investigadores independientes ni por la inmensa mayoría de fabricantes. En relación a la membrana, para que ésta sea considerada como activa, es decir, que sea capaz de ejercer una presión perpendicular sobre el terreno, se deben cumplir dos condiciones: el talud debe presentar una forma curva convexa de segundo grado (parábola, circunferencia, catenaria, etc.), no sólo inicialmente sino a lo largo del tiempo, para que las presiones que ejerza una membrana se conviertan en fuerzas de presión sobre el terreno; y la membrana ha de estar pretensada inicialmente con una tensión concreta T, en una o dos direcciones, que dependerá de la curvatura del talud (parábola, circunferencia, catenaria, etc.) y del espaciamiento entre bulones.

Sin embargo, se han instrumentado tres taludes en donde existían redes de cable ancladas al terreno con el objetivo de determinar el nivel de fuerzas en los distintos componentes en el momento de instalación. En concreto, se instrumentaron los cables de la red, los cables de refuerzo y los bulones. La instrumentación ha consistido en la colocación de sensores basados en la extensometría eléctrica que registraban la fuerza a tracción en los cables de la red y de refuerzo y la fuerza a compresión en las cabezas de los bulones. Se ha observado que las fuerzas máximas en los cables de la red no llegaron en ningún caso a superar 1 kN, cuando su carga de rotura alcanza los 50 kN. En relación

a los cables de refuerzo, estos llegaron a alcanzar los 5 kN, siendo su carga máxima de rotura los 160 kN. Finalmente, la fuerza a compresión registrada en las cabezas de los bulones no ascendió en ningún caso a los 20 kN, siendo su carga de rotura de unos 350 kN aproximadamente. Así mismo, la forma del talud generalmente es plana, en lugar de convexa. Todos estos hallazgos demuestran que estos sistemas no se comportan de forma activa sino pasiva, es decir, que únicamente son capaces de detener a la masa inestable una vez que ya se haya producido el deslizamiento. Ello implica que los actuales métodos de cálculo no son correctos ya que asumen la hipótesis de comportamiento activo de los sistemas, cuando en realidad se ha demostrado que estos se comportan de forma pasiva.

## Resumen de la invención

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un método de cálculo de un sistema flexible anclado al terreno que se comporta de forma pasiva, es decir, que únicamente es capaz de detener a la masa inestable una vez que ya se haya producido el deslizamiento. Este procedimiento se puede aplicar a programas de cálculo numérico que posean la formulación de elementos finitos o diferencias finitas y SPH, y que incorporen algoritmos de resolución para problemas en régimen dinámico. Este tipo de programas son conocidos de por sí, y debido a ello no es necesario describirlos aquí en detalle.

Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de diseño de un sistema flexible anclado al terreno para la estabilización de un talud, donde dicho sistema flexible comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones para anclar dicha membrana flexible al terreno, y donde dicho talud comprende una masa estable y una masa inestable. El método comprende las etapas de: calcular la forma y las dimensiones de una masa inestable de un talud, siendo dicha masa inestable un círculo de rotura o espiral logarítmica en el caso de un talud de suelo y una cuña en el caso de un talud de roca; introducir al menos los siguientes componentes geométricos: la masa inestable del talud calculada en la etapa anterior, la masa estable del talud, la membrana flexible y la ubicación de las cabezas de dicha pluralidad de bulones; asignar una formulación numérica a cada componente geométrico anterior; introducir las propiedades de los materiales de al menos los siguientes componentes geométricos anteriores: masa inestable del talud, masa estable del talud y membrana flexible; definir las siguientes interacciones o contactos entre componentes geométricos: masa inestable del talud y masa estable del talud; masa inestable del talud y membrana flexible; masa estable del talud y membrana flexible; simular numéricamente de forma dinámica la caída de dicha masa inestable de talud como consecuencia de la fuerza de la gravedad, obteniendo los valores instantáneos en el tiempo de la fuerza a tracción en al menos dicha membrana flexible.

En una posible realización, el cálculo del dimensionamiento del sistema flexible se realiza en 2D.

En el caso anterior, la etapa de introducir componentes geométricos comprende además el definir la sección a modelizar, que viene definida por el plano vertical que pasa por el punto medio de dos bulones ubicados en una fila horizontal.

En este mismo caso, la etapa de introducir como componente geométrico la ubicación de las cabezas de dicha pluralidad de bulones comprende introducir un componente estructural ficticio (formado por una barra) y dicha etapa de introducir las propiedades de los materiales de los componentes comprende asignar a dicho componente estructural ficticio (barra) al menos una ley fuerza-desplazamiento, que describe el comportamiento del punto medio entre dos bulones consecutivos ubicados en una fila horizontal.

Preferentemente, la membrana flexible puede comprender además una pluralidad de cables de refuerzo, cuya caracterización tensodeformacional se incluye en dicha ley fuerza-desplazamiento.

Preferentemente, la etapa de definir interacciones o contactos entre componentes geométricos comprende además la interacción entre la membrana flexible y dicho componente estructural ficticio (formado por una barra) a la que se le ha asignado una ley fuerza-desplazamiento.

En otra posible realización, el cálculo del dimensionamiento del sistema flexible se realiza en 3D.

En el caso anterior, la etapa de introducir como componente geométrico la ubicación de las cabezas de dicha pluralidad de bulones se representa mediante una pluralidad de puntos fijos.

Preferentemente, la membrana flexible comprende además una pluralidad de cables de refuerzo que pasan por dichos puntos fijos, pudiendo localizarse en filas horizontales definidas por las alineaciones horizontales de los bulones, o en filas verticales definidas por las alineaciones verticales de los bulones, o tanto en filas horizontales como verticales.

Preferentemente, la etapa de definir interacciones o contactos entre componentes geométricos comprende además la interacción entre la membrana flexible y dicha pluralidad de cables de refuerzo.

La etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende preferentemente asignar las siguientes formulaciones numéricas: para la masa inestable en un talud de suelo: formulación SPH; para la masa inestable en un talud de roca: elementos finitos o diferencias finitas; para la masa estable en un talud de suelo o de roca: elementos finitos o diferencias finitas; para la membrana flexible: elementos finitos o diferencias finitas.

La etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende preferentemente asignar al componente estructural ficticio al que se asigna al menos una ley fuerza-desplazamiento una de las siguientes formulaciones numéricas: elementos finitos, diferencias finitas o elemento tipo “spring”.

5 La etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende preferentemente asignar a dicha pluralidad de cables de refuerzo una de las siguientes formulaciones numéricas: elementos finitos o diferencias finitas.

10 En el caso de diseño 2D, cuando se ha simulado la presencia de cables de refuerzo, el método comprende además una etapa de dimensionamiento de los cables de refuerzo. Este dimensionamiento se realiza preferentemente conociendo la fuerza máxima acaecida en el componente estructural ficticio, su deformación, la sección del cable de refuerzo real y su módulo de elasticidad.

15 Preferentemente, el método comprende además una etapa de dimensionamiento de dicha pluralidad de bulones. Este dimensionamiento de los bulones comprende el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que soporten los esfuerzos a cortante y a flexión en su intersección con la superficie de deslizamiento de la masa inestable, así como el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que se evite el arrancamiento de los mismos y la rotura a tracción de los mismos fruto de la deformada que adopta dicha membrana flexible y de la fuerza máxima soportada por dicha membrana flexible.

20 Preferentemente, el método comprende además la etapa de diseñar un sistema flexible para ser anclado al terreno para la estabilización de un talud, que comprende la selección de una membrana flexible, de unos cables de refuerzo (si los hubiera) y de una pluralidad de bulones, que soporten dicha fuerza máxima acaecida en la membrana flexible, cables de refuerzo y bulones.

25 En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema flexible para ser anclado al terreno para la estabilización de un talud obtenido mediante el método definido anteriormente. El sistema flexible comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones.

30 Otras ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

## Breve descripción de las figuras

35 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

40 La figura 1 muestra una fotografía que ilustra un sistema flexible anclado al terreno y un talud de suelo que ha sufrido una inestabilidad.

La figura 2 muestra una simulación numérica de un talud de suelo en 2D, en la que la masa inestable se ha discretizado mediante SPH.

45 La figura 3 muestra una simulación numérica de un talud de suelo en 3D, en la que la masa inestable se ha discretizado mediante SPH.

La figura 4 muestra los datos de entrada para la simulación en 2D de la línea de influencia de la flecha central y de un cable sometido a una carga uniformemente repartida  $q$ , de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

## Descripción detallada de la invención

55 En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

60 Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

65 A continuación se describe el método de diseño de un sistema flexible anclado al terreno para la estabilización de un talud, de la invención. El sistema flexible cuyo dimensionamiento se va a calcular comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones para anclar dicha membrana flexible al terreno. De forma opcional, el sistema flexible comprende también una pluralidad de cables de refuerzo, que pueden ser horizontales (coincidiendo

con filas horizontales de bulones), o verticales (coincidiendo con filas verticales de bulones), o tanto horizontales como verticales. El talud que se desea estabilizar comprende una masa estable y una masa inestable, siendo ésta última la que se desprende en el método de cálculo de la invención, para estimar el dimensionamiento del sistema flexible en cuestión.

El método de diseño del sistema flexible se realiza en las siguientes etapas:

El método puede llevarse a cabo tanto en 2D como en 3D. La figura 2 muestra una simulación numérica de un talud de suelo en 2D, en la que la masa inestable se ha discretizado mediante SPH, mientras que la figura 3 muestra una simulación numérica de un talud de suelo en 3D, en la que la masa inestable se ha discretizado mediante SPH.

En la figura 2 se representa una masa estable de talud o talud estable 1, una masa inestable de talud 2, una membrana flexible 3, la ubicación 4 de las cabezas de los bulones y los “muelles” 5 (componente estructural ficticio que representa el comportamiento tenso-deformacional del punto medio comprendido entre dos bulones de una fila horizontal o de un cable de refuerzo horizontal).

En la figura 3 se representa una masa estable de talud 1 o talud estable 1, una masa inestable de talud 2, una membrana flexible 3, la ubicación 4 de las cabezas de los bulones y unos cables de refuerzo 6.

En primer lugar, calcular la forma y las dimensiones de una masa inestable (es decir, susceptible de deslizar) de un talud, es decir, el círculo de rotura o espiral logarítmica (para el caso de taludes de suelo) o bien la cuña (para el caso de taludes de roca) pésimos (es decir, de mayores dimensiones). En este contexto, se entiende por “talud de suelo” aquel en donde la masa inestable presenta elevadas deformaciones y distorsiones de tal manera que no puede analizarse como un elemento estructural, sino más bien como un fluido (no es adecuada una discretización por elementos finitos o diferencias finitas). Se entiende por “talud de roca” aquel cuyas deformaciones y distorsiones son muy reducidas, luego se comporta como un elemento estructural o incluso un sólido rígido. Asimismo, se entiende por “círculo de rotura de un talud de suelo” la forma que define la masa inestable una vez que ha alcanzado el criterio de plastificación en su superficie de deslizamiento. Y se entiende por “cuña de un talud de roca” la forma que posee un bloque de roca inestable definido por una familia de fisuras existentes en el macizo rocoso, por donde el bloque ha comenzado a deslizar.

Este cálculo puede realizarse o bien a través de un programa de estabilidad de taludes que incorpore la opción de introducir bulones pasivos, o bien mediante un programa específico para el cálculo de suelo claveteado. Este tipo de programas generalmente aplican un análisis por equilibrio límite mediante la discretización del terreno en dovelas, con sus diversas variantes de hipótesis (Bishop, A. W., 1955, “The use of the slip circle in the stability analysis of slopes”, *Géotechnique*, 5 7-17; Janbu, N., 1957, “Earth pressures and bearing capacity calculations by generalized procedure of slices”, 4º *ICOSOMEF*, London, 207-212; Morgenstern, N. R., and Price, V. E., 1965, “The analysis of the stability of general slip surfaces”, *Géotechnique*, (15), 79-93). Existe también la variante de programas basados en los elementos finitos, que a través de una reducción de los parámetros del terreno, calculan una superficie de rotura más probable.

Para realizar este cálculo del círculo de rotura (para el caso de taludes de suelo) o bien la cuña (para el caso de taludes de roca) pésimos se deben introducir los bulones dentro del cálculo de la estabilidad inicial del talud, pero no la membrana, ni los cables de refuerzo, si los hubiera. En el momento incipiente de la rotura, los desplazamientos que aparecen son muy reducidos, del orden de 1 cm para suelos arcillosos (Skempton, A. W., 1985, “Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory”, *Geotechnique*, 35(1), 3-18), y de 1 mm para suelos arenosos (Bolton, M. D., 1986, “Strength and dilatancy of sands”, *Geotechnique*, 36(1), 65-78) y juntas de rocas (Barton, N., and Choubey, V., 1977, “The shear strength of rock joints in theory and practice”, *Rock Mechanics Felsmechanik Mécanique Des Roches*, 10(1-2), 1-54). Es por ello que tanto la membrana como los cables de refuerzo exteriores apenas aportan resistencia a la estabilidad global del talud debido a esos niveles de deformación. Sin embargo, los bulones sí que pueden aportar cierta estabilidad por su resistencia a cortante y a flexión que pueden desarrollar justo en su unión con la línea de rotura, además de una componente friccional entre la lechada y el terreno. El desarrollo detallado de esta primera etapa de cálculo del círculo de rotura o cuña pésimos queda fuera del alcance de la presente invención, ya que los métodos y programas informáticos existentes se consideran adecuados.

A continuación, se debe introducir la geometría del programa. En concreto, se deben introducir al menos los siguientes componentes geométricos:

- la masa inestable 2 del talud calculada en la etapa anterior;
- la masa estable 1 del talud;
- la membrana flexible 3;
- información geométrica 4 relativa a los bulones.

Esta información geométrica relativa a los bulones varía dependiendo de si posteriormente se va a realizar una simulación numérica dinámica en 2D o 3D. No obstante, en ambos casos, esta información geométrica debe representar la ubicación 4 de las cabezas de los bulones.

En el caso de un modelado en 2D, esta etapa de introducir componentes geométricos (pendiente del talud, dimensiones de la masa inestable, longitud del talud, espaciamento entre muelles, etc.) comprende además definir una sección que representa un plano vertical que pasa por el punto medio de dos bulones ubicados en una fila horizontal. Se elige este punto medio porque representa el peor caso.

El efecto de los bulones y de los cables de refuerzo, si los hubiera, se representa en 2D mediante la introducción de un muelle ficticio 5. Dicho muelle posee una ley fuerza-desplazamiento que se define a partir de una línea de influencia de un cable horizontal o barra de refuerzo (ver figura 4). Es decir, en el caso 2D, se introduce como componente geométrico un componente estructural formado por una “barra” (ficticio, es decir, que se introduce con objeto de representar en 2D el efecto de los bulones y, si hubiera, cables de refuerzo). Se denomina “muelle” porque este elemento tiene como característica tensodeformacional una ley fuerza-desplazamiento que representa el comportamiento del punto medio entre dos bulones horizontales, introduciéndose esta ley fuerza-desplazamiento en la etapa de introducción de las propiedades de los materiales de los componentes, que se indica más adelante.

La figura 4 muestra los datos de entrada para la simulación en 2D de la línea de influencia de la flecha (desplazamiento) central y de un cable sometido a una carga uniformemente repartida  $q$ , de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

De acuerdo con el esquema de la figura 4, la flecha del centro luz del cable de refuerzo  $y$  es función de la fuerza normal por unidad de longitud  $q$  que ejerce la membrana sobre el cable de refuerzo, de la separación horizontal entre bulones  $l$ , del diámetro  $\emptyset$  del cable de refuerzo y del módulo de elasticidad  $E$  del cable de refuerzo:

$$y = f(q, l, \emptyset, E)$$

La línea de influencia representa una fuerza uniformemente repartida a lo largo del cable *versus* la flecha producida en el punto medio. Dependiendo del programa de simulación numérica empleado, esta ley puede ser introducida directamente o bien a través de una curva tensión-deformación; para ello hay que definir un tipo de material y secciones ficticias de tal manera que coincida con la ley fuerza-desplazamiento.

En el caso de un modelado en 3D (introducción de pendiente del talud, dimensiones de la masa inestable, longitud del talud...), el componente geométrico relativo a la ubicación 4 de las cabezas de los bulones se representa mediante una pluralidad de puntos fijos. Además, si hay cables de refuerzo 6, en el caso de 3D, estos se representan directamente, en lugar de recurrir al artificio del muelle en 2D. Se representan cables de refuerzo horizontales y/o verticales con el espaciamento real entre ellos de acuerdo al esquema de montaje. Los cruces entre ellos, que es la posición donde generalmente se coloca un bulón, se asumen como puntos fijos de los cables. Preferentemente, los cables de refuerzo se representan con elementos unidireccionales que soporten únicamente esfuerzos a tracción.

La ubicación de la masa inestable respecto a la disposición de los muelles (caso en 2D) o de bulones y cables de refuerzo (caso en 3D) debe ser tal que provoque la máxima fuerza en la membrana y los bulones (y los cables de refuerzo, si los hubiera). De forma aproximada, la posición pésima ocurre cuando la parte inferior del círculo de rotura o cuña pésima se encuentra en el punto medio entre dos muelles o dos bulones (o cables de refuerzo). Si se requiere de mayor precisión en la solución, se pueden tantear con otras posiciones cercanas al punto considerado previamente.

La etapa siguiente es asignar una formulación numérica a cada componente geométrico anterior.

Preferentemente, la membrana flexible se formula o discretiza mediante elementos finitos o diferencias finitas con la simplificación de la teoría de placas delgadas (elementos tipo “shell”), y sin rigidez a flexión, ya que las membranas flexibles ancladas al terreno no poseen esta propiedad. Preferentemente la condición de contorno es que esté fija en su extremo superior e inferior.

Preferentemente el talud estable se representa únicamente mediante su contorno, ya que no es necesario conocer el estado tensional en el interior del mismo. Se puede emplear para su discretización elementos finitos o diferencias finitas con la simplificación de tipo “shell” o simplemente un elemento de tipo contorno, dependiendo de las opciones del programa empleado. El objetivo de su representación es servir de contorno inferior del problema, además de poder introducir una fricción entre el talud estable y los elementos que se encuentren por encima. Se debe definir una condición de contorno de todos los movimientos nulos en todas sus celdas.

Para el caso de taludes de suelos, la masa inestable representada a través de un círculo de rotura (el cual ya ha sido calculado previamente), preferentemente se formula o discretiza mediante partículas SPH (“Smooth Particle Hydrodynamics”); se muestra un ejemplo en la figura 2. Este tipo de formulación permite modelizar materiales de todo tipo, pero es especialmente útil para fluidos o sólidos muy deformables que puedan presentar una gran distorsión. El empleo de elementos finitos o diferencias finitas para la discretización de un talud de suelo no es adecuado ya que la masa inestable presenta grandes deformaciones y distorsiones que no pueden ser modelizadas mediante discretizaciones de tipo malla o celda. Es por ello necesario recurrir a la discretización mediante puntos. De entre todas las variantes de discretización por puntos que existen, se ha elegido la formulación SPH ya que se encuentra incorporada en programas comerciales (Autodyn, Cosmos). Preferentemente, se desaconseja el empleo de elementos discretos por el excesivo esfuerzo computacional que demandaría para modelizar la masa inestable.

En taludes de roca no es necesario recurrir a la discretización SPH para la masa inestable. Debido a la poca deformabilidad y distorsión de una cuña de roca susceptible de deslizarse, es suficiente con una discretización mediante elementos finitos o diferencias finitas, o incluso asumiendo que es un sólido rígido indeformable. Los principales parámetros que definen la distancia de avance de la roca son el volumen del cuerpo, su densidad, la pendiente del talud y los coeficientes de fricción entre distintas partes.

En el caso de 2D, en el que se introducen los llamados “muelles” ficticios (5) para simular el efecto de los bulones y cables de refuerzo, si los hubiera, la formulación para los muelles es preferentemente mediante elementos finitos, diferencias finitas o bien mediante elemento tipo “spring” (definido únicamente por una curva fuerza-desplazamiento).

En el caso de 3D, si hay cables de refuerzo (6), estos se representan directamente, mediante elementos finitos o diferencias finitas, preferentemente con la simplificación de elementos unidireccionales que únicamente soporten esfuerzos a tracción.

A continuación se debe introducir las propiedades de los materiales de los componentes geométricos. En concreto, se deben introducir las propiedades de los materiales de al menos estos componentes geométricos: masa inestable del talud, masa estable del talud y membrana flexible.

Para la masa estable de talud, no importan las características del material, ya que se suponen fijas todas sus celdas. Las propiedades tensodeformacionales en el caso de una masa inestable de suelo para el rango elástico y plástico se determinan mediante ensayos edométricos y de corte directo. Las propiedades tensodeformacionales para una masa inestable de roca se pueden extraer de bibliografía, ya que dada su elevada rigidez ésta se comporta como un sólido rígido, y no influye en gran medida en los resultados. Las propiedades del muelle, en el caso 2D, es la curva fuerza-deformación, o bien una curva tensión-deformación con una sección ficticia. En el caso 3D, en lugar de introducir las propiedades del muelle, se introduce la curva-tensión deformación del cable de refuerzo y su sección real (si lo hubiera).

Para que los resultados del método de diseño sean adecuados, deben introducirse unas condiciones de contorno, iniciales e interacciones. La condición inicial es el reposo. La única fuerza externa que actúa es la gravedad. Las condiciones de contorno para el talud estable es que todas las celdas están fijas. La membrana está fija preferentemente en el extremo superior e inferior.

Seguidamente se deben definir las siguientes interacciones o contactos entre componentes geométricos: interacción entre masa inestable del talud y masa estable del talud; interacción entre masa inestable del talud y membrana flexible; e interacción entre masa estable del talud y membrana flexible. Además, en el caso de modelado en 2D, se debe incluir la interacción entre la membrana flexible y el componente estructural ficticio formado por una barra a la que se le ha asignado una ley fuerza-deformación (es decir, la interacción “muelle”-membrana flexible). En el caso de modelado en 3D, se debe incluir la interacción entre la membrana flexible y la pluralidad de cables de refuerzo, si los hubiera. En este caso, los extremos de los cables de refuerzo se suponen puntos fijos, y coinciden con la posición de las cabezas de los bulones.

Se pueden incluir asimismo coeficientes de fricción entre determinadas superficies de contacto. Por ejemplo, el coeficiente de fricción entre masa inestable - talud estable es tan  $\phi_{\text{res}}$  (ángulo de rozamiento residual), se puede determinar, ya sea para suelos como para rocas, mediante un ensayo de corte directo. Ante la escasez de datos experimentales así como ensayos normalizados de fricción membrana-suelo o membrana-roca se toma preferentemente un valor conservador de 0,1.

Para facilitar la toma e interpretación de resultados de la simulación numérica (etapa siguiente), es conveniente introducir galgas (puntos de control) para el cálculo y registro de fuerzas en membrana, muelles (esto último en el caso 2D) y cables de refuerzo (si los hubiera, para el caso 3D).

Por último, el método comprende la etapa de simular numéricamente de forma dinámica la caída de la masa inestable de talud como consecuencia de la fuerza de la gravedad, que es la única fuerza a la que está sujeta esta masa inestable. La masa inestable parte en su caída del estado de reposo. La simulación numérica describe el movimiento de la masa inestable desde el comienzo del deslizamiento (la rotura ya se ha producido) hasta que la masa es detenida por la acción de la membrana y la fuerza de rozamiento del talud estable. Como se ha dicho, la única fuerza exterior que se considera es la gravedad, no siendo necesario definir ninguna velocidad inicial para la masa de suelo inestable, ya que va deslizando por su propio peso. Esta simulación modela dinámicamente las interacciones o contactos definidos previamente, así como la influencia de los bulones y cables de refuerzo, si los hubiera. Así se obtienen los valores instantáneos en el tiempo de la fuerza a tracción en la membrana flexible, la fuerza a compresión de los muelles (caso de 2D), y la fuerza a tracción en los cables de refuerzo, (si los hubiera). Además, la geometría del problema (nueva ubicación y forma de cada uno de los componentes simulados) se va actualizando de forma automática en los distintos ciclos de cálculo de la simulación numérica.

Para ello se puede elegir cualquier programa de simulación numérica de tipo explícito (empleados habitualmente en la resolución de fenómenos dinámicos) que incorpore la formulación de elementos finitos o diferencias finitas así como la discretización mediante partículas SPH (“Smooth Particle Hydrodynamics”). Además, se recomienda que incorpore elementos estructurales simplificados tipo “beam”, tipo “shell” y tipo “link” para ahorrar en tiempo computacional; si bien no es imprescindible. A modo de ejemplo, puede utilizarse el programa Autodyn, perteneciente a Ansys Inc.

Como se ha indicado, esta simulación numérica dinámica se puede realizar en 2D o 3D, requiriendo un mayor esfuerzo computacional este último. En general, salvo que los requerimientos de precisión de la solución sean muy elevados, se recomienda la simplificación del problema a 2D. Para el caso de la representación del problema en 2D, se representa un plano vertical que pasa por el punto medio de dos bulones ubicados en una misma fila horizontal. La figura 2 muestra un esquema de los componentes geométricos introducidos en una realización específica del caso 2D. La figura 3 muestra un esquema de los componentes geométricos introducidos en una realización específica del caso 3D.

No es necesario representar todo un talud, ya que el esfuerzo computacional sería enorme. Se recomienda representar una longitud de talud mínima de al menos aproximadamente 2,5 veces la longitud del círculo de rotura o cuña inestable; representando aproximadamente 0,5 veces su longitud por encima, y aproximadamente 1 vez su longitud por debajo. Además, en el caso 2D, como mínimo se recomienda representar la longitud de la membrana comprendida entre 4 filas horizontales de bulones. En el caso de 3D, las condiciones de ancho son equivalentes a las condiciones de largo.

Como se ha indicado, el valor buscado es la máxima fuerza a tracción desarrollada en la membrana a lo largo del fenómeno de caída. El momento en el que ocurre este evento se desconoce, por lo que es necesario simular todo el proceso de caída hasta la detención de la masa inestable. Para ello, se pueden elegir galgas (puntos de control) en donde el software calcule y almacene la fuerza a tracción en todo momento, para así visualizar una gráfica de fuerza a tracción-tiempo. En general, la curva crece de forma continua hasta alcanzar un máximo, cayendo a continuación hasta un punto asintótico que representa el equilibrio de la masa inestable. Dependiendo del software empleado, se puede detener la simulación en un momento dado, y comprobar si la fuerza máxima ya ha alcanzado su máximo valor. De ser así, ya se puede detener la simulación. En caso contrario, se puede continuar la simulación desde el punto donde se detuvo y volver a verificar más tarde si se ha alcanzado tal punto máximo. Se debe tomar como resultado el mayor valor de la gráfica de registros de fuerza de todas las galgas de la simulación numérica.

En el caso 2D, también se obtiene el valor de fuerza máxima en los muelles, ya que para determinar la fuerza máxima desarrollada en los bulones o en los cables de refuerzo, si los hubiera, es necesario obtener el valor de la fuerza máxima acaecida en los muelles. De la misma manera que se ha realizado para la membrana, es conveniente emplear unas galgas en dichos elementos de tal manera que el programa calcule y registre la fuerza máxima a lo largo del tiempo. Dicha fuerza máxima representa la fuerza máxima uniformemente repartida a lo largo del cable o bien en una línea ficticia de membrana flexible ubicada entre dos bulones horizontales. Conociendo dicha fuerza, se puede calcular la máxima fuerza a tracción acaecida en el cable o en el bulón, para así seleccionar el tipo de material (preferentemente acero) y sección más adecuados para cada uno de ellos.

En el caso 3D se obtiene directamente el valor de fuerza máxima en los cables de refuerzo, si los hubiera.

Por otra parte, el método comprende preferentemente una etapa de dimensionamiento de los bulones. Se puede realizar mediante la metodología del suelo claveteado del terreno.

El dimensionamiento de los bulones comprende dos aspectos: Por una parte, el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que soporten los esfuerzos a cortante y a flexión en su intersección con la superficie de deslizamiento de la masa inestable. Por otra parte, el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que se evite el arrancamiento de los bulones y la rotura a tracción de los mismos fruto de la deformada que adopta la membrana flexible y de la fuerza máxima acaecida en la membrana flexible.

De entre las distintas variantes de cálculo existentes, se aconseja emplear la propuesta por Juran, I. *et al*, 1990, "Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", *J. Geotech. Eng.*, 116(1), 54-72, para el cálculo de bulones en suelos. Este método presenta la ventaja frente a otros de considerar la existencia de desplazamientos considerables cuando se movilizan los máximos esfuerzos cortantes y flectores en la unión del bulón con la superficie de rotura. Este método es convencional y queda por tanto fuera del alcance de la presente invención.

En el caso de taludes de roca, si los bulones del sistema flexible se colocan fuera de las cuñas de terreno susceptibles de deslizar, entonces la única acción que se ejerce sobre éstos es la fuerza que le transmiten los cables de refuerzo como consecuencia del empuje que ejerce la cuña de terreno contenida en la membrana. En este caso el bulón no está sometido a esfuerzos de cizalla o flectores ya que no atraviesa los planos de deslizamiento. En el caso de que los bulones sí que atraviesen los planos de deslizamiento de las cuñas, entonces la función de éstos es la de evitar que se desprenda la cuña de roca garantizando así mismo la integridad del mismo bulón para que no colapse el sistema. En este caso ya no tiene sentido disponer de membrana flexible para sujetar la cuña, ya que es únicamente el bulón el que ejerce la función estabilizadora, con lo cual, el método de dimensionamiento corresponde a un sistema de bulonado pasivo. Existen ya diversas metodologías de cálculo desarrolladas al efecto y perfectamente documentadas (Panet, M., 1987, "Renforcement des fondations et des talus à l'aide d'ancrages actifs et passifs", 6<sup>e</sup> Congrès International de Mécanique des Roches, Montréal, Canada, 1453-1458; Spang, K. *et al*, 1990, "Action of fully-grouted bolts in jointed rock and factors of influence", *Rock Mech Rock Eng*, 23(3), 201-229), con lo cual su descripción queda fuera del alcance de esta invención. En suma, el dimensionamiento en este caso debe hacerse conociendo la fuerza a tracción en los cables de refuerzo, si los hubiera, y el ángulo que forman respecto al eje del bulón (según la geometría deformada obtenida en la simulación).



## ES 2 363 587 A1

Opcionalmente, el método de la invención comprende la selección de una membrana flexible y de una pluralidad de bulones (y si se desea, cables de refuerzo), que soporten la fuerza máxima ejercida sobre la membrana flexible (y bulones y cables de refuerzo, si los hubiera) simulada.

- 5      Por último, la invención proporciona un sistema flexible para ser anclado al terreno para la estabilización de un talud, obtenido mediante el método descrito anteriormente.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Un método de diseño de un sistema flexible anclado al terreno para la estabilización de un talud, donde dicho sistema flexible comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones para anclar dicha membrana flexible al terreno, y donde dicho talud comprende una masa estable y una masa inestable, que comprende la etapa de:
  - calcular la forma y las dimensiones de una masa inestable de un talud, siendo dicha masa inestable un círculo de rotura en el caso de un talud de suelo y una cuña en el caso de un talud de roca;estando el método **caracterizado** por las etapas de:
  - introducir al menos los siguientes componentes geométricos:
    - la masa inestable (2) del talud calculada en la etapa anterior;
    - la masa estable (1) del talud;
    - la membrana flexible (3);
    - la ubicación (4) de las cabezas de dicha pluralidad de bulones;
  - asignar una formulación numérica a cada componente geométrico anterior;
  - introducir las propiedades de los materiales de al menos los siguientes componentes geométricos anteriores: masa inestable (2) del talud, masa estable (1) del talud y membrana flexible (3);
  - definir las siguientes interacciones o contactos entre componentes geométricos:
    - masa inestable (2) del talud y masa estable (1) del talud;
    - masa inestable (2) del talud y membrana flexible (3);
    - masa estable (1) del talud y membrana flexible (3);
  - simular numéricamente de forma dinámica la caída de dicha masa inestable de talud como consecuencia de la fuerza de la gravedad, obteniendo los valores instantáneos en el tiempo de la fuerza a tracción en al menos dicha membrana flexible.
2. El método de la reivindicación 1, donde dicho cálculo del dimensionamiento del sistema flexible se realiza en 2D.
3. El método de la reivindicación 2, donde dicha etapa de introducir componentes geométricos comprende además definir previamente una sección que representa un plano vertical que pasa por el punto medio de dos bulones ubicados en una fila horizontal.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, donde dicha etapa de introducir como componente geométrico la ubicación (4) de las cabezas de dicha pluralidad de bulones comprende introducir un componente estructural (5) ficticio y dicha etapa de introducir las propiedades de los materiales de los componentes comprende asignar a dicho componente estructural (5) ficticio al menos una ley fuerza-desplazamiento en el punto medio de un paño de membrana flexible.
5. El método de la reivindicación 4, donde dicha membrana flexible comprende además una pluralidad de cables de refuerzo, cuya **caracterización** tensodeformacional se incluye únicamente en la ley fuerza-desplazamiento del componente estructural ficticio (5).
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 4 ó 5, donde dicha etapa de definir interacciones o contactos entre componentes geométricos comprende además la interacción entre la membrana flexible (3) y dicho componente estructural (5) al que se ha asignado una ley fuerza-desplazamiento.
7. El método de la reivindicación 1, donde dicho cálculo del dimensionamiento del sistema flexible se realiza en 3D.
8. El método de la reivindicación 7, donde dicha etapa de introducir como componente geométrico la ubicación (4) de las cabezas de dicha pluralidad de bulones se representa mediante una pluralidad de puntos fijos.
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, donde dicho sistema flexible comprende además una pluralidad de cables de refuerzo (6) que pasan por dichos puntos fijos, pudiendo localizarse en filas horizontales

## ES 2 363 587 A1

definidas por alineaciones horizontales de los bulones, o en filas verticales definidas por alineaciones verticales de los bulones, o tanto en filas horizontales como verticales.

5 10. El método de la reivindicación 9, donde dicha etapa de definir interacciones o contactos entre componentes geométricos comprende además la interacción entre la membrana flexible (3) y dicha pluralidad de cables de refuerzo (6).

10 11. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende asignar las siguientes formulaciones numéricas: para la masa inestable (2) en un talud de suelo: formulación SPH; para la masa inestable (2) en un talud de roca: elementos finitos o diferencias finitas; para la masa estable (1) en un talud de suelo o de roca: elementos finitos o diferencias finitas; para la membrana flexible (3): elementos finitos o diferencias finitas.

15 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, donde dicha etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende asignar al componente estructural (5) ficticio al que se asigna al menos una ley fuerza-desplazamiento una de las siguientes formulaciones numéricas: elementos finitos, diferencias finitas o elemento tipo “spring”.

20 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9 ó 10, donde dicha etapa de asignar una formulación numérica a cada componente geométrico comprende asignar a dicha pluralidad de cables de refuerzo (6) una de las siguientes formulaciones numéricas: elementos finitos o diferencias finitas.

25 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5 ó 6, que comprende además una etapa de dimensionamiento de los cables de refuerzo.

15. El método de la reivindicación 14, donde dicho dimensionamiento se realiza conociendo la fuerza máxima acaecida en el componente estructural ficticio (5), su deformación, la sección del cable de refuerzo real y su módulo de elasticidad.

30 16. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una etapa de dimensionamiento de dicha pluralidad de bulones.

35 17. El método de la reivindicación 16, donde dicho dimensionamiento de los bulones comprende el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que soporten los esfuerzos a cortante y a flexión en su intersección con la superficie de deslizamiento de la masa inestable.

40 18. El método de cualquiera de las reivindicaciones 16 ó 17, donde dicho dimensionamiento de los bulones comprende el cálculo de las dimensiones de los mismos de forma que se evite el arrancamiento de los mismos y la rotura a tracción de los mismos fruto de la deformada que adopta dicha membrana flexible y de la fuerza máxima soportada por dicha membrana flexible.

45 19. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de diseñar un sistema flexible para ser anclado al terreno para la estabilización de un talud, que comprende la selección de una membrana flexible y de una pluralidad de bulones y opcionalmente cables de refuerzo, que soporten dicha fuerza máxima ejercida sobre dicha membrana flexible simulada.

50 20. Un sistema flexible para ser anclado al terreno para la estabilización de un talud obtenido mediante el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, donde dicho sistema flexible comprende al menos una membrana flexible y una pluralidad de bulones.

50

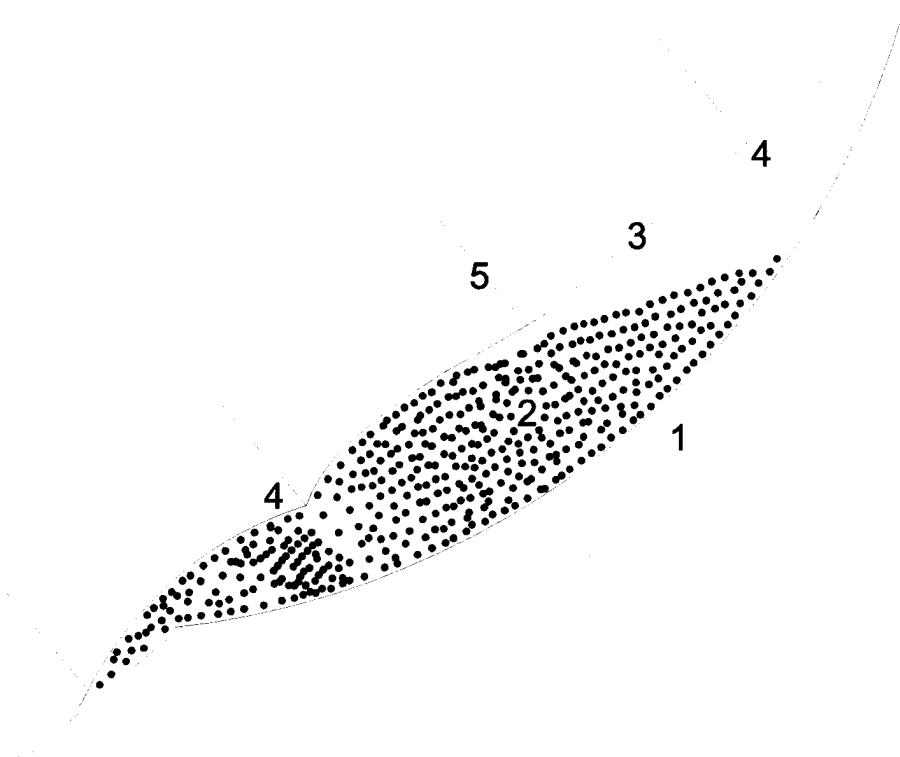
55

60

65



**FIGURA 1**



**FIGURA 2**

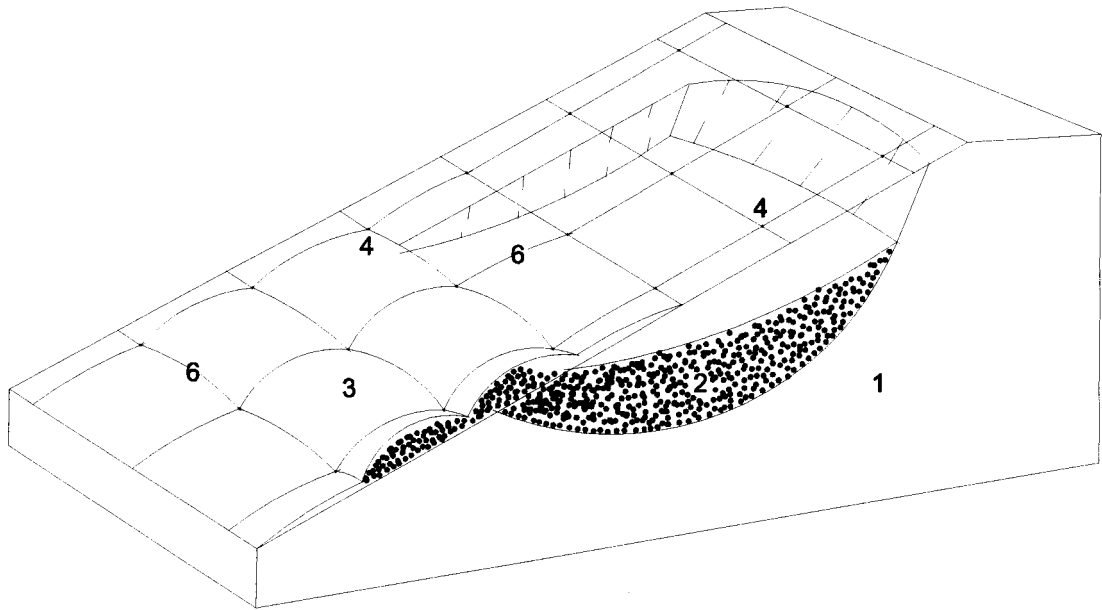


FIGURA 3

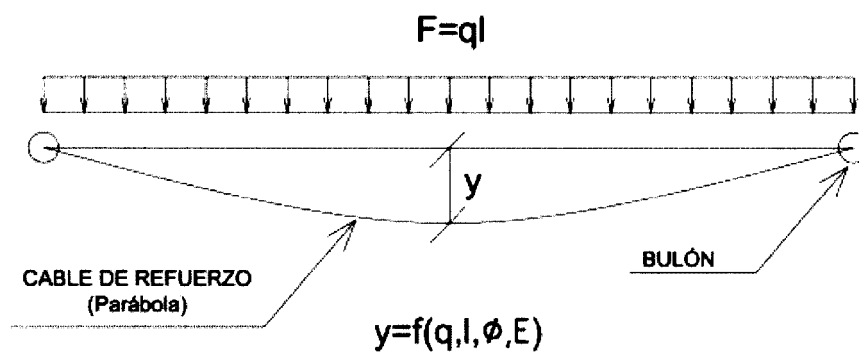


FIGURA 4



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100456

②② Fecha de presentación de la solicitud: 19.04.2011

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **E02D17/20** (2006.01)  
**G06F17/50** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 6876956 B1 (CIRAK FEHMI ET AL.) 05/04/2005, columna 1, línea 1 - columna 32, línea 28; figuras.	1-20
A	WO 2009150515 A1 (LEGA ROCCIATORI S R L DI ALOI ET AL.) 17/12/2009, páginas 1 - 17; figuras.	1-20
A	JP 2004132021 A (KANKYO TECHNO KK ET AL.) 30/04/2004, figuras & Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; AN 2004-337094.	1-20
A	US 2004194051 A1 (CROFT BRYAN L ) 30/09/2004, figura 7 & Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; AN 2004-718176.	1-20

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
22.07.2011

Examinador  
M. Castañón Chicharro

Página  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E02D, G06F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 22.07.2011

**Declaración****Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-20  
Reivindicaciones

SI  
NO

**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones  
Reivindicaciones 1-20

SI  
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.



**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 6876956 B1 (CIRAK FEHMI et al.)	05.04.2005
D02	WO 2009150515 A1 (LEGA ROCCIATORI S R L DI ALOI et al.)	17.12.2009
D03	JP 2004132021 A (KANKYO TECHNO KK et al.)	30.04.2004

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El objeto técnico de la invención es un "Método de diseño de sistemas flexibles anclados al terreno".

Las membranas ancladas al terreno en el caso de un talud, tienen como objetivo evitar que el deslizamiento del suelo ó la caída de rocas alcancen la calzada. Un adecuado diseño y cálculo es fundamental para que estas cumplan su función.

El inventor propone un método de cálculo de membrana anclada al terreno mediante bulones y tensada mediante cables, de comportamiento pasivo (retención de materia inestable deslizada). Siendo susceptible de ser calculado este sistema de retención mediante conocidos programas de cálculo numérico por elementos ó diferencias finitas y SPH, y que incorporen a su vez algoritmos de resolución de problemas en régimen dinámico.

La solicitud consta de 20 reivindicaciones, siendo la 1 y la 20 independientes y el resto dependientes.

La reivindicación 1, recoge los pasos fundamentales del método de diseño.

La reivindicación 20, se refiere al sistema flexible obtenido por el método reivindicado.

Las reivindicaciones 2 a 6, se refieren a detalles sobre la modelización del sistema en dos dimensiones.

Las reivindicaciones 7 a 10, se refieren a detalles sobre la modelización del sistema en tres dimensiones.

Las reivindicaciones 11 a 13, se refieren a la formulación numérica de cada componente geométrico.

Las reivindicaciones 14 y 15 se refieren al dimensionamiento de cables de refuerzo.

Las reivindicaciones 16 a 18 se refieren al dimensionamiento de bulones.

La reivindicación 19 se refiere al dimensionamiento de la membrana.

De los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, se considera el más próximo a la invención, el documento US6876956 (D01).

D01 divulga un método de diseño de una superficie curva por elementos finitos, susceptible ser empleada como membrana de retención de terreno a efectos de estabilización de taludes.

El método divulgado comprende las etapas de modelización geométrica, introducción de cargas externas estáticas y dinámicas (previamente calculadas) y puntos de aplicación de las mismas, condiciones de contorno, propiedades de los materiales y demás características técnicas necesarias para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, mediante la formulación numérica planteada y resuelta por uno de los ampliamente conocidos programas de elementos finitos.

La diferencia entre la 1ª reivindicación y D01 es que este no divulga que en la aplicación del método de cálculo a una membrana susceptible de ser usada como elemento de retención de terreno en taludes, esta se encuentre fijada al terreno mediante bulones, y que el talud comprende masa estable e inestable de terreno.

No obstante, esto es ampliamente conocido en este sector, como el empleo de cables de tensado en estas membranas. (Ver D02 y D03)

En cuanto a las reivindicaciones 2, 3, 7 y 13, es ampliamente conocido el cálculo de sistemas en 2 ó 3 dimensiones (diferencias, elementos finitos).

En cuanto a las reivindicaciones 4, 5, 6 y 12, es conocido en el empleo de estos programas, que en la modelización en 2 dimensiones se modeliza el sistema mediante nudos y barras. Modelizando en este caso un cable tensor mediante una barra sometida a una carga uniformemente repartida, que corresponde a la carga transmitida por la membrana, obteniéndose la máxima deformación ó flecha en el centro del vano, como es bien conocido en el cálculo de estructuras.

En cuanto a las reivindicaciones 8, 9 y 10, es conocido que en la modelización de sistemas en tres dimensiones, se manejan nudos, barras y elementos, introduciéndose en el programa de cálculo las condiciones de contorno, grados de libertad de nudos, nudos comunes a dos elementos y demás datos para la completa definición del sistema del cual queremos obtener esfuerzos y deformaciones.

La reivindicación 11, resulta obvia también, al ser de conocimiento general que es necesario introducir en el programa de cálculo, ya sea en 2 ó 3 dimensiones, las sollicitaciones externas para obtener esfuerzos y deformaciones del sistema.

En cuanto a las reivindicaciones 14 y 15, resulta obvio que los cables de refuerzo se dimensionen en función del esfuerzo a tracción que soporten y el módulo de elasticidad del material del que estén hechos, si se considera que trabajan siempre con comportamiento elástico.

Las reivindicaciones 16, 17 y 18 resultan así mismo obvias y de general conocimiento en Resistencia de Materiales, que los bulones que trabajan a tracción, cortante y flexión, deben dimensionarse para que soporten los esfuerzos obtenidos a tracción, cortante y flexión.

La reivindicación 19, resulta así mismo obvia, la membrana se dimensionará igualmente para que soporte los esfuerzos a tracción obtenidos tras el cálculo.

La reivindicación 20, se encuentra así mismo anticipada, al estarlo el método de diseño.

Conclusión:

- Las reivindicaciones 1-20 son nuevas pero carecen de actividad inventiva. (Art. 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/1986)