

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 433**

21 Número de solicitud: 202131082

51 Int. Cl.:

E04B 1/19 (2006.01)

E04B 1/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

19.11.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

06.05.2022

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**RODRÍGUEZ-CUADRADO, Javier y
SAN MARTÍN MORENO, Jesús**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie**

57 Resumen:

Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), que comprende un conjunto de barras (1) distribuidas tridimensionalmente conectadas mediante nodos (2) y que conforman aristas de pirámides con base un rectángulo, colocadas de forma recursiva según una estructura fractal. El conjunto de barras (1) comprende N niveles y en cada nodo (2) de la base de una pirámide del nivel n se sitúa el vértice de una pirámide del nivel y:

- las barras (1) de las bases de nivel $n + 1$ tienen la mitad de la longitud de las del nivel n,
- las barras (1) de las bases en el nivel $N - 1$ tienen igual longitud que las del nivel N,
- las barras (1) inclinadas de un mismo nivel tienen igual longitud y módulo J,
- las barras (1) de las bases en un mismo nivel y dirección tienen igual longitud y módulo J.

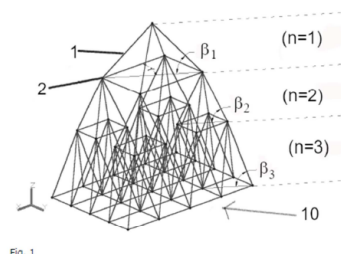


Fig. 1

ES 2 909 433 A1

DESCRIPCIÓN

Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie

5 Sector de la técnica

La invención se encuadra dentro del sector de la técnica de las estructuras para la transmisión de cargas. La estructura objeto de la invención está basada en un sistema fractal y es adecuada para la distribución de cargas en suelos pobres o para estructuras
10 aeronáuticas tales como trenes de aterrizaje, escudos contra impacto, estructuras de acople en naves espaciales, estructuras tipo paracaídas, etc.

Antecedentes de la invención

15 Las estructuras fractales se utilizan ampliamente en la arquitectura como estructuras soporte debido a su capacidad para soportar grandes cargas superficiales mediante elementos delgados tal y como se divulgan en el documento Rian, I. M., & Sassone, M. (2014). Trene-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 298-323.

20 Además, las estructuras fractales representan un diseño óptimo para aquellos elementos que están sometidos a presiones mediante cargas uniformes tal y como se divulga en los documentos Farr, R. S. (2007). Fractal design for an efficient shell strut under gentle compressive loading. *Physical Review E*, 76(5), 056608 y Farr, R. S.
25 (2007). Fractal design for efficient brittle plates under gentle pressure loading. *Physical Review E*, 76(4), 046601.

Por su parte, la distribución uniforme de cargas sobre los cimientos de una estructura es un amplio tema de estudio ya que esta distribución uniforme es la que garantiza que
30 la presión máxima sobre los cimientos sea la mínima posible. Por ejemplo, se citan los documentos Dems, K., & Plaut, R. H. (1990). Design of beams, plates and their elastic foundations for uniform foundation pressure. *Structural optimization*, 2(4), 213-222 y Elkelany, M. E. A. (2016) y Methods for achievement uniform stresses distribution under the foundation. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*.

35 Sin embargo, no se conocen en el estado de la técnica estructuras que sean capaces de distribuir uniformemente una carga puntual sobre una superficie, por ejemplo, una

cimentación, y que además puedan obtener el mismo valor de tensión en todos sus elementos integrantes.

Sumario de la invención

5

Es objeto de la presente invención una estructura soporte que permite la distribución uniforme sobre una superficie de una carga puntual aplicada de forma perpendicular a la superficie. En un ejemplo de realización de la estructura, esta puede dimensionarse para que los elementos integrantes de la misma puedan también soportar el mismo valor de tensión. Por lo tanto, la estructura objeto de la invención proporciona una distribución uniforme de una carga puntual a una base. Además, también todas sus barras podrían soportar el mismo valor de tensión. La estructura objeto de la invención está basada en una estructura de tipo fractal.

10

15

La distribución uniforme de la carga sobre una superficie permite que dicha superficie, por ejemplo, una cimentación, necesite la menor resistencia posible para soportar dicha carga aplicada. Por otro lado, el que los elementos integrantes de la estructura soporten el mismo valor de tensión permite que ninguno de ellos esté sobredimensionado. Ambas características suponen un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles con las consecuentes ventajas económicas.

20

25

La estructura objeto de la invención tiene aplicación, por ejemplo, en la dispersión de la carga en construcciones, tales como edificaciones, puentes, pistas de aterrizaje, es decir, cualquier tipo de estructura constructiva. Esto es útil cuando las construcciones se realizan sobre suelos pobres, como los marítimos, ya que la distribución irregular de las cargas puede producir el hundimiento desigual de la estructura y su rotura.

30

La estructura objeto de la invención también tiene aplicación en la dispersión uniforme de la energía de impactos contra escudos, optimizando los mismos. En un ejemplo de realización la estructura puede ser aplicada al impacto de basura espacial contra escudos espaciales o en escudos defensivos en buques, carros de combate, contra explosivos, etc

35

La estructura objeto de la invención tiene también aplicación en permitir una distribución uniforme del impacto de los trenes de aterrizaje, lo que posibilita la realización de diseños más ligeros, con el consiguiente ahorro de materiales en el proceso de fabricación y de combustible en los trayectos.

Otro ejemplo de aplicación sería también en un paracaídas donde la estructura de hilos coincidiría con la estructura de la invención y lograría una distribución uniforme de la carga sobre la lona del paracaídas.

5

La estructura objeto de la invención comprende:

- un conjunto de barras distribuidas tridimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos que permiten la rotación de las barras, donde las barras conforman aristas de pirámides que en su base definen un rectángulo, estando las pirámides colocadas de forma recursiva según una estructura fractal, donde el conjunto de barras comprende N niveles, estando el nivel N configurado para estar situado fijado a la superficie, donde en cada nodo de la base de una pirámide del nivel n se sitúa el vértice de una pirámide del nivel $n + 1$, y donde:

15

- o las barras de las bases de las pirámides de nivel $n + 1$ tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras de las bases de las pirámides de nivel n ,

20

- o las barras de las bases en el nivel $N - 1$ de las pirámides tienen igual longitud que las barras de las bases de nivel N ,
- o las barras inclinadas, es decir, las barras de las aristas laterales, de un mismo nivel n tienen igual longitud e igual módulo J , donde el módulo J es igual al área de sección transversal de la barra x módulo de elasticidad longitudinal de la barra,

25

- o las barras de las bases de las pirámides en un mismo nivel n y en una misma dirección X ó Y tienen igual longitud e igual módulo J , y
- o las barras de las bases de las pirámides en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :

30

- Barras en la dirección del eje X :

- $J_n^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 4^{n-1}$, en los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$

- $J_N^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N (barras exteriores) y $J_N^X =$

35

- $2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra no está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de

las pirámides del nivel N (barras interiores),

▪ Barras en la dirección del eje Y:

- $J_n^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) \tan(\gamma)/4^{n-1}$, en los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$

5

- $J_N^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma)/4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N y $J_N^Y = 2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma)/4^{N-1}$ si la barra no está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N ,

10

donde :

J_n^X es el valor del módulo J de una barra en la dirección X del nivel n ,

15

J_n^Y es el valor del módulo J de una barra en la dirección Y del nivel n ,

β_n es el ángulo que forman las barras inclinadas del nivel n con el plano de la base, y

γ es el ángulo que forma la diagonal del rectángulo de la base con la barra de la base de mayor longitud.

20

- un sistema de apoyos que cumple las siguientes características:

- todos los apoyos incluyen unos primeros medios de fijación del conjunto de barras a la superficie, configurados para restringir el movimiento del conjunto de barras en sentido perpendicular a la superficie, donde dichos primeros medios de fijación están dispuestos en los nodos de las bases de las pirámides del nivel N ,

25

- un apoyo denominado fijo que incluye un segundo medio de fijación del conjunto de barras a la superficie, configurado para restringir el movimiento del conjunto de barras en el plano de la superficie, donde dicho segundo medio de fijación está dispuesto en uno de los nodos de las bases de las pirámides del nivel N ,

30

- otro apoyo denominado semifijo que incluye un tercer medio de fijación del conjunto de barras a la superficie, configurado para evitar el giro del

35

conjunto de barras, dispuesto en uno de los nodos de las bases de las pirámides del nivel N y configurado para restringir el movimiento en una dirección no coincidente con la de la recta que une el segundo medio de fijación y el tercer medio de fijación.

5

La estructura objeto de la invención permite disponer un número finito N de niveles tal que se tenga un número de apoyos suficientes para obtener una distribución de carga tan cercana a la uniforme como se desee.

- 10 Se entiende por barra en esta solicitud todo elemento resistente a esfuerzo axial. Más particularmente, se entiende como barra rígida todo elemento resistente a esfuerzo de tracción y compresión y como barra flexible todo elemento resistente a esfuerzo de tracción. Un ejemplo de realización en el que la estructura es comprimida sería un pilar de una edificación. Un ejemplo de realización en el que la estructura es traccionada
- 15 sería un paracaídas.

Los parámetros que determinan completamente la forma geométrica de la estructura y que son elección del diseñador de la misma son los siguientes:

- 20 i) El número de niveles N .
- ii) La longitud R de la diagonal de la base y el ángulo γ que forma la diagonal de la base con el lado mayor de la misma. Nótese que los parámetros R y γ determinan completamente las dimensiones de la base.
- 25 iii) El ángulo β_i que forman las barras inclinadas del nivel i con el plano de la base, donde $i = 1, 2, \dots, N$. Nótese que en la construcción de los sucesivos niveles se requiere que la base de las pirámides cumpla unas determinadas condiciones, pero en ningún momento se hace referencia a su altura, por lo que los ángulos $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N$ son parámetros libres que permiten cambiar la forma de la estructura.
- 30 iv) A cuál de todos los nodos se le añade el segundo medio de fijación.
- v) A cuál de todos los nodos se le añade el tercer medio de fijación (siempre que restrinja el movimiento en una dirección no coincidente con la de la recta que une el apoyo semi fijo y el fijo).
- 35 vi) El valor del módulo J en cada uno de los niveles para las barras inclinadas de un mismo nivel,
- vii) El valor J_1^X del módulo J de las barras de las bases de las pirámides en la dirección X del primer nivel.

Los parámetros anteriores determinan las longitudes de las barras de la estructura que serán las siguientes:

- Inclínadas:

- Niveles $n = 1, \dots, N - 1$: $R/(2^{n+1} \cos(\beta_n))$
- Nivel $n = N$: $R/(2^n \cos(\beta_n))$

- Barras en las bases de las pirámides en la dirección del eje X:

- Niveles $n = 1, \dots, N - 1$: $R \cos(\gamma)/2^n$
- Nivel $n = N$: $R \cos(\gamma)/2^{n-1}$

- Barras en las bases de las pirámides en la dirección del eje Y:

- Niveles $n = 1, \dots, N - 1$: $R \sin(\gamma)/2^n$
- Nivel $n = N$: $R \sin(\gamma)/2^{n-1}$

Según lo comentado en párrafos anteriores, en cada nivel de la estructura se generan pirámides a partir de los vértices de las pirámides del nivel superior. Esto implica que las pirámides generadas disponen de un único punto de unión con el resto de la estructura, por lo que pueden girar libremente en cualquier dirección del espacio comprometiendo la estabilidad estructural. Por este motivo, las barras de las pirámides generadas en el último nivel N tienen una longitud igual a la longitud de las barras de las pirámides del nivel anterior $N - 1$ para así hacer que las pirámides del nivel N estén conectadas entre sí mediante vértices y evitar que giren libremente.

La estructura objeto de la invención restringe el movimiento libre entre sí de las diferentes partes que la componen. Según lo comentado, adicionalmente comprende un sistema de apoyos que garantiza que la estructura en su conjunto no se desplace ni gire en ninguna dirección del espacio.

El sistema de apoyos de la estructura objeto de la invención es el que emplea el mínimo número de apoyos posible para garantizar que la estructura no se desplace ni gire en ninguna dirección del espacio, siendo por tanto estable.

Por lo tanto, la estructura objeto de la invención logra con la forma geométrica definida, con el sistema de apoyos definido y con las características mecánicas especificadas para las barras garantizar que la estructura transmita una carga puntual a una superficie con una distribución tan cercana a la uniforme como se desee.

La principal diferencia entre la estructura propuesta y las ya existentes es el diseño fractal indicado anteriormente que permite distribuir la carga a una superficie
5 uniformemente.

Según lo comentado anteriormente, las barras inclinadas de un mismo nivel tienen la misma longitud y se requiere que soporten el mismo valor de carga. Por tanto, el módulo J es igual para todas las barras inclinadas de un mismo nivel. No obstante, el
10 módulo J puede ser diferente para barras de niveles diferentes. Nótese que puede tomarse cada barra de un material diferente siempre que se adecúe el valor de su área para que el módulo J tenga el mismo valor en las barras de un mismo nivel.

También según lo comentado anteriormente, las barras de las bases de las pirámides de un mismo nivel en una dirección determinada también tienen la misma longitud y se requiere que soporten el mismo valor de carga. Además, la deformación relativa (cociente entre la deformación total de una barra y su longitud original) de las barras de las bases de las pirámides en cualquier dirección de diferentes niveles ha de ser idéntica. La deformación relativa en una barra viene dada por el cociente entre la fuerza
20 que soporta la barra y el módulo J . Por tanto, dicho módulo debe adecuarse a la fuerza que soporta la barra.

La estructura propuesta está adaptada para sustituir a cualquier elemento soporte que deba transmitir una carga puntual a una superficie, como pilares, columnas o entramados más complejos.
25

Breve descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:
30

Figura 1.- Muestra una vista esquemática en perspectiva de un ejemplo de realización del conjunto de barras de una estructura soporte de tres niveles.
35

Figura 2.- Muestra una vista esquemática en perspectiva de un ejemplo de realización de las barras y nodos de las bases de las pirámides del nivel inferior N junto con los
5 medios de fijación de dichos nodos a la superficie.

Figura 3.- Muestra una vista esquemática en perspectiva del ejemplo de realización de la parte externa del conjunto de barras de la estructura soporte de tres niveles correspondiente a la figura 1.

10

Figura 4. Las figuras 4 muestran un ejemplo de realización de una estructura de pirámide recursiva como solución de un ejemplo práctico. La figura 4a) muestra una vista en perspectiva. La figura 4b) muestra una vista inferior incluyendo el segundo medio de fijación, apoyo fijo rodeado con un círculo y el tercer medio de fijación, apoyo
15 semifijo rodeado con rectángulo. La figura 4c) muestra una vista lateral del lado menor de la base. La figura 4d) muestra una vista lateral del lado mayor de la base.

Realización preferente de la invención

20 En las figuras 1 a 3 se muestra una estructura de pirámide recursiva de tres niveles.

La figura 1 representa un ejemplo de realización de tres niveles de la estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10). Las barras (1) de la base de las pirámides que están en contacto con los apoyos pertenecen al nivel $n = N$
25 y el nodo superior pertenece al nivel $n = 0$. Las barras (1) inclinadas de los niveles 1, 2 y 3 forman ángulos de inclinación β_1 , β_2 y β_3 respectivamente. La diagonal de las bases forma un ángulo γ con el lado mayor de las mismas.

Por lo tanto, las barras (1) de cada nivel n forman un ángulo β_n con el plano de la base de la pirámide, mientras que las diagonales de las bases de las pirámides forman un
30 ángulo γ con las barras (1) localizadas en el plano de la base de mayor longitud. Por su parte, el lado mayor de la base tiene la dirección del eje X mientras que el lado menor de la base tiene la dirección del eje Y.

35 La estructura comprende:

- Un conjunto de barras (1) distribuidas tridimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos (2), donde las barras (1) conforman aristas de pirámides con base un rectángulo, colocadas de forma recursiva según una estructura fractal.

5

El nivel N está configurado para estar situado fijado a la superficie (10).

En cada nodo (2) de la base de una pirámide del nivel 1 y 2 se sitúa el vértice de una pirámide del nivel 2 y 3 respectivamente. Además, las barras (1) de la base de las pirámides de nivel 2 tienen la mitad de la longitud de las barras (1) de la base de las pirámides de nivel 1 y en el nivel 3 las barras (1) de las bases tienen igual longitud que las barras (1) de las bases del nivel 2.

10

Además, la estructura tiene las siguientes condiciones para las barras (1):

15

- las barras (1) inclinadas de un mismo nivel n tienen igual longitud e igual módulo J , donde el módulo J es igual al área de sección transversal de la barra (1) x módulo de elasticidad longitudinal de la barra (1),
- las barras (1) de las bases de las pirámides en un mismo nivel n y en una misma dirección X ó Y tienen igual longitud e igual módulo J , y
- las barras (1) de las bases de las pirámides en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :

20

- Barras (1) en la dirección del eje X:

25

- $J_n^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 4^{n-1}$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$
- $J_N^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N y $J_N^X = 2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra no está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N ,

30

35

- Barras (1) en la dirección del eje Y:

- 5
- $J_n^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) \tan(\gamma) / 4^{n-1}$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$
 - $J_N^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma) / 4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N y $J_N^Y = 2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma) / 4^{N-1}$ si la barra no está
- 10 situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N .

La estructura recursiva de la pirámide se observa claramente en la figura 3, donde se muestran dos caras de la estructura objeto de invención.

15

Todas las barras (1) de la estructura pueden ser del mismo material, aunque también pueden ser de materiales distintos. En un ejemplo preferente las barras son de acero.

20 En un ejemplo de realización, las barras (1) inclinadas de un nivel dado serán del mismo material. No obstante, las barras (1) inclinadas de distintos niveles pueden ser de distinto material.

En un ejemplo de realización, las barras (1) de las bases de las pirámides de toda la estructura son del mismo material.

25

El módulo J puede ser diferente para barras (1) de niveles diferentes. Nótese que puede tomarse cada barra (1) de un material diferente siempre que se adecúe el valor de su área para que el módulo J sea el mismo en un mismo nivel.

30

Por lo tanto, cualquier barra (1) de la estructura puede ser de un material diferente siempre que el valor de su área se adecúe al módulo de elasticidad longitudinal E del material para así obtener una distribución uniforme en la base. No obstante, esto provocaría que dicha barra (1) no soportase el mismo valor de tensión que las restantes. Por lo tanto, en un ejemplo de realización se puede conseguir la distribución

35

uniforme de cargas e igualdad de tensiones o en otro ejemplo de realización se puede

conseguir sólo la distribución uniforme de cargas.

Adicionalmente, en el caso de que la estructura esté sometida a compresión, las barras (1) inclinadas serán rígidas, es decir, serán elementos resistentes a esfuerzos de tracción y compresión y las barras (1) de las bases de las pirámides serán rígidas o flexibles, siendo flexible todo elemento resistente a esfuerzo de tracción.

En el caso de que la estructura esté sometida a tracción, las barras (1) inclinadas serán rígidas o flexibles y las barras (1) de las bases de las pirámides serán rígidas.

10

En la figura 2 se representan los medios de fijación de la estructura de barras (1) a la superficie (10):

- 15 - Los primeros medios de fijación (3) de la estructura a la superficie (10). Estos primeros medios de fijación (3) están configurados para restringir el movimiento en sentido perpendicular a la superficie (10), por ejemplo, en sentido vertical. Dichos primeros medios de fijación (3) están dispuestos en los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel inferior 3.
- 20 - El segundo medio de fijación (4) de la estructura a la superficie (10) que está configurado para restringir el movimiento de la estructura en el plano de la superficie (10). Dicho segundo medio de fijación (4) está dispuesto en uno de los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel 3.
- 25 - El tercer medio de fijación (5) de la estructura a la superficie (10), configurado para evitar el giro de la estructura. El tercer medio de fijación (5) está dispuesto en uno de los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel 3 y configurado para restringir el movimiento en una dirección no coincidente con la de la recta que une el segundo medio de fijación (4) y el tercer medio de fijación (5).

30

Por lo tanto, la base de la estructura se forma por el conjunto de nodos (2) del nivel N dispuestos a modo de rejilla y barras (1) de las bases de las pirámides del nivel N que los unen. Cada uno de los nodos (2) del nivel N tiene asociado un apoyo que restringe el movimiento en la dirección perpendicular a la superficie (10). Además, ha de existir un apoyo fijo que restrinja el movimiento en el plano de la base (nodo V) y otro semi fijo (nodo U) que restrinja el movimiento en una dirección no coincidente con la de la

35

recta que une los apoyos fijo y semi fijo (nodo U) para evitar el giro de la estructura.

Ejemplo de aplicación práctica de un ejemplo de realización de la invención

5 Condiciones del problema y elección de los parámetros libres

En las figuras 4a a 4d se representa la estructura correspondiente a dicho ejemplo de realización.

- 10 Se desea transmitir una carga vertical puntual de 200 kN a una superficie (10) de 32 m × 16 m situada 40 m más abajo según la vertical cuyo centro coincide con el punto de aplicación de la carga. La solución estructural según la invención es una estructura de pirámide recursiva para así obtener una distribución de carga uniforme por unidad de área en los apoyos. Esta estructura está compuesta de diferentes
- 15 materiales. Las condiciones de este problema determinan el valor de los siguientes parámetros de la estructura de acuerdo con el ejemplo de realización:

- Longitud de la diagonal de la superficie: $R = \sqrt{(32 \text{ m})^2 + (16 \text{ m})^2} = 16\sqrt{5} \text{ m}$
- Ángulo formado por la diagonal y el lado mayor de la superficie: $\gamma = \cos^{-1}(32 \text{ m}/16\sqrt{5} \text{ m}) = 26.565^\circ$
- La suma de las alturas de los niveles ha de ser la altura total de la estructura, esto es, 40 m. La altura de cada nivel depende del número n de cada nivel, el cual se determina al fijar el número N de niveles de la estructura, y del ángulo de inclinación β_n de dicho nivel. Por tanto, la elección de $N - 1$ ángulos de inclinación es libre, pero, una vez fijados, el último ángulo de inclinación viene determinado por la altura de la estructura.

Se desea crear una estructura que se estreche progresivamente según avanzamos de la base a su cúspide, por lo que los ángulos β_n deben ir decreciendo al aumentar el nivel n . Con esta idea, se fijan los valores $\beta_1 = 72^\circ$, $\beta_2 = 60^\circ$, $\beta_3 = 52^\circ$ y $\beta_4 = 45^\circ$, quedando determinado el ángulo $\beta_5 = 33.724^\circ$.

Respecto a los materiales de la estructura, todas las barras (1) inclinadas son de hormigón ya que trabajarán a compresión. En particular, son de hormigón H 300, cuyo módulo de elasticidad longitudinal es de valor 32910 MPa y su resistencia característica es de valor 30 MPa, haciendo que la tensión que soporten dichas barras (1) sea la

mitad de la resistencia característica. Por otra parte, las barras (1) de las bases de las pirámides son metálicas al trabajar a tracción. En particular, las barras (1) de las bases de las pirámides del primer nivel son de acero A37, cuyo módulo de elasticidad longitudinal es de valor 210000 MPa y su resistencia característica es de valor 240 MPa, haciendo que la tensión que soporten dichas barras (1) sea la mitad de la resistencia característica. Finalmente, las barras (1) de las bases de las pirámides de los niveles restantes serán de aluminio, cuyo módulo de elasticidad longitudinal es de valor 75000 MPa y su resistencia característica es de valor 150 MPa.

10 Solución estructural según la invención

Las longitudes de las barras (1) de la estructura están recogidas en la Tabla 1:

Nivel	Barras inclinadas	Barras de las bases de las pirámides dir. X	Barras de las bases de las pirámides dir. Y
1	28.94 m	16 m	8 m
2	8.94 m	8 m	4 m
3	3.63 m	4 m	2 m
4	1.58 m	2 m	1 m
5	1.34 m	2 m	1 m

15 Tabla 1. Longitudes de las barras (1) de la estructura de pirámide recursiva como solución del ejemplo práctico

Por otra parte, la elección de los materiales de la estructura y las tensiones de trabajo de ciertas barras (1) de la estructura determina el valor del módulo J y con ello las áreas de las barras (1) de la estructura, las cuales se recogen en la Tabla 2.

Nivel	Barras inclinadas	Barras de las bases de las pirámides dir. X		Barras de las bases de las pirámides dir. Y	
1	3504.87 mm ²	121.09 mm ²		60.55 mm ²	
2	962.25 mm ²	150.62 mm ²		75.31 mm ²	
3	264.38 mm ²	50.95 mm ²		25.48 mm ²	
4	73.66 mm ²	16.30 mm ²		8.15 mm ²	
5	23.45 mm ²	Exteriores	6.11 mm ²	Exteriores	3.05 mm ²
		Interiores	12.21 mm ²	Interiores	6.11 mm ²

5

Tabla 2. Áreas de las barras (1) de la estructura de pirámide recursiva como solución del ejemplo práctico

El análisis mecánico de la estructura de pirámide recursiva propuesta se realiza utilizando el software Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional. Las reacciones calculadas por dicho software se muestran para algunos apoyos en la tabla 3 (el comportamiento de los restantes es idéntico), donde se observa que las reacciones horizontales (columnas dos y tres) son nulas, mientras que los valores de las reacciones verticales se muestran en la columna cuatro. Las reacciones verticales de los apoyos situadas en las esquinas de la base (nudos 1 y 17, véase la tabla 3) tienen un valor de 0.1953125 kN, mientras que las de los apoyos situados en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides situadas en el nivel cinco excepto las esquinas (nudos 2 a 16 y 18, véase la tabla 3) tienen un valor del doble, 0.390625 kN. Esto se debe a que los apoyos del perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides situadas en el nivel cinco se apoyan en una superficie el doble de grande que los apoyos de las esquinas. Por otra parte, las reacciones de los apoyos interiores (nudos 19 a 33, véase la tabla 2) tienen un valor de 0.78125 kN, cuatro veces mayor que los apoyos de las esquinas y dos veces mayor que los apoyos del perímetro ya que los apoyos interiores se apoyan en una superficie cuatro y dos veces mayor, respectivamente. Por tanto, los apoyos transmiten a la superficie una carga uniforme por unidad de área, tal como se desea.

Nudo/Caso	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
1/ 1	0,0000000	0,0000000	0,1953125
2/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,3906250
3/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
4/ 1	-0,0000000	-0,0000000	0,3906250
5/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
6/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
7/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
8/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,3906250
9/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,3906250
10/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
11/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
12/ 1	0,0000000	0,0000000	0,3906250
13/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,3906250
14/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,3906250
15/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,3906250
16/ 1	-0,0000000	-0,0000000	0,3906250
17/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,1953125
18/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,3906250
19/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
20/ 1	-0,0000000	-0,0000000	0,7812500
21/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,7812500
22/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,7812500
23/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
24/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,7812500
25/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
26/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
27/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
28/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
29/ 1	0,0000000	0,0000000	0,7812500
30/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,7812500
31/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,7812500
32/ 1	-0,0000000	0,0000000	0,7812500
33/ 1	0,0000000	-0,0000000	0,7812500

- 5 Tabla 3. Reacciones en los apoyos de la estructura de pirámide recursiva propuesta como solución del ejemplo práctico. Las reacciones horizontales se muestran en las columnas dos y tres y las verticales en la columna cuatro

En la tabla 4 se muestran las tensiones de trabajo de ciertos elementos de la estructura. En particular, en la tabla 4a se muestra la tensión que soportan las barras (1) de las bases de las pirámides del primer nivel, la cual es la mitad de la resistencia característica del acero A37 como se especificó en las condiciones del ejemplo. Por otra parte, en la tabla 4b se muestra la tensión que soportan algunas barras (1) inclinadas de la estructura (valor idéntico para las barras inclinadas restantes), la cual es la mitad de la resistencia característica del hormigón H 300 como se especificó en

las condiciones del ejemplo.

5

Barra/Nudo/Caso	S max (MPa)
2242/ 626/ 1	-120,00
2242/ 627/ 1	-120,00
2243/ 628/ 1	-120,00
2243/ 629/ 1	-120,00
2244/ 626/ 1	-120,00
2244/ 628/ 1	-120,00
2245/ 627/ 1	-120,00
2245/ 629/ 1	-120,00

a)

Barra/Nudo/Caso	S max (MPa)
2246/ 626/ 1	15,00
2246/ 630/ 1	15,00
2247/ 630/ 1	15,00
2247/ 628/ 1	15,00
2248/ 630/ 1	15,00
2248/ 627/ 1	15,00
2249/ 630/ 1	15,00
2249/ 629/ 1	15,00

b)

10

Tabla 4. Tensiones de a) las barras (1) de las bases de las pirámides del nivel 1 y b) algunas barras inclinadas de la estructura (valor idéntico para las barras (1) no mostradas en la tabla).

15

REIVINDICACIONES

1.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), caracterizada por que comprende:

5

- un conjunto de barras (1) distribuidas tridimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos (2) que permiten la rotación de las barras (1), donde las barras (1) conforman aristas de pirámides que en su base definen un rectángulo, estando las pirámides colocadas de forma recursiva según una estructura fractal, donde el conjunto de barras (1) comprende N niveles, estando el nivel N configurado para estar situado fijado a la superficie (10), donde en cada nodo (2) de la base de una pirámide del nivel n se sitúa el vértice de una pirámide del nivel $n + 1$ y donde:

10

15

- o las barras (1) de las bases de las pirámides de nivel $n + 1$ tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras (1) de las bases de las pirámides de nivel n ,
- o las barras (1) de las bases de las pirámides en el nivel $N - 1$ tienen igual longitud que las barras (1) de las bases de nivel N ,

20

- o las barras (1) inclinadas de un mismo nivel n tienen igual longitud e igual módulo J , donde el módulo J es igual al área de sección transversal de la barra (1) x módulo de elasticidad longitudinal de la barra (1),
- o las barras (1) de las bases de las pirámides en un mismo nivel n y en una misma dirección X ó Y tienen igual longitud e igual módulo J , y

25

- o las barras (1) de las bases de las pirámides en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :

- Barras (1) en la dirección del eje X :

- $J_n^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 4^{n-1}$, en los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$

30

- $J_N^X = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N y $J_N^X = 2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) / 4^{N-1}$ si la barra no está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N ,

35

- Barras (1) en la dirección del eje Y :

- 5

 - $J_n^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) \tan(\gamma)/4^{n-1}$, en los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$
 - $J_N^Y = J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma)/4^{N-1}$ si la barra está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N y $J_N^Y = 2 J_1^X \tan(\beta_1) \cotan(\beta_N) \tan(\gamma)/4^{N-1}$ si la barra no está situada en el perímetro del conjunto de la totalidad de las bases de las pirámides del nivel N .
- 10

donde :

J_n^X es el valor del módulo J de una barra (1) en la dirección X del nivel n ,

J_n^Y es el valor del módulo J de una barra (1) en la dirección Y del nivel n ,
- 15

β_n es el ángulo que forman las barras (1) inclinadas del nivel n con el plano de la base, y

γ es el ángulo que forma la diagonal del rectángulo de la base con la barra (1) de la base de mayor longitud,
- 20

 - unos primeros medios de fijación (3) del conjunto de barras (1) a la superficie (10), configurados para restringir el movimiento de la estructura en sentido perpendicular a la superficie (10), donde dichos primeros medios de fijación (3) están dispuestos en los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel N ,
- 25

 - un segundo medio de fijación (4) del conjunto de barras (1) a la superficie (10), configurado para restringir el movimiento de la estructura en el plano de la superficie (10), donde dicho segundo medio de fijación (4) está dispuesto en al menos uno de los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel N ,
- 30

 - un tercer medio de fijación (5) del conjunto de barras (1) a la superficie (10), configurado para evitar el giro del conjunto de barras (1), dispuesto en uno de los nodos (2) de las bases de las pirámides del nivel N y configurado para restringir el movimiento en una dirección no coincidente con la de la recta que une el segundo medio de fijación (4) y el tercer medio de fijación (5).

35

2.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10),

según la reivindicación 1, caracterizada por que las barras (1) inclinadas de un nivel n son del mismo material.

5 3.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las barras (1) inclinadas de distintos niveles n son de distinto material.

10 4.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las barras (1) de las bases son del mismo material.

15 5.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la estructura está sometida a compresión y las barras (1) inclinadas son rígidas y las barras (1) de las bases de las pirámides son rígidas o flexibles.

20 6.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie (10), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, caracterizada por que la estructura está sometida a tracción y las barras (1) inclinadas son rígidas o flexibles y las barras (1) de las bases de las pirámides son rígidas.

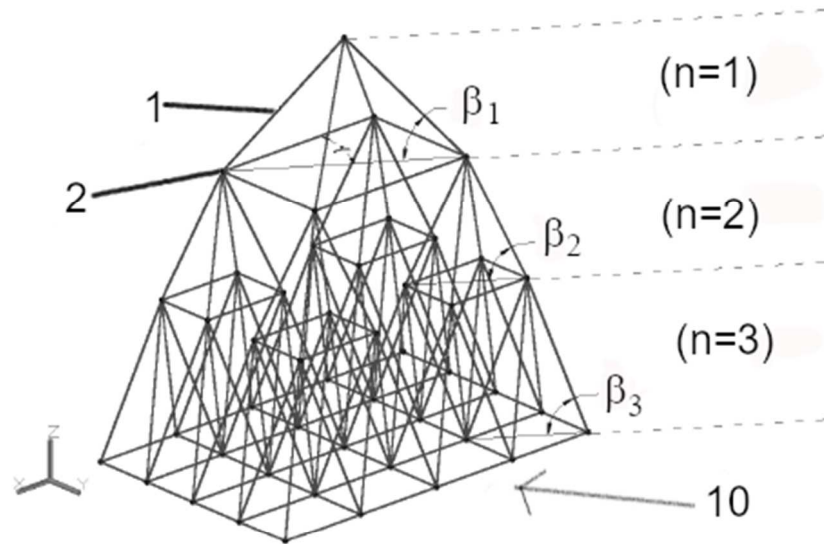


Fig. 1

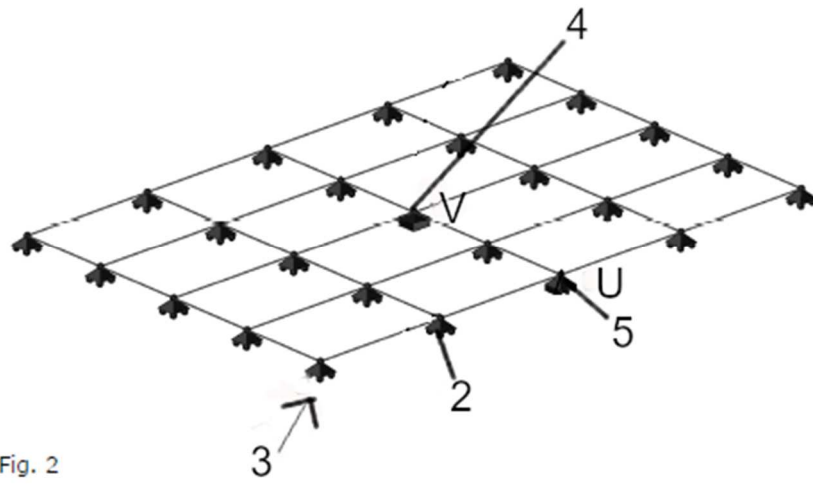


Fig. 2

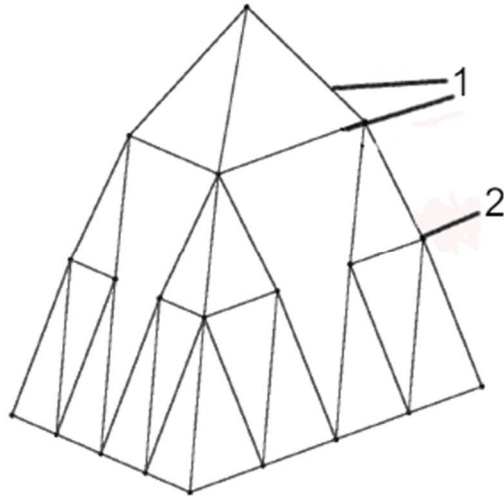


Fig. 3

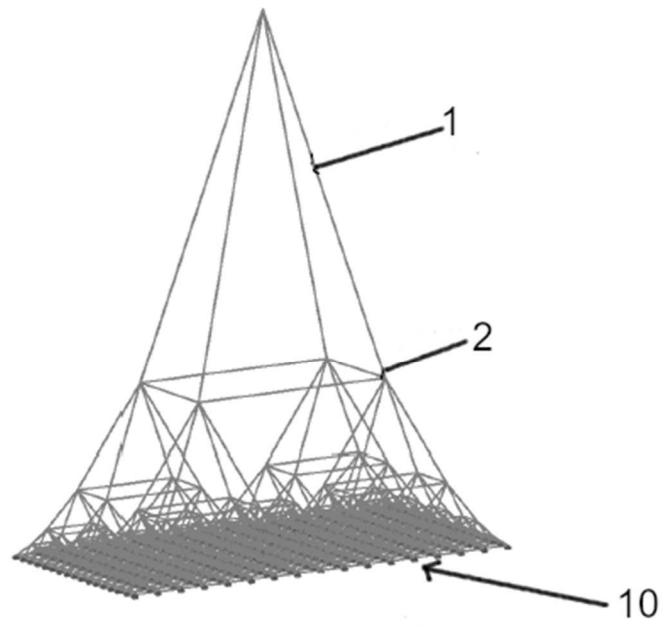


Fig. 4a

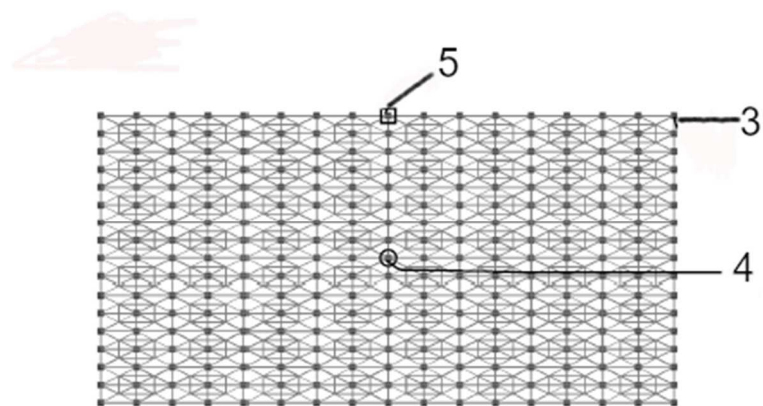


Fig. 4b

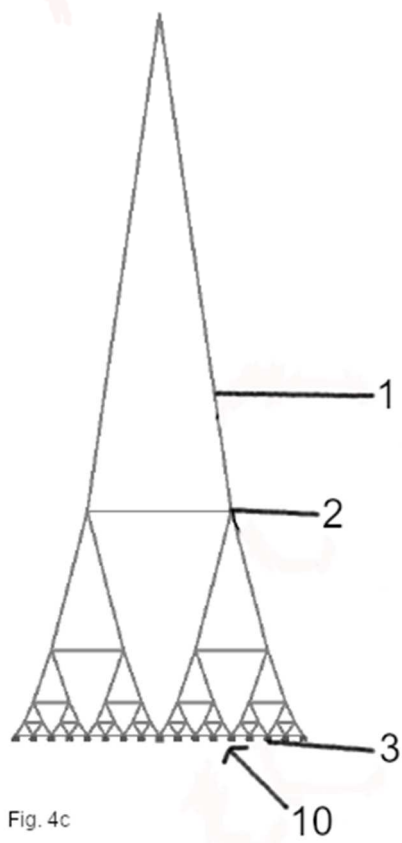
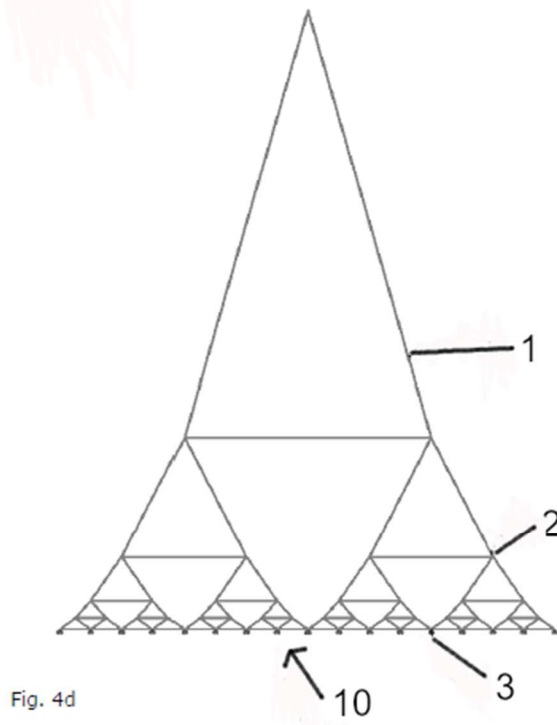


Fig. 4c





- ②① N.º solicitud: 202131082
②② Fecha de presentación de la solicitud: 19.11.2021
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. cl.: **E04B1/19** (2006.01)
E04B1/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 8826602 B1 (LIPSCOMB STEPHEN L) 09/09/2014, columna 2, líneas 8 - 20; columna 2, líneas 36 - 49; figuras 1 - 6.	1-6
A	US 6931812 B1 (LIPSCOMB STEPHEN LEON) 23/08/2005, columna 1, línea 12 - columna 2, línea 16; figuras 1 - 7.	1-6
A	LASEF MD RIAN et al. Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. Politecnico de Turín. 10/03/2014. Apartados 4.3 y 5.2; figuras 1, 8-10 y 19-22.	1-6
A	WO 2021020971 A1 (TRIPOD HOUSE AS) 04/02/2021, &Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE; AN NO-2020050199-W; figura 3.	1-6
A	SHUICHI ASAYAMA et al. Fractal Truss Structure and Automatic Form Generation Using Iterated Function System. Tokyo Denki University. 22/06/2004.Documento completo.	1-6

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
25.04.2022

Examinador
R. Puertas Castaños

Página
1/2

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

E04B

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

INVENES, EPODOC