

DESCRIPCIÓN

Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto y
prisma 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
10 fractal y es adecuada para la distribución de cargas en suelos pobres o para
estructuras aeronáuticas tales como trenes de aterrizaje, escudos contra impacto,
estructuras de acople en naves espaciales, 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
20 architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 298-
323.

Además, las estructuras fractales representan un diseño óptimo para aquellos
elementos que están sometidos a presiones mediante cargas uniformes tal y como se
25 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.
(2007). Fractal design for efficient brittle plates under gentle pressure loading. *Physical
Review E*, 76(4), 046601.

30 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 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-
35 222 y Elkelany, M. E. A. (2016) y Methods for achievement uniform stresses distribution

under the foundation. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET).

5 Sin embargo, no se conocen en el estado de la técnica estructuras que sean capaces de distribuir uniformemente una carga puntual sobre un segmento recto o 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

10

El problema de transmitir una carga puntual a un segmento recto soporte lleva a plantearse estructuras en forma de triángulo, de tal manera que la carga se aplique en el vértice superior y se transmita a los dos apoyos situados en los vértices inferiores. Si en cada uno de estos vértices ubicamos nodos que permiten el giro y disponemos
15 estructuras triangulares cuyas bases tienen la mitad de longitud que la base del triángulo original tendremos una estructura de dos niveles con cuatro apoyos en lugar de dos, todos equidistantes en el soporte, y la carga se repartirá entre los cuatro apoyos, pero no necesariamente de forma uniforme. Si repetimos este proceso aumentando los niveles indefinidamente, tendremos una estructura con un número
20 infinito de apoyos, entre los que se repartirá la carga, pero no necesariamente de forma uniforme. A pesar de que este proceso indefinido no es posible desde un punto de vista ingenieril, sí es posible disponer un número finito N de niveles tal que se tenga un número de apoyos suficientes para cubrir el soporte con apoyos tan cercanos como se quiera. La estructura objeto de la invención posee las características geométricas y
25 mecánicas para que la distribución de la carga sea uniforme.

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
30 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.

La estructura objeto de la invención también tiene aplicación en la dispersión uniforme de la energía de los impactos contra los escudos, optimizando los mismos. En un
35 ejemplo de realización la estructura puede ser aplicada al impacto de basura espacial

contra escudos espaciales, escudos defensivos en buques, carros de combate, contra explosivos, etc.

La estructura objeto de la invención tiene también aplicación en permitir una
5 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
10 coincidiría con la estructura de la invención y lograría una distribución uniforme de la carga sobre la lona del paracaídas.

La estructura objeto de la invención comprende:

15 - un conjunto de barras distribuidas bidimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos que permiten la rotación de las barras, donde las barras conforman aristas de triángulos, estando los triángulos colocados de forma recursiva según una estructura fractal, donde el conjunto de barras comprende N niveles, estando el nivel N configurado para estar situado fijado al segmento
20 recto, donde en cada nodo de la base del triángulo del nivel n se sitúa el vértice de un triángulo del nivel $n + 1$ y donde:

- o las barras de las bases de los triángulos de nivel $n + 1$ tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras de las bases de los
25 triángulos de nivel n para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$,
- o las barras 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 $\times$ módulo de elasticidad longitudinal de la barra,
- o las barras de las bases de los triángulos en un mismo nivel n tienen
30 igual longitud e igual módulo J , y
- o las barras de las bases de los triángulos en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :

$$\bullet \quad J_n^H = J_1^H \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 2^{n-1}, \text{ niveles } n = 1, 2, \dots, N$$

donde :

35

J_n^H es el valor del módulo J de una barra de la base de un triángulo del nivel n , y

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

5

- un sistema de apoyos que cumple las siguientes características:

10

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

15

- o un apoyo, denominado fijo, incluye un segundo medio de fijación del conjunto de barras al segmento, dispuesto en uno de los nodos de las bases de los triángulos del nivel N y configurado para restringir el movimiento la dirección de las barras de la base de la estructura.

20

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.

25

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 sería sustituir las cuerdas de suspensión de un paracaídas por la estructura objeto de la invención.

30

En un ejemplo de realización las barras de las bases de los triángulos generados en el nivel N tienen igual longitud que las barras de las bases de los triángulos generados en el nivel $N - 1$.

35

En otro ejemplo de realización las barras de las bases de los triángulos generados en

el nivel N tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras de los triángulos generados en el nivel $N - 1$.

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

- i) El número de niveles N .
- ii) La longitud R del segmento y por lo tanto de la base de la estructura.
- iii) El ángulo β_n que forman las barras inclinadas del nivel n con la base, donde $n = 1, 2, \dots, N$. Nótese que en la construcción de los sucesivos niveles se requiere que las bases de los triángulos cumplan 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.
- iv) Cuál de todos los apoyos es fijo en la estructura.
- v) El valor del módulo J en cada uno de los niveles para las barras inclinadas de un mismo nivel.
- vi) El valor J_1^H del módulo J de las barras de las bases de los triángulos del primer nivel.

20

Los parámetros N , R y β_n , $n = 1, 2, \dots, N$, mencionados anteriormente determinan las longitudes L_n^L y L_n^H de las barras inclinadas y las barras de las bases de los triángulos respectivamente de la estructura en cada nivel n , siendo:

25

- Ejemplo de realización en el que las barras de las bases de los triángulos generados en el nivel N tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras de los triángulos generados en el nivel $N - 1$:

30

- Barras inclinadas: $L_n^L = R / ((2^{n+1} - 2^{n+1-N}) \cos(\beta_n))$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N$
- Barras de la base: $L_n^H = R / (2^n - 2^{n-N})$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N$

- Ejemplo de realización en el que las barras de las bases de los triángulos generados en el nivel N tienen igual longitud que las barras de las bases de los

triángulos generados en el nivel $N - 1$:

- Barras inclinadas:

- 5
- $L_n^I = R/(2^{n+1} \cos(\beta_n))$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$
 - $L_n^I = R/(2^n \cos(\beta_n))$, para el nivel $n = N$

- Barras de la base de los triángulos:

- 10
- $L_n^H = R/2^n$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$
 - $L_n^H = R/2^{n-1}$, para el nivel $n = N$

15 Sin embargo, la estructura de triángulos recursivos necesita el sistema de apoyos indicado anteriormente para dotar a la estructura de estabilidad desde un punto de vista estructural, lo cual es un requisito indispensable para que funcione mecánicamente y por ello sea capaz de transmitir cualquier tipo de carga.

20 El sistema de apoyos garantiza que la estructura no se desplace ni gire en ninguna dirección del plano, siendo por tanto estable. Esta condición es imprescindible para obtener una distribución de carga uniforme en la base, pero no basta por sí misma.

Según lo anteriormente comentado se denota por J al módulo resultante del producto del área de la sección transversal y el módulo de elasticidad longitudinal.

25 Las barras inclinadas de un mismo nivel de la estructura tienen la misma longitud y se requiere que soporten el mismo valor de carga. Por tanto, el módulo J ha de ser igual para todas las barras inclinadas de un mismo nivel. No obstante, el 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

30 J sea el mismo en un mismo nivel.

Las barras de las bases de los triángulos de un mismo nivel también tienen la misma longitud y tienen que soportar el mismo valor de carga. Además, la deformación relativa (cociente entre la deformación total de una barra y su longitud original) de las barras

35 de las bases de los triángulos de diferentes niveles ha de ser idéntica. La deformación

relativa en una barra viene dada por el cociente entre la fuerza que soporta la barra y el módulo J . Por tanto, dicho módulo debe adecuarse a la fuerza que soporta la barra.

Según lo anteriormente indicado si J_1^H es el valor del módulo J (producto del área de la sección transversal y el módulo de elasticidad longitudinal) de las barras de las bases de los triángulos del primer nivel, los valores J_n^H del módulo J en las barras de las bases de los triángulos de la estructura en cada nivel n ha de ser $J_n^H = J_1^H \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 2^{n-1}$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N$.

Es también objeto de la invención un prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie, que comprende una pluralidad de estructuras soporte según lo anteriormente comentado y situadas paralelas entre sí y equidistantes y que comprenden adicionalmente un tercer medio de fijación en cada nodo de cada estructura soporte configurado para restringir el giro del nodo según cualquier eje en el plano de las estructuras.

La colocación de sucesivas estructuras de triángulos recursivos según el objeto de la invención en planos paralelos y equidistantes permite que una carga lineal sea transmitida a una base en forma de paralelogramo. La carga lineal se reparte equitativamente en forma de cargas puntuales entre las sucesivas estructuras, las cuales transmiten cada carga puntual a sus soportes de manera uniforme.

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:

Figura 1.- Muestra una vista esquemática de un primer ejemplo de realización del conjunto de barras de la estructura soporte de tres niveles.

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de un segundo ejemplo de realización del conjunto de barras de la estructura soporte de tres niveles.

Figura 3.- Muestra una vista esquemática del primer ejemplo de realización de las barras y nodos de las bases del nivel inferior N junto con los medios de fijación de dichos nodos a la superficie.

- 5 Figura 4.- Muestra una vista esquemática del segundo ejemplo de realización de las barras y nodos de las bases del nivel inferior N junto con los medios de fijación de dichos nodos a la superficie.

- 10 Figura 5.- Muestra una vista esquemática en perspectiva de un ejemplo de realización del prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie.

- 15 Figura 6.- Muestra una vista esquemática en perspectiva de un ejemplo de realización del prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie junto con los medios de fijación de dichos nodos a la superficie.

Realización preferente de la invención

En las figuras se muestra una estructura de triángulo recursivo de tres niveles.

- 20 La figura 1 representa un ejemplo de realización de tres niveles de la estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto (10). Las barras (1) de la base pertenecen al nivel $n = N$ 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.

- 25 Por lo tanto, las barras (1) de cada nivel n forman un ángulo β_n con el plano de la base del triángulo.

- 30 Según se representa en las figuras 1 a 4, la estructura comprende:

- 35 - un conjunto de barras (1) distribuidas bidimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos (2) que permiten la rotación de las barras (1), donde las barras (1) conforman aristas de triángulos, estando los triángulos colocados 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

al segmento recto (10), donde en cada nodo (2) de la base del triángulo del nivel n se sitúa el vértice de un triángulo del nivel $n + 1$ y donde:

- las barras (1) de las bases de los triángulos de nivel $n + 1$ tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras (1) de los triángulos de nivel n , para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$,
- 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 del triángulo en un mismo nivel n tienen igual longitud e igual módulo J , y
- las barras (1) de las bases de los triángulos en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :

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

donde :

J_n^H es el valor del módulo J de una barra (1) de la base de un triángulo del nivel n , y

20 β_n es el ángulo que forman las barras (1) inclinadas del nivel n con las
barras (2) de la base.

Un sistema de apoyos que cumple las siguientes características:

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

30

 - un apoyo, denominado fijo, incluye un segundo medio de fijación (4) del conjunto de barras (1) al segmento (10), dispuesto en uno de los nodos (2) de las bases de los triángulos del nivel N y configurado para restringir el movimiento en la dirección de las barras (1) de la base del triángulo.

35

En un ejemplo de realización, las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel $N - 1$ tienen igual longitud que las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel N . Este ejemplo de realización se representa en la figura 2.

- 5 En otro ejemplo de realización las barras (1) de las bases de los triángulos del nivel N tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras (2) de las bases de los triángulos del nivel $N - 1$. Este ejemplo de realización se representa en la figura 1.

El módulo J puede ser diferente para barras (1) de niveles diferentes. Nótese que
10 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.

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
15 material para así obtener una distribución uniforme en la base. 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.

20 Es también objeto de la invención un prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie, que comprende una pluralidad de estructuras soporte según lo comentado anteriormente y situadas paralelas entre sí y equidistantes. Los nodos (2) de las de las bases de los triángulos del nivel N , comprenden adicionalmente
25 un tercer medio de fijación en cada nodo (2) de cada estructura soporte configurado para restringir el giro del nodo (2) según cualquier eje en el plano de la estructura.

En estas estructuras, la altura es igual en todas ellas y la longitud de la base R de
30 todas las estructuras soporte, es decir del segmento (10) soporte, es igual en todas ellas para que así las cargas puntuales se distribuyan en segmentos de igual longitud y garantizar la obtención de una distribución de carga uniforme en el paralelogramo. Además, han de tener el mismo número de niveles N y que el número de apoyos de las estructuras sea idéntico.

35

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 los triángulos serán rígidas o flexibles, siendo flexible todo elemento resistente a esfuerzo de tracción.

5

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 los triángulos serán rígidas.

10

REIVINDICACIONES

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

5

- un conjunto de barras (1) distribuidas bidimensionalmente y conectadas entre sí mediante nodos (2) que permiten la rotación de las barras (1), donde las barras (1) conforman aristas de triángulos, estando los triángulos colocados 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 al segmento recto (10), donde en cada nodo (2) de la base del triángulo del nivel n se sitúa el vértice de un triángulo del nivel $n + 1$ y donde:

10

15

20

25

- o las barras (1) de las bases de los triángulos de nivel $n + 1$ tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras (1) de las bases de los triángulos de nivel n , para los niveles $n = 1, 2, \dots, N - 1$,
- 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 los triángulos en un mismo nivel n tienen igual longitud e igual módulo J , y
- o las barras (1) de las bases de los triángulos en los distintos niveles n tienen el siguiente módulo J :
 - $J_n^H = J_1^H \tan(\beta_1) \cotan(\beta_n) / 2^{n-1}$, para los niveles $n = 1, 2, \dots, N$

donde :

J_n^H es el valor del módulo J de una barra (1) de la base de un triángulo del nivel n , y

30

β_n es el ángulo que forman las barras (1) inclinadas del nivel n con las barras (2) de la base,

35

- unos primeros medios de fijación (3) del conjunto de barras (1) al segmento (10), configurados para restringir el movimiento de la estructura en sentido perpendicular al segmento (10), donde dichos primeros medios de fijación (3)

están dispuestos en los nodos (2) de las bases de los triángulos del nivel N ,

- un segundo medio de fijación (4) del conjunto de barras (1) al segmento (10) dispuesto en uno de los nodos (2) de las bases de los triángulos del nivel N y configurado para restringir el movimiento en la dirección de las barras (1) de la base de la estructura.

2.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto (10), según la reivindicación 1, caracterizada por que las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel $N - 1$ tienen igual longitud que las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel N .

3.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto (10), según la reivindicación 1, caracterizada por que las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel N tienen una longitud que es la mitad de la longitud de las barras (1) de las bases de los triángulos en el nivel $N - 1$.

4.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto (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 los triángulos son rígidas o flexibles.

5.- Estructura soporte para la distribución uniforme de cargas sobre un segmento recto (10), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, 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 los triángulos son rígidas.

6.- Prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie, que comprende una pluralidad de estructuras soporte según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores situadas paralelas entre sí y equidistantes y que comprende adicionalmente un tercer medio de fijación en cada nodo (2) de cada estructura soporte configurado para restringir el giro del nodo (2) según cualquier eje del plano de la estructura soporte.

7.- Prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie, según

la reivindicación 6, donde la pluralidad de estructuras soporte poseen la misma altura.

- 8.- Prisma soporte para la distribución uniforme de cargas sobre una superficie, según la reivindicación 6 ó 7, donde las bases del nivel N de todas las estructuras soportes
- 5 tienen la misma longitud.