

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 482**

51 Int. Cl.:

F16B 5/00 (2006.01)

F16B 7/04 (2006.01)

F16B 1/00 (2006.01)

F16B 5/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2019 PCT/EP2019/081739**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2020 WO20104422**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2019 E 19805293 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2023 EP 3884171**

54 Título: **Estructura de lámina transformable**

30 Prioridad:

23.11.2018 EP 18382845

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.05.2024

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(50.0%)
C/Jordi Girona 31
08034 Barcelona, ES y
SCUOLA INTERNAZIONALE SUPERIORE DI
STUDI AVANZATI (50.0%)**

72 Inventor/es:

**DE SIMONE, ANTONIO;
NOSELLI, GIOVANNI y
ARROYO BALAGUER, MARINO**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 969 482 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Estructura de lámina transformable

Campo técnico

5 La presente invención versa sobre una estructura transformable de lámina que puede ser flexionada, doblada o torcida y cuya forma puede ser modificada, proporcionando una estructura de lámina con una forma adaptable o programable. Más específicamente, la presente invención permite la transformación de una lámina planaria (plana) o cilíndrica (curvada en una sola dirección) en diversas formas de curvatura doble (superficies con una curvatura gaussiana no nula).

10 Esta estructura de lámina puede ser usada para muchas aplicaciones, por ejemplo, stents implantables, construcciones desplegables tales como antenas, paneles solares o velas, pieles adaptativas para arquitectura orgánica, robótica blanda o háptica.

Estado de la técnica

En el estado de la técnica se conocen estructuras flexibles de lámina transformable.

15 Por ejemplo, el documento WO2016176340 describe un robot blando creado usando una estructura de lámina que incluye fibras alternadas no elásticas y elásticas. Las fibras elásticas permiten un movimiento de cizallamiento entre las fibras no elásticas paralelas en el límite elástico de las fibras elásticas que, normalmente, es una limitación importante en la libertad de movimiento de la estructura de lámina. Esta solución también permite el aumento o la reducción de la distancia entre las fibras no elásticas, produciendo la modificación del área de la estructura de lámina, evitando que la estructura de lámina soporte fuerzas de tracción o de compresión de la estructura de lámina sin deformar su forma o tamaño.

20 Los documentos US2010274350 y US6488703 describen estructuras de lámina que también incluyen conexiones elásticas que permitirán el movimiento de cizallamiento entre varillas paralelas en el límite elástico de las fibras elásticas, produciendo un movimiento limitado de cizallamiento, pero que también permitirán la modificación de la distancia entre dichas varillas paralelas, produciendo la variación del área de la estructura de lámina. En esos casos, la estructura de lámina propuesta no proporciona una estructura de lámina continua, sino una estructura calada.

Los documentos US3836979 y US2014232611 describen estructuras de lámina tubular colapsable en las que las varillas paralelas flexibles están conectadas entre sí en puntos diferenciados a través de bandas colapsables no elásticas. Esta solución permite la modificación de la distancia entre varillas colapsando dichas bandas.

30 Los documentos WO2013102274A1, US2354485, GB2488570, US4033137 y US4432591 describen estructuras de lámina que incluyen varillas conectadas entre sí, donde las varillas son bien rígidas o bien flexibles solamente en una de las dos direcciones transversales perpendicular al eje longitudinal. Como tal, ninguna de estas estructuras de lámina puede deformarse en una forma de curvatura doble con una curvatura gaussiana no nula.

35 En vista de la técnica anterior, se requieren mejoras para obtener una estructura de lámina transformable para producir una forma de curvatura doble con una curvatura gaussiana no nula de forma precisa y controlable. Se describen esas mejoras a continuación.

Breve descripción de la invención

La presente invención versa sobre una estructura de lámina transformable según la reivindicación 1. Se entenderá que una estructura de lámina transformable es un elemento similar a una membrana, que forma una placa delgada que puede deformarse, flexionarse o torcerse.

40 La estructura de lámina transformable propuesta comprende una sucesión de varillas flexibles adyacentes conectadas entre sí definiendo una estructura de lámina, teniendo cada varilla dos extremos y definiendo un eje longitudinal desde un extremo al otro extremo.

45 Cuando la varilla se encuentra en una posición extendida, se entenderá que el eje longitudinal será una línea recta por toda la longitud de dicha varilla en su centro, y cuando la varilla está doblada, el eje longitudinal que continúa cruzando toda la longitud de la varilla en su centro también estará doblado.

La estructura de lámina transformable propuesta comprende, además, las siguientes características conocidas en el estado de la técnica:

- las varillas están agrupadas en pares;
- cada par de varillas adyacentes está conectado entre sí mediante un primer conector conectado de manera ajustada con un segundo conector complementario con el primer conector, siendo el primer conector parte de una varilla de dicho par de varillas y siendo el segundo conector parte de la otra varilla de dicho par de varillas;

- siendo el primer conector y el segundo conector amovibles entre sí de forma deslizable en la dirección del eje longitudinal; y
- el primer conector y/o el segundo conector se extienden a lo largo de toda la longitud de la varilla.

5 La presente invención propone, además, de una forma no conocida en el estado de la técnica, las siguientes características.

Las varillas alargadas flexibles pueden doblarse o torcerse produciendo el doblado o la torsión de dicho eje longitudinal de manera simultánea con el movimiento deslizable e independientemente de la posición relativa entre varillas adyacentes, es decir, dichas varillas pueden doblarse o torcerse a lo largo de su eje longitudinal. El movimiento deslizable entre varillas adyacentes puede impulsarse por el doblado o la torsión de las varillas individuales y/o el doblado o la torsión de varillas individuales puede impulsarse mediante el movimiento deslizable entre varillas adyacentes.

10 En otras palabras, las varillas, que incluyen los conectores primero y segundo, son flexibles para que la estructura de lámina pueda doblarse como un todo en cualquier dirección y los conectores primero y segundo son tales que las varillas puedan deslizarse libremente mutuamente en la dirección de sus ejes longitudinales, modificando la forma de la estructura de lámina.

La invención propuesta es capaz de modificar la forma de la superficie intermedia de la lámina desde una sin curvatura o una curvatura solamente en una dirección (superficie con una curvatura gaussiana nula) hasta una lámina de curvatura doble (superficie con una curvatura gaussiana no nula), extendiendo el abanico de formas que pueden obtenerse a partir de una lámina plana con respecto al estado de la técnica.

Los conectores primero y segundo, cuando están conectados entre sí, producen una estructura de lámina continua y permiten un movimiento deslizable relativo entre varillas adyacentes en la dirección de los ejes longitudinales, modificando la forma de la estructura de lámina.

25 Las varillas pueden tener una sección transversal constante en toda su longitud o a lo largo de sus ejes longitudinales permitiendo, normalmente, su montaje generando una estructura de lámina plana o cilíndrica.

Dichas varillas pueden tener en toda su longitud orificios o reducciones locales de la sección transversal, que afectan a las propiedades elásticas de la estructura de lámina y que producen posiblemente una estructura de lámina porosa.

30 Alternativa o adicionalmente, dichas varillas pueden tener una anchura variable y/o una sección transversal variable a en toda su longitud o a lo largo de sus ejes longitudinales, permitiendo, normalmente, su montaje generando una estructura de lámina no plana.

Se entenderá que se mide la anchura de cada varilla en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal y tangente o coplanaria con la estructura de lámina en ese punto.

35 Según una característica propuesta adicional, dichas varillas son inextensibles e incompresibles en una dirección longitudinal paralela al eje longitudinal, evitando el alargamiento o el acortamiento de la estructura de lámina en la dirección de los ejes longitudinales cuando se aplica una fuerza a la misma en la dirección de dichos ejes longitudinales.

Esta característica permite la modificación de la estructura de lámina sin modificar su área y permite la predicción precisa de la forma resultante de la estructura de lámina producida por un movimiento deslizable predefinido entre varillas adyacentes.

40 El primer conector y el segundo conector también pueden estar configurados para retener varillas adyacentes a una distancia constante, es decir, las varillas están entrelazadas de forma ajustada para que el conjunto de la estructura de lámina pueda resistir fuerzas que intentan separar esas varillas en la dirección transversal perpendicular a los ejes longitudinales, evitando el alargamiento de la estructura de lámina cuando se aplica una fuerza a la misma en la dirección perpendicular a dichos ejes longitudinales. No hay espacio entre los conectores primero y segundo que evite un movimiento de holgura entre ellos, de forma que una fuerza de compresión que intente aproximar dos varillas adyacentes no produzca ningún movimiento.

Según esta característica, una fuerza de tracción o compresión aplicada perpendicular a los ejes longitudinales de dichas varillas adyacentes será soportada por dichos conectores primero y segundo conectados entre sí sin cambiar la distancia entre dichas varillas adyacentes.

50 Esta característica puede lograr una conexión ajustada entre el primer conector y el segundo conector, evitando el movimiento relativo del primer conector con respecto al segundo conector en la dirección transversal perpendicular a los ejes longitudinales de las varillas adyacentes, pero permitiendo el movimiento deslizable.

Preferiblemente, el primer conector y el segundo conector son inextensibles e incompresibles en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal, evitando la modificación de dicha distancia cuando se aplica una fuerza en la dirección transversal.

5 Opcionalmente, entre los conectores primero y segundo se permite un movimiento giratorio limitado para que el ángulo entre dos varillas adyacentes, en la dirección transversal, pueda ajustarse libremente en un intervalo limitado definido por dicha libertad de rotación entre los conectores primero y segundo, por ejemplo, teniendo dichos conectores primero y segundo una forma cilíndrica.

10 Según una realización de la presente invención cada varilla incluye un primer conector y un segundo conector, para que el primer conector de una varilla pueda conectarse con el segundo conector de una varilla adyacente formando una cadena.

15 De manera alternativa, se propone incluir dos primeros conectores en cada varilla de un primer grupo de varillas e incluir dos segundos conectores en cada varilla de un segundo grupo de varillas, alternándose las varillas del primer grupo y las varillas del segundo grupo. Esta construcción permite alternar una varilla del primer grupo de varillas con una varilla del segundo grupo de varillas, conectando los primeros conectores de las varillas del primer grupo de varillas con los segundos conectores de las varillas del segundo grupo de varillas, formando una cadena.

También se propone, como una alternativa no limitante, situar los conectores primero y/o segundo de una varilla individual en lados opuestos de dicha varilla individual, estando la varilla entre dichos conectores primero y/o segundo.

Una realización preferida de dichos conectores primero y segundo incluye:

- 20 • el primer conector que comprende un canal accesible a través de una ranura de boca estrechada;
- el segundo conector que comprende una aleta igual o más delgada que la ranura de boca estrechada y un extremo engrosado de la aleta más grueso que la ranura de boca estrechada;
- 25 • estando la aleta de cada varilla encajada de forma ajustada en una ranura de boca estrechada de una varilla adyacente y estando insertado el extremo engrosado correspondiente en el canal correspondiente de cada varilla adyacente.

Esta construcción particular permite la conexión ajustada entre los conectores primero y segundo, el movimiento deslizante entre varillas adyacentes y mantener las varillas adyacentes juntas.

30 Dicha ranura estrechada puede estar dimensionada para permitir un movimiento giratorio entre los conectores primero y segundo, en un intervalo predefinido. La sección transversal de los conectores primero y/o segundo puede ser variable a lo largo de la dirección longitudinal.

Partiendo de una estructura de lámina planaria, deslizar cada par de varillas de forma igual y uniforme a lo largo de los ejes longitudinales simplemente cambiará la forma del borde de la estructura de lámina, pero no su planicidad.

35 Sin embargo, si el desplazamiento deslizante entre varillas adyacentes no es constante a lo largo de las varillas, la estructura de lámina se volverá curvada, en general, posiblemente con una curvatura doble (con una curvatura gaussiana no nula), cambiando su forma para evitar el estiramiento de las varillas o de los conectores primero y segundo.

40 Preferiblemente, se pueden doblar las varillas elásticamente en direcciones transversales al eje longitudinal y pueden tener un estado preferencial de doblado y torsión que puede ser igual para todas las varillas o puede ser diferente de varilla en varilla. Cuando se doblan o tuercen las varillas alejándose de su estado preferido, almacenan energía elástica que puede ser liberada cuando desaparece la fuerza de doblado o de torsión. Esto define una forma en equilibrio de cada varilla, y una o múltiples formas estables de la estructura de lámina instadas por la distribución en equilibrio de las energías elásticas almacenadas en cada varilla. Las varillas pueden tener propiedades elásticas desiguales, para que algunas almacenen más energía elástica que otras.

45 Cuando se aplican fuerzas externas en la estructura de lámina, puede transformarse cambiando su forma, por ejemplo, produciendo el doblado de una de dichas varillas que pueden doblarse elásticamente que acumula energía elástica. Una vez desaparece la fuerza externa, se libera la energía elástica almacenada de dichas varillas que pueden doblarse elásticamente instando la transformación de la estructura de lámina a la forma estable.

50 Por ejemplo, siendo la forma estable de las varillas una forma recta, la forma estable de la estructura de lámina puede ser una forma plana, o una forma tubular con varillas longitudinales.

La estructura de lámina puede tener múltiples posiciones estables.

Por ejemplo, la mitad de las varillas puede tener una forma estable recta, y la mitad de las varillas puede tener una forma estable doblada, y la competición de energía elástica entre estos dos grupos de varillas puede producir diferentes formas estables de la estructura de lámina.

- 5 Si el rozamiento contra el deslizamiento de varillas adyacentes es bajo y en ausencia de fuerzas externas, la estructura de lámina cambiará de forma hacia una forma estable para liberar tanta energía elástica almacenada como sea posible. Alejándose de esas formas estables, la forma puede mantenerse de manera activa aplicando una fuerza externa, o puede mantenerse mediante el rozamiento entre las varillas. Además, dada la existencia de varios estados estables, una estructura de lámina puede cambiar entre tales estados de baja energía.

Cada varilla, que incluye los conectores primero y/o segundo, puede estar fabricada de un único material.

- 10 La capacidad de transformación de la superficie de lámina propuesta depende de la microarquitectura del conjunto. Como tal, impone requisitos mínimos en el material base, y evita un conjunto complejo de elementos de diversos tipos fabricados de diferentes materiales, o el uso de materiales complejos. Como resultado, la tecnología propuesta es compatible con la fabricación aditiva común (impresión tridimensional).

- 15 La estructura de lámina puede tener grados variables de porosidad dependiendo del diseño específico de las varillas y de los conectores primero y segundo, hasta llegar a la estructura de lámina continua. Aprovechando el hecho de que el solapamiento entre espacios en varillas adyacentes depende de su deslizamiento relativo, es posible regular la porosidad concomitantemente con los cambios de forma.

- 20 A diferencia de otros planteamientos, el principio de transformación de la forma de la estructura de lámina no establece un límite ajustado en la magnitud de cambios de forma o en las formas obtenibles. La magnitud de deslizamiento está limitada solamente por la longitud de las varillas.

Según una realización adicional de la invención propuesta, la estructura de lámina puede ser una estructura tubular, estando el segundo conector de una última varilla de la estructura de lámina conectado con el primer conector de una primera varilla de la estructura de lámina, creando un tubo.

Si las varillas tienen todas una sección transversal constante, la estructura tubular puede ser, por ejemplo, un cilindro.

- 25 Si la estructura de lámina forma una construcción tubular tal como un cilindro (de curva simple y, por lo tanto, con una curvatura gaussiana nula), incluso un desplazamiento deslizante uniforme entre todas las varillas producirá un cambio de forma (cambiando la longitud y el diámetro del cilindro y la helicidad de los elementos de varilla), aunque sea uno que no produzca una curvatura gaussiana no nula. Sin embargo, el deslizamiento no uniforme llevará a formas diversas, que, en general, son superficies de curvatura doble (con una curvatura gaussiana no nula).

- 30 Por ejemplo, una torsión no uniforme de los dos extremos de la estructura tubular producirá una transformación no uniforme del diámetro en ambos extremos de la estructura tubular, generando, por ejemplo, una forma similar a una trompeta con una curvatura gaussiana negativa (una curvatura en dos direcciones con diferente signo). También son posibles otras superficies con curvatura gaussiana positiva o que combinan regiones con una curvatura gaussiana positiva, negativa y nula.

- 35 Una torsión no uniforme de la región central de la estructura tubular con respecto a los dos extremos opuestos de la estructura tubular producirá una transformación no uniforme del diámetro de la región central con respecto a los dos extremos opuestos, produciendo una forma hiperboloide o una forma en husillo.

Se propone, de una manera no limitante, que al menos una varilla esté fabricada de un material seleccionado entre:

- 40
- material con memoria de forma;
 - un accionador piezoeléctrico bímorfo;
 - un polímero reactivo; o

45

 - hidrogel reactivo; o
 - un elemento neumáticamente inflable,

estando dicho material regulado o controlado para producir múltiples formas estables o para modificar su forma estable.

- 50 También se propone, de una manera no limitante, que al menos una de las varillas esté acoplada con
- un elemento neumáticamente inflable, o
 - un hilo o cable excéntrico cuya tensión o longitud pueda ser controlada de forma externa,

para que el accionamiento de estos sistemas pueda cambiar la forma de dicha varilla.

La estructura de lámina puede volverse a configurar por la transformación de la forma impulsada de las varillas individuales, mediante un accionador interno configurado para producir el movimiento deslizante entre los conectores primero y segundo de dos varillas adyacentes, o mediante un accionador externo configurado para aplicar fuerzas a la estructura de lámina provocando su deformación y la deformación de las varillas constitutivas de la estructura de lámina.

Según eso, al menos algunas de las varillas son:

- varillas impulsadas configuradas para producir el doblado o la torsión controlada activo de las mismas, y/o
- varillas unidas que están unidas entre sí mediante un accionador interno configurado para producir un movimiento deslizante relativo entre dichas varillas unidas, provocando el doblado o la torsión de las mismas; y/o
- varillas accionadas externamente que están conectadas con un accionador externo configurado para producir un movimiento local de partes de la estructura de lámina, provocando la deformación de la estructura de lámina y el doblado o la torsión de al menos algunas de las varillas (10).

Cada varilla impulsada, o cada accionador interno o cada accionador externo puede estar fabricado o puede incluir estructuras fabricadas de un material impulsado que cambia su forma en condiciones predefinidas, tales como condiciones ambientales, condiciones eléctricas, o condiciones magnéticas, o la presión o el volumen de inflado para el caso de elementos neumáticos (por ejemplo, mediante accionadores piezoeléctricos bimorfos, materiales con memoria de forma, polímeros reactivos o hidrogeles reactivos, o la presión o el volumen de inflado para el caso de elementos neumáticos, o la tensión o la longitud en un cable excéntrico), creando diferentes formas de estructura de lámina mediante el control de la forma de dichas varillas.

La transformación de la forma de las varillas incluye su doblado o torsión en la dirección del eje longitudinal, produciendo el doblado o la torsión de dicho eje longitudinal junto con la deformación de la varilla. Como consecuencia de la deformación de la forma de las varillas impulsadas individuales, la estructura de lámina también sufre deformación, y también puede obtenerse el movimiento deslizante entre varillas adyacentes inducido por el doblado o la torsión de las varillas individuales, por ejemplo, introduciendo un doblado o una torsión diferencial en varillas adyacentes, y/o introduciendo el doblado o la torsión en varillas de una estructura de lámina tubular.

De manera alternativa, la transformación de la forma de las varillas puede ser inducida presurizando o cambiando el volumen de elementos inflables fijados a las varillas o usando tubos inflables como varillas.

Dicho material impulsado integrado en las varillas impulsadas puede estar configurado, según una realización preferida, para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está fijado de manera excéntrica a la varilla impulsada, imponiendo el doblado o la torsión a dicha varilla impulsada. Cuando la estructura fijada de manera excéntrica cambia su longitud, impone una curvatura al resto de la varilla donde está fijada de manera excéntrica. En una realización preferida, esta estructura fijada es un hilo o cable excéntrico cuya longitud o tensión puede ser controlada de manera externa.

Alternativamente, dicha estructura fijada de manera excéntrica se dobla o se tuerce en dichas condiciones predefinidas, imponiendo el doblado o la torsión a la varilla a la que está fijada.

Una única varilla puede incluir múltiples estructuras fijadas de manera excéntrica en uno o en ambos lados de la misma. Si dichas estructuras están ubicadas en ambos lados de la misma varilla, dicha varilla puede doblarse en dos direcciones opuestas a voluntad.

También se propone conectar cada varilla individual o diferentes grupos de varillas con un dispositivo de control configurado para proporcionar cantidades controladas de corriente eléctrica a dicha varilla o a dichas varillas, produciendo su transformación controlada de la forma.

Algunas o todas las varillas también pueden incluir diferentes segmentos activos a lo largo de su longitud, siendo cada segmento activo controlable de forma independiente. Cada segmento activo individual de la misma varilla puede estar configurado, por ejemplo, para cambiar su forma en diferentes condiciones ambientales, eléctricas o magnéticas, o la presión de inflado, por ejemplo, estando regulados diferentes segmentos activos para activar el cambio de su forma en diferentes parámetros ambientales, tales como la temperatura, o en diferentes condiciones eléctricas o magnéticas, o la presión de inflado. Esto permitirá controlar qué segmento activo cambia su forma controlando dichos parámetros ambientales, eléctricos o magnéticos, o la presión de inflado.

Alternativamente, cada segmento activo puede conectarse independientemente con el dispositivo de control para su activación independiente.

Para producir la deformación de la estructura de lámina mediante un accionador interno, se produce un movimiento deslizante entre el primer conector y el segundo conector de dos varillas adyacentes mediante un accionador interno.

El accionador interno puede integrar material impulsado que estará configurado para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas, tales como condiciones ambientales, eléctricas o magnéticas, o la presión de inflado. Dicho accionador interno estará conectado con dichas varillas unidas, imponiendo un movimiento deslizante entre las dos varillas unidas como consecuencia de la deformación controlada de dicho accionador interno.

- 5 Cuando la estructura fijada cambia su longitud, produce la separación relativa o la aproximación de dos puntos de las dos varillas adyacentes donde se fija la estructura de material impulsado. Dado que los conectores primero y segundo evitan la aproximación o separación de las dos varillas adyacentes, dicho movimiento provoca el movimiento deslizante entre las dos varillas adyacentes.

- 10 Según una realización propuesta alternativa dicho accionador interno puede ser, por ejemplo, un accionador neumático, un motor o servomotor eléctrico, un motor o servomotor lineal eléctrico o un accionador magnético configurado para producir el movimiento deslizante entre los conectores primero y segundo conectados entre sí.

También se propone que dicho accionador interno conecte al menos dos varillas no adyacentes, produciendo el movimiento deslizante entre varillas situadas entre las al menos dos varillas conectadas no adyacentes.

- 15 Para producir la deformación de la estructura de lámina mediante un accionador externo, se propone conectar un accionador externo con la estructura de lámina para producir un movimiento local de partes de la estructura de lámina, provocando su deformación en conjunto, preferiblemente con respecto a un punto externo de soporte donde se conecta el accionador externo.

Según una realización preferida, dicho accionador externo está conectado de manera simultánea con una pluralidad de varillas.

- 20 Dicho accionador externo puede ser, por ejemplo, un accionador neumático, un motor o servomotor eléctrico, un motor o servomotor lineal eléctrico o un accionador magnético.

- 25 Otro ejemplo propuesto de dicho accionador externo puede ser una estructura fabricada de un material impulsado que cambia su forma bajo condiciones predefinidas, tales como condiciones ambientales, condiciones eléctricas o condiciones magnéticas, o la presión de inflado o la tensión de un cable excéntrico. Cuando dicha estructura cambia su forma, produce la deformación de la estructura de lámina.

Dicho material impulsado integrado en el accionador externo está configurado, preferiblemente, para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está conectado con dichas varillas accionadas de forma externa.

- 30 Según una realización de la presente invención, las condiciones predefinidas en las cuales el material impulsado cambia su forma son condiciones eléctricas predefinidas. En tal caso, el material impulsado estará conectado mediante cables con un dispositivo de control configurado para proporcionar cantidades controladas de corriente eléctrica a dicho material impulsado, produciendo su transformación controlada de la forma.

- 35 Puede obtenerse un efecto simple con memoria de forma para un despliegue autónomo de la estructura de lámina. Otorgando a los elementos de varilla una curvatura o una torsión espontánea, para que puedan doblarse y torcerse de manera natural, es posible volver a configurar una estructura de lámina curvada de manera natural (un estado estable curvado tridimensional) en una cilíndrica con elementos rectos, que pueden plegarse ulteriormente. Eliminando las restricciones de plegado, se puede recuperar la forma original tridimensional mediante un retorno elástico si el rozamiento entre varillas es bajo.

- 40 Preferiblemente, los conectores primero y segundo están fabricados o cubiertos con un material de rozamiento bajo para permitir la transformación deslizando conectores adyacentes. Sin embargo, puede usarse, posiblemente bajo demanda, un aumento o una regulación del rozamiento para bloquear una forma dada, o para controlar el momento de despliegue autónomo.

- 45 Como un sistema mecánico, las estructuras de lámina tienen sus propias propiedades mecánicas resultantes de la deformación colectiva de las varillas y su interacción. Estas propiedades mecánicas, tales como la rigidez con respecto a variaciones en el radio o la longitud en estructuras de lámina cilíndrica, cambian durante las transformaciones de la forma. Como tales, las estructuras de lámina son sistemas con propiedades mecánicas regulables, que también dependen de la capacidad de doblado, de torsión y del doblado o torsión espontáneo de las varillas.

Se entenderá que referencias a la posición geométrica, tales como paralelo, perpendicular, tangente, etc., permiten desviaciones de hasta $\pm 5^\circ$ desde la posición teórica definida por esta nomenclatura.

- 50 Debería entenderse que las propiedades elástica, inelástica, inextensible, incompresible, flexible y rígida de elementos se refieren a las propiedades aparentes que esos elementos presentan en condiciones normales de uso, aplicando fuerzas por debajo de un umbral establecido de antemano de fuerzas previstas para el uso normal de ese elemento en una aplicación particular.

A partir de la siguiente descripción detallada de una realización se presentan otras características de la invención.

Breve descripción de las figuras

A partir de la siguiente descripción detallada de una realización se entenderán más completamente las anteriores y otras ventajas y características con referencia a los dibujos adjuntos, que han de tomarse de forma ilustrativa y no limitante, en los que:

- 5 la Fig. 1 muestra una estructura de lámina transformable según una primera realización;
 - la Fig. 2 muestra la estructura de lámina transformable mostrada en la Fig. 1 después de un movimiento deslizante producido entre varillas adyacentes;
 - 10 la Fig. 3 muestra una estructura de lámina transformable según una segunda realización;
 - la Fig. 4 muestra la estructura de lámina transformable mostrada en la Fig. 3 después de un movimiento deslizante producido entre varillas adyacentes;
 - 15 la Fig. 5 muestra una vista en perspectiva de una estructura de lámina que tiene una forma plana;
 - la Fig. 6 muestra una vista en perspectiva de la estructura de lámina mostrada en la Fig. 5 después de su deformación sin producir un movimiento deslizante entre varillas adyacentes, pero doblando dichas varillas produciendo una superficie ondulada;
 - 20 la Fig. 7 muestra cinco vistas diferentes de la misma estructura de lámina transformable tubular que tiene diferentes longitudes y diámetros, pero la misma área, correspondiéndose las cinco vistas diferentes a formas transformadas de la misma estructura de lámina tubular obtenida mediante la torsión de ambos extremos de la estructura de lámina tubular en direcciones opuestas en diferentes grados, produciendo el desplazamiento deslizante entre varillas adyacentes;
 - 25 la Fig. 8 muestra cuatro vistas diferentes de la misma estructura de lámina transformable tubular que tiene diferentes longitudes y formas (con regiones de curvatura gaussiana positiva, negativa y nula), pero la misma área, correspondiéndose las cuatro vistas diferentes a formas transformadas de la misma estructura de lámina tubular obtenida mediante la torsión de dos porciones de la estructura de lámina tubular en direcciones opuestas, produciendo el desplazamiento deslizante entre varillas adyacentes en una región intermedia de la estructura de lámina tubular generando un saliente entre las dos porciones torcidas;
 - 30 la Fig. 9A muestra dos vistas diferentes de la misma estructura de lámina transformable tubular que tiene diferentes longitudes y formas (ahora de curvatura doble con una curvatura gaussiana negativa), obtenidas mediante la torsión de un extremo de la estructura de lámina tubular, manteniendo el extremo opuesto de la estructura de lámina tubular sin torsión, produciendo el desplazamiento deslizante entre varillas adyacentes en un extremo generando una forma abocinada;
 - 35 la Fig. 9B muestra la misma estructura de lámina transformable tubular mostrada en la Fig. 9A, pero en la que la estructura de lámina tiene una forma estable similar a una trompeta transformable en una forma cilíndrica, y siendo la estructura de lámina colapsable;
 - 40 la Fig. 10 muestra trece ejemplos diferentes de formas obtenidas a partir de la misma estructura de lámina transformable tubular, teniendo todas la misma área, incluyendo una forma cilíndrica, una forma cónica, una forma discoidal, una forma de trompeta, una forma de husillo, una forma esférica, y una forma de neumático;
 - 45 la Fig. 11 muestra la estructura de lámina plana mostrada en la Fig. 5, pero incluyendo cada varilla orificios distribuidos de manera regular a lo largo de su longitud, modificando la flexibilidad de la varilla resultante y generando una estructura de lámina porosa;
 - 50 la Fig. 12 muestra una vista en perspectiva de una realización alternativa en la que la anchura de cada varilla aumenta constantemente a lo largo de su longitud, produciendo una estructura de lámina troncocónica;
 - 55 la Fig. 13 muestra un gráfico de la energía elástica almacenada para una estructura de lámina cilíndrica compuesta por 20 varillas como una función del ángulo helicoidal (inclinación del eje de las varillas con respecto al eje del cilindro).
- En la mayoría de esas figuras, se han mostrado las varillas como bandas planas con bordes laterales en contacto. Se entenderá que dichas bandas planas son una vista esquemática de las varillas descritas en el presente documento y mostradas en detalle en las Figuras 1 a 4.

Descripción detallada de una realización

A partir de la siguiente descripción detallada de una realización se entenderán más completamente las anteriores y otras ventajas y características con referencia a los dibujos adjuntos, que han de tomarse de manera ilustrativa y no limitante, en los que:

5 las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran una estructura 1 de lámina transformable plana producida por cuatro varillas paralelas 10 fabricadas de material flexible, tal como plástico.

En esas figuras, se muestra que cada varilla 10 tiene una forma recta, definiendo en su centro un eje longitudinal A. Se entenderá que el doblado o la torsión de dichas varillas flexibles 10 también producirá el doblado o la torsión de dicho eje longitudinal A.

10 Cada par de dos varillas adyacentes 10 está conectado entre sí mediante un primer conector 11 conectado de manera ajustada con un segundo conector 12.

En esos ejemplos, el primer conector 11 incluye un canal 13 que se extiende a lo largo de toda la longitud de una varilla 10, siendo dicho canal 13 accesible a través de una ranura 14 de boca estrechada que también se extiende a lo largo de toda la longitud de la varilla 10 correspondiente.

15 El segundo conector 12 incluye una aleta 15 con un extremo engrosado 16 en su extremo, tanto la aleta 15 como el extremo engrosado 16 también se extienden a lo largo de toda la longitud de una varilla 10.

El extremo engrosado 16 del segundo conector 12 de una varilla 10 está encajado de manera ajustada dentro del canal 13 de un primer conector 11 de una varilla adyacente 10, pasando la aleta 15 a través de la correspondiente ranura 14 de boca estrechada.

20 Esta solución produce la conexión entre dos varillas adyacentes 10 que permite el movimiento deslizante del primer conector y del segundo conector entre sí en la dirección del eje longitudinal A de las correspondientes varillas 10 modificando la forma de la estructura 1 de lámina transformable y manteniendo dichas varillas adyacentes 10 a una distancia constante.

Una sucesión de pares de varillas adyacentes 10 genera una estructura 1 de lámina transformable.

25 En las Figuras 2 y 4, se muestra la transformación de la forma obtenida por el movimiento deslizante producido entre varillas adyacentes 10.

Las Figuras 1 y 2 muestran una primera realización de la estructura 1 de lámina transformable en la que cada varilla 10 incluye un primer conector 11 y un segundo conector 12, siendo todas las varillas 10 idénticas.

30 Las Figuras 3 y 4 muestran una segunda realización de la estructura 1 de lámina transformable en la que cada varilla 10 de un primer grupo 10A de varillas incluye dos primeros conectores 11, y cada varilla 10 de un segundo grupo 10B de varillas incluye dos segundos conectores 12, alternándose las varillas del segundo grupo 10B de varillas con las varillas 10 del primer grupo 10A de varillas.

Preferiblemente, los conectores primero y segundo 11 y 12 están fabricados del mismo material que la varilla 10 siendo también flexible.

35 Según una realización preferida, cada varilla 10 es aparentemente inextensible e incompresible bajo fuerzas aplicadas en una dirección longitudinal paralela al eje longitudinal A por debajo de un umbral establecido de antemano de fuerzas previstas para el uso normal de ese elemento en una aplicación particular. Así, no se modifica la longitud de cada varilla 10 cuando se aplica una fuerza sobre dicha varilla 10 en la dirección del eje longitudinal A.

40 También se prefiere que los conectores primero y segundo 11 y 12 sean aparentemente inextensibles e incompresibles bajo fuerzas aplicadas en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal A por debajo de un umbral establecido de antemano de fuerzas previstas para el uso normal de ese elemento en una aplicación particular. Así, no se modifica la distancia entre varillas adyacentes 10 conectadas entre sí mediante el primer conector 11 y el segundo conector 12 cuando se aplica una fuerza sobre dicho conector en una dirección perpendicular al eje longitudinal A.

45 Esas características garantizan que el área de la estructura 1 de lámina transformable no cambie cuando se aplican fuerzas a la misma, y también permiten predecir con mayor precisión la forma de la estructura 1 de lámina transformable que ha de obtenerse cuando se aplican fuerzas a la misma.

La Fig. 5 muestra en perspectiva una estructura 1 de lámina completamente plana fabricada de varillas rectas 10.

La Fig. 6 muestra una forma transformada de la misma estructura 1 de lámina mostrada en la Fig. 5 obtenida sin deslizar las varillas adyacentes 10 sino solamente doblando la estructura de lámina produciendo una forma ondulada.

50 La estructura 1 de lámina transformable también puede estar configurada como una estructura de lámina tubular en la que una varilla inicial 10 de la estructura 1 de lámina está conectada con una varilla terminal 10 de la misma

estructura 1 de lámina, produciendo una estructura de lámina continua con una naturaleza tubular. Las Figuras 7 a 10 muestran diferentes realizaciones de dichas estructuras 1 de lámina tubulares.

Una estructura 1 de lámina tubular en forma de un cilindro tendrá la longitud más larga y el diámetro más pequeño cuando las varillas 10 son rectas extendiéndose en toda la longitud del cilindro.

- 5 Un movimiento deslizante uniforme entre varillas adyacentes 10 transformará la forma de cada varilla 10, adquiriendo una forma helicoidal. Según aumenta el deslizamiento, los cilindros se vuelven más cortos y con un diámetro creciente, y la inclinación de las varillas helicoidales 10 se vuelve más pequeña.

10 La Fig. 7 muestra una estructura 1 de lámina cilíndrica que incluye veinte varillas 10 con valores diferenciados del ángulo helicoidal. Los valores del ángulo helicoidal de las varillas 10 en cada realización mostrada son 0, 30, 50, 70 y 80 grados de izquierda a derecha de la Fig. 7.

La Fig. 8 muestra formas alternativas diferentes que pueden obtenerse partiendo de una estructura 1 de lámina cilíndrica, produciendo una forma cilíndrica con un saliente en una región central de la misma.

15 También son posibles superficies que implican una curvatura gaussiana no constante (nula, negativa y positiva), produciendo un saliente localizado que puede situarse o moverse a lo largo de una estructura 1 de lámina por lo demás cilíndrica.

El desplazamiento deslizante entre varillas adyacentes 10 es una función gaussiana de la longitud a lo largo de la varilla 10.

20 En este caso, esas formas pueden lograrse mediante un movimiento deslizante que afecta solamente a una porción central de los conectores primero y segundo 11 y 12, teniendo cada varilla 10 una forma helicoidal solamente en dicha región central, produciendo, así, un movimiento deslizante no constante a lo largo de las varillas 10.

Esto puede producirse, por ejemplo, haciendo girar porciones terminales cilíndricas del cilindro en direcciones opuestas, produciéndose el saliente entre dichas porciones terminales cilíndricas.

25 Si el deslizamiento entre varillas adyacentes 10 afecta solamente a una porción terminal de cada varilla 10, entonces, partiendo de un cilindro, se genera una forma de trompeta, como se muestra en la Fig. 9A. Esta forma puede producirse haciendo girar un extremo de la estructura de lámina cilíndrica mientras se mantiene sin torcer una porción terminal opuesta de la estructura de lámina cilíndrica.

30 Muchas formas diferentes pueden obtenerse comenzando a partir de una estructura 1 de lámina cilíndrica. Como se muestra en la Fig. 10, también se pueden obtener formas cónicas, formas discoidales, formas de trompeta (abocinadas), formas esféricas y formas de neumático, controlando el movimiento deslizante entre varillas adyacentes 10.

Una forma de neumático es un sólido de revolución obtenida a partir de una generatriz en forma de C con su lado abierto orientado hacia el eje de revolución de dicho sólido de revolución.

35 Partiendo de una estructura de lámina cilíndrica, se puede lograr una amplia familia de formas deslizando elementos de varilla de manera no uniforme a lo largo de su longitud. La figura ilustra algunos de los recorridos posibles de deformación que implican formas axisimétricas, e incluye formas de curvatura gaussiana nula (cilindros, discos y conos), superficies con una curvatura gaussiana positiva constante (husillos, esferas y salientes), y superficies de curvatura gaussiana negativa constante (formas de trompeta o pseudoesferas).

Además, se puede producir un colapso de la estructura 1 de lámina tubular.

40 La transformación de la estructura 1 de lámina tubular puede lograrse produciendo un movimiento deslizante controlado entre varillas adyacentes, por ejemplo, usando un accionador interno, o aplicando una fuerza externa a la estructura 1 de lámina, por ejemplo, usando un accionador externo.

En las realizaciones mostradas en la Fig. 7, una fuerza de torsión aplicada en los dos extremos opuestos del cilindro en direcciones opuestas modificará la forma de las varillas 10 y producirá su movimiento deslizante.

45 De manera alternativa, la transformación de la estructura 1 de lámina puede ser controlada mediante el control de la forma de las varillas 10, por ejemplo, usando materiales con memoria de forma, elementos piezoeléctricos bimorfos, polímeros reactivos; o hidrogeles reactivos.

50 Además, se propone el uso de varillas 10 que pueden doblarse elásticamente en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal A de las mismas, es decir, que en la ausencia de una fuerza externa, la varilla 10 adoptará una forma estable predefinida y cuando una fuerza externa produce el doblado de dicha varilla 10 almacenará energía elástica que será liberada cuando desaparezca la fuerza externa devolviendo la varilla 10 a la forma estable.

Por ejemplo, en la Fig. 9B, se muestra una estructura de lámina transformable que tiene una forma estable de trompeta. Si tal estructura de lámina se colapsa por una fuerza externa, una vez se elimine la fuerza externa, la estructura de lámina se expandirá espontáneamente para recuperar la forma estable de trompeta.

5 Dicha estructura de lámina puede tener una forma estable adicional, por ejemplo, en forma de un cilindro o puede transformarse en la forma cilíndrica mediante accionadores externo o interno o mediante el control de la forma estable de las varillas, por ejemplo, usando varillas con memoria de forma. Esto permitirá que la estructura de lámina se transforme en la forma de trompeta o en la forma cilíndrica de una manera controlada, y también permitirá la recuperación de una de esas formas cuando la estructura de lámina haya sido colapsada previamente o modificada por una fuerza externa.

10 También se propone que cada varilla 10 pueda tener uno o múltiples orificios o reducciones de sección a lo largo de su longitud, modificando las propiedades elásticas y posiblemente la permeabilidad de la estructura de lámina resultante. En la Fig. 11, se muestra una realización de esta característica.

También se propone que cada varilla 10 podría tener una anchura variable, produciendo una estructura de lámina no plana o no cilíndrica. Por ejemplo, en la Fig. 12, se muestra una realización en la que las varillas 10 tienen una anchura que aumenta de manera constante, produciendo una estructura de lámina cónica.

15 También se contemplan otras alternativas, por ejemplo, teniendo cada varilla 10 una anchura variable con una región central engrosada y extremos estrechos definiendo una varilla 10 con forma de husillo y produciendo una estructura de lámina con forma de husillo o con forma esférica cuando se monta.

20 Además, se contempla que las varillas 10 tengan una porción con una anchura constante y tengan otra porción o porciones que tienen una anchura que se estrecha o que se engrosa, produciendo una variedad de estructuras de lámina diferentes cuando se monta.

La Fig. 13 muestra la energía elástica almacenada de una estructura de lámina cilíndrica compuesta de 20 varillas como una función del ángulo helicoidal (inclinación del eje de las varillas con respecto al eje del cilindro), suponiendo que todas las varillas 10 tienen las mismas propiedades.

25 Para varillas 10 sin curvatura o torsión espontánea, la estructura de lámina cilíndrica tiene dos estados estables de baja energía. Uno en el que las varillas 10 son rectas y el cilindro es largo y delgado, y uno en el que las varillas 10 están dobladas, y el cilindro es corto y grueso.

El panorama energético es modificado por la curvatura y la torsión espontáneas de las varillas 10, llevando a diferentes formas estables en equilibrio (valores mínimos de la energía elástica). Se hace notar que la torsión espontánea rompe la simetría del panorama energético.

30 Modelo teórico para la energía elástica (en forma adimensional) como una función del ángulo helicoidal.

$$\mathcal{E}(\theta) \frac{r_0^2}{n\ell_0 T} \simeq \frac{1}{2} [\beta (\sin^2 \theta \cos \theta - r_0 u_2^*)^2 + (\sin \theta \cos^2 \theta - r_0 u_3^*)^2]$$

en el que:

u_2^* es la curvatura espontánea de las varillas 10;

35 u_3^* es la torsión espontánea de las varillas 10;

β es la relación entre la rigidez al doblado y a la torsión de las varillas 10;

r_0 es el radio de la estructura de lámina cilíndrica con varillas rectas 10.

Preferiblemente, cada varilla individual 10 tiene una anchura constante en toda su longitud, pero también se contempla que dicha anchura sea variable, mientras que el primer conector 11 y el segundo conector 12 no cambian a lo largo de la varilla 10.

El uso de varillas 10 de anchura no constante generará una estructura de lámina inicial no plana y no cilíndrica, por ejemplo, estructuras de forma cónica, de forma esférica, en forma de husillo.

Se entenderá que diversas partes de una realización de la invención pueden ser combinadas libremente con partes descritas en otras realizaciones, aunque dicha combinación no esté descrita explícitamente, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de lámina transformable que comprende una sucesión de varillas alargadas flexibles adyacentes (10) conectadas de forma lateral entre sí definiendo una estructura (1) de lámina, teniendo cada varilla (10) dos extremos y definiendo un eje longitudinal (A) desde un extremo al otro extremo; en la que las varillas (10) están agrupadas en pares, y en la que:
5 cada par de varillas adyacentes (10) está conectado entre sí mediante un primer conector (11) conectado de forma ajustada con un segundo conector (12) complementario con el primer conector (11), siendo el primer conector (11) parte de una varilla (10) de dicho par de varillas adyacentes (10) y siendo el segundo conector (12) parte de la otra varilla (10) de dicho par de varillas adyacentes (10);
10 siendo el primer conector (11) y el segundo conector (12) amovibles entre sí de forma deslizable en la dirección del eje longitudinal (A);
15 extendiéndose el primer conector (11) y/o el segundo conector (12) a lo largo de toda la longitud de la varilla (10);
las varillas alargadas flexibles (10) pueden doblarse o torcerse a lo largo de dicho eje longitudinal (A) simultáneamente con el movimiento deslizando de la posición relativa entre varillas adyacentes;
caracterizada porque dicha estructura de lámina transformable es transformable desde una forma plana o de curvatura simple hasta una forma de curvatura doble con una curvatura gaussiana no nula.
2. La estructura de lámina transformable según la reivindicación 1, en la que al menos algunas de las varillas (10) son:
varillas impulsadas configuradas para producir el doblado o la torsión controlado impulsado de las mismas, y/o
varillas unidas que están unidas entre sí mediante un accionador interno configurado para producir un movimiento deslizando relativo entre dichas varillas unidas, provocando el doblado o la torsión de las mismas; y/o
varillas accionadas externamente que están conectadas con un accionador externo configurado para producir un movimiento local de partes de la estructura de lámina, provocando la deformación de la estructura de lámina y el doblado o la torsión de al menos algunas de las varillas (10).
3. La estructura de lámina transformable según la reivindicación 2, en la que cada varilla impulsada, o cada accionador interno o cada accionador externo está fabricado o incluye estructuras fabricadas de un material impulsado que cambia su forma bajo condiciones predefinidas.
4. La estructura de lámina transformable según la reivindicación 3, en la que
dicho material impulsado integrado en las varillas impulsadas o en las estructuras fijadas a las varillas impulsadas está configurado para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está fijado de forma excéntrica a la varilla impulsada, imponiendo el doblado o la torsión a dicha varilla impulsada; o
dicho material impulsado integrado en las varillas impulsadas o en las estructuras fijadas a las varillas impulsadas está configurado para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está fijado de forma excéntrica a la varilla impulsada, imponiendo el doblado o la torsión a dicha varilla impulsada y en la que al menos algunas de las varillas impulsadas incluyen estructuras fabricadas de material impulsado en dos lados opuestos de las mismas; o
dicho material impulsado integrado en el accionador interno está configurado para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está conectado con dichas varillas unidas, imponiendo un movimiento deslizando entre las dos varillas unidas; o
dicho material impulsado en el accionador externo está configurado para cambiar su longitud, doblarse o torcerse bajo condiciones predefinidas y está conectado con dichas varillas accionadas de forma externa.
5. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente 3 o 4, en la que las condiciones predefinidas bajo las cuales cambia la forma del material impulsado son condiciones eléctricas predefinidas, y en la que el material impulsado está conectado mediante cables con un dispositivo de control configurado para proporcionar cantidades controladas de corriente eléctrica a dicho material impulsado, produciendo la transformación controlada de su forma.
6. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que
cada varilla (10) tiene una sección transversal constante o una sección transversal no constante a lo largo del eje longitudinal; y/o

- cada varilla (10) es inextensible e incompresible en una dirección longitudinal paralela al eje longitudinal (A); y/o
- cada varilla (10), que incluye los conectores primero y/o segundo (11, 12), está fabricada de un único material.
- 5 7. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que el primer conector (11) y el segundo conector (12):
- están configurados para retener varillas adyacentes (10) a una distancia constante; y/o
- son inextensibles e incompresibles en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal (A) y/o
- 10 están situados en lados opuestos de cada varilla individual (10).
8. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que
- cada varilla (10) incluye un primer conector (11) y un segundo conector (12); o
- 15 cada varilla (10) de un primer grupo de varillas (10A) incluye dos primeros conectores (11) y cada varilla (10) de un segundo grupo de varillas (10B) incluye dos segundos conectores (12), alternándose las varillas (10) del primer grupo (10A) y las varillas (10) del segundo grupo (10B).
9. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que:
- el primer conector (11) comprende un canal (13) accesible a través de una ranura (14) de boca estrechada;
- 20 el segundo conector (12) comprende una aleta (15) igual o más delgada que la ranura (14) de boca estrechada y un extremo engrosado (16) de la aleta (15) más grueso que la ranura (14) de boca estrechada;
- estando la aleta (15) de cada varilla (10) encajada de manera ajustada en una ranura (14) de boca estrechada de una varilla adyacente (10) y estando insertado el correspondiente extremo engrosado (16) en el canal (13) correspondiente
- 25 de la varilla adyacente (10).
10. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que al menos una varilla (10) se puede doblar elásticamente en una dirección transversal perpendicular al eje longitudinal (A), definiendo una forma estable de dicha al menos una varilla (10) y una o múltiples formas estables de la estructura (1) de lámina.
- 30 11. La estructura de lámina transformable según la reivindicación 10, en la que diferentes varillas (10) tienen diferentes formas estables.
12. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que la estructura (1) de lámina es una estructura tubular.
13. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que al menos una varilla (10) contiene un elemento reactivo seleccionado entre:
- 35 material con memoria de forma;
- un elemento piezoeléctrico bímorfo;
- un polímero reactivo; o
- 40 hidrogel reactivo;
- un elemento neumáticamente inflable,
- estando dicho material regulado o controlado para producir múltiples formas estables o para modificar su forma estable.
- 45 14. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que un accionador externo es conectable con la estructura (1) de lámina aplicando fuerzas a la misma produciendo el movimiento deslizante entre varillas adyacentes (10) y la deformación de la estructura (1) de lámina.
- 50 15. La estructura de lámina transformable según cualquier reivindicación precedente, en la que el primer conector (11) y el segundo conector (12) de dos varillas adyacentes (10) son accionables por un accionador interno que produce su movimiento deslizante relativo.

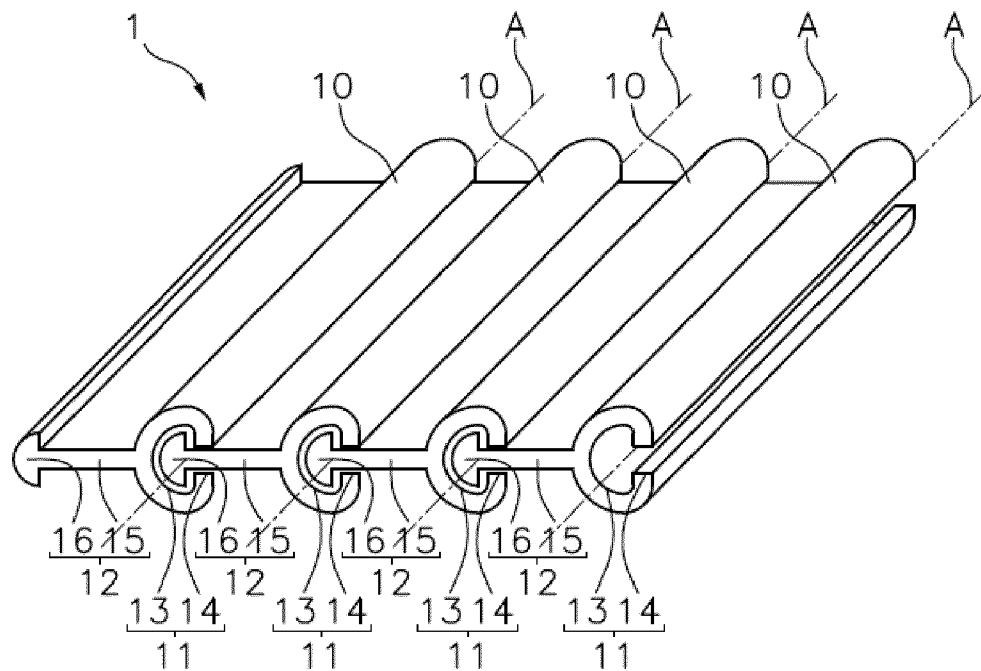


Fig. 1

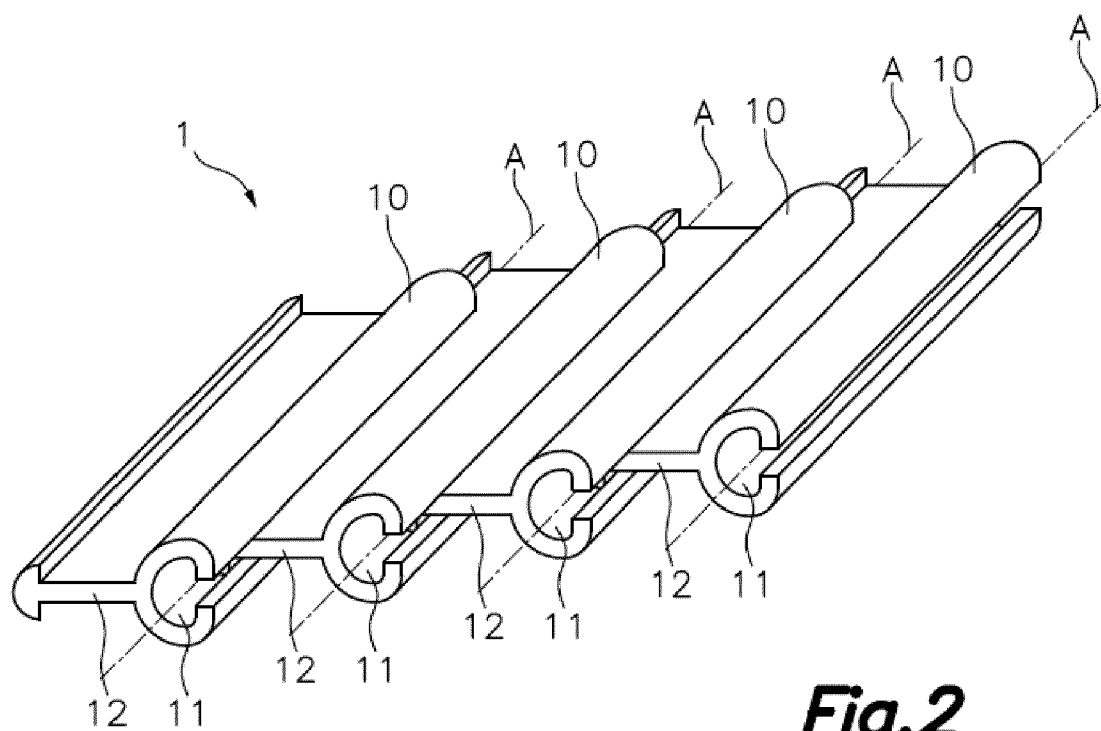


Fig. 2

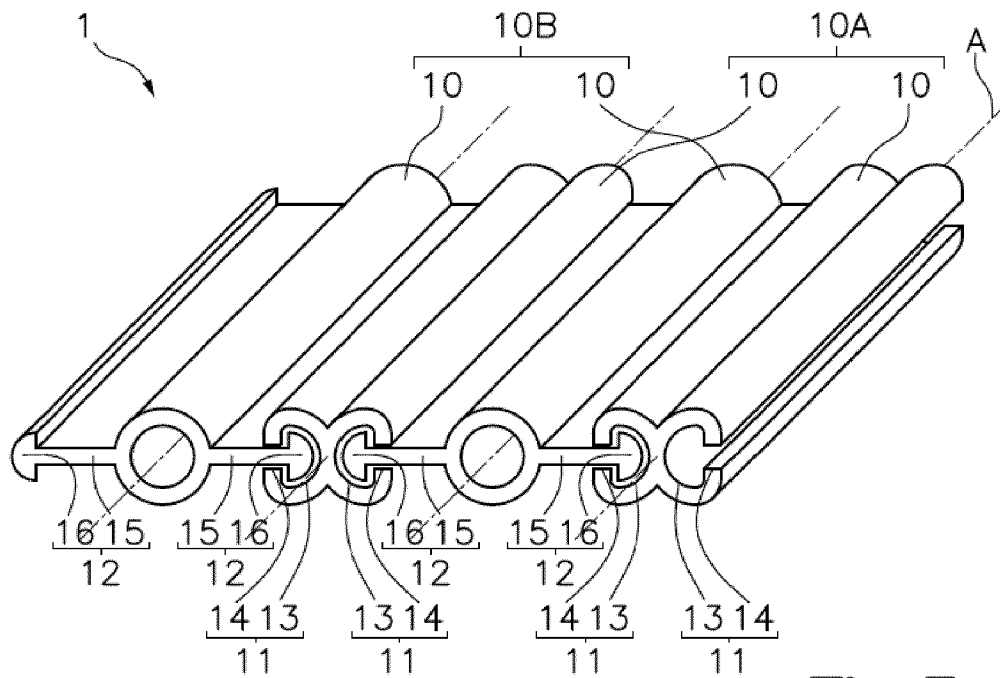


Fig. 3

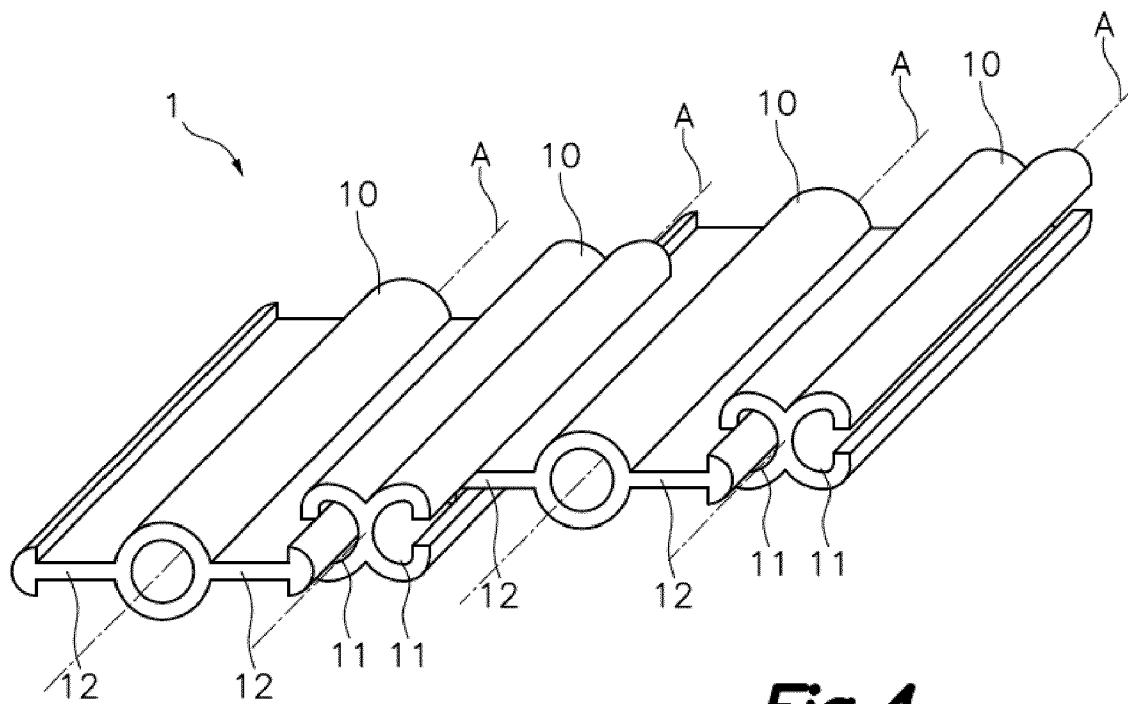


Fig. 4

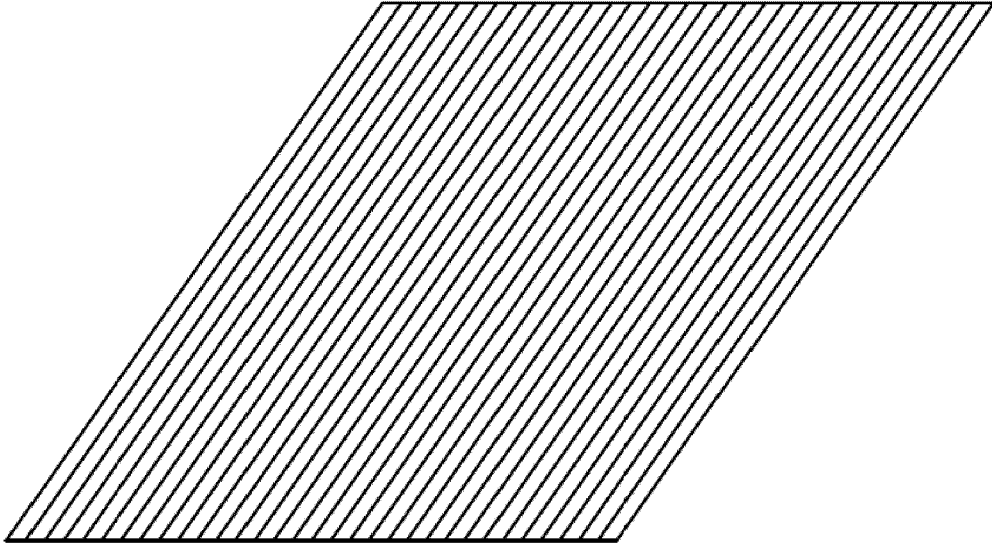


Fig.5

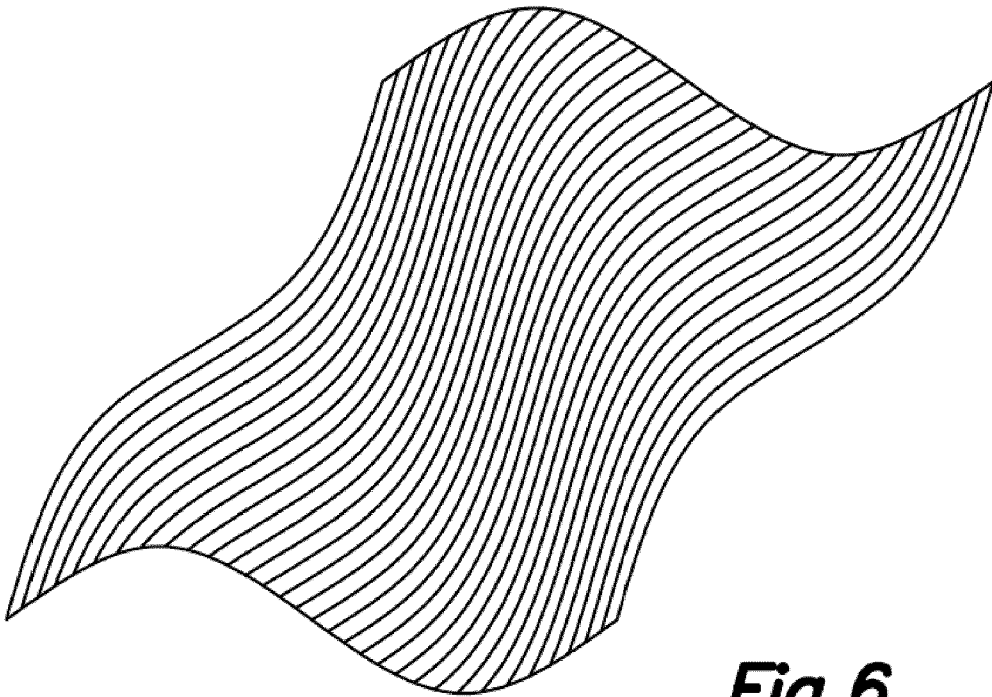


Fig.6

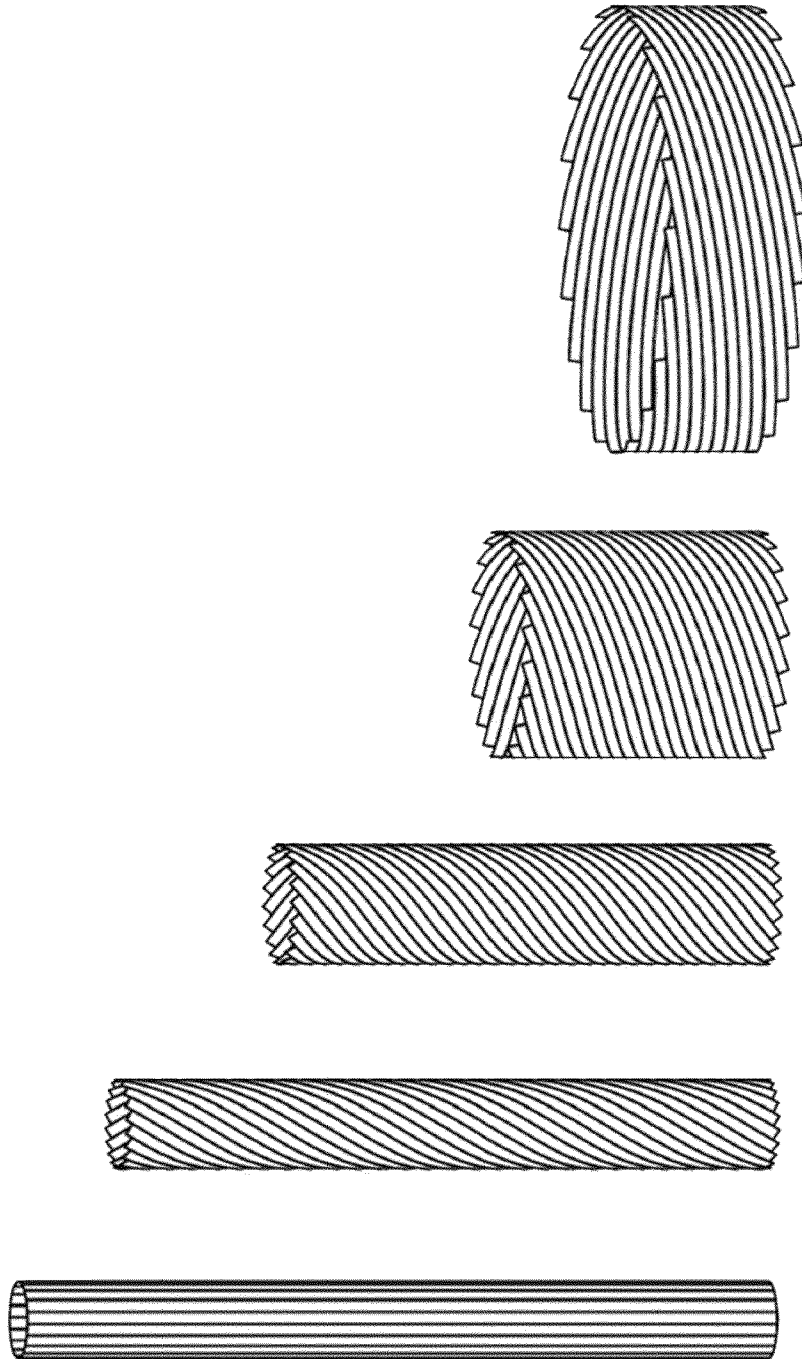


Fig. 7

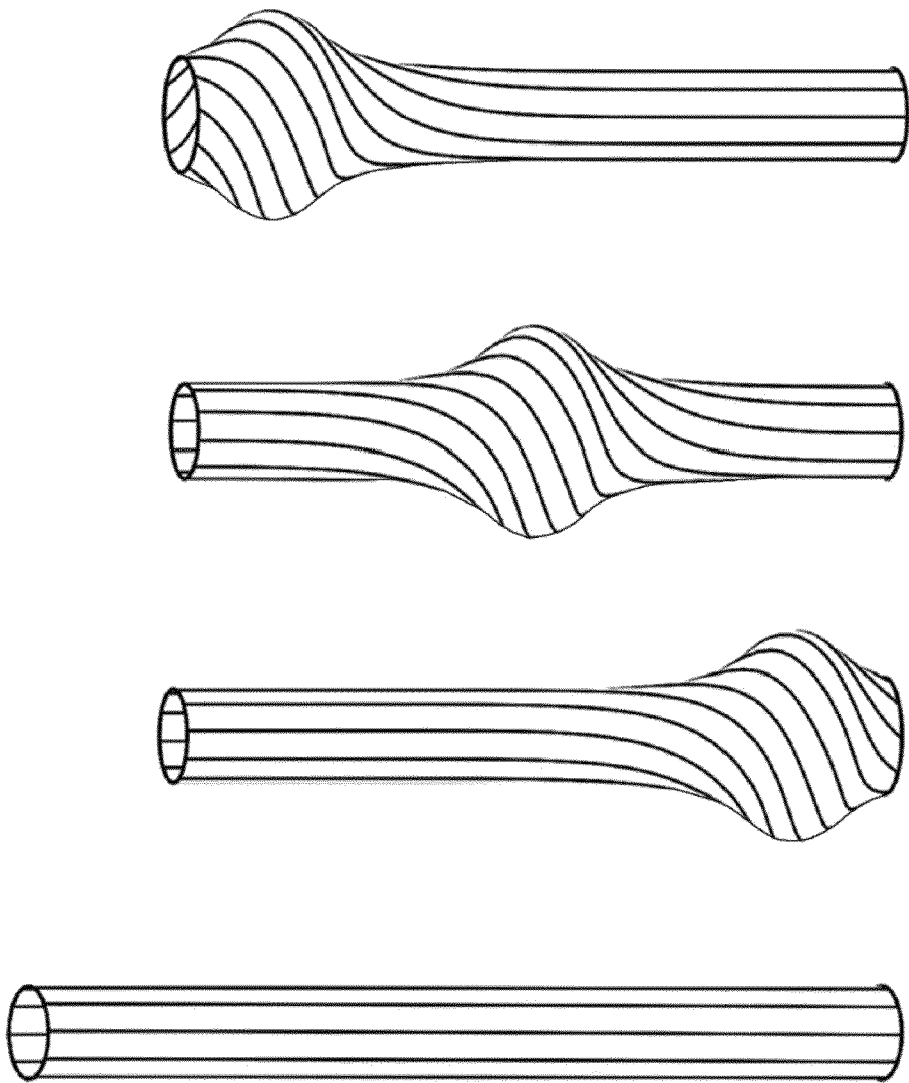
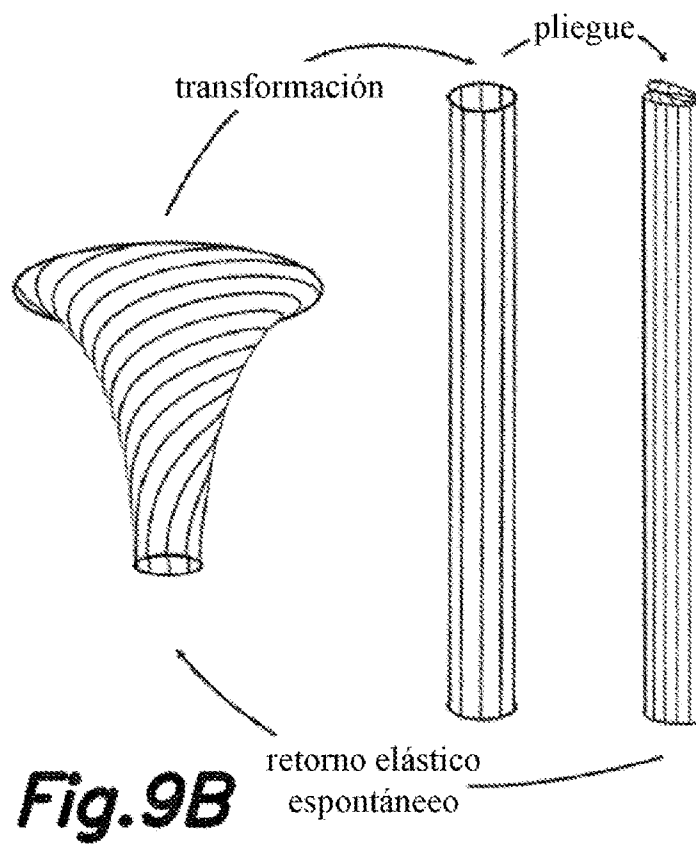
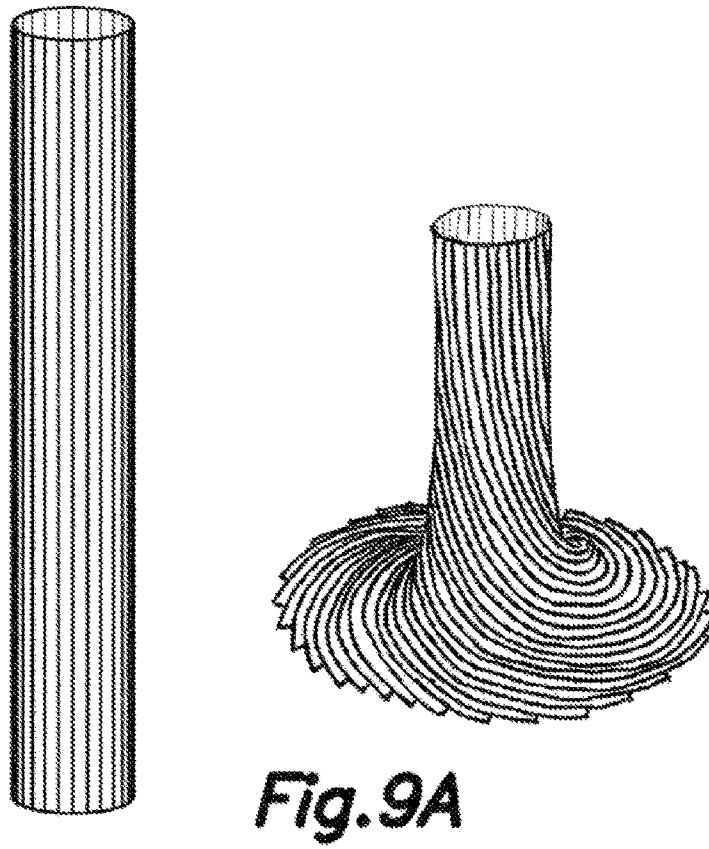


Fig.8



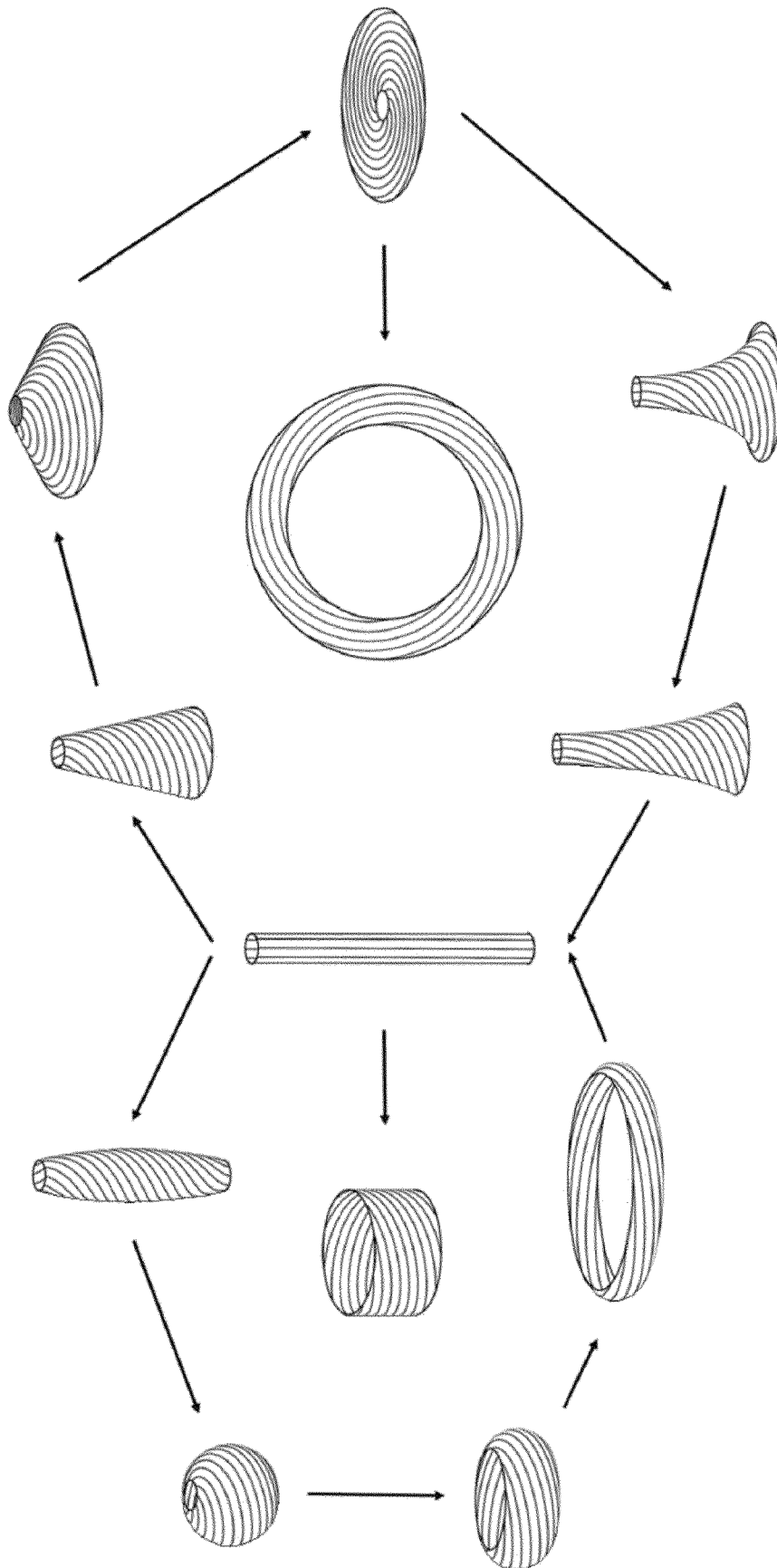


Fig. 10

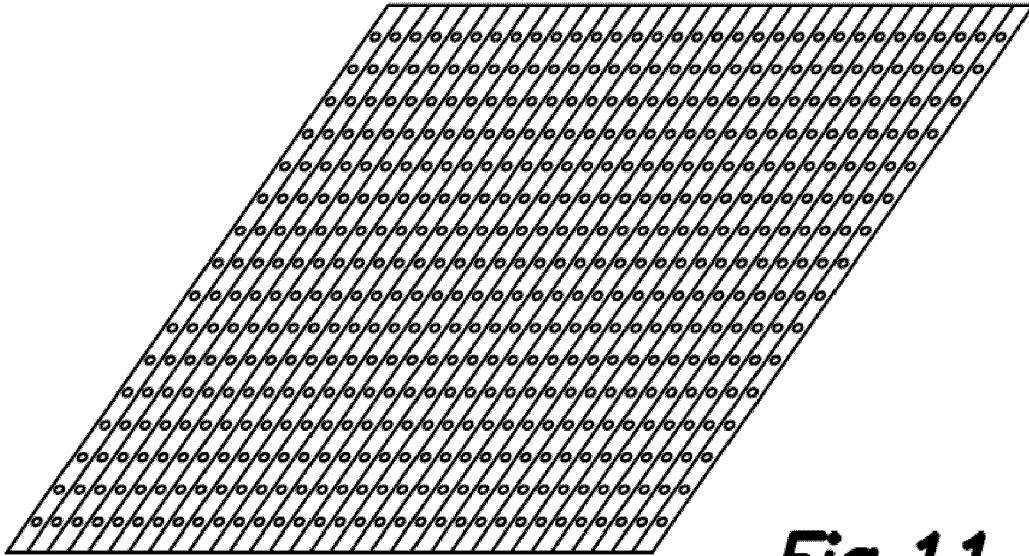


Fig. 11

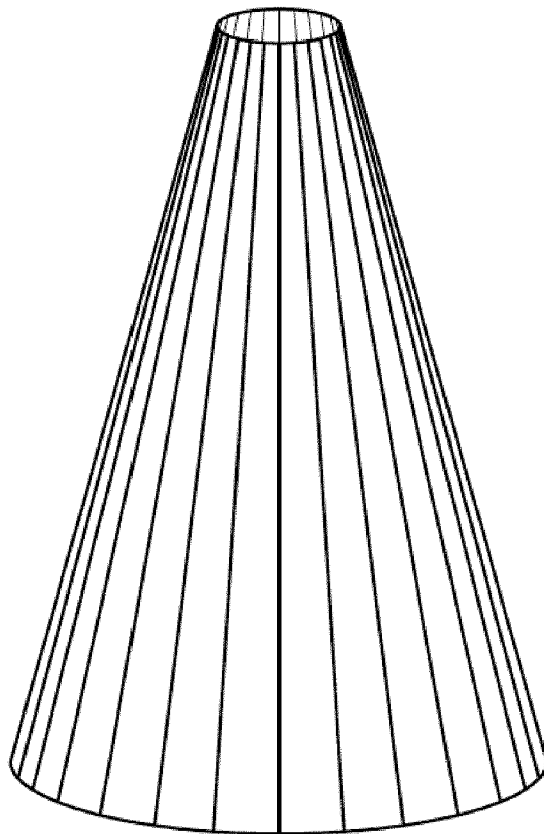
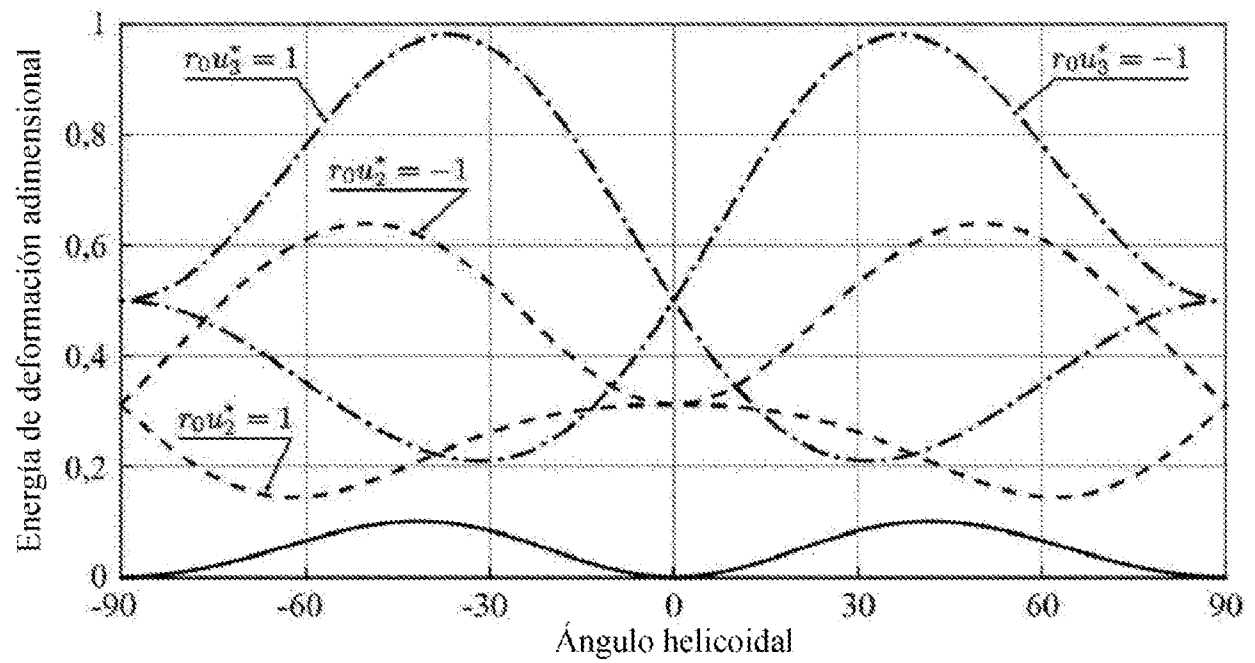


Fig. 12

**Fig. 13**