

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 986**

51 Int. Cl.:

B64G 1/66 (2006.01)

B64G 1/22 (2006.01)

E04B 1/344 (2006.01)

H01Q 1/28 (2006.01)

H01Q 15/16 (2006.01)

H01Q 15/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2010 PCT/EP2010/007044**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.05.2012 WO12065619**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2010 E 10781844 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2640643**

54 Título: **Estructura de soporte desplegable compacta de poco peso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2017

73 Titular/es:
**EUROPEAN SPACE AGENCY (100.0%)
8-10 rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15, FR**

72 Inventor/es:
**SANTIAGO PROWALD, JULIAN B. y
SUCH TABOADA, MIGUEL**

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 640 986 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 soporte desplegable compacta de poco peso

5 La presente invención se refiere a estructuras de soporte desplegables, tales como, aunque sin limitación, grandes aberturas desplegables para aplicaciones espaciales.

10 Una aplicación particular, pero no exhaustiva, de la invención radica en las aplicaciones espaciales, en las que las grandes aberturas desplegables de 4 a 50 m o más cuando están desplegadas tienen que estibarse de forma compacta y plegada en una nave espacial durante el lanzamiento. A efectos ilustrativos, la invención se describirá principalmente con referencia a la aplicación preferida de la invención, pero sin limitar su alcance de ningún modo.

15 El uso de grandes reflectores de antena para redes de comunicaciones por satélite se está generalizando a medida que aumenta la demanda de comunicaciones móviles y servicios de banda ancha. A medida que aumenta el tamaño de abertura requerido o el número de reflectores por sitio de comunicación desplegado en el espacio, la disponibilidad de estructuras de antena ligeras y compactas que pueden ser recogidas de forma compacta para su transporte en una nave espacial es un requisito clave previo para el uso de estas aberturas tan grandes. Otras dificultades adicionales se refieren principalmente a la fiabilidad del proceso de despliegue, la masa, la rigidez de la estructura en el momento del despliegue y la estabilidad a las condiciones ambientales durante la vida operativa.

20 Las aplicaciones para naves espaciales son principalmente la construcción de reflectores de antena para telecomunicaciones, experimentos científicos y observación de la tierra, así como reflectores solares, velas solares y pantallas solares. En el campo de la ingeniería civil y las infraestructuras pueden preverse aplicaciones en tierra, por ejemplo, la construcción de cúpulas y techos desplegables, puentes desplegables, grúas y torres.

25 Una solución propuesta en la técnica anterior es la antena desplegable modular basada en un esquema de plegado y sus variantes, según se describe en US 6.550.209 B2 o en US 4.482.900. La base es la cinemática de la faceta transformable: una articulación trapezoidal de cinco o seis barras que permite plegar una celda piramidal, que, a su vez, es un elemento básico de la construcción modular de una estructura de reflector parabólico. Sin embargo, la faceta trapezoidal de articulación de barras, que es el núcleo de la antena desplegable, sigue siendo un dispositivo complejo, con múltiples uniones de varios tipos, propenso al fallo. Las dimensiones de los paquetes estibados son difíciles de reducir. La eficiencia de masa y rigidez no es óptima debido al gran número y distribución de puntales y uniones. El rendimiento de RF se ve afectado por la impresión de la estructura de soporte en la malla metálica reflectante (fuente de periodicidad y, por lo tanto, de los lóbulos de rejilla) y por los intervalos entre módulos (fuente potencial de PIM). Las celdas hexagonales implementadas requieren grandes dimensiones excesivas para la cobertura de abertura proyectada.

35 US 5.680.145 A describe un reflector desplegable en el que una estructura de entramado desplegable periférica soporta dos redes de tensión que actúan simétricamente. Estas redes, cuando están tensadas, cooperan en la rigidez de toda la estructura. Una de ellas soporta la malla metálica que proporciona reflectividad. El esquema de plegado es eficiente en términos de relación de empaquetado y masa-rigidez en despliegue; sin embargo, la capacidad de crecimiento es limitada debido a la longitud requerida de los puntales y la rigidez y la estabilidad desplegadas.

40 Por US 6.618.025 B2 se conoce otro reflector desplegable que adopta un principio de anillo periférico. Sin embargo, el entramado propuesto requiere sincronización mediante la utilización de ejes de torsión internos que transmiten el movimiento a través de cajas de engranajes complejas. De ahí que la fiabilidad del despliegue y el equilibrio entre masa-rigidez estén en peligro. Estos aspectos y el principio de tensado de la malla parecen ser factores limitantes en términos de capacidad de crecimiento. Además, este concepto no es adecuado para una arquitectura modular.

45 En vista de los problemas indicados de la técnica anterior, la presente invención pretende proporcionar una estructura de soporte desplegable compacta, de poco peso, adecuada para aberturas desplegables grandes. Otro objeto de la invención es proporcionar una estructura de soporte desplegable que permite una arquitectura modular flexible para construir grandes aberturas basadas en la estructura de soporte desplegable.

50 Este objeto se logra con la materia según las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas de la invención.

55 Se propone un entramado poliédrico desplegable basado en una estructura articulada de seis barras. La estructura articulada de seis barras comprende seis elementos o barras, acoplado cada uno a otros dos por una unión giratoria o bisagra para formar un bucle cerrado. Los términos "unión giratoria" y "bisagra" se utilizan como sinónimos. Los seis elementos son puntales articulados. Preferentemente, los puntales articulados son de material de peso ligero, pero rígido. La estructura articulada de seis barras es convertible desde un estado desplegado a un estado plegado y viceversa. Así, la cinemática de la estructura de soporte desplegable es reversible.

60

65

5 Cuando está en estado desplegado, la estructura articulada de seis barras forma un trapezoide con lados segmentados paralelos superiores e inferiores opuestos. Según otro aspecto, cada uno de los lados paralelos opuestos está formado por dos puntales dispuestos en serie y acoplados por una bisagra en el centro de los lados paralelos. Así, en el estado desplegado, los dos lados no paralelos de la estructura articulada de seis barras no están segmentados y formados por un puntal cada uno, mientras que los lados paralelos opuestos están compuestos por dos puntales de igual longitud dispuestos en serie y acoplados por una bisagra. Los puntales no paralelos también se denominarán posteriormente puntales casi verticales.

10 Cuando están en el estado plegado, los dos puntales del lado superior han pivotado alrededor de su bisagra de acoplamiento de modo que las porciones de extremo opuesto de estos dos puntales estén sustancialmente yuxtapuestas o una al lado de la otra. Cuando están en el estado plegado, los dos puntales del lado inferior también están pivotados alrededor de su bisagra de acoplamiento de modo que las porciones de extremo opuesto de los dos puntales estén sustancialmente yuxtapuestas. De este modo, la estructura articulada de seis barras se puede convertir de una estructura articulada desplegada a un estado plegado con una anchura y/o altura pequeñas del paquete plegado.

15 Según otro aspecto, las uniones giratorias de la articulación de seis barras que proporcionan la base de las cadenas cinemáticas de las articulaciones rotativas pueden realizarse con rodamientos de bolas para permitir el despliegue de la estructura con una cinemática relativamente simple, alta precisión de rotación y baja fricción estática y dinámica.

20 Según otro aspecto, las uniones giratorias que acoplan los dos puntales de los lados paralelos del trapecio en el estado desplegado pueden alejarse una de otra cuando la articulación de seis barras se pliega del estado desplegado al estado plegado, dando lugar a un paquete de barras plegadas de anchura mínima.

25 Según otro aspecto, las uniones giratorias que acoplan los dos puntales de los lados paralelos del trapecio en el estado desplegado pueden aproximarse inicialmente una a otra cuando la articulación de seis barras se está plegando del estado desplegado al estado plegado, dando lugar a un paquete de barras plegado de altura mínima. Se propone un entramado poliédrico que se ha construido con articulaciones de seis barras de la invención, como se ha descrito anteriormente, en cada faceta lateral del entramado poliédrico. Una faceta lateral es una cara lateral plana en el entramado poliédrico definido por una articulación de seis barras. El entramado poliédrico es convertible de un estado desplegado a un estado plegado y viceversa convirtiendo las articulaciones de seis barras de las facetas laterales del estado desplegado al estado plegado y viceversa. En otros términos, la articulación de seis barras y su cinemática permite el plegado y/o el despliegue del entramado poliédrico. Además, en el estado desplegado, el entramado poliédrico tiene una forma piramidal truncada poligonal incluyendo anillos superior e inferior de puntales articulados. En el caso de una estructura articulada de seis barras que tiene una forma de trapecio en el estado desplegado, el anillo superior está compuesto por los puntales de los lados segmentados paralelos superiores de las articulaciones de seis barras de las facetas, mientras que el anillo inferior está compuesto por los puntales de los lados paralelos segmentados inferiores de las articulaciones de seis barras de las facetas.

35 Según otro aspecto, los puntales del entramado poliédrico que corresponden a los puntales de los lados no segmentados no paralelos de las articulaciones de seis barras pueden converger hacia un punto de plegado predeterminado al convertir el entramado poliédrico de un estado desplegado a un estado plegado. Así, los puntales del entramado poliédrico que son perpendiculares a los anillos superiores e inferiores siguen un recorrido de despliegue y/o plegado determinado de forma única definido por la cinemática de las articulaciones de seis barras que forman el entramado poliédrico.

45 Según otro aspecto, al menos algunas uniones giratorias pueden estar precargadas elásticamente para proporcionar una fuerza de despliegue a dichos puntales que forman los anillos superiores e inferiores del entramado poliédrico al cambiar del estado plegado en el estado desplegado. A modo de ejemplo, se puede usar una bisagra de empuje por muelle, una bisagra elástica ranurada o una bisagra con accionamiento eléctrico y un engranaje sinfín en el eje de salida de motor para accionar el despliegue de la estructura de soporte.

50 Según otro aspecto, el entramado poliédrico puede incluir un medio de sincronización, acoplando al menos una esquina dos facetas laterales adyacentes. El medio de sincronización permite un movimiento controlado y sincronizado de facetas adyacentes durante el plegado y/o el despliegue. A modo de ejemplo, el medio de sincronización puede ser una corredera a lo largo de puntales casi verticales, es decir, un puntal perpendicular a los puntales de anillo superior e inferior en el estado desplegado del entramado poliédrico. El medio de sincronización también puede ser una caja de engranajes.

55 Según otro aspecto, los puntales que forman los anillos superior e inferior del entramado poliédrico pueden estar articulados en un plano de faceta y montados en pivote con respecto a los puntales no paralelos de modo que un ángulo diédrico se reduzca al convertir el entramado poliédrico del estado desplegado al estado plegado. El ángulo diédrico es el ángulo entre dos facetas.

Según otro aspecto de la invención, se propone un entramado poliédrico basado en una estructura articulada alternativa de seis barras que incluye seis puntales articulados, cada uno acoplado a otros dos por una unión giratoria formando un bucle cerrado; y la estructura articulada de seis barras es convertible de un estado desplegado a un estado plegado y viceversa. En el estado desplegado, la estructura articulada de seis barras puede formar un cuadrilátero, siendo no paralelos todos los lados opuestos. La estructura de barras cuadrilátera puede incluir dos lados segmentados opuestos, estando formado cada lado segmentado por dos puntales de diferente longitud dispuestos en serie y acoplados por una bisagra. La estructura de barras cuadrilátera puede incluir además dos lados no segmentados opuestos, estando formado cada lado no segmentado por un puntal de diferente longitud. En el estado plegado, los dos puntales de estos lados segmentados opuestos están pivotados alrededor de sus bisagras de unión.

Según otro aspecto, el entramado poliédrico puede tener una forma de pirámide hexagonal truncada en el estado desplegado. En este caso, el entramado poliédrico incluye seis articulaciones de seis barras como se ha descrito anteriormente, donde articulaciones adyacentes de seis barras comparten un puntal casi vertical, es decir, un puntal de los lados no segmentados del trapecio en el estado desplegado.

Según otro aspecto, en el estado desplegado, el entramado poliédrico puede tener una forma de pirámide triangular truncada, una forma de pirámide cuadrilátera truncada o una forma de pirámide pentagonal truncada. En estos casos, el entramado poliédrico incluye tres, cuatro, o cinco articulaciones de seis barras, respectivamente.

Según otro aspecto, la velocidad de despliegue de las uniones elásticamente precargadas puede ser regulada con un accionador eléctrico conectado con una línea de control montada en las uniones giratorias elásticamente precargadas de los anillos superior e inferior.

Según otro aspecto, se propone un conjunto modular incluyendo múltiples puntales poliédricos, donde puntales poliédricos contiguos comparten una faceta lateral. En otros términos, la base de tal conjunto modular es la cinemática de la articulación trapezoidal transformable de seis barras que permite el plegado de una celda unitaria piramidal, es decir, el entramado poliédrico, que, a su vez, es el elemento básico de una construcción modular de un conjunto modular, tal como una estructura de reflector parabólico. Según otro aspecto, los puntales poliédricos pueden ser del mismo tipo. A modo de ejemplo, un conjunto modular que tiene una estructura de anillo se puede formar combinando puntales poligonales de formas de pirámide hexaédrica truncada como se ha descrito anteriormente. Una ventaja particular de la presente invención es que, debido a la cinemática de la articulación de seis barras, se puede combinar puntales poliédricos de diferentes tipos para formar un conjunto modular. A modo de ejemplo, los puntales poligonales de la forma de pirámide hexagonal truncada y la forma de pirámide pentagonal truncada pueden combinarse para formar un conjunto modular donde los puntales poliédricos contiguos comparten una faceta lateral.

Según otro aspecto, se propone un reflector o estructura de antena desplegable incluyendo un conjunto modular de la invención. La forma trapezoidal de las articulaciones de seis barras en el estado desplegado como elementos de construcción básicos de tal reflector desplegable permite una doble curvatura de la superficie parabólica reflectora del reflector. El reflector o estructura de antena desplegable puede incluir además una malla continua de una arquitectura casi simétrica o una concha-membrana montada como la superficie reflectora en las facetas superiores de los puntales poliédricos.

Según otro aspecto, un reflector o estructura de antena desplegable puede incluir un conjunto modular y/o además incluir una malla continua de una arquitectura casi simétrica o una concha-membrana montada como la superficie reflectora en las facetas superiores de los puntales poliédricos, cubriendo un rango de dimensiones con características mecánicas similares.

Aunque la geometría de plegado estibable compacta y ligera de la invención es especialmente adecuada para aplicaciones de despliegue en el espacio, donde hay que estibar grandes aberturas desplegables en forma compacta y plegada en una nave espacial durante el lanzamiento, deberá ser claro que la invención no se limita a aplicaciones espaciales. La invención tiene aplicaciones en otros muchos campos donde la articulación de seis barras y un entramado poliédrico basado en la articulación de seis barras puede ser usado como bloques de construcción modulares para gran variedad de conjuntos modulares adecuados para aplicaciones en tierra. Por ejemplo, según otro aspecto, se propone una estructura de cúpula desplegable incluyendo un conjunto modular de la invención. La estructura de cúpula desplegable puede incluir además una columna central de soporte extraíble después del despliegue, y una doble capa de material en forma de chapa que crea un techo externo y otro interno, separados por un aislamiento opcional. Según otro aspecto, se propone una tienda desplegable incluyendo un conjunto modular de la invención. La tienda desplegable puede incluir además una columna central de soporte extraíble después del despliegue, y una doble capa de tela textil. Según otro aspecto, se propone un techo desplegable incluyendo un conjunto de vigas. El techo desplegable puede incluir además una doble capa de material en forma de chapa que crea un techo externo y otro interno, separados por un aislamiento opcional. Según otro aspecto, se propone una estructura de puente desplegable incluyendo un conjunto modular de celdas facetadas incluyendo las articulaciones de seis barras de la invención.

- Una ventaja particular de la invención es que propone un principio de construcción modular de la estructura desplegable, generada por puntales articulados. Cada módulo exhibe también propiedades de escalabilidad, incrementando por ello la flexibilidad del diseño en comparación con la técnica anterior. Se puede elegir una arquitectura de una sola celda o de múltiples celdas. La cinemática definida para dicha celda unitaria también permite usar polígonos irregulares de cualquier número de lados, desde el tetraedro truncado hasta cualquier número de lados. Cada módulo tiene una base geométrica y cinemática simple, que permite estibar los puntales de manera eficiente y también garantiza un despliegue controlado, masa reducida y mejor estabilidad.
- La invención se explica a continuación a modo de ejemplo con referencia a los dibujos acompañantes, donde
- Las figuras 1A, 1B, 1C, 1D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de una estructura articulada de seis barras según una realización de la invención.
- Las figuras 2A, 2B, 2C, 2D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado alternativa de una estructura articulada de seis barras según una realización de la invención.
- Las figuras 3A, 3B, 3C, 3D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado alternativa de una estructura articulada de seis barras según una realización de la invención.
- Las figuras 4A, 4B, 4C, 4D ilustran esquemáticamente una estructura articulada de seis barras alternativa y una secuencia de plegado de la estructura articulada de seis barras según una realización de la invención.
- Las figuras 5A, 5B, 5C ilustran esquemáticamente un entramado poliédrico que tiene forma de pirámide triangular truncada poligonal y una secuencia de plegado del entramado poliédrico según una realización de la invención.
- Las figuras 6A, 6B, 6C ilustran esquemáticamente un entramado poliédrico que tiene forma de pirámide cuadrilátera truncada poligonal y una secuencia de plegado del entramado poliédrico según una realización de la invención.
- Las figuras 7A, 7B ilustran esquemáticamente una vista en perspectiva y una vista lateral de un entramado poliédrico que tiene una forma hexagonal truncada en el estado desplegado según una realización de la invención.
- La figura 8 ilustra esquemáticamente una unión superior con un dispositivo de sincronización de un entramado poliédrico según una realización de la invención.
- Las figuras 9A, 9B ilustran esquemáticamente una vista frontal y una vista despiezada de una unión inferior de un entramado poliédrico según una realización de la invención.
- Las figuras 10A, 10B ilustran esquemáticamente una vista en perspectiva y una vista superior de una bisagra de empuje por muelle según una realización de la invención.
- La figura 10C ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de una bisagra elástica ranurada según una realización de la invención.
- La figura 10D ilustra esquemáticamente diferentes vistas de una bisagra con accionamiento eléctrico según una realización de la invención.
- Las figuras 11A, 11B, 11D ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un conjunto modular con puntales poliédricos del mismo tipo que las celdas unitarias según una realización de la invención.
- Las figuras 12A, 12B ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un conjunto modular con puntales poliédricos de diferentes tipos según una realización de la invención.
- Las figuras 13A, 13B, 13C, 13D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de un conjunto modular según una realización de la invención.
- Las figuras 14A, 14B, 14C, 14D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de un conjunto modular del tipo de anillo según una realización de la invención.
- La figura 15 ilustra esquemáticamente una línea de control de liberación de una celda unitaria según una realización de la invención.
- Las figuras 16A, 16B, 16C ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de una celda unitaria hexagonal incluyendo una línea de control de liberación según una realización de la invención.
- La figura 17 ilustra esquemáticamente una tienda o cúpula desplegable en base a celdas unitarias triangulares y cuadriláteras según una realización de la invención.

Las figuras 18A, 18B, 18C, 18D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de una celda unitaria hexagonal según una realización de la invención.

5 Y las figuras 19A, 19B, 19C, 19D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de un conjunto modular según una realización de la invención.

Números análogos se refieren a elementos análogos en toda la memoria. En la ilustración esquemática de las figuras 1 a 4, las líneas gruesas representan los puntales articulados de las estructuras de soporte. Las figuras 1A, 10, 1B, 10, 1D ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de una estructura de soporte articulada de seis barras 10 según una realización de la invención. La figura 1A representa una estructura articulada de seis barras 10 en un estado desplegado 10A. La estructura articulada de seis barras 10 incluye seis elementos rígidos o puntales articulados 1, 2, 3, 4, 5, 6, cada uno acoplado a otros dos por una unión giratoria 7 para formar un bucle cerrado. En otros términos, los puntales están conectados por bisagra uno a otro en forma de extremo con extremo en uniones de bisagra 7a-7f, con el fin de definir una estructura de bucle cerrado. En el estado desplegado 10A (figura 1A), la estructura articulada de seis barras 10 forma un trapecio con dos lados paralelos opuestos, cada uno de los lados paralelos está formado por dos puntales dispuestos en serie y acoplados por una unión giratoria en el centro de los lados paralelos superior e inferior. Por ejemplo, el lado segmentado superior del trapecio en la figura 1A está compuesto por un par de elementos de puntal 3 y 4 que están conectados en una unión giratoria central de plegado 7a. Igualmente, los dos puntales inferiores 5 y 6 están acoplados por la unión giratoria central 7b. Los lados casi verticales no paralelos del trapecio de la figura 1A están formados por un puntal solamente. Los puntales laterales 1 están acoplados pivotantemente al puntal 3 por la unión giratoria 7c y acoplados pivotantemente al puntal inferior 5 por la unión giratoria 7d. Igualmente, el puntal lateral 2 que forma el segundo lado no paralelo está acoplado pivotantemente al puntal superior 4 por la unión giratoria 7e y acoplado pivotantemente al puntal inferior 6 por la unión giratoria 7f.

La estructura articulada de seis barras 10 es convertible del estado desplegado ilustrado en la figura 1A a un estado plegado ilustrado en la figura 1D y viceversa. Las figuras 1A a 1D ilustran esquemáticamente la secuencia de plegado de la estructura articulada plegable de seis barras 10, comenzando con su configuración desplegada (figura 1A), a través de sucesivos estados plegados intermedios (figura 1B, figura 1C), al estado completamente plegado (figura 1D) de la estructura articulada embisagrada.

Un mecanismo de movimiento, que se obtiene, por ejemplo, precargando elásticamente algunas bisagras (no representado, véase las figuras 10A 10D), permite desplegar la estructura. Mediante la operación síncrona de las bisagras movidas, por ejemplo, las bisagras 7a y 7b, los puntales 3-6 de los lados paralelos opuestos en el estado desplegado se pliegan desde una dirección generalmente horizontal en su condición desplegada de la figura 1A a una dirección casi vertical en general en su estado completamente plegado de la figura 1D. En el estado parcialmente desplegado de la figura 1B, los puntales superiores 3, 4 han pivotado o girado hacia dentro (con respecto a la forma de trapecio) alrededor de las uniones de bisagra de esquina superior 7c y 7e, mientras que los dos puntales inferiores 5 y 6 son pivotados hacia fuera desde su estado generalmente horizontal en el estado desplegado de la figura 1A. En el estado plegado de la figura 1D, los dos puntales 3, 4 del lado superior han pivotado alrededor de la bisagra central superior 7a de modo que las porciones de extremo opuesto 3c, 4e de estos puntales 3 y 4 estén yuxtapuestas. Igualmente, los dos puntales 5, 6 del lado inferior han pivotado alrededor de la bisagra central inferior 7b de modo que las porciones de extremo opuesto 5f, 6d de los dos puntales 5, 6 también estén yuxtapuestas.

El principio de construcción de la estructura articulada de seis barras proporciona una base cinemática que asegura un el despliegue o el plegado controlados según una secuencia de plegado/despliegue predeterminada. Por ejemplo, al convertir la estructura articulada de seis barras de un estado desplegado a un estado plegado, los puntales casi verticales 1, 2 convergen hacia un punto de plegado, ilustrado como P3 en la figura 1C. Además, el principio de construcción de la estructura articulada de seis barras permite estibar los puntales de manera eficiente y también permite una masa reducida y mejor estabilidad.

Las figuras 2A a 2D ilustran esquemáticamente la secuencia de despliegue para la articulación de seis barras plegable de otra realización de la invención, comenzando con su configuración desplegada (figura 2A), a través de sucesivos estados parcialmente desplegados/plegados (figura 2B, figura 2C), al estado completamente plegado (figura 2D) de la articulación cinemática de seis barras. La realización representada en las figuras 2A a 2D difiere de la articulación de seis barras por el esquema de plegado/despliegue. Por lo tanto, se asigna el mismo número de referencia al mismo componente que el de la realización representada en las figuras 1A a 1D para simplificar la descripción.

En el estado parcialmente desplegado de la figura 2B, los puntales superiores 3, 4 han pivotado o girado hacia fuera (con respecto a la forma de trapecio) alrededor de las uniones de bisagra de esquina superior 7c y 7e, mientras que los dos puntales inferiores 5 y 6 también han pivotado hacia fuera de su estado generalmente horizontal en el estado desplegado de la figura 1A. En otros términos, las barras superior e inferior rotas, es decir, los dos puntales

superiores 3, 4 y los dos puntales inferiores 5, 6 se pliegan en direcciones opuestas alejándose del baricentro, dando lugar a una anchura mínima del paquete.

En las figuras 3A-3D se ilustra otro esquema de plegado de la articulación de seis barras 10 que permite una altura mínima de la estructura articulada plegada. De nuevo, el mismo número de referencia se ha asignado al mismo componente que el de la realización representada en las figuras 1A a 1D para simplificar la descripción. La longitud estibada del paquete reflector plegado se reduce pivotando las barras superiores 3, 4 e inferiores 5, 6 rotas hacia dentro de su estado generalmente horizontal en el estado desplegado de la figura 3A, de modo que se pliegan hacia el baricentro, dando lugar a una altura mínima del paquete. En esta realización, las conexiones de las barras alternan en la dirección a través del plano para evitar la interferencia física de las barras durante el plegado o el despliegue.

Otra realización de la articulación de seis barras 410 se describe en las figuras 4A a 4D. Como se ilustra esquemáticamente, la cinemática puede extenderse, sin pérdida de estabilidad, a longitudes desiguales y lados no paralelos superior e inferior de la faceta cuadrilátera desplegada 410. Según esta realización, la estructura articulada de seis barras 410 incluye seis puntales articulados 41, 42, 43, 44, 45, 46, cada uno acoplado a otros dos por una unión giratoria 47 para formar un bucle cerrado. La estructura articulada de seis barras 410 es convertible de un estado desplegado (figura 4A) a un estado plegado (figura 4D) y viceversa. En el estado desplegado, la estructura articulada de seis barras 410 forma un cuadrilátero con todos los lados opuestos no paralelos, donde un primer y un segundo lado opuesto están formados por dos puntales 43, 44 y 45, 46 de diferente longitud dispuestos en serie y acoplados por la bisagra 47a o 47b. Los otros dos lados opuestos están no segmentados y formados por un puntal solamente (puntal 41 y puntal 42, respectivamente) en el estado plegado 410D, los dos puntales 43, 44; 45, 46 de los lados primero y segundo pivotan alrededor de sus bisagras de unión 47a, 47b. En esta realización, los procesos de plegado y despliegue más complejos pueden dar lugar a trayectorias no controladas y al riesgo de bloqueo durante el despliegue, especialmente cuando varias facetas están conectadas. Esto depende de los parámetros de diseño concretos, aunque puede resolverse, si es necesario, añadiendo una barra opcional 48, que se representa en las figuras 4A a 4D con una línea de trazos. Mediante la inserción de esta barra 48 de longitud constante, la cinemática se determina de forma única para cada mitad de la faceta, con la única condición de longitudes compatibles de los puntales 45, 46, 41 en función de la barra 48 y los puntales 43, 44, 42 en función de la barra 48. Esta barra estabilizadora 48 también proporciona mejor rigidez al despliegue, a costa de más masa y mayor tamaño del paquete.

Todas las articulaciones de seis barras y los esquemas de plegado antes descritos para la faceta de la celda unitaria pueden usarse como bloques de construcción modulares que permiten construir superficies doblemente curvadas sin elementos telescópicos o deslizantes. En adelante, esto se ilustra en base a la articulación de seis barras y el esquema de plegado representado en las figuras 1A a 1D, solamente por razones de brevedad.

Las figuras 5-7 ilustran esquemáticamente diferentes tipos de puntales poliédricos que tienen una forma de pirámide truncada poligonal en los que se usan articulaciones de seis barras, como se ha descrito anteriormente, como los bloques de construcción en cada una de las facetas laterales.

Como una primera realización, las figuras 5A a 5C ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de un entramado poliédrico que tiene forma de pirámide triangular truncada. Una realización alternativa se ilustra en las figuras 6A a 6C, que representan un entramado poliédrico 60 que tiene una forma de pirámide cuadrilátera truncada poligonal formada por articulaciones de seis barras de la presente invención en cada una de sus cuatro facetas laterales 610.

Los puntales poliédricos 50 y 60 están contruidos con articulaciones de seis barras, como se muestra en las figuras 1A a 1D, en cada una de las facetas laterales 510, 610 del entramado poliédrico 50, 60. El entramado poliédrico es convertible de un estado desplegado (figura 5A, figura 6A) a un estado plegado (figura 5C, figura 6C) y viceversa convirtiendo las articulaciones de seis barras de las facetas laterales 510, 610 del estado desplegado al estado plegado y viceversa. En el estado desplegado, el entramado poliédrico 50A, 60A tiene una forma piramidal truncada poligonal incluyendo anillos superiores 52, 62 e inferiores 53, 63 de puntales articulados 3, 4, 5, 6. El anillo superior 52 del entramado poliédrico en la figura 5A incluye tres segmentos de anillo, mientras que el anillo superior 62 del entramado poliédrico de la figura 6A incluye cuatro segmentos de anillo. Cada uno de los segmentos de anillo superiores está compuesto por dos puntales 3, 4 dispuestos en serie y acoplados por una unión giratoria 7a en el centro de los elementos de anillo superior. Los dos puntales 3, 4 corresponden a los dos puntales superiores 3, 4 de la articulación de seis barras representada, por ejemplo, en la figura 1A. Igualmente, el anillo inferior 62 incluye tres segmentos de anillo (o cuatro para el entramado poliédrico de la figura 6A) y cada uno de los segmentos de anillo inferior está compuesto por dos puntales 5, 6 dispuestos en serie y acoplados por una unión giratoria central 7b. Los anillos superiores 52, 62 e inferiores 53, 63 están conectados por los puntales 1, 2 que corresponden a los puntales 1, 2 de las articulaciones de seis barras representadas en las figuras 1A-3D, donde dos articulaciones de seis barras adyacentes están acopladas cinemáticamente compartiendo puntales casi verticales 1 o 2. Así, el entramado poliédrico 50 está compuesto por tres articulaciones de seis barras, donde dos articulaciones de seis barras adyacentes comparten un puntal casi vertical 1, 2, mientras que el entramado poliédrico 60 está compuesto por cuatro articulaciones de seis barras, donde dos articulaciones de seis barras adyacentes también comparten un

puntal casi vertical 1, 2.. Dado que el entramado poliédrico está compuesto por articulaciones de seis barras representadas en la figura 1A, el mismo número de referencia correspondiente a un puntal de la figura 1A se le asigna al puntal correspondiente en la realización representada en las figuras 5A a 5C y las figuras 6A a 6C para simplificar la descripción.

5 Las figuras 5A a 5C ilustran esquemáticamente la secuencia de plegado relativa al entramado poliédrico plegable que tiene una forma de pirámide triangular truncada, desde su configuración desplegada 50A (figura 5A), pasando por sucesivos estados parcialmente desplegados/plegados (figura 5B), al estado completamente plegado (figura 5C) del entramado poliédrico 50. Con el fin de no complicar los dibujos, solamente los anillos superior 52 e inferior 53 de los puntales articulados y los puntales casi verticales 1, 2 de las articulaciones de seis barras 510 se representan en las figuras 5A-5C, pero no las uniones giratorias 7a-7f situadas en cada uno de la esquina del entramado poliédrico y en el centro de los elementos de anillo superior e inferior.

15 Por ejemplo, en el estado parcialmente desplegado/plegado representado en la figura 5B, los puntales de los segmentos de anillo superior e inferior han pivotado o girado con respecto a las uniones de bisagra de esquina. El plegado y/o el despliegue se realiza de tal forma que el plegado sea compatible con respecto a todas las facetas 510, lo que se logra haciendo los puntales casi verticales 1, 2 de las articulaciones de seis barras convergentes en un punto de plegado al convertir el entramado poliédrico 50 de un estado desplegado a un estado plegado. Los puntales 3, 4, 5, 6 que forman los anillos superior 52 e inferior 53 están articulados en un plano de faceta y montados en pivote con respecto a los puntales casi verticales 1, 2 de modo que el ángulo diédrico se reduce al convertir el entramado poliédrico del estado desplegado al estado plegado. Preferiblemente, las uniones giratorias centrales 7a y 7b son precargadas elásticamente para proporcionar una fuerza de despliegue a dichos puntales 3, 4, 5, 6 que forman los anillos superior 52 e inferior 53 al cambiar del estado plegado al estado desplegado. Esto se explica con más detalle en las figuras 10A a 10D. Una ventaja particular del principio de construcción propuesto es que solamente se precisan las uniones de bisagra. Los tres grados de libertad de esta articulación de seis barras son controlados por la construcción geométrica de la celda unitaria 50, la sincronización de las rotaciones de las facetas contiguas 510 y la estructura de anillo cerrada. Se representa un esquema de plegado correspondiente en las figuras 6A a 6C con respecto al entramado poliédrico cuadrilátero.

30 Las figuras 7A y 7B ilustran esquemáticamente una vista en perspectiva y una vista lateral de un entramado poliédrico 70 que tiene una forma hexagonal truncada en el estado desplegado según otra realización de la invención. De forma similar a los puntales poliédricos representados en las figuras 5A y 6A, el entramado poliédrico 70 incluye las articulaciones de seis barras representadas en la figura 1A en cada una de las facetas laterales 710 del entramado poliédrico 70. El entramado poliédrico 70 incluye además una corredera 8 como un medio de sincronización en las esquinas superiores que acoplan dos facetas laterales adyacentes 710. Los detalles de la corredera 8 se representan en la figura 8 que ilustra esquemáticamente una unión superior con una corredera de un entramado poliédrico según una realización de la invención. La corredera incluye dos barras 8 que acoplan el puntal casi vertical 1, 2 con un puntal 3, 4 del anillo superior y baja los puntales casi verticales 1, 2, cuando el entramado poliédrico es convertido del estado desplegado al estado plegado.

40 Las figuras 9A, 9B ilustran esquemáticamente una vista frontal y una vista despiezada de una unión giratoria inferior de un entramado poliédrico donde se usan cojinetes de bolas apropiados para la reducción del rozamiento y el control de la holgura de las uniones. En principio, solamente son necesarias las uniones giratorias (bisagras 1 DOF) en cada junta, lo que es una mejora significativa en comparación con la técnica anterior. La unión inferior incluye una parte oscilante inferior 93 y otra superior 94 que permiten la oscilación de las facetas del entramado poliédrico. La parte oscilante inferior 93 está fijada al eje del puntal casi vertical 1, 2 y la superior 94 puede girar por medio de cojinetes. Ambas partes oscilantes 93, 94 incluyen un contacto de tope final. También hay oscilación en la unión superior (véase la figura 8). Todos los puntales de anillo 3, 4, 5, 6 de los anillos superior e inferior están articulados en el plano de faceta, pero también oscilados con respecto al puntal casi vertical 1, 2 al que están conectados, con el fin de liberar el ángulo diédrico entre facetas laterales. La razón es que, debido a la secuencia de plegado, en un primer ejemplo los ángulos de los puntales casi verticales pueden mantenerse constantes con el fin de seguir un único recorrido de transformación como se ilustra en las figuras 1A a 1C. Cuando convergen las partes superiores de los puntales casi verticales 1, 2 (véase la figura 1C), el paso siguiente es reducir los ángulos diédricos de faceta, de manera que sean capaces de cerrar más el paquete a un haz de barras alineadas. Ésta es la secuencia de plegado de la faceta que se representa en las figuras 1A a 1D. El último paso (correspondiente al plegado de las articulaciones de seis barras en las facetas laterales representado en las figuras 1C a 1D) es aquel en el que el ángulo diédrico tiene que ser reducido a su valor mínimo, definido por el prisma poligonal correspondiente, por ejemplo 120 grados en el caso de la celda unitaria hexagonal regular. El despliegue sigue el recorrido inverso determinado de forma única: en primer lugar, se libera el extremo inferior de los puntales casi verticales y, por lo tanto, el anillo inferior intenta expandirse inicialmente, empujando los ángulos diédricos de faceta de modo que lleguen a su valor de tope (el de la pirámide conteniendo la celda unitaria). Este ángulo sólo es ligeramente mayor que con respecto al prisma correspondiente en los casos de superficies moderadamente curvadas. La segunda fase es una liberación controlada de todas las facetas conectadas sincrónicamente, que se expanden manteniendo constantes los diedros de facetas, lo que, de hecho, fija el ángulo de los puntales casi verticales. Dados los grados de libertad de tal puntal, es preferible precargar elásticamente varias uniones, especialmente las uniones 7a, 7b en el medio de las barras superiores e inferiores, para motorización, pero principalmente el control de las trayectorias a

lo largo de un recorrido determinado de forma única. En este caso, las bisagras en las uniones de esquina de perímetro exterior son bisagras pasivas (no accionadas). Además de la secuencia de plegado y liberación antes descrita, también es posible una operación combinada o simultánea, con la ventaja de reducir la complejidad de los pasos de liberación, pero con el riesgo de llegar a puntos de despliegue singulares cuando las relaciones geométricas no se estudian atentamente.

Se ilustran uniones elásticamente precargadas en las figuras 10A y 10B que muestran esquemáticamente una vista en perspectiva y una vista superior de una bisagra de empuje por muelle según una realización de la invención. Los puntales 3 y 4 del anillo superior están acoplados usando una unión giratoria incluyendo un muelle helicoidal 95 que es precargado elásticamente para proporcionar una fuerza de despliegue para el despliegue de la estructura de soporte estibada. Según otra realización ilustrada en la figura 10C, en lugar de una bisagra de empuje por muelle, puede emplearse una bisagra elástica ranurada 96 en un tubo continuo. Otra alternativa se ilustra esquemáticamente en la figura 10D que representa diferentes vistas de una bisagra respectiva que incluye un accionamiento eléctrico y un engranaje sinfin 97 en el eje de salida de motor que está configurado para transmitir potencia a través de una bisagra de accionamiento para efectuar su apertura o cierre. El movimiento sincrónico de las bisagras con un mecanismo de movimiento representado en alguna de las figuras 10A a 10D permite plegar la estructura de manera coherente con el despliegue sincrónico accionado. Idealmente, para un entorno de despliegue en el espacio (tal como una antena de satélite), donde las fuerzas gravitacionales son casi cero, la fuerza requerida para abrir la bisagra deberá ser mínima. Sin embargo, para aplicaciones terrestres, las cargas de despliegue pueden ser significativas.

La explicación relativa al puntal desplegable según la presente invención se ha completado como se ha descrito anteriormente. Ahora, se describirá más adelante un conjunto modular y/o una antena modular desplegable conteniendo los puntales desplegados antes descritos como los módulos básicos. La celda unitaria (puntales poliédricos) descrita en las figuras 5 a 7 puede ser usada como bloques de construcción modulares para construir conjuntos modulares donde los puntales poliédricos contiguos comparten una faceta lateral. A modo de ejemplo, las figuras 11A a 11C ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un conjunto modular 110 con puntales poliédricos del mismo tipo que las celdas unitarias según una realización de la invención. El conjunto modular según la realización representada en la figura 11A se forma combinando múltiples módulos 70 teniendo cada uno una forma de pirámide truncada hexagonal, donde los módulos 70 están conectados a módulos adyacentes compartiendo una faceta o superficie lateral. Según otra realización, las figuras 12A y 12B ilustran esquemáticamente diferentes vistas de un conjunto modular 120 con puntales poliédricos de diferentes tipos. La estructura esférica aproximada se caracteriza por proporcionar un módulo básico 80 formado en forma de una pirámide truncada pentagonal regular, y módulos radialmente situados 70 teniendo cada uno una forma de una pirámide truncada hexagonal con el fin de aproximarse a una superficie esférica.

Una ventaja de la presente invención es la simplicidad de la construcción descrita ilustrada en las figuras 11-12. Las celdas contiguas comparten facetas y, por lo tanto, están sincronizadas automáticamente. La diferencia de esta invención con respecto a la técnica anterior es que, con dicha cinemática de faceta y celda unitaria, la celda unitaria puede ser cualquier pirámide truncada poligonal y pueden combinarse varios polígonos diferentes, incluso irregulares. Una realización que combina hexágonos 70 y pentágonos 80 se representa en las figuras 12A y 12B. Cada módulo exhibe también propiedades de escalabilidad, pero requiere una menor cantidad de elementos estructurales y bisagras que las construcciones similares conocidas de la técnica. Esto incrementa, por lo tanto, la flexibilidad del diseño en comparación con la técnica anterior. La rigidez de la configuración desplegada se logra por la geometría de las facetas y la distribución de inercia. Además, los dispositivos de sincronización aumentan la rigidez, así como la posibilidad de controlar los dispositivos de liberación en una dirección invertida cuando la estructura se despliega y retiene. Se puede elegir una arquitectura de celda única o múltiples. Por lo tanto, cada módulo tiene una base geométrica y cinemática simple, que permite estibar los puntales de manera eficiente y también garantiza un despliegue controlado, masa reducida y mejor estabilidad. Como se apreciará por la descripción anterior, configurar un conjunto modular de esta manera en base a un entramado poliédrico como una celda unitaria que, a su vez, se basa en la estructura de soporte articulada de seis barras permite usar las celdas unitarias como 'bloques de construcción' que pueden ser replicados e interconectados a otros puntales poliédricos compartiendo una faceta para realizar una arquitectura poligonal modular de un número arbitrario de unidades. Así, el tamaño del conjunto modular puede incrementarse añadiendo más celdas unitarias (puntales poliédricos).

En la técnica anterior, la geometría celular requiere regularidad y un número par de lados del polígono. Por contraposición, dichas limitaciones ya no son necesarias usando las celdas unitarias propuestas en las figuras 5 a 7. La cinemática definida para dicha celda unitaria permite usar polígonos irregulares de cualquier número de lados, desde el tetraedro truncado hasta cualquier número de lados. La celda unitaria puede ser empaquetada en una línea. El único punto a considerar en este caso son las diversas longitudes de los puntales de plegado. Una construcción de celdas múltiples con arquitectura irregular es posible. Esto puede permitir optimizar la distribución de puntales para rigidez, masa, exactitud de forma y estabilidad.

La flexibilidad de esta arquitectura modular se ilustra en las figuras 13A a 13D que ilustran esquemáticamente una secuencia de plegado de un conjunto modular 130, donde una combinación de módulos rectangulares y triangulares forma una estructura desplegable de un reflector, que puede proporcionar optimización para rigidez y masa en la

configuración desplegada, así como control de forma optimizado de las porciones de la malla o membrana reflectora que requieren más exactitud superficial.

5 Se ilustra otro ejemplo en las figuras 14A a 14D en las que se ilustra una secuencia de plegado de un conjunto modular del tipo de anillo 140 en base a celdas unitarias hexaédricas 60. Esta realización da lugar a una construcción de masa muy eficiente y rígida en comparación con la técnica anterior. El tamaño del conjunto modular puede incrementarse añadiendo más celdas unitarias.

10 La figura 15 ilustra esquemáticamente una línea de control de liberación 9 de una celda unitaria según una realización de la invención. El control de los grados de libertad para despliegue determinado de forma única y construcción isostática se describe a continuación. El principio de accionamiento se basa en una distribución fiable de accionadores elásticos rotacionales o alternativamente bisagras elásticas o motores eléctricos. Los accionadores elásticos o las bisagras elásticas son preferibles porque no precisan líneas de potencia en la estructura. De nuevo, para no complicar innecesariamente los dibujos, solamente se representan el entramado poliédrico triangular de la celda unitaria y las líneas de control de liberación 9 en las facetas laterales 10, pero no detalles de construcción tales como las bisagras 7 o el mecanismo para uniones elásticamente precargadas (véase las figuras 10A-10D para una vista más detallada de los accionadores elásticos rotacionales o alternativamente las bisagras elásticas o los motores eléctricos). La redundancia y la fiabilidad se incrementan mediante sincronización. La energía elástica almacenada en los muelles o las bisagras proporciona la motorización de despliegue, así como el control de los grados de libertad del sistema. La velocidad de despliegue es controlada con un cable 9 liberado con un accionador eléctrico (no representado) para cada una o para varias celdas. Esto se puede ver en la figura 15 para el caso particular de la celda piramidal triangular 150. Las líneas de control de liberación 9 están unidas a las bisagras centrales 7a del anillo superior 52 y se extienden a través de las diagonales de las facetas 10. Esta línea de liberación puede ser un solo cable desenrollado de un solo accionador. La sincronización de esquinas contiguas, la condición límite cíclica dentro de la celda, los topes de ángulos diédricos de faceta y la longitud controlada del cable de liberación son los medios de garantizar la unicidad del recorrido de despliegue. El recorrido de despliegue ideal es la transformación simétrica y homotética de la geometría, que es un estado de mínima energía y, por lo tanto, estable en el caso de despliegue casi estático. Otra realización de celda unitaria incluyendo una línea de control de liberación 9 y la secuencia de plegado/despliegue correspondiente se ilustra en las figuras 16A a 16c. Igual que con la celda piramidal triangular representada en la figura 15, el entramado poliédrico hexagonal 160 incluye líneas de control de liberación 9 en las facetas laterales que están unidas a las bisagras centrales 7a del anillo superior y se extienden a través de las diagonales de las facetas. La energía elástica almacenada en los muelles o las bisagras se libera entonces por medio de las líneas de control 9 para transformar la celda hexagonal 160 del estado plegado al desplegado.

35 Con el fin de usar el conjunto modular basado en los puntales poliédricos y las articulaciones de seis barras como un reflector de antena para redes de comunicaciones por satélite, se puede montar una malla continua en la cara reflectora, preferiblemente equilibrada por una arquitectura casi simétrica (no representada). Esto puede eliminar problemas de periodicidad de la superficie reflectora (y por lo tanto los lóbulos de rejilla) por discontinuidades de la estructura de refuerzo, así como potenciales fuentes de intermodulación pasiva. Como una solución alternativa, se puede usar una concha-membrana construida con silicona reforzada con fibra de carbono. Este tipo de superficie no requiere pretensión y, por lo tanto, permite reducir los requisitos de motorización, así como controlar los errores de superficie debidos a tensión, tal como facetado y almohadillado (inversión de curvatura en membranas tensadas). La arquitectura de antena de la presente invención implementa fácilmente técnicas para soportar una malla metálica tensada, pero no se limita a solamente estos tipos de superficies. La estructura novedosa, especialmente la configuración sin plegado, puede soportar cualquier tipo de superficie, ya sea sólida o porosa, tensada o no. Usando materiales estándar aptos para aplicaciones espaciales, la estabilidad de la estructura novedosa cumplirá los requisitos de una forma de reflector exacta. La geometría y masa pequeña de la arquitectura de la invención proporciona una rigidez significativa y mínima inercia para reducir las distorsiones dinámicas. Además, el uso de materiales de bajo coeficiente de expansión térmica asegura el mantenimiento de la precisión geométrica cuando se somete al entorno térmico extremo del espacio. Como una opción preferida, el material de los puntales deberá ser plástico reforzado con fibra de carbono o cualquier otro material de propiedades similares, con el fin de reducir las expansiones térmicas y aumentar la relación de rigidez a masa.

50 Otro aspecto importante de la invención es la propiedad de escalabilidad. Ésta se entiende como la posibilidad de cambiar las dimensiones de la estructura articulada de seis barras, así como la celda unitaria construida con articulaciones de seis barras, dentro de un cierto rango. Esto permite cubrir varias dimensiones de la estructura desplegada, adaptando simplemente el tamaño de la celda unitaria consiguientemente. El beneficio de esta capacidad de escala es la reducción del costo de desarrollo. El método de escala incluye la consideración de la rigidez y estabilidad desplegada, la masa general y las dimensiones del paquete plegado.

60 La presente invención también tiene aplicaciones en ingeniería civil. Las estructuras desplegables también pueden emplearse para construcciones de edificios en tierra, alojamientos temporales y permanentes, entramado de techos de alojamientos convencionales, grandes cúpulas y puentes extensibles, entre otros. La estructura puede desplegarse in situ después del montaje en una factoría y el transporte en estado plegado. El principio de despliegue también opera bajo gravedad a condición de que la estructura se soporte adecuadamente durante el despliegue y

5 las vigas y sus uniones hayan sido correctamente dimensionadas para las cargas. El accionamiento por bisagras elásticas podría ser sustituido por accionadores eléctricos, lo que también proporcionaría reversibilidad, si fuese necesario. En el caso de dimensiones muy grandes, la arquitectura modular es entonces la más adecuada. Un ejemplo se ilustra en la figura 17 que representa esquemáticamente una construcción 170 en estado desplegado basado en celdas unitarias triangulares 11 y cuadriláteras 10 según una realización de la invención. La construcción 170 podría ser la cúpula de un edificio circular grande o una tienda plegable, dependiendo de las secciones transversales y las dimensiones de las vigas. La cinemática del despliegue es la descrita con respecto al reflector espacial, con la diferencia de que durante el despliegue se precisa un mástil central que se puede quitar cuando la estructura está desplegada y la estructura desplegada se soporta en los bordes. Las dobles capas resultantes de barras o vigas proporcionan rigidez y resistencia a la construcción, así como espacio para aislamiento entre el techo exterior y el techo concéntrico interior.

15 El caso de una celda unitaria de pirámide truncada hexagonal (véase las figuras 7A y 7B) se ha modelado en CAD y un modelo de simulación no lineal de elementos finitos, incluyendo accionamiento en bisagras relevante y par resistivo, con el fin de verificar analíticamente la cinemática del plegado y del despliegue, así como el accionamiento con una liberación de cable. Esto se ha realizado con respecto a la celda unitaria hexagonal 160, cuyos resultados se exponen en las figuras 18A a 18D, así como con respecto a la construcción de múltiples celdas que implican hexágonos y pentágonos 190, cuyos resultados se exponen en las figuras 19A a 19D. Los resultados son que las facetas de articulación de seis barras pueden plegarse y desplegarse manteniendo la compatibilidad con las facetas contiguas y la estructura puede desplegarse de forma especialmente controlada.

20 Las características, los componentes y los detalles específicos de la estructura de las realizaciones antes descritas pueden intercambiarse o combinarse para formar otras realizaciones optimizadas para la respectiva aplicación según las reivindicaciones anexas.

25

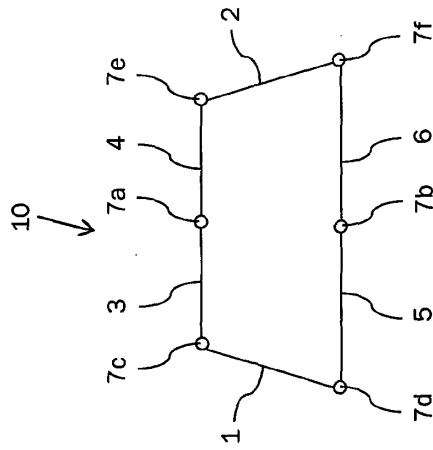
REIVINDICACIONES

1. Un entramado poliédrico construido con articulaciones de seis barras en cada faceta lateral del entramado poliédrico, incluyendo cada estructura articulada de seis barras seis puntales articulados (1, 2, 3, 4, 5, 6), cada uno de ellos acoplado a otros dos mediante una unión giratoria (7) para formar un bucle cerrado;
- siendo convertible la estructura articulada de seis barras (10) de un estado desplegado (10A) a un estado plegado (10D) y viceversa; en el estado desplegado (10A), la estructura articulada de seis barras (10) forma un trapecio con dos lados paralelos opuestos primero y segundo, formándose cada uno de los lados paralelos opuestos primero y segundo por dos puntales (3, 4; 5, 6) dispuestos en serie y acoplados por una unión giratoria central (7a; 7b) en el centro de los lados paralelos primero y segundo; y
- en el estado plegado (10D), los dos puntales (3, 4) del primer lado paralelo pivotan alrededor de una primera unión giratoria central (7a) de manera que las porciones de extremo opuesto (3c, 4e) de los dos puntales (3, 4) estén yuxtapuestas y los dos puntales (5, 6) del segundo lado paralelo pivotan alrededor de una segunda unión giratoria central (7b) de manera que las porciones de extremo opuesto (5f, 5g) de los dos puntales (5, 6) estén yuxtapuestas; donde el entramado poliédrico es convertible de un estado desplegado a un estado plegado y viceversa convirtiendo las articulaciones de seis barras de las facetas laterales (510; 610; 710) del estado desplegado al estado plegado y viceversa; **caracterizado porque**, en el estado desplegado, el entramado poliédrico (50; 60; 70) tiene una forma de pirámide truncada incluyendo un anillo superior e inferior de entramados articulados (3, 4, 5, 6).
2. El entramado poliédrico según la reivindicación 1, donde las uniones giratorias centrales primera (7a) y segunda (7b) se alejan una de otra cuando la articulación de seis barras (10) está siendo plegada del estado desplegado (10A) al estado plegado (10D).
3. El entramado poliédrico según la reivindicación 1, donde las uniones giratorias centrales primera (7a) y segunda (7b) se aproximan inicialmente una a otra cuando la articulación de seis barras está siendo plegada del estado desplegado (10A) al estado plegado (10D).
4. Un entramado poliédrico construido con articulaciones de seis barras en cada faceta lateral del entramado poliédrico, incluyendo cada estructura articulada de seis barras seis puntales articulados (41, 42, 43, 44, 45, 46), cada uno acoplado a otros dos mediante una unión giratoria (7) para formar un bucle cerrado;
- siendo convertible la estructura articulada de seis barras (10) de un estado desplegado (410A) a un estado plegado (410D) y viceversa; **caracterizado porque**
- en el estado desplegado (410A), la estructura articulada de seis barras (410) forma un cuadrilátero con todos los lados opuestos no paralelos, formándose cada uno de los lados opuestos primero y segundo por dos puntales (43, 44; 45, 46) de diferente longitud dispuestos en serie y acoplados por una bisagra (7a; 7b); y
- en el estado plegado (410D), los dos puntales (43, 44; 45, 46) de los lados primero y segundo pivotan alrededor de sus bisagras de unión (7a, 7b).
5. Un entramado poliédrico según la reivindicación 4, donde el entramado poliédrico es convertible de un estado desplegado a un estado plegado y viceversa convirtiendo las articulaciones de seis barras de las facetas laterales (510; 610; 710) del estado desplegado al estado plegado y viceversa; y
- en estado desplegado, el entramado poliédrico (50; 60; 70) con forma de pirámide truncada poligonal incluye un anillo superior e inferior de puntales articulados (3, 4, 5, 6).
6. Un entramado poliédrico según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3 o 5, donde los puntales (1, 2) de los lados no paralelos de las articulaciones de seis barras (10) convergen hacia un punto de plegado al convertir el entramado poliédrico (50; 60; 70) de un estado desplegado a un estado plegado.
7. Un entramado poliédrico según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, 5 o 6, estando elásticamente precargadas al menos algunas de las uniones giratorias (7) para proporcionar una fuerza de despliegue a dichos puntales (3, 4, 5, 6) que forman el anillo superior (52; 62; 72; 72) y el anillo inferior (53; 63; 73) al cambiar del estado plegado al estado desplegado.
8. Un entramado poliédrico según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3 o cualquiera de las reivindicaciones anteriores 5 a 7, incluyendo además un medio de sincronización (8), acoplado al menos una esquina dos caras laterales adyacentes (510; 610; 710).
9. Un entramado poliédrico según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3 o cualquiera de las reivindicaciones precedentes 5 a 8, los puntales (3, 4, 5, 6) que forman el anillo superior (52; 62; 72) y el inferior (53; 63; 73) están

articulados en un plano de faceta y montados con pivote con respecto a los puntales no paralelos (1, 2) de modo que un ángulo diédrico se reduce al convertir el entramado poliédrico del estado desplegado al estado plegado.

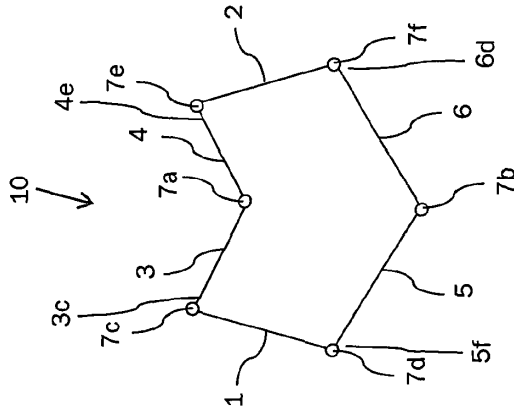
- 5 10. Un entramado poliédrico según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3 o cualquiera de las reivindicaciones precedentes 5 a 9, teniendo el entramado poliédrico una forma de pirámide truncada (70) en el estado desplegado.
- 10 11. Un entramado poliédrico según la reivindicación 10, teniendo el entramado poliédrico, en el estado desplegado, una forma de pirámide hexagonal truncada (70), una forma de pirámide triangular truncada (50A), una forma de pirámide cuadrilátera truncada (60A) o una forma de pirámide pentagonal truncada (80).
- 15 12. Un entramado poliédrico según la reivindicación 7 o cualquiera de las reivindicaciones precedentes 8 a 11 en cuando dependientes de la reivindicación 7, donde una velocidad de despliegue de las uniones (7) que están elásticamente precargadas, se regula con un accionador eléctrico conectado con una línea de control (9) montada en las uniones giratorias elásticamente precargadas (7) del anillo superior e inferior.
- 20 13. Un conjunto modular incluyendo múltiples puntales poliédricos según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3 o cualquiera de las reivindicaciones precedentes 5 a 12, donde puntales poliédricos contiguos comparten una faceta lateral, siendo los puntales poliédricos del mismo tipo, o donde se combinan puntales poliédricos de diferentes tipos.
- 25 14. Reflector o estructura de antena desplegable incluyendo un conjunto modular según la reivindicación precedente 13, incluyendo además una malla continua de una arquitectura casi simétrica o una concha-membrana montada como la superficie reflectora en las facetas superiores de los puntales poliédricos.
15. Reflector o estructura de antena desplegable incluyendo un conjunto modular según la reivindicación 13, incluyendo además una malla continua de una arquitectura casi simétrica o una concha-membrana montada como la superficie reflectora en las facetas superiores de los puntales poliédricos, cubriendo un rango de dimensiones con características mecánicas similares.

Fig. 1A



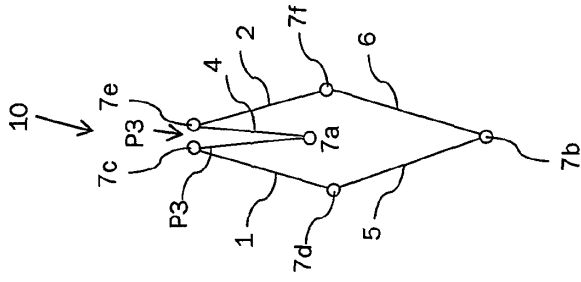
10A

Fig. 1B



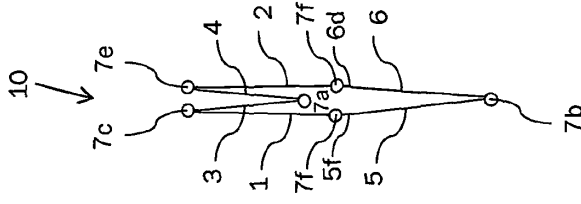
10B

Fig. 1C



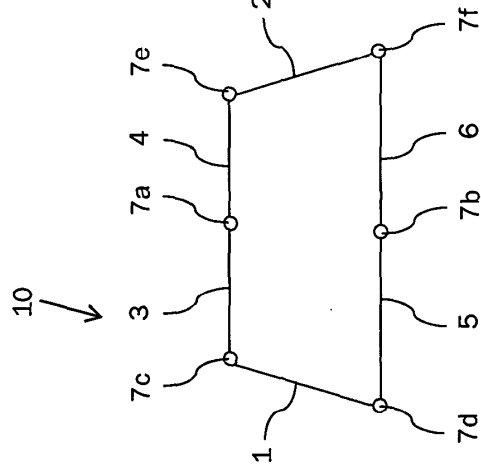
10C

Fig. 1D



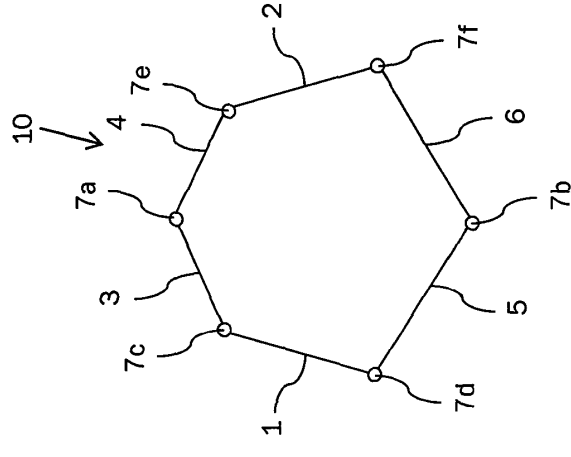
10D

Fig. 2A



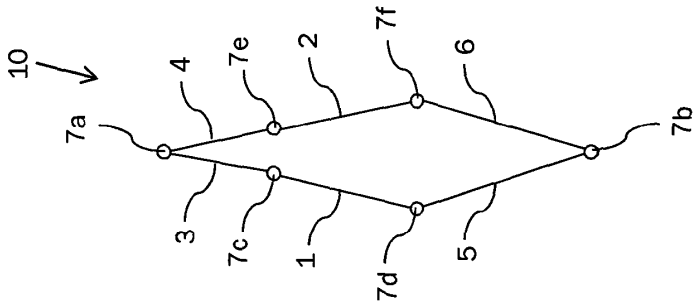
10A

Fig. 2B



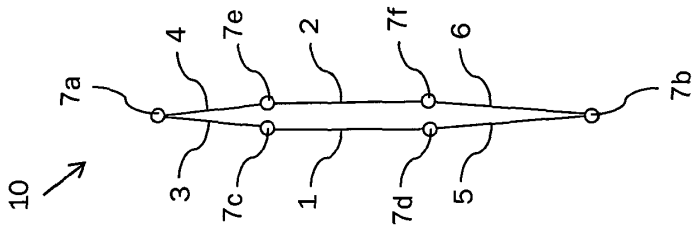
10B

Fig. 2C



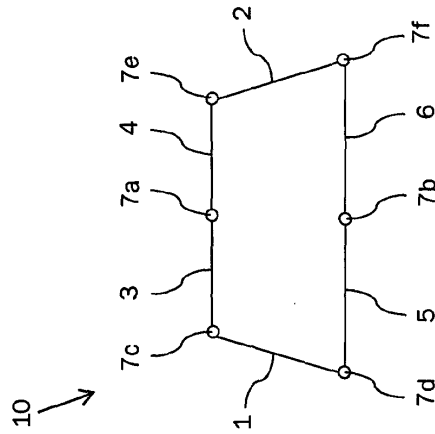
10C

Fig. 2D



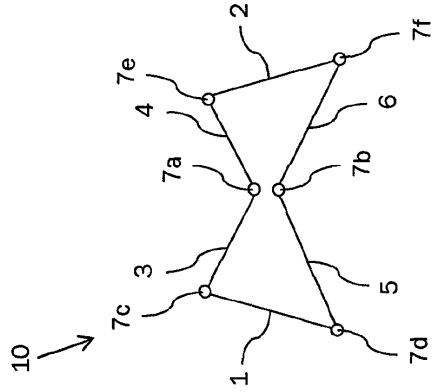
10D

Fig. 3A



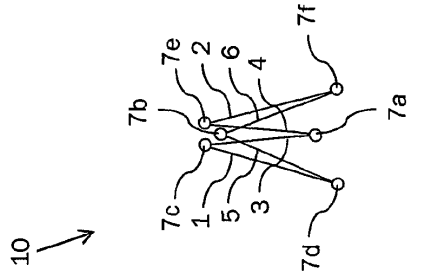
10A

Fig. 3B



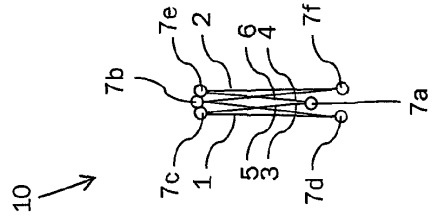
10B

Fig. 3C



10C

Fig. 3D



10D

Fig. 4D

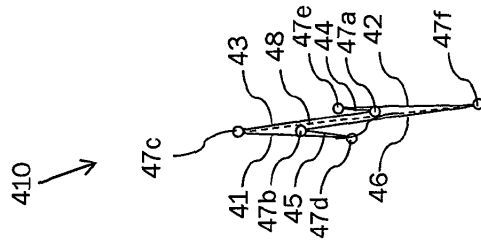


Fig. 4C

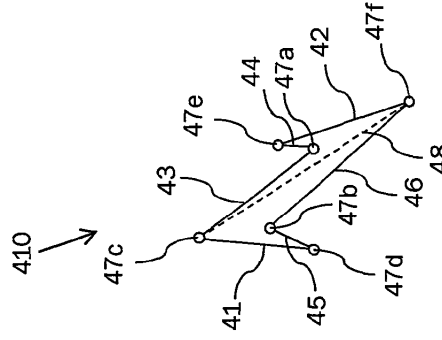


Fig. 4B

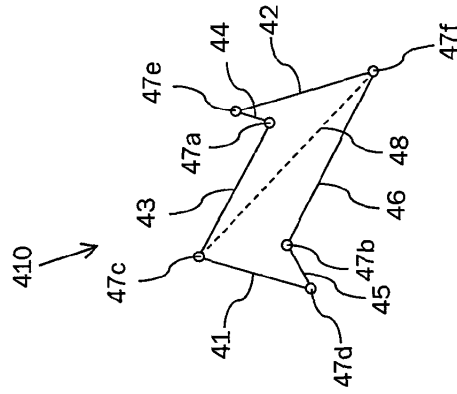
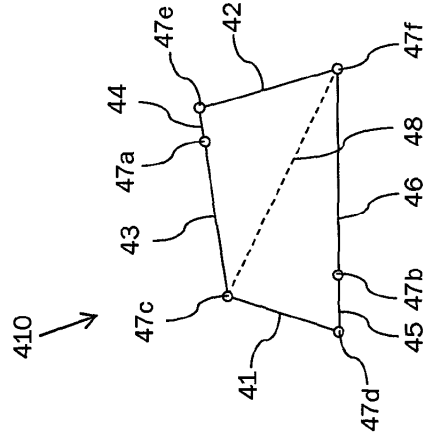


Fig. 4A



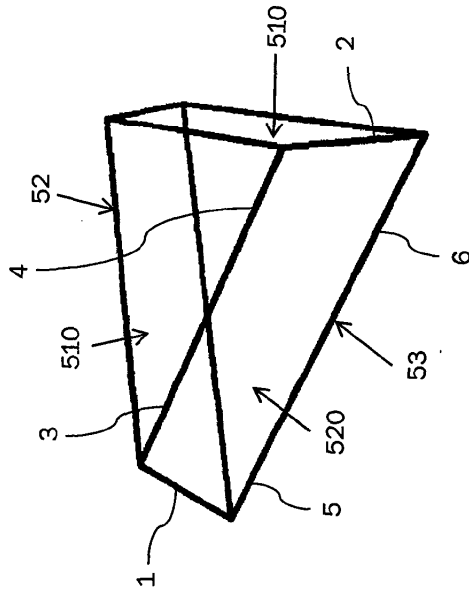
410D

410C

410B

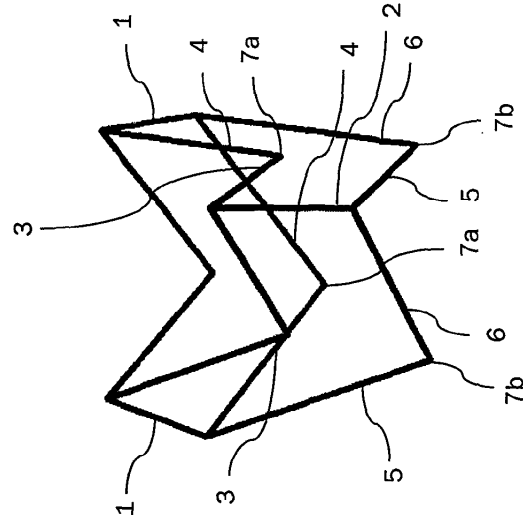
410A

Fig. 5A



50A

Fig. 5B



50B

Fig. 5C



50C

Fig. 6C



Fig. 6B

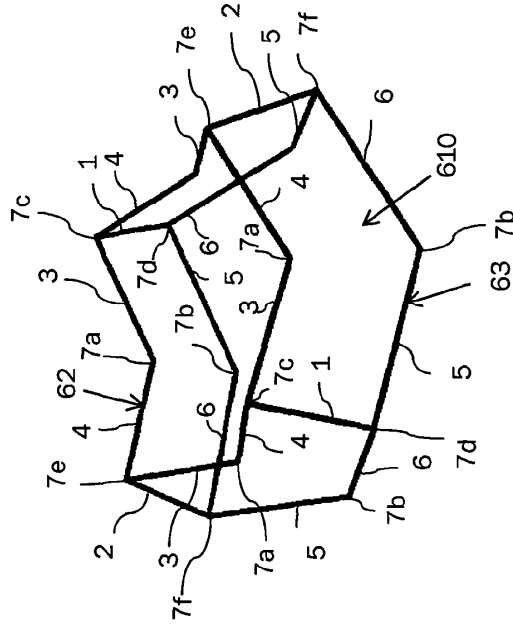
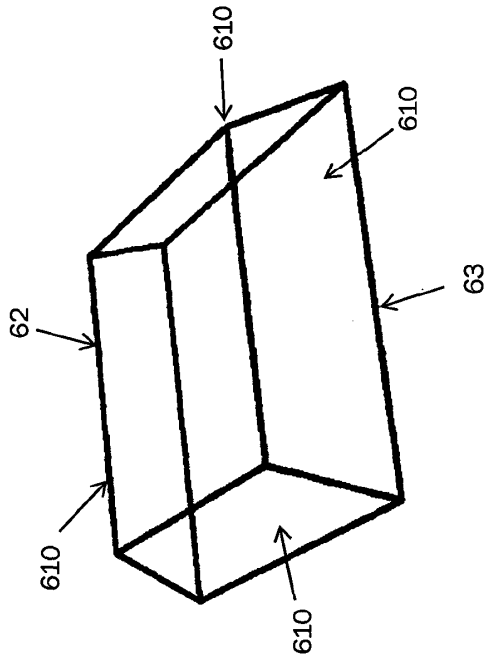


Fig. 6A



60C

60B

60A

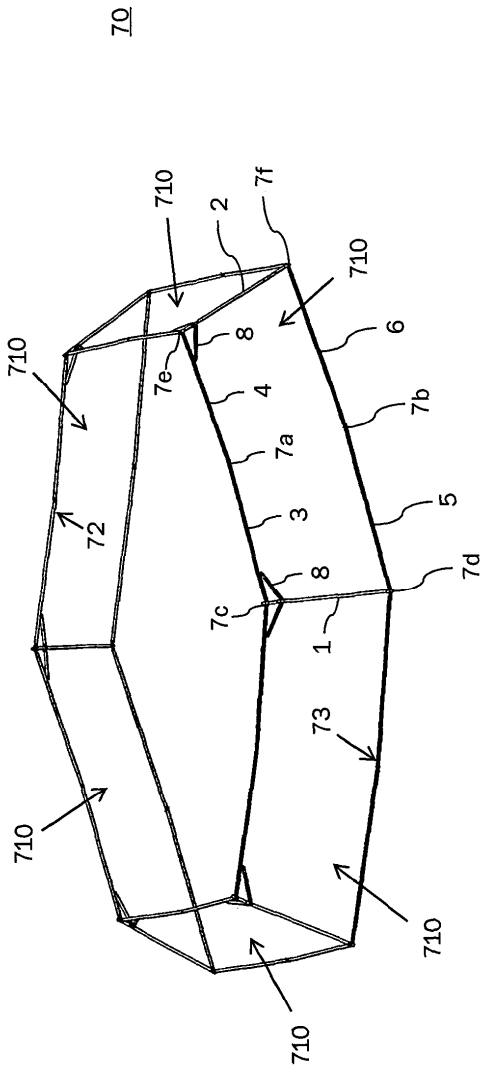


Fig. 7A

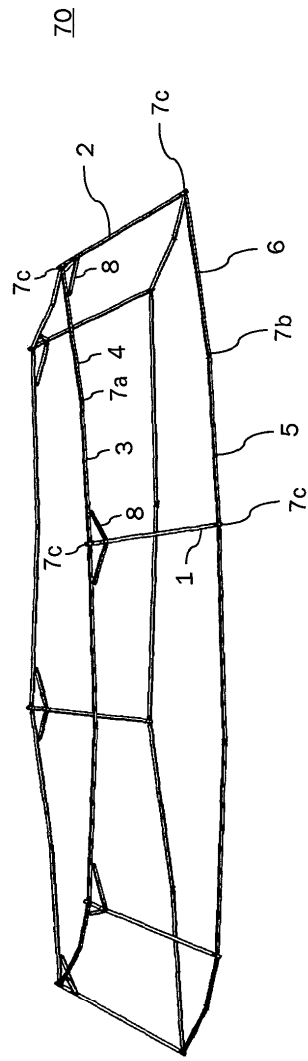


Fig. 7B

Fig. 8

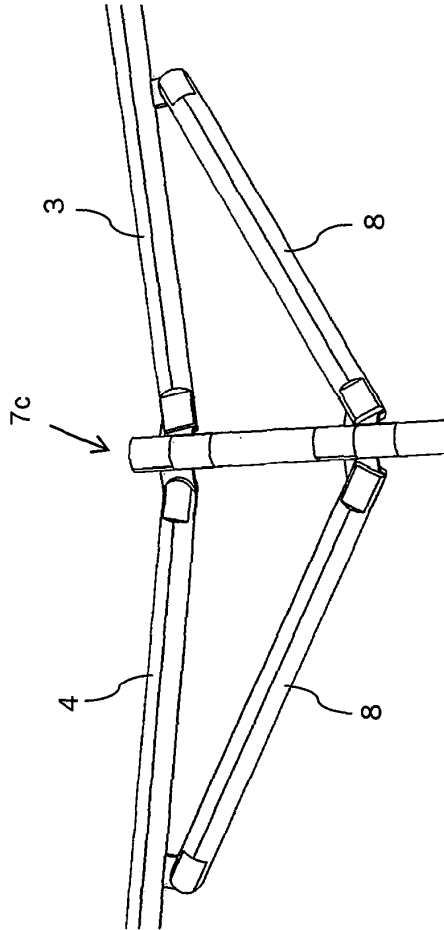


Fig. 9B

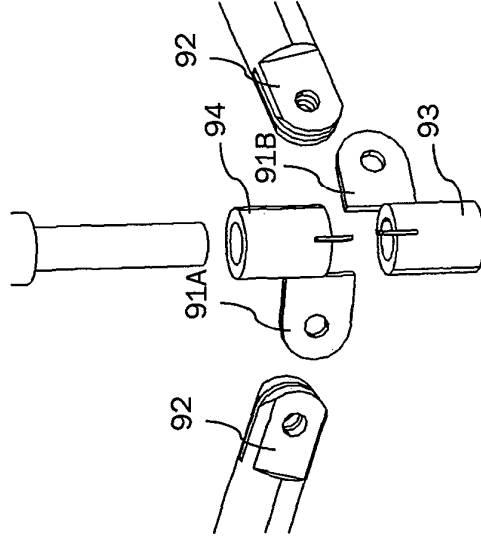


Fig. 9A

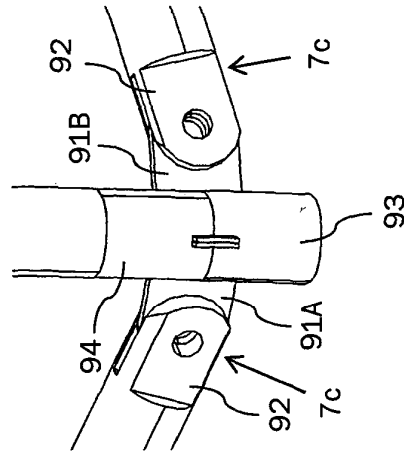


Fig. 10B

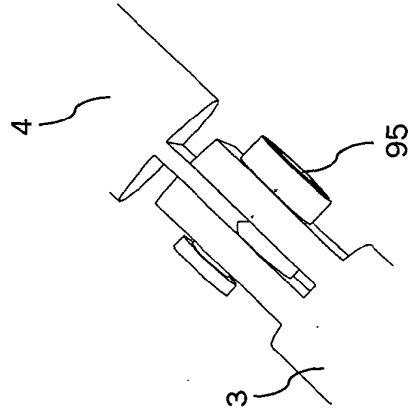


Fig. 10A

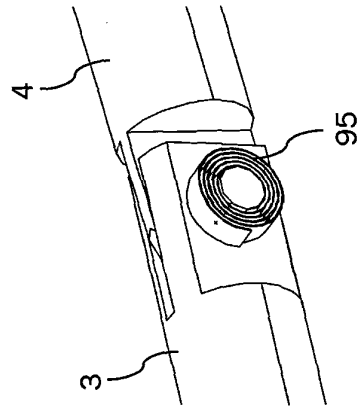


Fig. 10D

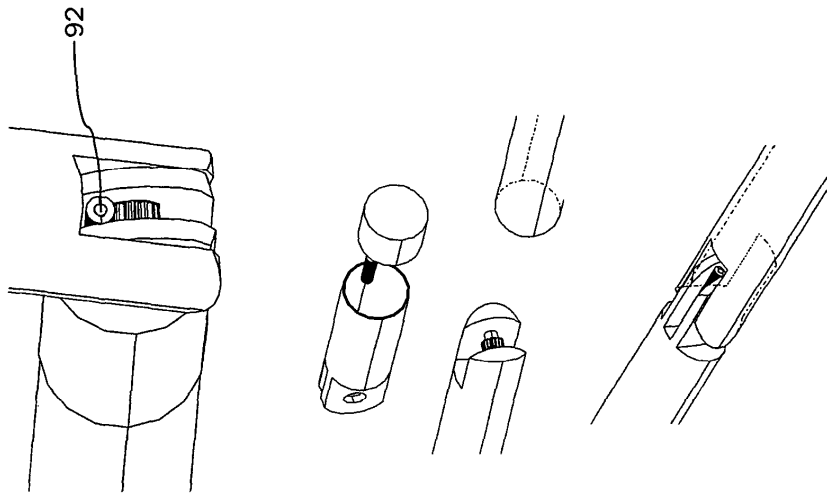


Fig. 10C

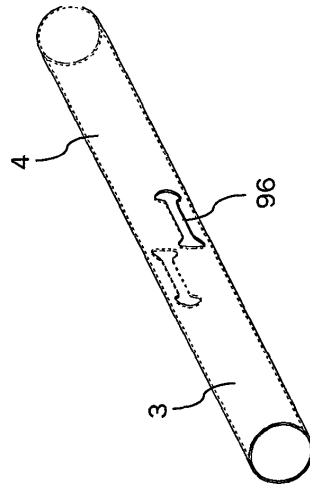
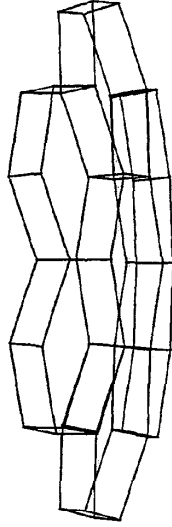
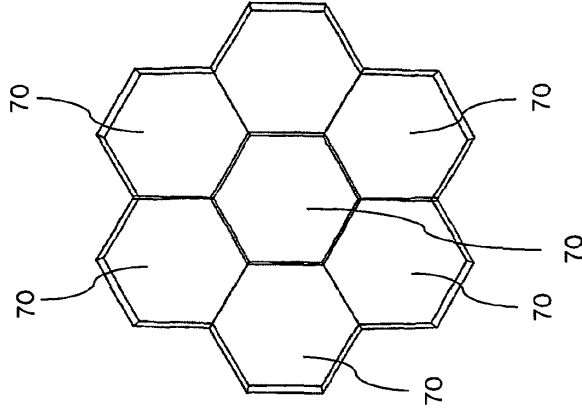


Fig. 11C



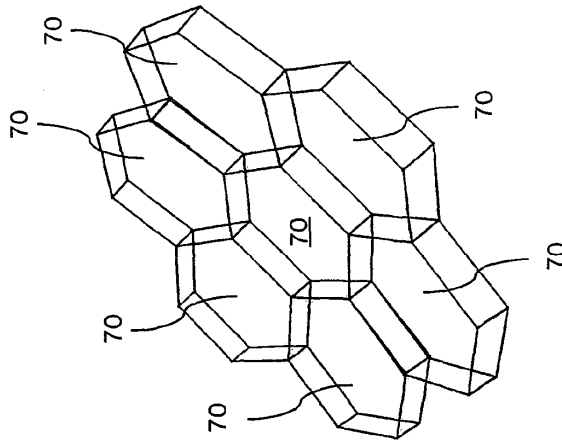
110

Fig. 11B



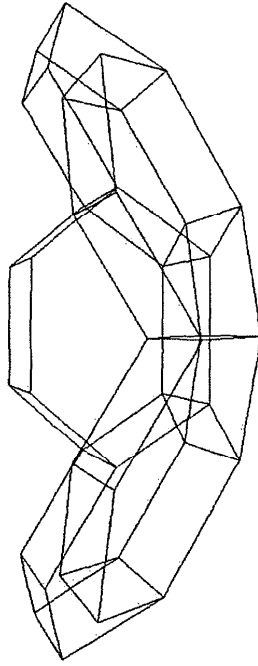
110

Fig. 11A



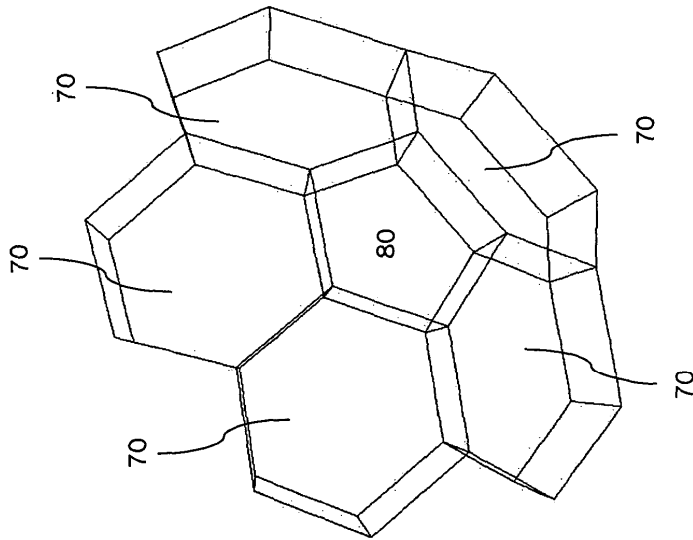
110

Fig. 12B



120

Fig. 12A



120

Fig. 13B

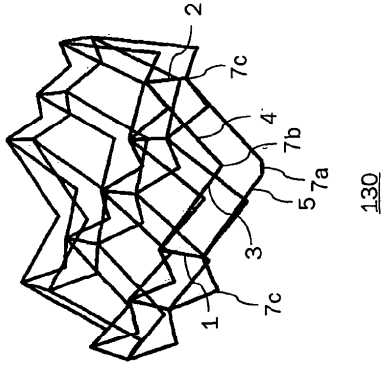


Fig. 13D



Fig. 13A

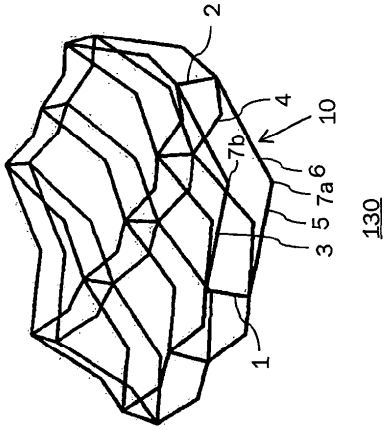


Fig. 13C

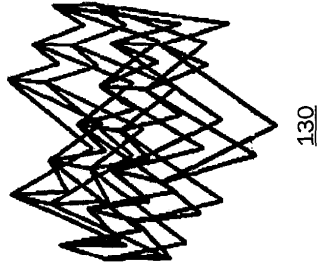
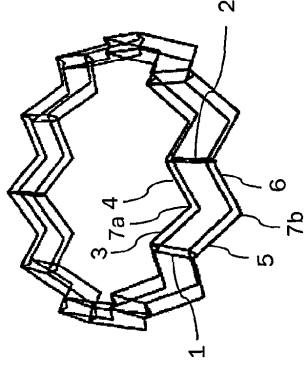


Fig. 14B



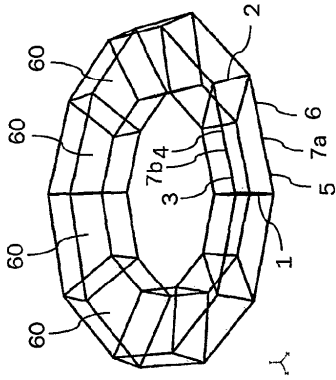
140

Fig. 14D



140

Fig. 14A



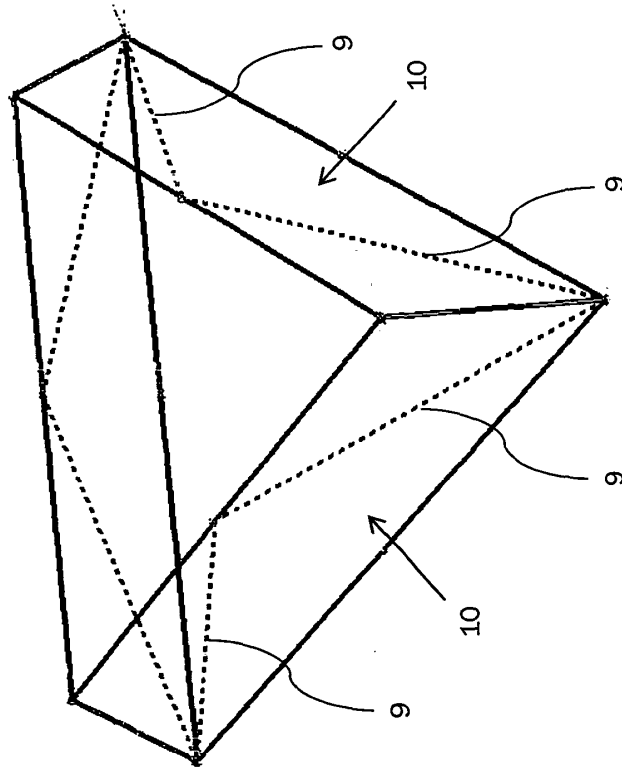
140

Fig. 14C



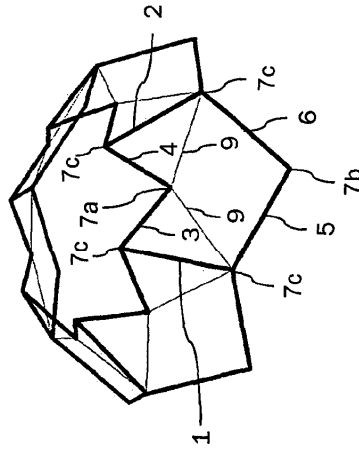
140

Fig. 15



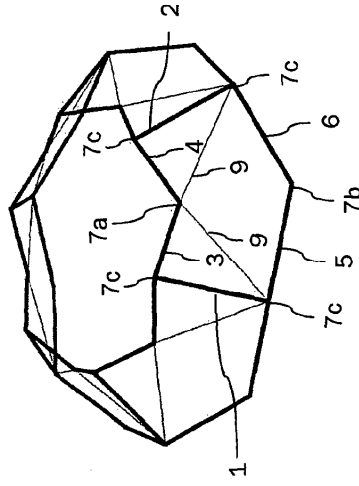
150

Fig. 16A



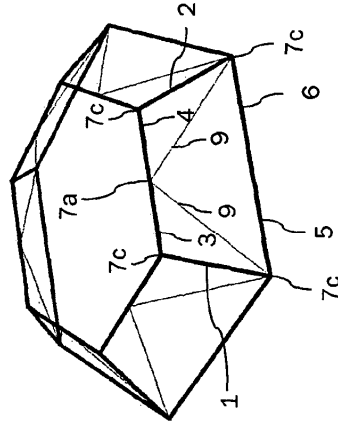
160

Fig. 16B



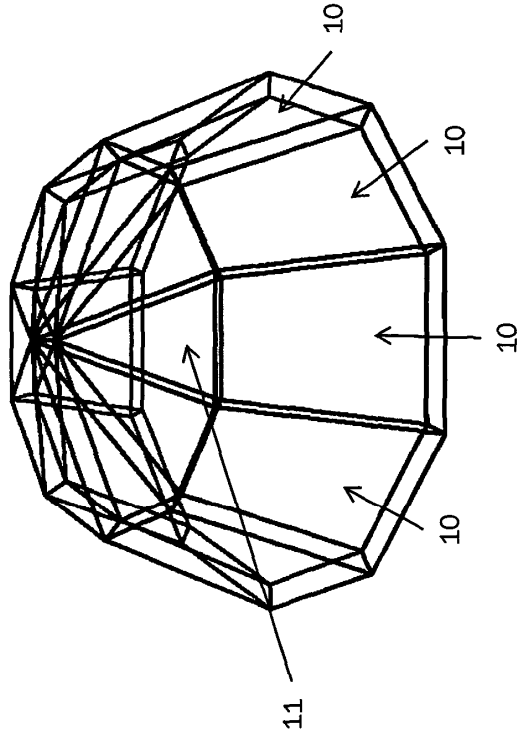
160

Fig. 16C



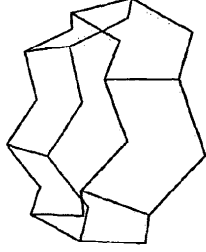
160

Fig. 17



170

Fig. 18B



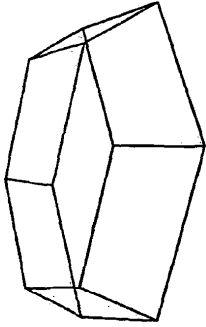
160

Fig. 18D



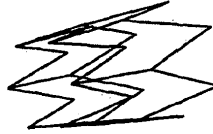
160

Fig. 18A



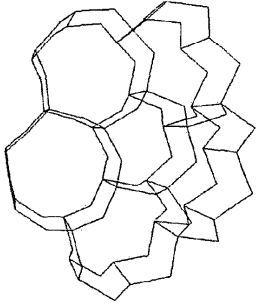
160

Fig. 18C



160

Fig. 19B



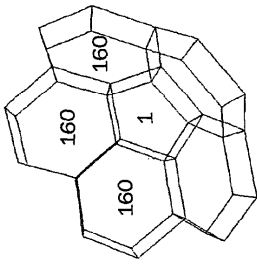
190

Fig. 19D



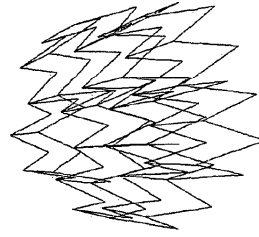
190

Fig. 19A



190

Fig. 19C



190