

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 968**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)

E04H 12/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2015 PCT/IB2015/052440**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2016 WO16156925**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2015 E 15720464 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 3277952**

54 Título: **Sección de torre de aerogenerador, torre de aerogenerador y procedimiento de ensamblaje**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.11.2019

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
GREMLING, MICHAËL

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 730 968 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

Sección de torre de aerogenerador, torre de aerogenerador y procedimiento de ensamblaje

5 **[0001]** La presente invención se refiere a una sección de torre para aerogenerador, véase, por ejemplo, el documento EP 2 006 471 A1, que tiene un eje central longitudinal que se extiende a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo la sección de torre al menos dos elementos de torre tubulares apilados a lo largo de la dirección longitudinal y dispuestos de un borde a otro en un plano de unión, comprendiendo cada elemento de torre al menos dos segmentos de pared, conectados entre sí por unos primeros conectores que se extienden a lo largo de los
10 bordes longitudinales de los segmentos de pared, comprendiendo además la sección de torre unos segundos conectores extendiéndose cada uno a ambos lados de los dos elementos de torre adyacentes a lo largo de la dirección longitudinal.

[0002] Los esfuerzos para mejorar el rendimiento energético de los aerogeneradores han conducido, con el
15 tiempo, a un mayor tamaño de las turbinas, que requieren, para su soporte, torres con una altura y un diámetro aumentados. Debido a sus grandes dimensiones, tales torres no pueden transportarse ensambladas. Por consiguiente, las torres generalmente se transportan por partes a su lugar de instalación, antes de su ensamblaje in situ.

[0003] Más particularmente, existen procedimientos para ensamblar torres de aerogeneradores, según los
20 cuales se transportan segmentos de pared del aerogenerador hasta el sitio de instalación del aerogenerador, después estos segmentos de pared se ensamblan por medio de unos primeros conectores para formar elementos de torre sustancialmente tubulares, generalmente cilíndricos o troncocónicos, que se ensamblan sucesivamente entre sí por medio de unos segundos conectores para formar la torre de aerogenerador.

25 **[0004]** Dadas las dimensiones cada vez más grandes de las torres de aerogeneradores, es necesario mejorar la resistencia mecánica de estas torres para minimizar el riesgo de avería durante el uso, en particular por combamiento, al tiempo que se limitan en la medida de lo posible los costes de fabricación y el tiempo de ensamblaje.

[0005] Un objetivo de la invención es proporcionar una torre de aerogenerador, posiblemente de gran altura,
30 que tenga una vida útil más larga y que pueda transportarse fácil y rápidamente y ensamblado a un menor coste.

[0006] Para ello, el objeto de la invención es una sección de torre de aerogenerador en la que cada segundo conector se extiende en la extensión longitudinal de un primer conector, teniendo el segundo conector un ancho que aumenta, a partir de dicho primer conector, de un primer ancho sustancialmente igual al ancho del primer conector a
35 un segundo ancho estrictamente superior al primer ancho, alcanzándose el segundo ancho antes del plano de unión partiendo del primer conector.

[0007] Según realizaciones particulares, la sección de torre presenta una o más de las siguientes características, consideradas en solitario o según cualquier combinación técnicamente posible:

40 - la sección de torre tiene una forma tubular de sección transversal poligonal, definiendo cada lado de este polígono una faceta de sección de torre;

- cada segundo conector se extiende sobre una faceta de la sección de torre y el segundo ancho es
45 superior o igual al 50 % del ancho de la faceta sobre la que se extiende el segundo conector considerado, tomada en el plano de unión entre los elementos de torre adyacentes;

- cada segmento de pared comprende un panel central y dos paneles laterales que forman un ángulo con el panel central;

50 - los segundos conectores son simétricos con respecto al eje longitudinal del primer conector del que se extienden;

- el ancho del segundo conector aumenta linealmente desde el primer ancho hasta el segundo ancho;

55 - cada segundo conector comprende una porción central sustancialmente rectangular que se extiende a ambos lados de los dos elementos de pared adyacentes y al menos una porción de unión en forma de trapecio, que se extiende desde un primer conector respectivo a la porción central, variando el ancho de la porción de unión, desde el primer conector, del primer ancho al segundo ancho;

60 - los bordes del trapecio de la o cada porción de unión en forma de trapecio forman un ángulo comprendido entre 30 y 55 ° con la base del trapecio;

- el segundo conector comprende dos porciones de unión que enmarcan la porción central a lo largo de
65 la dirección longitudinal;

- cada segundo conector es simétrico con respecto al plano de unión;
- los bordes longitudinales de un segmento de pared del elemento de torre superior están situados en la extensión de los bordes longitudinales del segmento de pared adyacente del elemento de torre inferior;
- los elementos de torre adyacentes se desplazan regularmente entre sí, y cada segundo conector se extiende, por una parte, a ambos lados sobre dos paneles laterales circunferencialmente adyacentes de uno de los elementos de torre y, por otra parte, sobre un panel central del otro elemento de torre;
- la sección de torre comprende además conectores intermedios dispuestos a ambos lados sobre dos elementos de torre adyacentes, entre dos segundos conectores circunferencialmente adyacentes;
- cada conector intermedio se extiende a ambos lados sobre dos paneles centrales longitudinalmente adyacentes de los dos elementos de torre y cada segundo conector se extiende a ambos lados de dos paneles laterales circunferencialmente adyacentes de cada uno de los elementos de torre adyacentes.

[0008] La presente invención se refiere también a una torre de aerogenerador que comprende una sección de torre como se ha descrito anteriormente.

[0009] La invención describe también un procedimiento de ensamblaje de una sección de torre como se describe anteriormente, que comprende:

- proporcionar segmentos de pared y ensamblar estos segmentos de pared entre sí a través de los primeros conectores para formar elementos de torre;
- apilar, a lo largo de la dirección longitudinal, dos elementos de torre y conectar estos dos elementos de torre entre sí por medio de los segundos conectores.

[0010] La invención se comprenderá mejor a la luz de la siguiente descripción facilitada únicamente a modo de ejemplo y realizada haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 es una vista esquemática de un aerogenerador;
- la figura 2 es una vista en perspectiva esquemática de una parte de una sección de torre de aerogenerador;
- la figura 3 es una vista en perspectiva esquemática en despiece ordenado de una parte de sección de torre de aerogenerador de la figura 2;
- la figura 4 es una vista esquemática ampliada de un área de unión entre dos elementos de torre de una sección de torre según la invención, desde el interior de la torre, que ilustra un ejemplo de segundo conector;
- la figura 5 es una vista similar a la figura 4, que ilustra otro ejemplo de segundo conector;
- la figura 6 es una vista en perspectiva esquemática en despiece ordenado de una parte de una sección de torre;
- la figura 7 es una vista en perspectiva esquemática de una parte de una sección de torre de aerogenerador según una primera realización;
- la figura 8 es una vista superior esquemática de la sección de torre de aerogenerador de la figura 7;
- la figura 9 es una vista en perspectiva esquemática en despiece ordenado de una parte de la sección de torre de aerogenerador de la figura 7, mostrándose solamente algunos elementos de conexión;
- la figura 10 es una vista en perspectiva esquemática de una parte de una sección de torre de aerogenerador según una segunda realización; y
- la figura 11 es una vista superior de la sección de torre de aerogenerador de la figura 10.

[0011] A lo largo de la descripción, "conexión" se refiere a la fijación mecánica mediante un elemento de conexión, y en particular a la fijación mediante bulonado o atornillado. Por lo tanto, este término no incluye la fijación por soldadura por fusión o soldadura fuerte.

- 5 **[0012]** El uso de pernos o tornillos para realizar las conexiones permite una gestión óptima del comportamiento de fatiga de la sección de torre mediante la elección de las ubicaciones y la densidad de los pernos o tornillos en función de los requisitos de resistencia y la resistencia a la fatiga. Además, la ausencia de soldaduras dentro de la sección de torre y la torre de aerogenerador permite evitar la presencia de áreas afectadas térmicamente, lo que garantiza la homogeneidad del rendimiento de los aceros y elimina los puntos débiles creados por estas áreas afectadas térmicamente.
- 10 **[0013]** “Altura” se refiere a la dimensión de un elemento a lo largo de la dirección longitudinal, y “ancho” se refiere a la dimensión de este elemento perpendicular a la dirección longitudinal.
- [0014]** En toda la descripción, “bordes longitudinales” de un elemento se refiere a los bordes de este elemento que se extienden a lo largo de la dirección longitudinal. “Bordes transversales” se refiere a los bordes de este elemento que se extienden perpendiculares a la dirección longitudinal.
- 15 **[0015]** Los términos “arriba” y “abajo”, “por debajo” y “por encima”, e “inferior” y “superior” se usan en relación con la orientación normal de la torre de aerogenerador 2 en su sitio de instalación.
- [0016]** En toda la descripción, “desplazamiento angular” se refiere a la rotación de un elemento constitutivo de la torre a lo largo del eje longitudinal central L en comparación con un elemento adyacente.
- 20 **[0017]** En toda la descripción, los elementos constitutivos de la torre, la sección de torre y los elementos de torre están hechos preferiblemente de metal, en particular de acero, y más particularmente a partir de bobinas o placas de acero.
- 25 **[0018]** La sección de torre 1 para un aerogenerador según la invención está destinada a formar parte de una torre 2 de un aerogenerador 3.
- [0019]** Convencionalmente, y como se ilustra en la figura 1, el aerogenerador 3 comprende, en su extremo superior, una góndola 5 y un rotor 7 montado en la góndola 5. La góndola 5, montada en el extremo superior de la torre 2, alberga componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para el funcionamiento del aerogenerador 3. El rotor 7 comprende una pluralidad de palas 9 destinadas a girar alrededor de un eje de rotor 5 por la energía del viento. En su extremo inferior, la torre de aerogenerador 2 está diseñada para anclarse en el suelo 10 del lugar de instalación, por cualquier medio conocido por el experto en la técnica, en particular por unos cimientos adecuados 11.
- 30 **[0020]** La sección de torre 1 según la invención tiene una forma tubular con un eje longitudinal central L que se extiende a lo largo de una dirección longitudinal. Cuando la sección de torre 1 se instala en su sitio de instalación, la dirección longitudinal se extiende a lo largo de la vertical del sitio de instalación.
- [0021]** En los ejemplos ilustrados en las figuras, la sección de torre 1 tiene una forma troncocónica, estrechándose hacia la parte superior de la torre 2.
- 40 **[0022]** “Cono” se refiere a cualquier superficie ajustada definida por una generatriz que pasa a través de un vértice y un punto variable que describe una curva directriz.
- 45 **[0023]** A modo de ejemplo, la sección de torre 1 tiene un diámetro exterior del orden de 7 a 11 metros, y por ejemplo, igual a 9 metros, en su extremo inferior, y del orden de 2 a 4 metros, y por ejemplo, igual a 4 metros, con respecto a su extremo superior. Sin embargo, estos diámetros pueden adaptarse en función de los requisitos de resistencia, la conexión a la góndola o en relación con el sitio de instalación.
- 50 **[0024]** La sección de torre 1 tiene preferiblemente una sección transversal poligonal. Cada lado de este polígono define una faceta de la pared de la sección de torre 1.
- [0025]** Una forma troncocónica poligonal tiene la ventaja de aproximarse mejor a la forma troncocónica de base circular, que es la forma que presenta la mejor resistencia al viento independientemente de su orientación y la mejor inercia, aunque es muy fácil de fabricar, ya que puede fabricarse, en particular, a partir de segmentos de pared obtenidos mediante doblado simple o perfilado de láminas de metal.
- 55 **[0026]** Según una alternativa, la sección de torre 1 tiene una forma cilíndrica de base poligonal que tiene una sección transversal constante.
- 60 **[0027]** Como se ilustra en la figura 2, la sección de torre 1 comprende al menos dos elementos de torre 14, apilados a lo largo de la dirección longitudinal. Los elementos de torre adyacentes 14 de la sección de torre 1 están dispuestos de un borde otro, a lo largo de un plano de unión P, con el juego necesario para el ensamblaje.
- 65 **[0028]** Cada elemento de torre 14 tiene una forma tubular, con un eje longitudinal central combinado con el eje

longitudinal central L de la sección de torre 1. Tiene una forma general similar a la de la sección de torre 1.

[0029] En los ejemplos ilustrados, el elemento de torre 14 tiene una forma troncocónica, preferiblemente de base poligonal, estrechándose hacia la parte superior del elemento de torre 14.

5

[0030] Cuando la sección de torre 1 tiene una forma cilíndrica de base poligonal, el elemento de torre 14 tiene también una forma cilíndrica de base poligonal.

[0031] Cada elemento de torre 14 comprende una pluralidad de segmentos de pared 16 conectados entre sí por sus bordes longitudinales. Los segmentos de pared adyacentes 16 de un elemento de torre 14 están dispuestos de un borde a otro, a lo largo de una línea de unión, con el juego necesario para el ensamblaje.

[0032] El hecho de que los elementos de torre 14 estén formados a partir de una pluralidad de segmentos de pared 16 conectados entre sí evita estar limitado por el transporte con respecto al diámetro final del elemento de torre 14. De hecho, los segmentos de pared 16 son relativamente compactos y, por lo tanto, pueden transportarse en camiones estándar. A continuación, se pueden ensamblar directamente en el sitio de instalación para obtener los elementos de torre 14 que tienen el diámetro deseado.

[0033] Además, el diseño basado en el ensamblaje de pequeños elementos permite realizar el transporte en vehículos compactos y ligeros, lo que permite considerar nuevos sitios de instalación que no eran posibles hasta ahora, ya que son difícilmente transitables para los vehículos de transporte pesados, tales como los transportes denominados excepcionales.

[0034] A modo de ejemplo, el espesor de los segmentos de pared 16 varía en función de su posición a lo largo de la torre 2, disminuyendo desde la base hacia el vértice de la torre 2. Los segmentos de pared 16, por ejemplo, tienen un espesor igual a 30 mm en la base de la torre 2 y 16 mm en el vértice de la torre 2.

[0035] En el ejemplo mostrado en la figura 2, cada segmento de pared 16 comprende un panel central 18 y dos paneles laterales 20. Cada panel lateral 20 se extiende desde un borde longitudinal respectivo del panel central 18, formando un ángulo obtuso con el panel central 18. Los paneles laterales 20 endurecen los segmentos de pared 16 y aumentan la resistencia de dichos segmentos 16 a doblarse a lo largo de la dirección longitudinal. Este tipo de segmento de pared 16 también tiene la ventaja de que se obtiene fácilmente doblando una lámina metálica.

[0036] La unión de los paneles laterales adyacentes 20 de dos segmentos de pared adyacentes 16 de un elemento de torre 14 forma una faceta del elemento de torre 14. Cada panel central 18 de un segmento de pared 16 también forma una faceta del elemento de torre 14.

[0037] Cada faceta de la sección de torre asociada 1 corresponde entonces a la unión de las facetas longitudinalmente adyacentes de los elementos de torre apilados 14.

40

[0038] Los segmentos de pared 16 se ensamblan entre sí mediante primeros conectores 26 que se extienden a lo largo de los bordes longitudinales de los segmentos de pared 16. Los primeros conectores 26 están unidos a los segmentos de pared 16. Cada primer conector 26 se extiende a ambos lados sobre dos segmentos de pared adyacentes 16 de un elemento de torre 14. Está sujeto a los paneles laterales adyacentes 20 de dos segmentos de pared adyacentes 16 del elemento de torre 14.

[0039] Como se ilustra esquemáticamente en la figura 3, cada primer conector 26 está fijado a los segmentos de pared correspondientes 16 a través de los primeros elementos de conexión 27, en particular tornillos o pernos. Para ello, los primeros conectores 26 comprenden orificios de conexión 28 destinados a recibir los primeros elementos de conexión 27. Estos orificios de conexión 28 están organizados en filas. Los segmentos de pared 16 también comprenden orificios de conexión 29 organizados en una red correspondiente a la de los orificios de conexión 28 de los primeros conectores 26.

[0040] Para simplificar los dibujos, los primeros elementos de conexión 27 y los orificios de conexión 28, 29 solo se muestran en algunas de las figuras.

55

[0041] Los primeros conectores 26 son planos. Se hacen ventajosamente por corte simple de una chapa de acero.

[0042] Los primeros conectores 26 están dispuestos dentro de la sección de torre 1.

60

[0043] Preferiblemente, cada primer conector 26 se extiende sobre la mayor parte de la altura del elemento de torre 14. Ventajosamente, se extiende sobre el 60 % de la altura del elemento de torre 14, y más particularmente sobre al menos el 80 % de la altura del elemento de torre 14. Esta configuración hace posible mejorar la transmisión de fuerzas dentro de la sección de torre 1.

65

- 5 [0044] Cada elemento de torre 14 puede comprender un único primer conector 26 que se extiende sustancialmente sobre toda la altura del elemento de torre 14 o varios primeros conectores 26, que se extienden en la extensión longitudinal entre sí y que se extienden conjuntamente sustancialmente sobre toda la altura del elemento de torre 14.
- [0045] Preferiblemente, el ancho de los primeros conectores 26 es constante en toda su altura. En los ejemplos ilustrados, cada primer conector 26 tiene una forma rectangular alargada en la dirección longitudinal.
- 10 [0046] A modo de ejemplo, el ancho de los primeros conectores 26 es inferior o igual al 40 % del ancho de la faceta de pared del elemento de torre 14 formado por la conexión de los paneles laterales 20 de los dos segmentos de pared 16 del elemento de torre 14 por medio de dicho primer conector 26. Más particularmente, es inferior o igual al 30 % de este ancho. Este ancho se puede adaptar para cada conector 26 de la sección de torre 1 en función de las fuerzas que el conector 26 deberá soportar. Preferiblemente, por razones económicas y logísticas en el
15 emplazamiento, los primeros conectores 26 de la sección de torre 1 tienen el mismo ancho.
- [0047] La sección de torre 1 comprende además medios de conexión entre dos de los elementos de torre adyacentes 14 a lo largo de la dirección longitudinal.
- 20 [0048] Estos medios de conexión comprenden segundos conectores 30, cada uno de los cuales se extiende a ambos lados sobre dos elementos de torre adyacentes 14 en la dirección longitudinal, en la extensión longitudinal de un primer conector respectivo 26. Los segundos conectores 30 están dispuestos dentro de la sección de torre 1.
- [0049] Las figuras 4 y 5 ilustran ejemplos de segundos conectores 30 según la invención.
- 25 [0050] En el caso de una sección de torre 1 que tiene facetas, cada segundo conector 30 se extiende sobre una faceta de la sección de torre 1, a ambos lados de las facetas adyacentes longitudinalmente de los elementos de torre 14 conectados entre sí por este segundo conector 30.
- 30 [0051] Preferiblemente, los segundos conectores 30 son simétricos con respecto a un eje longitudinal central de los primeros conectores 26.
- [0052] Los segundos conectores 30 son sustancialmente planos. Se hacen en una sola pieza. Se obtienen ventajosamente mediante corte simple a partir de una chapa de acero.
- 35 [0053] Como se muestra en las figuras 4 y 5, los segundos conectores 30 tienen un ancho variable en la dirección longitudinal. Más particularmente, para cada segundo conector 30, el ancho aumenta, desde el primer conector 26 del que se extiende, y alejándose del mismo, de un primer ancho L1 sustancialmente igual al ancho del primer conector 26 hasta un segundo ancho L2, estrictamente superior al primer ancho.
- 40 [0054] El segundo ancho L2 se alcanza antes del plano de unión P a partir del primer conector 26. Por lo tanto, el segundo conector 30 tiene el segundo ancho L2 a cada lado del plano de unión P.
- [0055] Esta variación en el ancho de los segundos conectores 30 da como resultado una reducción significativa
45 de las tensiones máximas en los segundos conectores 30.
- [0056] Los inventores han apreciado que las tensiones máximas en los segundos conectores 30 son significativamente más bajas que si se utilizan segundos conectores con un ancho constante igual al primer ancho o al segundo ancho en toda su altura. Por lo tanto, debido al uso de los segundos conectores 30, la sección de torre 1
50 según la invención tiene una resistencia mecánica mejorada, que permite la fabricación de torres muy altas con un menor riesgo de combamiento, y por lo tanto, aumenta la vida útil de tales torres. Además, estos conectores son fáciles de fabricar y permiten una conexión sencilla y económica entre los elementos de torre 14.
- [0057] La forma de los segundos conectores 30 es particularmente útil debido al hecho de que el conector 30
55 se extiende a ambos lados de al menos tres segmentos de pared 16, que comprenden dos segmentos circunferencialmente adyacentes y al menos un segmento longitudinalmente adyacente, como se ilustra en las figuras 4 y 5. De hecho, como resultado, los segundos conectores 30 están situados a ambos lados sobre una línea de unión longitudinal entre los segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 y sobre una línea de unión transversal entre los dos segmentos de pared longitudinalmente adyacentes 16, y por lo tanto, se cargan firmemente de forma
60 multidireccional. Sin embargo, los segundos conectores 30, debido a su forma particular, son especialmente adecuados para soportar tales cargas.
- [0058] La altura de la porción de ancho L2 del segundo conector 30 se elige en función de las tensiones verticales que reaccionarán en la unión entre los dos elementos de torre 14.
- 65

- 5 **[0059]** Preferiblemente, el primer ancho L1 del segundo conector 30 está comprendida entre 1 vez y 1,2 veces el ancho del primer conector 26 del que se extiende. Esto hace posible minimizar un cambio brusco en la rigidez en la unión del primer conector 26 y el segundo conector 30, lo que limita la concentración de tensiones a este nivel. Preferiblemente, el primer ancho L1 es igual al ancho del primer conector 26.
- [0060]** Preferiblemente, la relación de estos anchos L1 a L2 está comprendida entre 2 y 10. Esto optimiza el flujo de tensiones en la transición entre dos elementos de torre adyacentes 14.
- 10 **[0061]** En el caso de una sección de torre 1 que tiene facetas, el segundo ancho L2 es inferior o igual al ancho de la faceta de la sección de torre 1 sobre la que se extiende el segundo conector 30, tomada en el plano de unión P entre los dos elementos de torre adyacentes 14.
- [0062]** Es ventajosamente mayor que aproximadamente el 50 % del ancho de esta faceta. Más particularmente, es superior al 70 % del ancho de esta faceta.
- 15 **[0063]** Preferiblemente, el ancho de los segundos conectores 30 aumenta linealmente entre el primer ancho L1, en el primer conector 26, y el segundo ancho L2. Esta forma constituye el mejor compromiso entre el rendimiento mecánico y el coste de producción.
- 20 **[0064]** Ventajosamente, el segundo conector 30 comprende una porción de unión de forma trapezoidal 32, cuyo ancho aumenta desde el ancho L1 hasta el ancho L2 que se aleja del primer conector 26. Esta porción de unión 32 se extiende longitudinalmente, alejándose del primer conector 26, por una porción central 34 con un ancho L2. La porción central 34 se extiende, en particular de forma simétrica, a ambos lados de los dos elementos de torre adyacentes 14.
- 25 **[0065]** Preferiblemente, los bordes del trapecio de la porción de unión 32 forman un ángulo α comprendido entre 30° y 55° con la base del trapecio. Esto mejora la transmisión de fuerzas y la resistencia a la rigidez del segundo conector 30. El ángulo α es ventajosamente igual a 45° para una transmisión óptima de las fuerzas entre los elementos de torre 14 y el segundo conector 30.
- 30 **[0066]** Como se ilustra en la figura 6, los segundos conectores 30 se fijan a los elementos de torre 14 por medio de unos segundos elementos de conexión 31, por ejemplo formados por tornillos o pernos.
- [0067]** A modo de ejemplo, cada segundo conector 30 comprende una red regular de orificios de conexión 35 destinados a recibir los segundos elementos de conexión 31. Esta red es, por ejemplo, una red con una malla rectangular y, por ejemplo, una malla cuadrada. Los orificios de conexión 35 se distribuyen regularmente sobre toda la superficie de los segundos conectores 30. La distancia entre los orificios de conexión adyacentes 35 se elige para optimizar la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga según las necesidades. Los segmentos de torre 16 también comprenden una red de orificios de conexión 33 que coincide con la red de orificios de conexión 35 de los segundos
- 40 conectores 30.
- [0068]** Ventajosamente, las distancias entre los orificios de conexión 28 de los primeros conectores 26 y entre los orificios de conexión 35 de los segundos conectores 30 son idénticas, de modo que dentro de la sección de torre 1, las líneas de los primeros elementos de conexión 27 se extienden en la extensión de líneas de los segundos
- 45 elementos de conexión 31.
- [0069]** Para simplificar los dibujos, los primeros elementos de conexión 31 y los orificios de conexión 35, 33 solo se muestran en algunas de las figuras.
- 50 **[0070]** En referencia a las figuras 7 a 9, ahora se describe más particularmente una sección de torre 1 según una primera realización. Esta sección de torre 1 tiene todas las características descritas anteriormente. También tiene las características más particulares que se describen a continuación.
- [0071]** En esta primera realización, todos los elementos de torre 14 de la sección de torre 1 tienen la misma orientación angular. Los bordes longitudinales de un segmento de pared 16 del elemento de torre superior 14 están situados en la extensión de los bordes longitudinales del segmento de pared adyacente 16 del elemento de torre inferior 14. Cada primer conector 26 del elemento de torre superior 14 está dispuesto en la extensión a lo largo de la dirección longitudinal de un primer conector 26 del elemento de torre inferior 14.
- 60 **[0072]** Cada segundo conector 30 se inserta, en la dirección longitudinal, entre un primer conector 26 del elemento de torre superior 14 y un primer conector 26 del elemento de torre inferior 14. Cada segundo conector 30 se coloca de un borde a otro enmarcándose por los primeros conectores 26, con el juego necesario para el ensamblaje.
- [0073]** Cada segundo conector 30 se fija, a dos segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 de uno de los elementos de torre 14, y por otro lado, a dos segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 del

otro elemento de torre 14. Por lo tanto, se dispone a ambos lados sobre cuatro segmentos de pared 16.

[0074] Los segundos conectores 30 son simétricos con respecto al plano de unión P entre los dos elementos de torre adyacentes 14. Comprenden una porción central sustancialmente rectangular 34, con un ancho constante igual al segundo ancho L2, enmarcada, en la dirección longitudinal, por dos porciones de unión de forma trapezoidal 32 como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, en esta realización, los segundos conectores 30 tienen un contorno octaédrico.

[0075] Como se ilustra en la figura 7, en la primera realización, los medios para conectar elementos de torre 14 entre sí pueden comprender además conectores intermedios 36. Los conectores intermedios 36 conectan elementos de torre 14 entre sí en los paneles centrales 18 de sus segmentos de pared 16. Se extienden a ambos lados sobre los dos los elementos de torre adyacentes 14 fijándose sobre los paneles centrales 18 de los segmentos de pared 16 de estos elementos de torre 14. Se disponen entre dos segundos conectores circunferencialmente adyacentes 30. Se extienden a lo largo de los bordes transversales de los elementos de torre 14.

[0076] Los conectores intermedios 36 se disponen dentro de la sección de torre 1.

[0077] Los conectores intermedios 36 son sustancialmente planos. En el ejemplo ilustrado, tienen un contorno rectangular. Se extienden en una dirección de alargamiento sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal.

[0078] Los conectores intermedios 36 tienen un ancho inferior o igual al ancho de la faceta de la pared de la sección de torre 1 en la que se fijan, tomada en el plano de unión P entre estos elementos de torre 14. Esta faceta de la pared está formada por la unión de los paneles centrales 20 de los dos segmentos de pared longitudinalmente adyacentes 16. A modo de ejemplo, los conectores intermedios 36 tienen un ancho superior o igual al 50 % del ancho de esta faceta de pared, tomada en el plano de unión P entre estos elementos de torre 14.

[0079] Los conectores intermedios 36 participan en la resistencia a la rigidez a lo largo de la torre 2, y más particularmente entre dos elementos de torre adyacentes 14. Dado que se tensan solo a lo largo de una línea, correspondiente a la intersección de los conectores intermedios 36 con el plano de unión P, los problemas relacionados con las variaciones de rigidez son menores en comparación con lo que se produce en los segundos conectores 30, que están situados en un área de unión entre cuatro segmentos de pared 16 y, por lo tanto, se tensan firmemente de forma multidireccional. Por consiguiente, los conectores intermedios de forma rectangular 36 con una longitud suficiente ofrecen una rigidez suficiente.

[0080] Como se ilustra en la figura 9, los conectores intermedios 36 se fijan a los segmentos de pared 16 a través de los terceros elementos de conexión 37, tales como tornillos o pernos. Cada conector intermedio 36 comprende una red regular de orificios de conexión 38 destinados a recibir los terceros elementos de conexión 37. Esta red es, por ejemplo, una red con una malla rectangular y, por ejemplo, una malla cuadrada. Los orificios de conexión 38 se distribuyen regularmente sobre toda la superficie de los conectores intermedios 36. La distancia entre los orificios de conexión adyacentes 38 se elige para optimizar la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga según las necesidades.

[0081] Cuando la sección de torre 1 comprende conectores intermedios 36, las secciones de torre 16 también comprenden una red de orificios de conexión 39 que coincide con la red de orificios de conexión 38 de los conectores intermedios 36.

[0082] Para simplificar los dibujos, los terceros elementos de conexión 37 y los orificios de conexión 38, 39 solo se muestran en la figura 9.

[0083] Las figuras 10 y 11 ilustran más particularmente una sección de torre 1 según una segunda realización.

[0084] Esta sección de torre 1 tiene todas las características descritas anteriormente con respecto a las figuras 1 a 6. También tiene las características más particulares que se describen a continuación.

[0085] En la segunda realización, los elementos de torre longitudinalmente adyacentes 14 están desplazados angularmente entre sí de manera que los bordes longitudinales de un segmento de pared 16 del elemento de torre superior 14 no están en la extensión de los bordes longitudinales del segmento de pared longitudinalmente adyacente 16 del elemento de torre inferior 14. Dicho de otro modo, las líneas de unión entre los segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 del elemento de torre superior 14 están desplazadas angularmente con respecto a las líneas de unión entre los segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 del elemento de torre inferior 14. No se extienden en la extensión de uno al otro en la dirección longitudinal.

[0086] En el caso de segmentos de pared 16 que comprenden un panel central 18 y dos paneles laterales 20, cada panel central 18 de un segmento de pared 16 del elemento de torre superior 14 se extiende, en la dirección longitudinal, con respecto a dos paneles laterales adyacentes 20 del elemento de torre inferior 14.

[0087] Por lo tanto, los primeros conectores 26 del elemento de torre superior 14 están desplazados angularmente con respecto a los primeros conectores 26 del elemento de torre inferior 14. No se extienden en la extensión uno del otro.

5

[0088] En esta segunda realización, a la luz del desplazamiento angular entre los elementos de torre adyacentes 14, cada segundo conector 30 está en contacto, con el juego necesario para el ensamblaje, con solo un primer conector 26.

10 **[0089]** Los segundos conectores 30 no son simétricos con respecto al plano de unión P de los dos elementos de torre 14. Cada uno comprende solo la porción central 34 y una única porción de unión 32 como se describe anteriormente, extendiéndose entre el primer conector 26 y la porción central 34. Por lo tanto, no comprenden dos porciones de unión 32 como en la primera realización. La forma y la disposición de la porción central 34 y la única porción de unión 32 del segundo conector 30 son idénticas a las del segundo conector 30 según la primera realización.

15

[0090] En la segunda realización, cada segundo conector 30 está fijado, por un lado, en un único segmento de pared 16 de uno de los elementos de pared 14, y por otro lado, en dos segmentos de pared circunferencialmente adyacentes 16 del otro elemento de torre 14. Por lo tanto, se dispone a ambos lados sobre tres segmentos de pared 16.

20

[0091] En el caso de segmentos de pared 16 que comprenden un panel central 18 y dos paneles laterales 20, los segundos conectores 30 están fijados por un lado en un panel central 18 de un segmento de pared 16 de uno de los elementos de torre 14 y por otro lado, a ambos lados de dos paneles laterales circunferencialmente adyacentes 20 de dos segmentos de pared 16 del otro elemento de torre 14.

25

[0092] En esta realización, la sección de torre 1 comprende un segundo conector 30 en cada una de sus facetas, en las uniones entre los elementos de torre 14. En cada unión entre los elementos de torre 14, los segundos conectores 30 están dispuestos de pies a cabeza a lo largo de la circunferencia del elemento de torre 14. Por lo tanto, la porción de unión 32 se dispone alternativamente por encima y por debajo de la porción central 34. En particular, la porción de unión 32 está orientada con su punta hacia el primer conector 26 del que se extiende. Está orientada con su punta hacia arriba cuando el segundo conector 30 extiende el primer conector 26 por la parte inferior, y hacia abajo cuando el segundo conector 30 extiende el primer conector 26 por la parte superior.

30

[0093] La sección de torre de aerogenerador 1 según esta realización tiene todas las ventajas de la sección de torre de aerogenerador 1 según la primera realización.

35

[0094] Además, en la segunda realización, el desplazamiento circunferencial de los elementos de torre 14 mejora la resistencia mecánica de la sección de torre 1 y la torre 2 en la medida en que las líneas de unión entre los segmentos de pared 16 de los elementos de torre adyacentes 14, incorporados por los primeros conectores 26, no se disponen una con respecto a la otra en la dirección longitudinal. De hecho, las áreas más débiles mecánicamente están así mejor distribuidas a lo largo de la circunferencia de la sección de torre 1, lo que mejora aún más la resistencia mecánica de la torre de aerogenerador 2.

40

[0095] La invención también se refiere a una torre de aerogenerador 2 que comprende al menos una sección de torre 1 como se ha descrito anteriormente. Ventajosamente, la torre de aerogenerador 2 se forma apilando, en la dirección longitudinal, tales secciones de torre 1.

45

[0096] En el caso de la segunda realización, preferiblemente, las secciones de torre 1 también se apilan desplazadas angularmente de manera que las líneas de unión entre los segmentos de pared 16 del elemento de torre inferior 14 de la sección superior 1 no se dispongan a través de las líneas de unión entre los segmentos de pared 16 del elemento de torre superior 14 de la sección inferior 1.

50

[0097] La invención también se refiere a un procedimiento para ensamblar una sección de torre 1 como se ha descrito anteriormente.

55

[0098] Este procedimiento de ensamblaje comprende:

- proporcionar segmentos de pared 16 y ensamblar estos segmentos de pared 16 entre sí a través de los primeros conectores 26 para formar elementos de torre 14;

60

- apilar, a lo largo de la dirección longitudinal, dos elementos de torre 14 y conectar estos dos elementos de torre 14 entre sí por medio de los segundos conectores 30.

[0099] Según la primera realización, durante la etapa de apilamiento, los dos elementos de torre 14 se apilan con la misma orientación angular, de manera que cada primer conector 26 del elemento de torre superior 14 se

65

extienda en la extensión a lo largo de la dirección longitudinal de un primer conector 26 del elemento de torre inferior 14. Por lo tanto, durante la etapa de conexión de los elementos de torre 14 entre sí, los segundos conectores 30 se disponen, en la dirección longitudinal, entre dos primeros conectores 26, respectivamente que pertenecen al elemento de torre inferior 14 y el elemento de torre superior 14.

5

[0100] Según la segunda realización, durante la etapa de apilamiento, los elementos de torre 14 se apilan también desplazados angularmente de tal manera que las líneas de unión entre los segmentos de pared 16 del elemento de torre superior 14 no estén con respecto a las líneas de unión entre los segmentos de pared 16 del elemento de torre inferior 14.

10

[0101] Las simulaciones numéricas han permitido confirmar las ventajas obtenidas por los conectores según la invención. El efecto más notable de esta mejora es una reducción significativa de las tensiones máximas en los segundos conectores 30, así como en los conectores intermedios 36.

15 **[0102]** Por ejemplo, una de las configuraciones de torre 1 calculadas respetando los códigos de cálculo vigentes muestra reducciones de las tensiones del 8 % con respecto a las tensiones que la torre 1 experimentaría si los segundos conectores tuvieran la forma rectangular tradicional.

20 **[0103]** Los segundos conectores 30 según la invención también permiten un aumento en el valor del primer modo específico de la torre 2 y una mejora de la resistencia a la inestabilidad general de aproximadamente 30 MPa en términos de carga vertical máxima aceptable.

[0104] Por último, los segundos conectores 30 según la invención también permiten un ligero aumento en la frecuencia de resonancia.

25

[0105] Los valores presentados anteriormente son el resultado del cálculo relativo a una torre de aerogenerador 2 según la primera realización de la invención, que tiene las siguientes dimensiones.

30 **[0106]** La torre 2 tiene una forma troncocónica, con una sección transversal poligonal y una altura de 140 metros. El diámetro de la torre 2 varía de 9 m en su base a 4 m en el vértice. Los segmentos de pared 16 tienen cada uno una altura de 12 m, y un espesor comprendido entre 17 mm y 24 mm en función de su posición vertical en la torre 2, disminuyendo el espesor hacia el vértice de la torre 2.

35 **[0107]** La torre 2 comprende 20 facetas, estando la sección transversal de la torre 2 formada por un polígono con 20 lados. El ancho de las facetas varía de 1,4 m a 0,6 m según la posición vertical en la torre 2.

[0108] La torre 2 está dotada de primeros conectores rectangulares 26 con un ancho igual a 200 mm y una altura que varía en función de la posición en la torre 2 en promedio de 11,59 m para los primeros conectores 26 situados en la base de la torre 2 a 11,17 m para los primeros conectores 26 situados en el vértice de la torre 2.

40

45 **[0109]** Los segundos conectores 30 tienen una forma octaédrica con una porción de unión de forma trapezoidal 32. El ancho L1 en el vértice de la porción de unión 32 es de 200 mm. El ángulo α entre los bordes del trapecio y su base es igual a 45°. La porción central 34 es rectangular y tiene un ancho L2 que va desde 1,2 m en la base de la torre 2 hasta 0,6 m en el vértice de la torre 2, en función de la posición vertical del segundo conector 30 considerada en la torre 2. La altura de la porción central 34 varía, en función de la posición vertical del segundo conector 34 considerada a lo largo de la torre 2, desde 800 mm en la base de la torre 2 a 400 mm en el vértice de la torre 2. La altura de los segundos conectores 30 va de 1,3 m a 0,6 m, dependiendo de su posición, ya sea en la parte inferior o superior de la torre 2, respectivamente.

50 **[0110]** Los conectores intermedios 36 tienen una forma rectangular. Su altura varía, según su posición en la torre 2, de 800 mm en la parte inferior de la torre de 2 a 400 mm en la parte superior de la torre 2. El ancho de los conectores intermedios 36 varía de 1,2 m en la base de la torre 2 a 0,6 m en el vértice de la torre 2, en función de la posición vertical del conector 36 en la torre 2.

55 **[0111]** En el contexto de este cálculo, el espesor de todos los conectores 26, 30, 36 se ha considerado igual a 16 mm. Se observará que, en la práctica, el espesor de los conectores 26, 30, 36 puede alcanzar hasta 18 mm, dependiendo de las cargas.

REIVINDICACIONES

1. Sección de torre (1) para aerogenerador que tiene un eje central longitudinal (L) que se extiende a lo largo de una dirección longitudinal, comprendiendo la sección de torre (1) al menos dos elementos de torre tubulares (14) apilados a lo largo de la dirección longitudinal y dispuestos de un borde a otro en un plano de unión (P), comprendiendo cada elemento de torre (14) al menos dos segmentos de pared (16), conectados entre sí por unos primeros conectores (26) que se extienden a lo largo de los bordes longitudinales de los segmentos de pared (16), comprendiendo además la sección de torre (1) unos segundos conectores (30) extendiéndose cada uno a ambos lados de los dos elementos de torre adyacentes (14) a lo largo de la dirección longitudinal, **caracterizado porque** cada segundo conector (30) se extiende en la extensión longitudinal de un primer conector (26), teniendo el segundo conector (30) un ancho que aumenta, a partir de dicho primer conector (26), de un primer ancho (L1) sustancialmente igual al ancho del primer conector (26) a un segundo ancho (L2) estrictamente superior al primer ancho (L1), alcanzándose el segundo ancho (L2) antes del plano de unión (P) partiendo del primer conector (26).
2. Sección de torre (1) según la reivindicación 1, la cual tiene una forma tubular de sección transversal poligonal, definiendo cada lado de este polígono una faceta de sección de torre (1).
3. Sección de torre (1) según la reivindicación 2, en la que cada segundo conector (30) se extiende sobre una faceta de la sección de torre (1) y el segundo ancho (L2) es superior o igual al 50 % del ancho de la faceta sobre la que se extiende el segundo conector (30) considerado, tomada en el plano de unión (P) entre los elementos de torre adyacentes (14).
4. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada segmento de pared (16) comprende un panel central (18) y dos paneles laterales (20) que forman un ángulo con el panel central (18).
5. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los segundos conectores (30) son simétricos con respecto al eje longitudinal del primer conector (26) del que se extienden.
6. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el ancho del segundo conector (30) aumenta linealmente desde el primer ancho (L1) al segundo ancho (L2).
7. Sección de torre (1) según la reivindicación 6, en la que cada segundo conector (30) comprende una porción central sustancialmente rectangular (34) que se extiende a ambos lados de los dos elementos de pared adyacentes (14) y al menos una porción de unión en forma de trapecio (32), que se extiende desde un primer conector respectivo (26) a la porción central (34), variando el ancho de la porción de unión (32), desde el primer conector (26), del primer ancho (L1) al segundo ancho (L2).
8. Sección de torre (1) según la reivindicación 7, en la que los bordes del trapecio de la o cada porción de unión en forma de trapecio (32) forman un ángulo (α) comprendido entre 30 y 55° con la base del trapecio.
9. Sección de torre (1) según una de las reivindicaciones 7 y 8, en la que el segundo conector (30) comprende dos porciones de unión (32) que enmarcan la porción central (34) a lo largo de la dirección longitudinal.
10. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada segundo conector (30) es simétrico con respecto al plano de unión (P).
11. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los bordes longitudinales de un segmento de pared (16) del elemento de torre superior (14) están situados en la extensión de los bordes longitudinales del segmento de pared adyacente (16) del elemento de torre inferior (14).
12. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, combinada con la reivindicación 4, en la que los elementos de torre adyacentes (14) están desplazados angularmente entre sí, y en la que cada segundo conector (30) se extiende, por una parte, a ambos lados sobre dos paneles laterales circunferencialmente adyacentes (20) de uno de los elementos de torre (14) y, por otro lado, sobre un panel central (18) del otro elemento de torre (14).
13. Sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, la cual comprende además conectores intermedios (36) dispuestos a ambos lados sobre dos elementos de torre adyacentes (14), entre dos segundos conectores circunferencialmente adyacentes (30).
14. Sección de torre (1) según la reivindicación 13, combinada con la reivindicación 4, en la que cada conector intermedio (36) se extiende a ambos lados sobre dos paneles centrales longitudinalmente adyacentes (18) de los dos elementos de torre (14) y cada segundo conector (30) se extiende a ambos lados de dos paneles laterales circunferencialmente adyacentes de cada uno de los elementos de torre adyacentes (14).

15. Torre de aerogenerador (2) que comprende una sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

5 16. Procedimiento para ensamblar una sección de torre (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende:

- proporcionar segmentos de pared (16) y ensamblar estos segmentos de pared (16) entre sí a través de los primeros conectores (26) para formar elementos de torre (14);

10

- apilar, a lo largo de la dirección longitudinal, dos elementos de torre (14) y conectar estos dos elementos de torre (14) entre sí por medio de los segundos conectores (26).

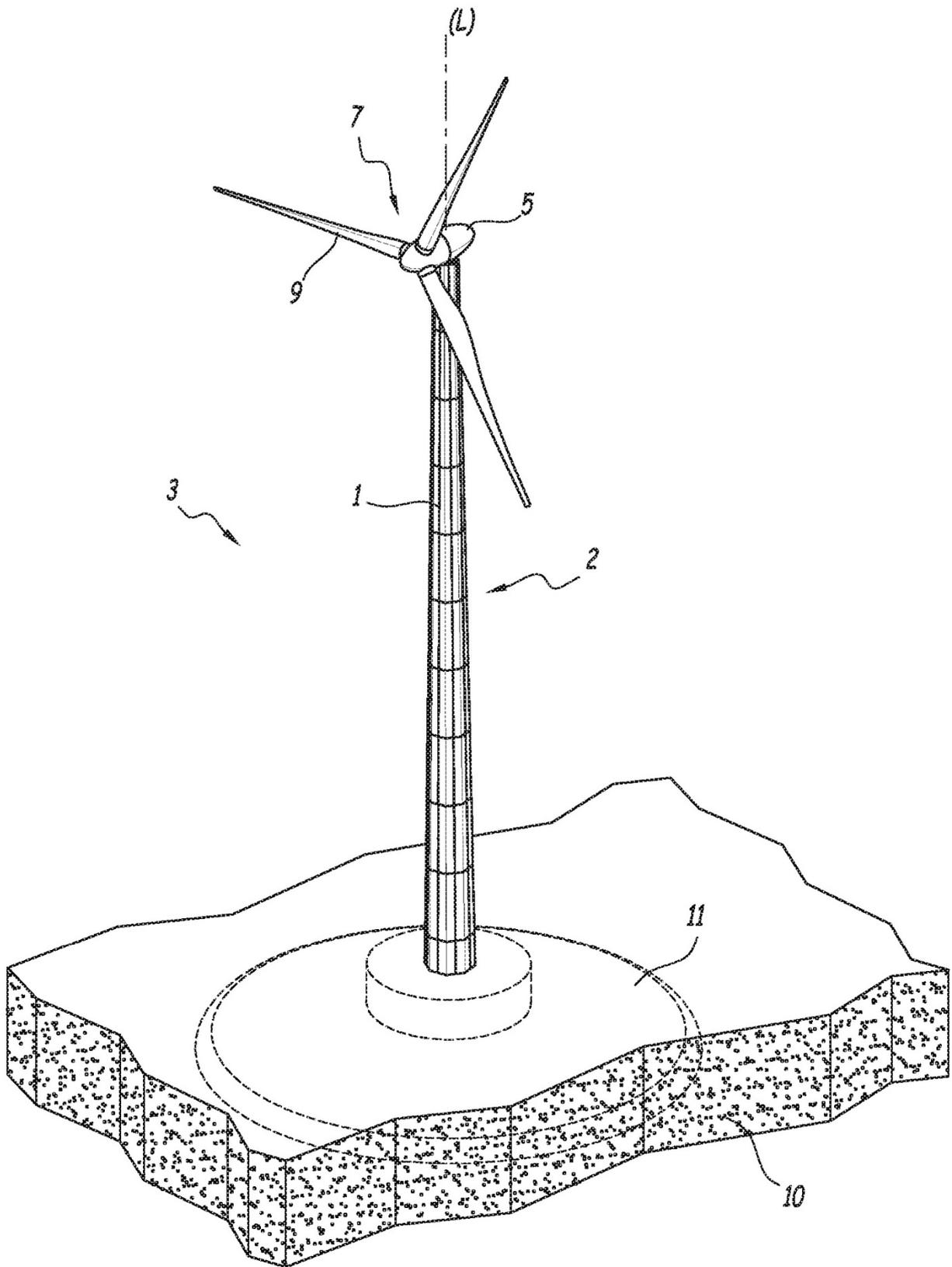


Fig.1

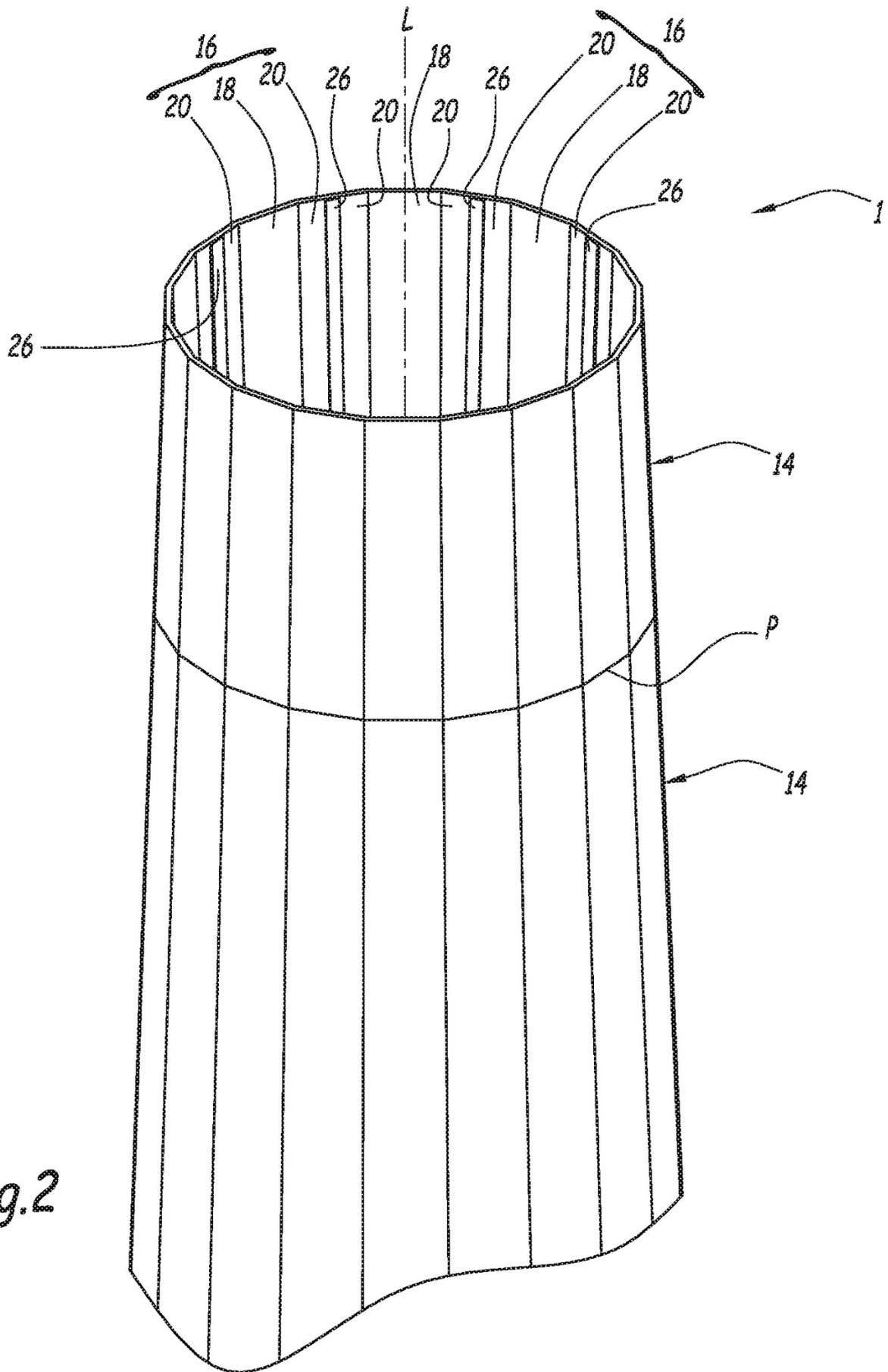


Fig.2

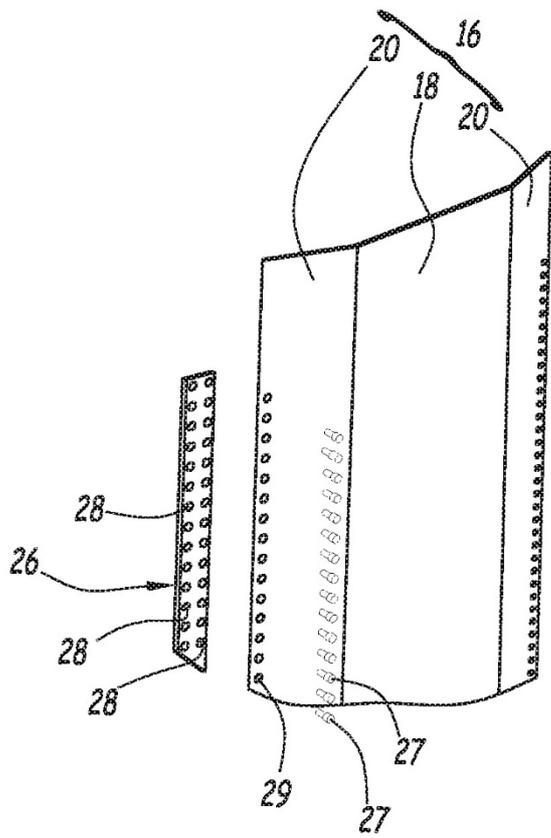


Fig.3

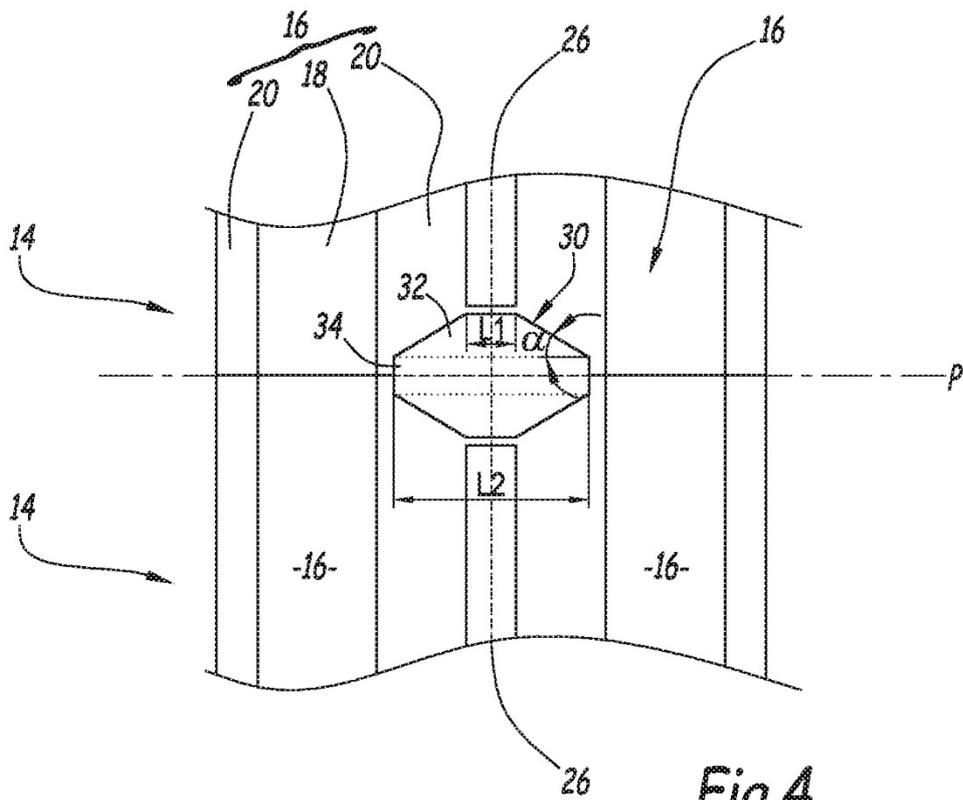


Fig.4

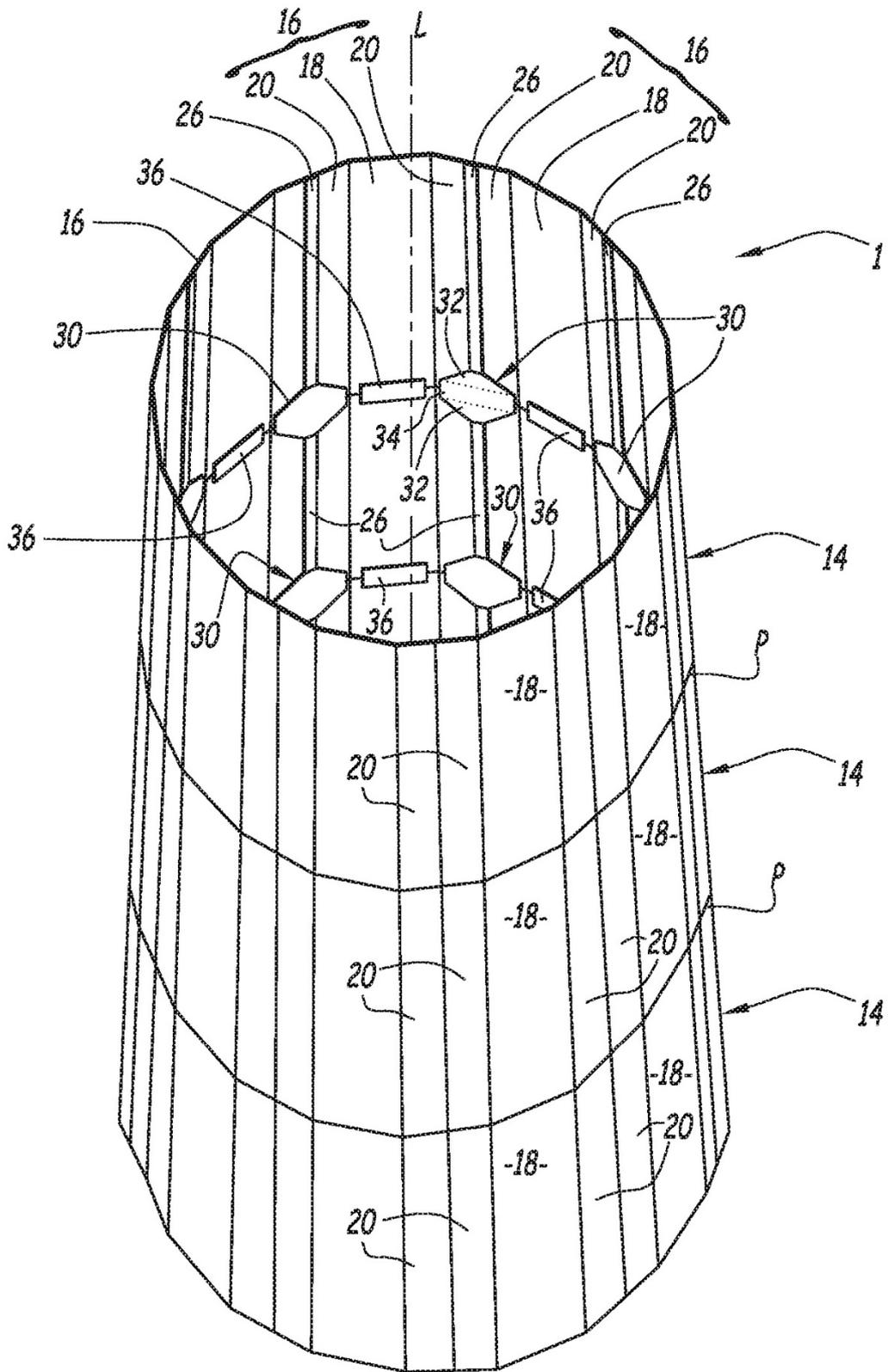
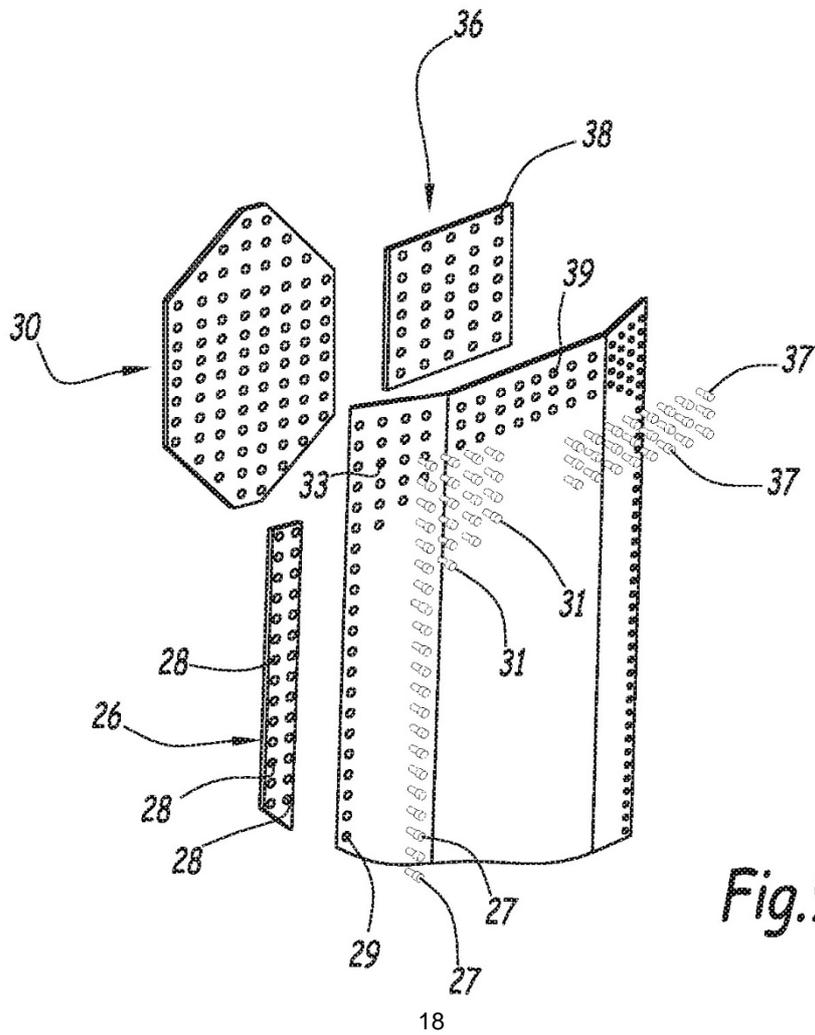
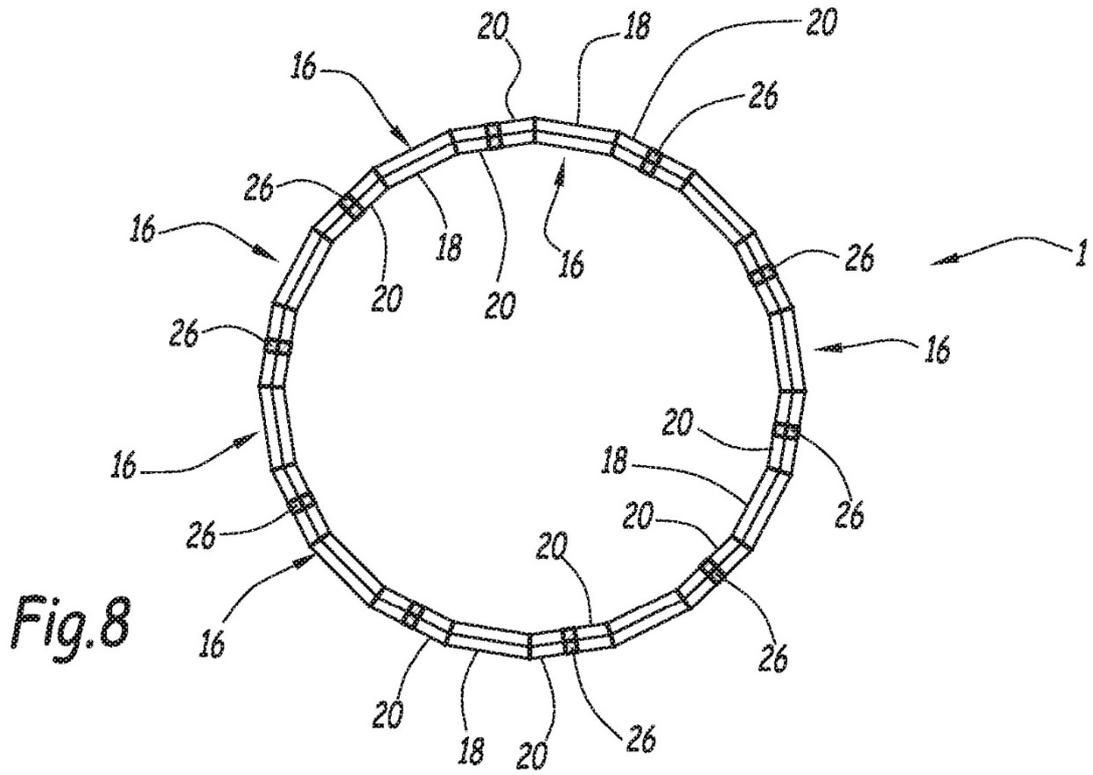


Fig.7



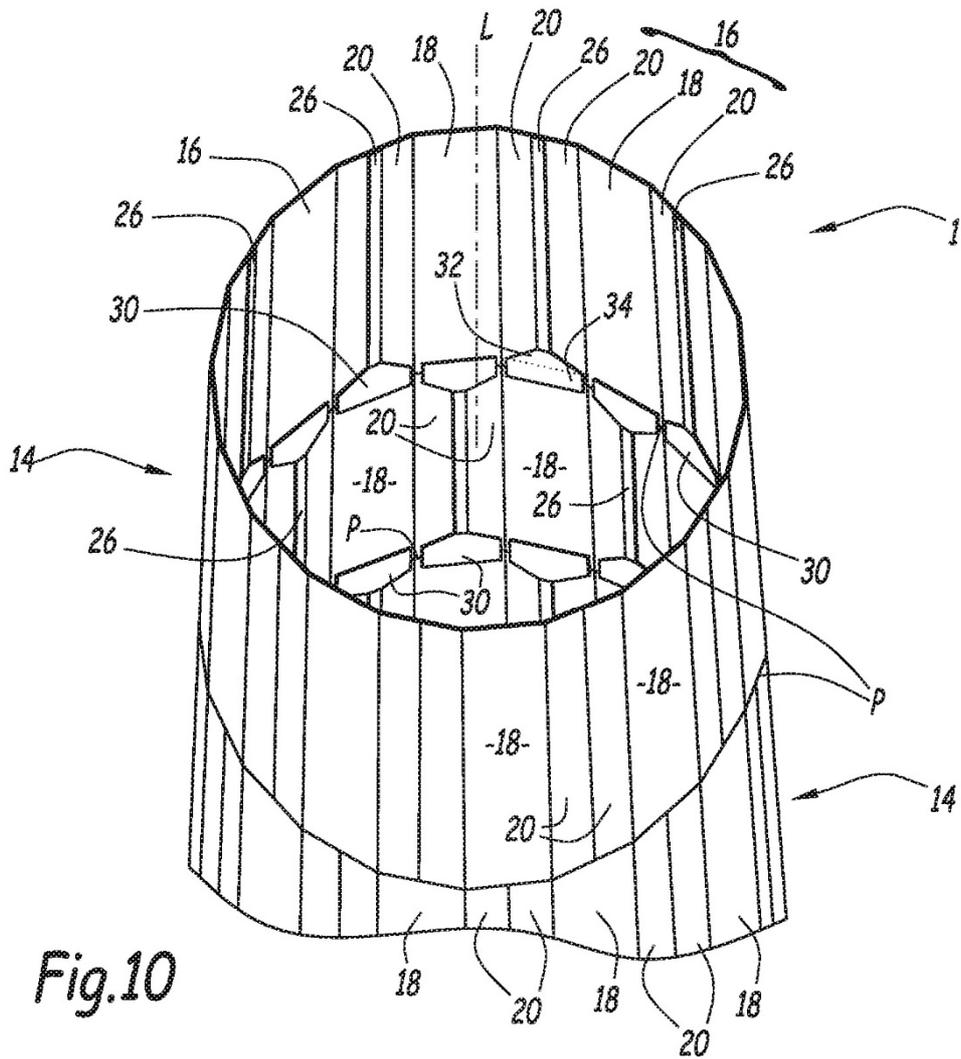


Fig. 10

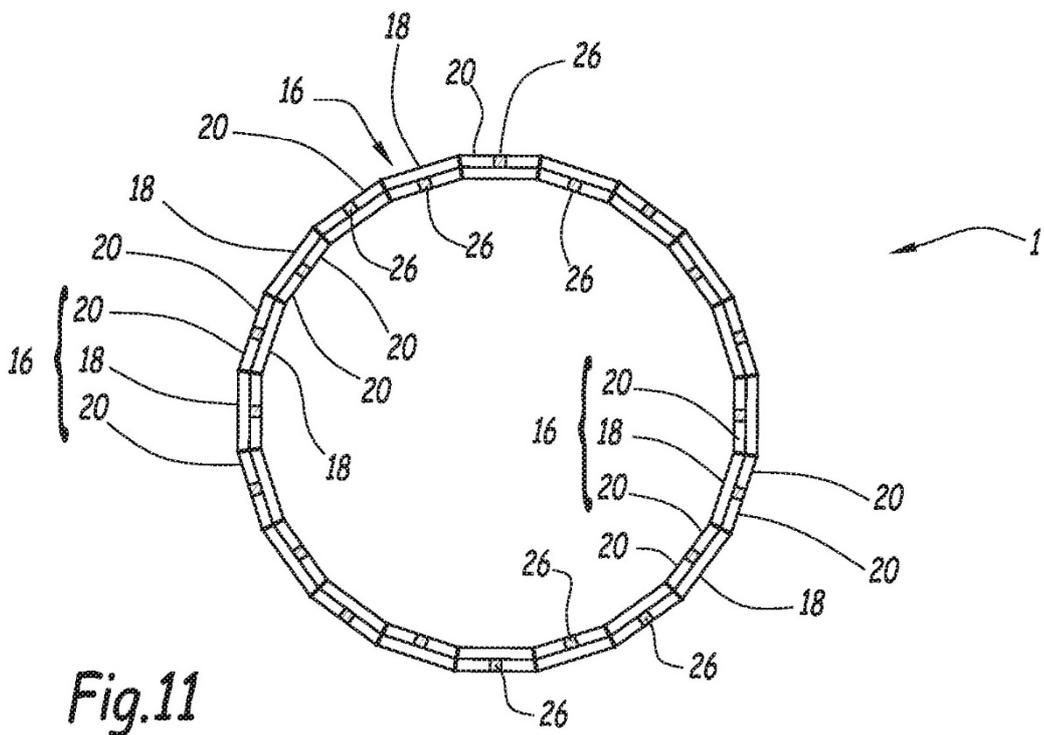


Fig. 11