

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 979 263**

51 Int. Cl.:

**F03D 13/10** (2006.01)

**F03D 13/20** (2006.01)

**E04H 12/12** (2006.01)

**E04H 12/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2018 E 18382969 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2024 EP 3670899**

54 Título: **Método para ensamblar una turbina eólica y turbina eólica ensamblada según dicho método**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.09.2024**

73 Titular/es:  
**NORDEX ENERGY SPAIN, S.A.U. (100%)  
Polígono Industrial Barasoain Parcela 2  
31395 Barasoain Navarra, ES**

72 Inventor/es:  
**GARDUÑO ESTEBANEZ, AITOR;  
CAL HERNANDEZ, ALEXANDRE;  
GARCIA MAESTRE, IVAN;  
GOMEZ ANDUEZA, ASIER;  
CERRILLO GOMEZ, VANESSA;  
GASTON LUJAMBIO, ANDER;  
ARLABÁN GABEIRAS, TERESA;  
GARCÍA SAYÉS, JOSÉ MIGUEL y  
NUÑEZ POLO, MIGUEL**

74 Agente/Representante:  
**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 979 263 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

Método para ensamblar una turbina eólica y turbina eólica ensamblada según dicho método

5

**Objeto de la invención**

El objeto de la invención es un método para ensamblar una turbina eólica en ubicaciones donde puedan producirse terremotos que, usando medios adecuados, logre un equilibrio entre la velocidad de ejecución del ensamblaje de la turbina eólica y la garantía de que la torre resistirá las cargas asociadas a posibles terremotos durante el ensamblaje.

10

Otro objeto de la presente invención es una turbina eólica ensamblada según el método anterior.

**Antecedentes de la invención**

15

Las turbinas eólicas comprenden una torre, una góndola que aloja el generador eléctrico y un rotor formado a su vez por al menos dos palas. La torre de la turbina eólica soporta la góndola y el rotor. Las grandes turbinas eólicas tienen torres de acero, celosía, o de hormigón reforzado o incluso torres de tipo mixto, comprendiendo estas últimas secciones de diferentes materiales, por ejemplo, una sección inferior de hormigón y una sección superior de acero o celosía.

20

Debido a la altura de las turbinas eólicas, la torre tiene que dividirse en varias secciones anulares que se apilan durante la etapa de ensamblaje de la turbina eólica, formando de este modo la altura total de la torre. Dividir la torre en secciones tiene la ventaja de que cada sección tiene un tamaño tal que su transporte por carretera o ferrocarril es más fácil.

25

Uno de los materiales más usados comúnmente para las grandes torres es el hormigón, ya que esto implica costos y rendimiento competitivos en comparación con los de la producción de torres de acero de características similares. Sin embargo, el peso de cada sección de torre de hormigón puede superar fácilmente las cien toneladas, siendo este hecho poco frecuente para secciones de torre metálicas, por lo que apilar las secciones de hormigón requiere medios de elevación y posicionamiento de gran tonelaje. El costo para usar tales medios de elevación y posicionamiento, que pueden ser, por ejemplo, una grúa, está directamente relacionado con el tonelaje y la altura que son capaces de manejar y el tiempo de uso de los mismos. Esta grúa de alto tonelaje también se usa para elevar y posicionar la góndola, ya que el peso de la góndola también puede superar las 100 toneladas.

30

El diseño de los componentes de la turbina eólica y el diseño de las conexiones entre ellos una vez colocados, deben tener en cuenta las cargas que deberán soportar a lo largo de su vida útil para asegurar la correcta operación de las mismas. En particular, las conexiones entre las diferentes secciones de hormigón de la torre se adaptan para soportar las cargas que deberán soportar a lo largo de su vida útil.

35

Además de las cargas esperadas que debe soportar la turbina eólica, tal como las cargas gravitacionales, las cargas de ensamblaje, las cargas inerciales, las cargas aerodinámicas, las cargas operativas, etc., también deben tenerse en cuenta otras cargas, dependiendo de la ubicación donde se vaya a instalar la turbina eólica, tal como los terremotos.

40

Como es sabido, un terremoto es un fenómeno de sacudidas repentinas y transitorias de la superficie de la Tierra producido por la liberación de la energía acumulada en forma de ondas sísmicas, y por supuesto, las turbinas eólicas no escapan a esta realidad. Por lo tanto, el período de construcción de la turbina eólica es una situación muy vulnerable, ya que podría producirse un evento sísmico durante el ensamblaje de las turbinas eólicas, cuando los componentes de la turbina eólica no se han fijado por completo.

45

La patente núm. EP2541047 (Acciona Windpower) describe un método para ensamblar una turbina eólica que comprende: una torre que comprende una pluralidad de secciones anulares de hormigón; una góndola y un rotor; comprendiendo el método colocar la góndola en una sección superior de las secciones anulares de hormigón y a continuación ensamblando el rotor a la góndola, en donde las conexiones principales para conectar las secciones anulares de hormigón entre sí usando medios de conexión principales para resistir las cargas provocadas por el rotor se realizan después de apilar la góndola en la sección anular superior y antes de ensamblar el rotor a la góndola. Sin embargo, este método no tiene en cuenta la posibilidad de que se produzcan terremotos durante el ensamblaje de la turbina eólica, por lo que no sería factible para ubicaciones sísmicas.

50

Por lo tanto, el método de la presente invención resuelve el problema descrito anteriormente, proporcionando un método capaz de hacer que el subconjunto de la turbina eólica sea estable durante el ensamblaje del mismo en caso de un terremoto.

55

**Descripción de la invención**

60

65

Esta invención describe las características de las conexiones entre secciones de la torre que se llevan a cabo durante el ensamblaje de la turbina eólica y que permiten no solo ejecutarlas muy rápidamente sino también minimizar el riesgo de colapso de la turbina eólica en caso de un terremoto.

5 Más particularmente, la invención proporciona un método según la reivindicación 1 para ensamblar una turbina eólica que comprende una etapa en donde se realizan conexiones auxiliares entre una primera y una segunda sección anular antes de apilar una tercera sección, de modo que se minimiza la posibilidad de que un terremoto dañe la turbina eólica durante su ensamblaje. Esto se logra reduciendo el tiempo que las secciones permanecen sin ninguna conexión capaz de soportar dichas cargas sísmicas potenciales.

10 La invención también se refiere a una turbina eólica según la reivindicación 15, la turbina eólica comprende una torre, una góndola y un rotor. La torre es del tipo que comprende secciones anulares apilables, en donde al menos dos de estas secciones anulares, p. ej., una primera y una segunda secciones anulares, se fabrican preferiblemente de hormigón.

15 Como concepto general, según el método de la invención, todas las secciones anulares se apilan consecutivamente unas sobre otras, en donde una de las secciones anulares, denominada “sección anular superior”, se apila encima de todas las demás secciones anulares y finalmente la góndola se apila sobre la sección anular superior. Las conexiones auxiliares se realizan no solo para conectar la segunda sección anular a la primera sección anular, sino que también se realizan conexiones auxiliares, para conectar la tercera sección anular a la segunda sección anular, después de apilar la tercera sección anular, pero antes de que se apile una cuarta sección anular, o la góndola, etc.

20 Por consiguiente, durante el período de tiempo que tarda la turbina eólica en estar completamente ensamblada, la turbina eólica se protege contra posibles cargas sísmicas, ya que se proporcionan conexiones auxiliares a medida que se apilan las secciones anulares.

25 Para soportar todas las cargas de operación inducidas por el viento en la turbina eólica, incluido el rotor, las conexiones principales, como se explica a continuación, se realizan conectando la primera y la segunda secciones anulares entre sí; en general, las conexiones principales conectan cada par de secciones anulares apiladas consecutivamente entre sí, así como la sección anular superior y la góndola entre sí.

30 La ejecución de la conexión auxiliar lleva sustancialmente menos tiempo que la ejecución de las conexiones principales. En general, esto se aplica a todas las conexiones auxiliares con respecto a las conexiones principales correspondientes, para todas las secciones anulares. Este hecho, junto con el hecho de que la ejecución de la conexión auxiliar que conecta la primera y la segunda sección anular entre sí, se realiza antes del apilamiento de la tercera sección anular, conlleva la consecuencia de que el método de ensamblaje propuesto minimiza, por un lado, los daños causados a la torre mientras se monta en cada etapa del ensamblaje, así como también minimiza la posibilidad de que la torre se derrumbe durante un terremoto y, por otro lado, minimiza el espectro de cargas sísmicas que podrían afectar a la torre montada en cada escalón, al reducir el tiempo en el que las secciones permanecen sin una conexión auxiliar que resista dichas posibles cargas.

35 Las conexiones auxiliares se configuran para adquirir un primer nivel de resistencia necesario para soportar las cargas inducidas por un terremoto por primera vez y las conexiones principales se configuran para adquirir un segundo nivel de resistencia necesario para soportar todas las cargas de operación de la turbina eólica por segunda vez, en donde la segunda vez es más larga que la primera vez.

### Descripción de las figuras

40 Para complementar la descripción que se realiza y en aras de una mejor comprensión de las características de la invención según una realización práctica preferida de la misma, se adjunta como parte integral de dicha descripción un conjunto de dibujos en donde, con fines ilustrativos y sin limitar el alcance de la invención, se muestra lo siguiente:

45 Figura 1. - Muestra una vista esquemática de una realización particular en donde la torre comprende secciones apilables y una grúa está apilando una sección sobre las secciones inferiores.

50 Figura 2. - Muestra una vista esquemática de una torre que comprende cuatro secciones apiladas en donde una grúa está apilando la góndola sobre la sección superior.

55 Figura 3. - Muestra una vista esquemática de una sección a lo largo de un plano vertical de dos secciones adyacentes y una vista en planta de la sección inferior que muestra una primera realización de conexiones auxiliares de secciones entre sí.

60 Figura 4. - Muestra una vista esquemática de una sección a lo largo de un plano vertical de dos secciones adyacentes y una vista en planta de la sección inferior que muestra una segunda realización no reivindicada de conexiones auxiliares de secciones entre sí.

65

Figura 5. - Muestra una vista esquemática de una sección a lo largo de un plano vertical de dos secciones adyacentes y una vista en planta de la sección inferior que muestra una tercera realización no reivindicada de conexiones auxiliares de secciones entre sí.

5 Figura 6. - Muestra una vista esquemática de una realización de las conexiones principales.

### Realización preferida de la invención

10 A continuación, se proporcionará una descripción detallada de una realización preferida de la presente invención, con la ayuda de las Figuras 1-6 anteriormente mencionadas.

15 La invención se refiere, según un primer aspecto de la misma, a un método de ensamblaje para una turbina eólica que comprende una torre (1), una góndola (2) y un rotor. La torre (1) es del tipo que comprende secciones anulares apilables (3, 4, 5, 6), en donde al menos dos de las secciones anulares (3, 4, 5, 6), p. ej., una primera (3) y una segunda (4) secciones anulares, se fabrican de hormigón.

Este método puede aplicarse a cualquier torre (1) de turbina eólica independientemente del número de secciones anulares de hormigón que comprenda.

20 Las secciones anulares (3, 4, 5, 6) pueden comprender, además de la primera (3) y segunda (4) secciones anulares, al menos una sección anular adicional (5, 6), fabricada de hormigón. La torre (1) puede comprender adicionalmente otras secciones anulares (no mostradas en las figuras) que no se fabrican de hormigón, sino que, por ejemplo, se fabrican de acero.

25 El método de la invención se refiere a apilar, sobre la primera sección anular (3), la segunda sección anular (4) y, una vez apilada la segunda sección anular, conectar la primera sección anular (3) a la segunda sección anular (4) mediante conexiones auxiliares capaces de soportar las cargas sísmicas inducidas por un terremoto, para permitir que la torre (1) resista las cargas inducidas por un terremoto que puedan producirse durante el ensamblaje.

30 Cuando la torre (1) comprende las secciones anulares adicionales (5, 6) fabricadas de hormigón, la invención se refiere a un método repetitivo, en el que todas las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6) se apilan consecutivamente unas sobre otras, es decir, la tercera sección anular (5) se apila sobre la segunda sección anular (4), la cuarta sección anular (6) se apila sobre la tercera sección anular (5), y de este modo sucesivamente, hasta que todas las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6) estén apiladas. Después, si la torre (1) comprende la sección anular no de hormigón antes mencionada, estas se apilan sobre las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6). Finalmente, la góndola (2) y el rotor se montan encima de todas las secciones anulares apiladas, ya sean de hormigón o no de hormigón.

35 La Figura 1 muestra parte del método de ensamblaje de la invención. Por medio de un medio (7) de elevación y posicionamiento, tal como una grúa (7), todas las secciones anulares (3, 4, 5, 6) de la torre (1) se elevan y se posicionan en un modo apilado.

40 Para conectar las secciones anulares (3, 4, 5, 6) entre sí, se proporcionan conexiones auxiliares, realizadas por medios de conexión auxiliares, y que se destinan a soportar las cargas sísmicas inducidas por un terremoto, para permitir que la torre resista las cargas inducidas por un terremoto que pueda producirse durante el ensamblaje. Según una realización preferida, las conexiones auxiliares pueden destinarse además a soportar cargas inducidas por el viento sobre la turbina eólica en ausencia del rotor, pero no cargas inducidas por el rotor y el viento en el rotor. Según una realización más preferida, las conexiones auxiliares pueden destinarse además a soportar las cargas inducidas por el viento en la turbina eólica, incluido el rotor, preferiblemente con las palas en una posición erigida. Con mayor preferencia con las palas en una posición erigida cuando la turbina eólica no está operando. En la posición erigida, las palas apenas ofrecen resistencia al viento, por lo tanto el rotor gira libremente, aunque mucho más lento que en operación, de tal modo que las cargas en la posición erigida son mucho más bajas que las cargas de operación.

45 Las conexiones auxiliares, además de soportar las cargas inducidas por el viento sobre la turbina eólica, incluido el rotor con las palas en una posición emplumada, son capaces de transmitir cargas de peso propio y cargas inducidas por un terremoto a la base de la torre (1), soportando no solo las tensiones de compresión sino también las tensiones de flexión, tracción y cizallamiento y permitiendo soportar cargas durante el ensamblaje. Según lo anterior, las conexiones auxiliares, cuando se dimensionan correctamente, permiten montar el rotor usando la misma grúa (7) sin necesidad de realizar previamente las conexiones principales, que se realizarían más adelante, liberando de este modo la grúa (7) para montar otra turbina eólica o desmontarla.

50 El método de la invención destaca porque las conexiones auxiliares para la primera (3) y la segunda sección anular (4) se realizan antes de que cualquier otra sección anular, ya sea de hormigón o no, se apile sobre la segunda sección anular (4).

65

En el caso en donde la torre (1) comprenda las secciones anulares de hormigón adicionales (5, 6), las conexiones auxiliares también se realizan después de apilar cada sección anular de hormigón (4, 5, 6), pero antes de apilar cualquier sección anular siguiente (ya sea hormigón o no hormigón) o la góndola.

5 En particular, en las siguientes etapas del método, una vez que se hayan apilado la primera (3) y segunda (4) secciones anulares y ya se hayan realizado las conexiones auxiliares para conectar la segunda (4) y la primera (3) secciones anulares entre sí, las etapas de apilar y realizar conexiones auxiliares se realizan para cualquier otra sección anular de hormigón (5, 6), de tal modo que las conexiones auxiliares aún permitan que las secciones conectadas (4, 5, 6) soporten las cargas inducidas por un terremoto que pueda producirse durante el ensamblaje. Esta etapa se repite con el resto de las secciones anulares de hormigón (5, 6) hasta que todas las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6) estén apiladas unas sobre otras.

15 Lo que se pretende al realizar conexiones auxiliares inmediatamente después de apilar cada sección anular (3, 4, 5), pero antes de apilar cualquier sección anular siguiente o la góndola, es encontrar un equilibrio entre, por un lado, un método de ensamblaje de la turbina eólica que consuma menos tiempo y, por otro lado, un menor riesgo de que la turbina eólica colapse en caso de un eventual terremoto durante el ensamblaje de la misma. Además, una vez que la torre (1) se ensambla de modo seguro y comprende todas las conexiones auxiliares requeridas, ya no es necesario el uso de la grúa (7) de gran tonelaje, ya que las conexiones auxiliares aseguran que la torre (1) no se dañe ni colapse debido a posibles terremotos. Por lo tanto, la grúa (7) puede moverse a otra ubicación y dedicarse a otras tareas de ensamblaje en otras turbinas eólicas dentro de la granja eólica. Por lo tanto, el tiempo de uso de la grúa (7) de gran tonelaje se reduce cuando se construye una torre (1) o un conjunto de torres (1) con este método.

20 Además de las conexiones auxiliares mencionadas anteriormente, cada par de secciones anulares adyacentes (3, 4, 5, 6) se conecta además entre sí, así como una sección anular superior, ya sea de hormigón o no hormigón, y que se apila encima de todas las secciones anulares apiladas, se conecta a la góndola (2), mediante conexiones principales, que se destinan a soportar todas las cargas de operación inducidas por el viento (y posibles terremotos) sobre la turbina eólica que incluye el rotor.

30 Según una realización preferida, la conexión principal que conecta la góndola (2) a la sección anular superior se realiza antes de realizar cualquiera de las conexiones principales que conectan las secciones anulares (3, 4, 5, 6) entre sí, en donde las conexiones principales que conectan las secciones anulares (3, 4, 5, 6) ubicadas ascendentemente se realizan antes que las de las secciones anulares (3, 4, 5, 6) ubicadas cerca de la parte inferior debido a las secciones superiores tienen una mayor posibilidad de volcarse en caso de terremotos. Alternativamente, las conexiones principales pueden realizarse comenzando con una parte inferior de la torre (1), es decir, primero la conexión principal que conecta la primera sección anular (3) a la segunda sección anular (4), y después la conexión principal que conecta las segundas secciones anulares (4) a la tercera sección anular (5) y así sucesivamente.

40 La Figura 2 representa una etapa del método objeto de la invención en donde, por medio de la grúa (7), la góndola (2) se eleva y se posiciona sobre la sección anular superior. Posteriormente debe realizarse una conexión principal para conectar la góndola (2) y la sección anular superior (6). Finalmente, se realizan conexiones principales para conectar todas las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6) entre sí por medio de medios de conexión principales.

45 También preferiblemente, las conexiones auxiliares se configuran además para adquirir un primer nivel de resistencia necesario para soportar las cargas inducidas por un terremoto por primera vez y las conexiones principales se configuran para adquirir un segundo nivel de resistencia necesario para soportar todas las cargas de operación de la turbina eólica por segunda vez, más larga que la primera vez.

50 Como se explicó anteriormente, al menos la primera (3) y la segunda (4) secciones anulares se fabrican de hormigón. Preferiblemente, una, algunas o todas, las secciones anulares adicionales (5, 6) se fabrican también de hormigón. En particular, la sección anular superior (6) puede fabricarse también de hormigón. Sin embargo, como alternativa, la torre (1) puede comprender otras secciones anulares no fabricadas de hormigón sino, por ejemplo, tipos seleccionados de acero, ocupando las secciones anulares (3, 4, 5, 6) fabricadas de hormigón la posición inferior, en donde las secciones anulares no fabricadas de hormigón se apilarían sobre las secciones anulares (3, 4, 5, 6) fabricadas de hormigón.

55 Según una realización preferida para realizar las conexiones auxiliares, véase la Figura 3, la primera sección anular (3) comprende alojamientos (9), ubicados en una brida superior de la primera sección anular (3), y la segunda sección anular (4) comprende barras (8) emanando al menos de una brida inferior de la segunda sección anular (4). Los alojamientos (9) de la primera sección anular (3) se configuran para asignar las barras (8) de la segunda sección anular (4), para definir ensamblajes de barra (8)-alojamiento (9) en donde las barras (8) se insertan en los alojamientos (9). En general, para cada par de secciones anulares adyacentes (3, 4, 5, 6) fabricadas de hormigón, una de las secciones anulares adyacentes (3, 4, 5, 6), denominada sección anular superior (4, 5, 6), se apila sobre la otra sección anular adyacente (3, 4, 5, 6), denominada sección anular inferior (3, 4, 5), en donde la sección anular superior (4, 5, 6) tiene barras (8) como se explicó anteriormente para la segunda sección anular (4), mientras que la sección anular inferior (3, 4, 5) tiene alojamientos (9) como se explicó anteriormente para la primera sección anular (3).

65

La Figura 3 muestra también la conexión entre una sección anular inferior y una superior, específicamente la primera (3) y segunda (4) secciones anulares. Una vez que las barras (8) se han introducido en los alojamientos (9), se realizan posteriormente las conexiones auxiliares.

- 5 Preferiblemente, los alojamientos (9) se distribuyen homogéneamente a lo largo de la brida superior de cada sección anular inferior (3, 4, 5); por ejemplo, los alojamientos (9) se ubican perimetralmente, con una separación angular uniforme, como se ve en las Figuras 3-5.

10 Para realizar las conexiones auxiliares, una vez que la sección anular superior se ha apilado sobre la sección anular inferior, y siempre antes de apilar otra sección anular sobre la sección anular superior, la resina (11) se inserta (preferiblemente se vierte) en al menos uno de los alojamientos (9) de la sección anular inferior (3, 4, 5). En particular, la resina (11) se inserta de tal modo que algunas o todas los alojamientos (9) se rellenan parcialmente con resina (11). Preferiblemente, solo algunos, pero no todos, los alojamientos (9), por ejemplo, entre el 20 % y el 40 %, se rellenan parcialmente con resina (11). Los alojamientos (9) que están llenas de resina (11) se rellenan preferiblemente hasta el 30 %, con mayor preferencia hasta el 40 %, del volumen de los alojamientos (9). La resina (11) se inserta preferiblemente en alojamientos (9) no contiguos, véase la Figura 3.

20 Como resultado de la resina (11) que se ha endurecido, se consigue un anclaje temporal. Esto asegura que las barras (8) resistan la tensión de doblado (flexión) durante el ensamblaje de la turbina eólica en el caso de cargas laterales debidas al efecto de eventuales terremotos.

25 Apilar una sección anular (4, 5, 6) sobre una sección anular (3, 4, 5) previamente montada puede llevar un tiempo de apilamiento de aproximadamente 3 horas. Según una realización preferida, realizar cualquier conexión auxiliar lleva un tiempo que es más corto que el tiempo de apilamiento, de tal modo que el ensamblaje de la turbina eólica no se retrasa al realizar las conexiones auxiliares. El tiempo necesario para realizar una conexión auxiliar puede preseleccionarse, por ejemplo, seleccionando un tipo apropiado de resina (11).

30 Preferiblemente, a modo de ejemplo, la etapa para rellena parcialmente con resina (11) algunos o todos los alojamientos (9) requiere un primer tiempo predeterminado que es preferiblemente de 40 minutos o menos, con mayor preferencia de 30 minutos o menos. Posteriormente, puede esperarse un segundo tiempo predeterminado después de que el alojamiento (9) se rellena parcialmente, para permitir que la resina (11) se cure, antes de apilar la tercera sección anular (5) o la góndola (2) sobre la segunda sección anular (4). Como se ha explicado anteriormente, la duración combinada del primer y segundo tiempos predeterminados es preferiblemente menor que el tiempo de apilamiento, preferiblemente menor que tres horas.

35 La aplicación parcial de resina (11) en los alojamientos (9) de cada sección anular de hormigón (3, 4, 5, 6), como se explicó anteriormente, se realiza preferiblemente en un tiempo menor que o igual al primer tiempo preestablecido de aplicación de la resina (11) para reducir la posibilidad de que la torre (1) colapse en caso de un eventual terremoto y también para reducir el espectro de cargas que debe soportar la conexión auxiliar; si la aplicación de la resina (11) lleva más tiempo, el tiempo de exposición aumenta, y cuanto mayor es el tiempo de exposición, mayor es la probabilidad de tener un terremoto de mayor magnitud. Esto se consigue porque las conexiones auxiliares permiten a la torre (1) soportar las cargas que pueda sufrir la estructura en tal caso. En este sentido, cuanto antes se terminen las conexiones auxiliares, menor será el tiempo de exposición de las secciones anulares (3, 4, 5, 6) a un posible terremoto sin conexiones seguras.

40 Para realizar las conexiones principales entre las secciones anulares adyacentes (3, 4, 5, 6), los alojamientos (9) que se rellenan parcialmente con resina (11) se completan más tarde llenándolas totalmente con lechada (10). Además, la lechada (10) se inserta en los alojamientos (vacíos) (9) donde no se ha insertado resina (11). Según una realización preferida, realizar las conexiones principales puede comprender una etapa adicional para insertar (por ejemplo, verter) lechada (10), o un producto funcionalmente equivalente, para rellena el espacio (18) que existe entre cada par de secciones anulares apiladas consecutivamente (3, 4, 5, 6). Puede usarse hormigón en lugar de lechada (10). También puede usarse resina (11) en lugar de lechada (10).

50 Como se ha mencionado anteriormente, más adelante, al realizar las conexiones principales, se logrará una conexión final llenando con lechada (10) el volumen vacío restante en los alojamientos (9), es decir, el volumen no relleno con resina (10), de tal modo que todas las barras (8) soporten sustancialmente las mismas cargas.

55 La Figura 3 muestra una realización en la que, tras la ejecución de las conexiones principales, algunos de los alojamientos (9) comprenderán resina (11) en una zona inferior y lechada (10) en la zona superior, y el espacio (18) que existe entre las dos secciones anulares adyacentes (específicamente la primera (3) y la segunda (4) secciones anulares) se rellena con lechada (10).

60 Realizar las conexiones principales que conectan la góndola (2) y la sección anular superior (6) entre sí puede comprender sujetar la góndola (2) y la sección anular superior (6) con elementos de retención.

65

La Figura 4 muestra una segunda realización no reivindicada de las conexiones auxiliares. Según tal realización, en una parte inferior de al menos uno de los alojamientos (9) hay un rebaje (12) que se abre hacia el interior de la sección anular inferior (3, 4, 5), de tal modo que la etapa para realizar las conexiones auxiliares comprende las siguientes etapas:

- 5 - acceder a las barras (8) de la sección anular superior (4, 5, 6) a través de los rebajes (12) de la sección anular inferior (3, 4, 5), y
- 10 - fijar un elemento (13) de retención a la barra (8) dentro del rebaje (12).

Las conexiones principales muestran la lechada (10) insertada en los alojamientos (9) y en el espacio (18) que existe entre las dos secciones anulares adyacentes.

La Figura 5 muestra una realización alternativa no reivindicada para las conexiones auxiliares en donde se usan lengüetas (14, 15) y varillas (16) de espiga. Según tal realización, las conexiones auxiliares pueden realizarse por medio de primeras lengüetas (14) que forman parte integral de, o se acoplan a, la brida superior de la sección anular inferior (3, 4, 5), y segundas lengüetas (15) que forman parte integral de, o se acoplan a, la brida inferior de la sección anular superior (4, 5, 6), de tal modo que realizar las conexiones auxiliares comprende las etapas de:

- 20 - conectar las primeras lengüetas (14) a las segundas lengüetas (15) interponiendo varillas (16) de espiga entre las mismas, y
- 25 - bloquear las varillas (16) de espiga.

Dichas lengüetas (14, 15) pueden posicionarse y fijarse a las paredes de las secciones anulares (3, 4, 5, 6) en una fábrica en el momento de la fabricación de las mismas, o alternativamente in situ cuando se ensambla la turbina eólica. Preferiblemente, y para cada conexión, una de las primeras lengüetas (14) se fija de fábrica a una de las secciones (3) y otra una de las segundas lengüetas (15) se fija a la sección adyacente (4) cuando se ensambla la torre (1), permitiendo ajustar la posición para asegurar el contacto de los planos de cualquier primera lengüeta (14) y la segunda lengüeta (15) correspondiente. Por lo tanto, se superan los problemas de tolerancias en componentes de grandes dimensiones.

Las conexiones principales muestran la lechada (10) insertada en los alojamientos (9) y en el espacio (18) que existe entre las dos secciones anulares adyacentes.

El método para realizar las conexiones auxiliares que implican las secciones anulares (3, 4, 5, 6) de la torre (1), según la invención, es mucho menos costoso en cuanto al tiempo que realizar las conexiones principales que implican dichas secciones anulares (3, 4, 5, 6). Por lo tanto, el tiempo de operación de la grúa (7), que es una grúa (7) de alto tonelaje, puede reducirse, ya que los componentes de la turbina eólica, incluidas la góndola (2) y la torre (1), se conectarán de modo seguro a través de conexiones que permiten al ensamblaje soportar las cargas relacionadas con los fenómenos que pueden ocurrir durante la etapa de ensamblaje. Posteriormente, las conexiones principales necesarias para soportar todas las cargas operativas de la turbina eólica y por lo tanto realizadas antes de encender la turbina eólica para que pueda empezar a generar energía, pueden realizarse usando otros medios diferentes a la grúa (7) de alto tonelaje.

La velocidad de ejecución de las conexiones auxiliares permite que todo el proceso se realice de modo continuo usando una única grúa (7) y por lo tanto se reduce el tiempo de operación de la grúa (7) de alto tonelaje para el ensamblaje de la turbina eólica. Dicha grúa (7) puede usarse una vez que se hayan realizado las conexiones auxiliares y se hayan apilado todos los componentes pesados para ensamblar otra turbina eólica en la granja eólica.

Teniendo en cuenta las propiedades de la resina (11) y la lechada (10), principalmente el módulo de Young (E), y estableciendo una relación adecuada entre las dimensiones de las áreas que incluyen la resina (11) y las dimensiones de las áreas que incluyen la lechada (10), se alcanzan propiedades adecuadas de resistencia de la unión final. En general, el módulo de Young (E) alcanzado por la resina (11) es menor que el alcanzado por la lechada (10), de tal modo que si todos los alojamientos (9) se llenaran solo con resina (11), las barras (8) insertadas dentro de estos alojamientos (9) soportarían una carga menor que las barras (8) insertadas en aquellos alojamientos (9) rellenos solo con lechada (10). En una realización, la dimensión del área del alojamiento (9) que incluyen resina (11) es menos del 50 % del volumen total del alojamiento (9). De este modo, las barras (8) que se insertan en estos alojamientos (9), después de rellenarse completamente con lechada (10) y después de que la lechada (10) se ha endurecido, funcionan de modo similar que el resto de las barras (8) insertadas en alojamientos (9) rellenos solo con lechada (10) a pesar de las diferentes propiedades (módulo de Young) de la resina y la lechada.

El tiempo total requerido para llevar a cabo las conexiones principales es la suma del requerido para realizar la inyección de la lechada (10), más el tiempo requerido para que la lechada (10) se cure en cada una de las conexiones principales. Por lo tanto, el tiempo total de ejecución de las conexiones principales supera las 24 horas en general, y a menudo supera las 48 o incluso 72 horas.

Una vez realizadas todas las conexiones principales, se coloca el rotor y la turbina eólica es capaz de soportar todas las cargas operativas inducidas por dicho rotor una vez en operación (debido al viento que actúa sobre la superficie de las palas y al propio peso del rotor).

5 La Figura 6 muestra una realización para acceder a las uniones entre las secciones anulares de hormigón (3, 4, 5, 6) y para realizar las conexiones principales, en donde se usan medios de elevación que comprenden una plataforma colgante (17) suspendida de la góndola (2) o de la sección superior (6) de la torre (1), evitando de este modo el uso de grúas grandes (7) o plataformas intermedias.

10 Preferiblemente, la torre (1) es una torre troncocónica (1).

15 A continuación, se muestra una tabla, indicando, como porcentaje, una relación del número de alojamientos (9) rellenos con resina (11) con respecto al número total de alojamientos (9) para cada sección anular, como una función de la altura a la que se encuentra la sección anular. Como puede observarse, hay 6 secciones anulares que definen 5 uniones. El volumen total relleno del conjunto de alojamientos (9) disminuye a medida que aumenta la altura, sin embargo, en la sección anular (5) inmediatamente debajo de la sección anular superior (6), que corresponde a una altura de 100 m, este aumenta. La línea más baja del diagrama (TOTAL) indica la relación porcentual de los alojamientos (9) rellenos con resina (11) con respecto al número total de alojamientos (9) para toda la torre (1).

H(m)	%
100	27
80	25
60	27
40	35
20	39
TOTAL	30

30 La conexión para conectar la sección anular inferior y la base (19), y la conexión para conectar la sección anular superior (6) (la sección más alta) y la góndola (2) son conexiones principales, no usan conexiones auxiliares.

35 La invención también se refiere, según un segundo aspecto, a una turbina eólica que comprende una torre (1), una góndola (2) y un rotor, en donde la turbina eólica se ensambla según el método descrito anteriormente.

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para ensamblar una turbina eólica, en donde la turbina eólica comprende una torre (1), una góndola (2) y un rotor, comprendiendo la torre (1) secciones anulares apilables (3, 4, 5, 6), en donde el método comprende las siguientes etapas:

-apilar, sobre una primera sección anular (3), una segunda sección anular (4), usando medios (7) de elevación y posicionamiento;

-realizar conexiones auxiliares para conectar la primera (3) y segunda (4) secciones anulares entre sí usando medios de conexión auxiliares, en donde las conexiones auxiliares se realizan antes de apilar una tercera sección anular (5) u otro componente de turbina eólica sobre la segunda sección anular (4), en donde las conexiones auxiliares se configuran además para soportar las cargas sísmicas inducidas por un terremoto;

en donde, para realizar las conexiones auxiliares, la primera sección anular (3) comprende alojamientos (9), ubicados en una brida superior de la primera sección anular (3), y la segunda sección anular (4) comprende barras (8) que emanan al menos de una brida inferior de la segunda sección anular (4), en donde los alojamientos (9) de la primera sección anular (3) se configuran para asignar las barras (8) de la segunda sección anular (4), para definir ensamblajes de barra (8)-alojamiento (9) en donde las barras (8) se insertan dentro de los alojamientos (9); y

**caracterizado por que:**

-la etapa para realizar las conexiones auxiliares comprende rellenar parcialmente con resina (11) solo algunos de los alojamientos (9), en donde una etapa para realizar las conexiones principales para conectar la primera sección anular y la segunda sección anular entre sí comprende completar el rellenado de los alojamientos que ya contienen resina con lechada y rellenar con lechada los alojamientos que no se han rellenado con resina; o en donde

-la etapa para realizar las conexiones auxiliares comprende rellenar parcialmente con resina (11) todos los alojamientos (9), en donde una etapa para realizar las conexiones principales para conectar la primera sección anular y la segunda sección anular entre sí comprende completar el rellenado de los alojamientos que ya contienen resina con lechada.

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende además las etapas de:

-una vez realizadas las conexiones auxiliares para conectar la primera sección anular (3) a la segunda sección anular (4), apilando, sobre la segunda sección anular (4), la tercera sección anular (5), usando los medios (7) de elevación y posicionamiento, de tal modo que la tercera sección anular (5) permanezca encima de todas las secciones anulares apiladas (3, 4, 5);

-realizar conexiones auxiliares para conectar la tercera sección anular apilada (5) a la segunda sección anular (4); y

-repetir las dos etapas mencionadas anteriormente, de tal modo que una pluralidad de secciones anulares (5, 6) se apilen una sobre la otra, y se realicen las conexiones auxiliares correspondientes para conectar cualesquiera dos secciones anulares (4, 5, 6) apiladas consecutivamente, en donde las conexiones auxiliares se realizan antes de apilar otra sección anular.

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado por que** comprende además apilar la góndola por encima de todas las secciones anulares apiladas (3, 4, 5, 6), en donde las conexiones auxiliares se configuran además para soportar las cargas inducidas por el viento en la turbina eólica en ausencia del rotor.

4. Método según la reivindicación 3, **caracterizado por que** comprende además unir el rotor a la góndola, en donde las conexiones auxiliares se configuran además para soportar las cargas inducidas por el viento sobre la turbina eólica incluido el rotor con las palas en una posición erigida.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, **caracterizado por que** las conexiones principales para conectar la primera (3) y segunda (4) secciones anulares entre sí están destinadas a soportar todas las cargas de operación inducidas por el viento en la turbina eólica, incluido el rotor.

6. Método según las reivindicaciones 2 y 5, **caracterizado por que** comprende además las siguientes etapas:

-realizar conexiones principales conectando dos secciones anulares adyacentes (4, 5, 6) entre sí; y  
-realizar una conexión principal conectando la góndola (2) y la sección anular superior (6) entre sí;

en donde una conexión principal de las conexiones principales, conectando la góndola (2) y la sección anular superior (6) entre sí, se realiza antes de realizar las conexiones principales que conectan dos secciones anulares adyacentes (4, 5, 6) entre sí.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, **caracterizado por que** las conexiones auxiliares se configuran además para adquirir un primer nivel de resistencia necesario para soportar las cargas inducidas por un terremoto por primera vez y las conexiones principales se configuran para adquirir un segundo nivel de resistencia necesario para soportar todas las cargas de operación de la turbina eólica en una segunda vez más extensa que la primera vez.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** al menos la primera (3) y segunda (4) secciones anulares se fabrican de hormigón.
9. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** realizar las conexiones principales comprende además rellenar con lechada (10) un espacio (18) que queda entre la primera (3) y segunda (4) secciones anulares.
10. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los alojamientos (9) se distribuyen homogéneamente a lo largo de la brida superior de las secciones anulares (3, 4, 5, 6).
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, **caracterizado por que** la etapa para rellenar parcialmente algunas o todos los alojamientos (9) con resina (11) requiere un primer tiempo predeterminado que es preferiblemente de 40 minutos o menos, con mayor preferencia de 30 minutos o menos.
12. Método según la reivindicación 11, **caracterizado por que** comprende además una etapa para esperar un segundo tiempo predeterminado después de que la resina (11) se rellena parcialmente, para permitir que la resina (11) se cure, antes de apilar la tercera sección anular (5) o la góndola (2) sobre la segunda sección anular (4).
13. Método según la reivindicación 12, **caracterizado por que** la duración combinada del primer tiempo predeterminado más el segundo tiempo predeterminado es menor que el tiempo de apilamiento necesario para apilar una sección anular (4, 5, 6) sobre una sección anular (3, 4, 5) previamente montada, preferiblemente menos de 3 horas.
14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la etapa o etapas para realizar cualquier conexión auxiliar requieren un tiempo que es más corto que el tiempo de la etapa o etapas de apilamiento.
15. Una turbina eólica ensamblada según el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo la turbina eólica una torre (1), una góndola (2) y un rotor, en donde la torre (1) comprende:
- secciones anulares apilables (3, 4, 5, 6), que comprenden al menos una primera sección anular (3), una segunda sección anular (4) y una tercera sección anular (5), en donde la segunda sección anular (4) está prevista para apilarse sobre la primera sección anular (3) por medio de medios (7) de elevación y posicionamiento; y
  - conexiones auxiliares configuradas para conectar previamente la primera (3) y segunda (4) secciones anulares entre sí por medio de medios de conexión auxiliares antes de que la tercera sección anular (5) están previstas para apilarse sobre la segunda sección anular (4),
- en donde las conexiones auxiliares se configuran además para soportar cargas sísmicas inducidas por un terremoto; y
- en donde una sección anular inferior de cada par de secciones anulares (3, 4, 5, 6) conectadas mediante las conexiones auxiliares comprende una brida superior con alojamientos (9), en donde una sección anular superior comprende una brida inferior de donde emanan las barras (8), de tal modo que los alojamientos (9) se configuran para asignar las barras (8), definiendo los ensamblajes de barra (8) y alojamiento (9) para realizar las conexiones auxiliares;
- caracterizado por que** la torre comprende, además:
- la resina (11) que rellena parcialmente solo algunos de los alojamientos (9) para realizar las conexiones auxiliares y la lechada completando el rellenado de los alojamientos que ya contienen resina (11) y rellenando los alojamientos que no se han rellenado con resina (11) para realizar las conexiones principales para conectar la primera sección anular y la segunda sección anular entre sí; o
  - resina (11) que rellena parcialmente todos los alojamientos (9) para realizar las conexiones auxiliares y completando con lechada el rellenado de los alojamientos que ya contienen resina (11) para realizar las conexiones principales para conectar la primera sección anular y la segunda sección anular entre sí.

16. La turbina eólica de la reivindicación 15, que comprende además la tercera sección anular (5) apilada sobre la segunda sección anular (4) por medio de los medios (7) de elevación y posicionamiento, de tal modo que la tercera sección anular (5) permanece encima de todas las secciones anulares apiladas (3, 4, 5); y

5 -en donde las conexiones auxiliares también se configuran para conectar la segunda (4) y la tercera (5) secciones anulares entre sí por medio de los medios de conexión auxiliares antes de que una pluralidad de secciones anulares (6) se prevean para apilarse una sobre la otra, en donde se realizan las conexiones auxiliares correspondientes para conectar cualesquier dos secciones anulares (5, 6) apiladas consecutivamente, en donde las conexiones auxiliares se realizan antes de apilar otra sección anular.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

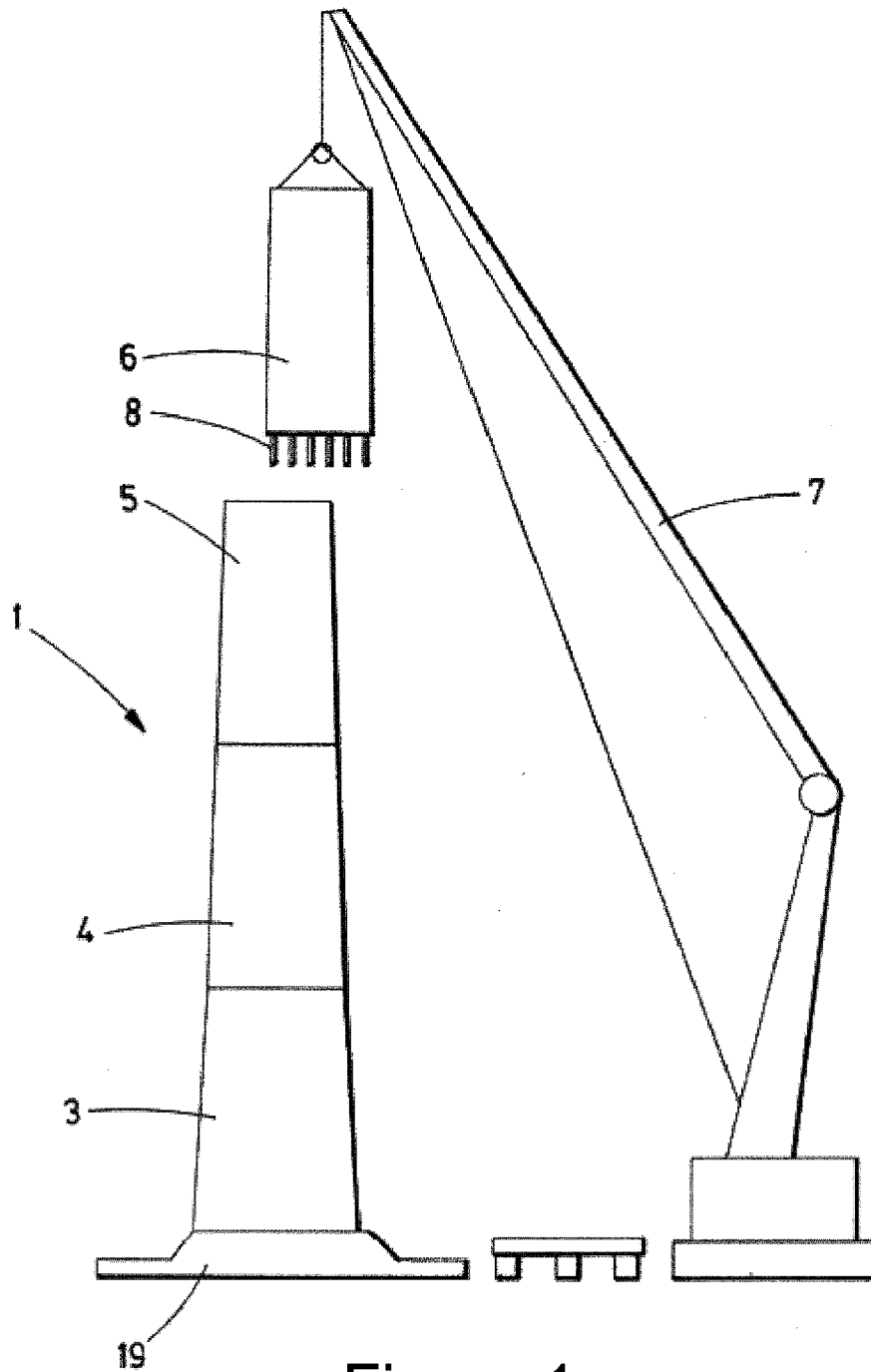


Figura 1

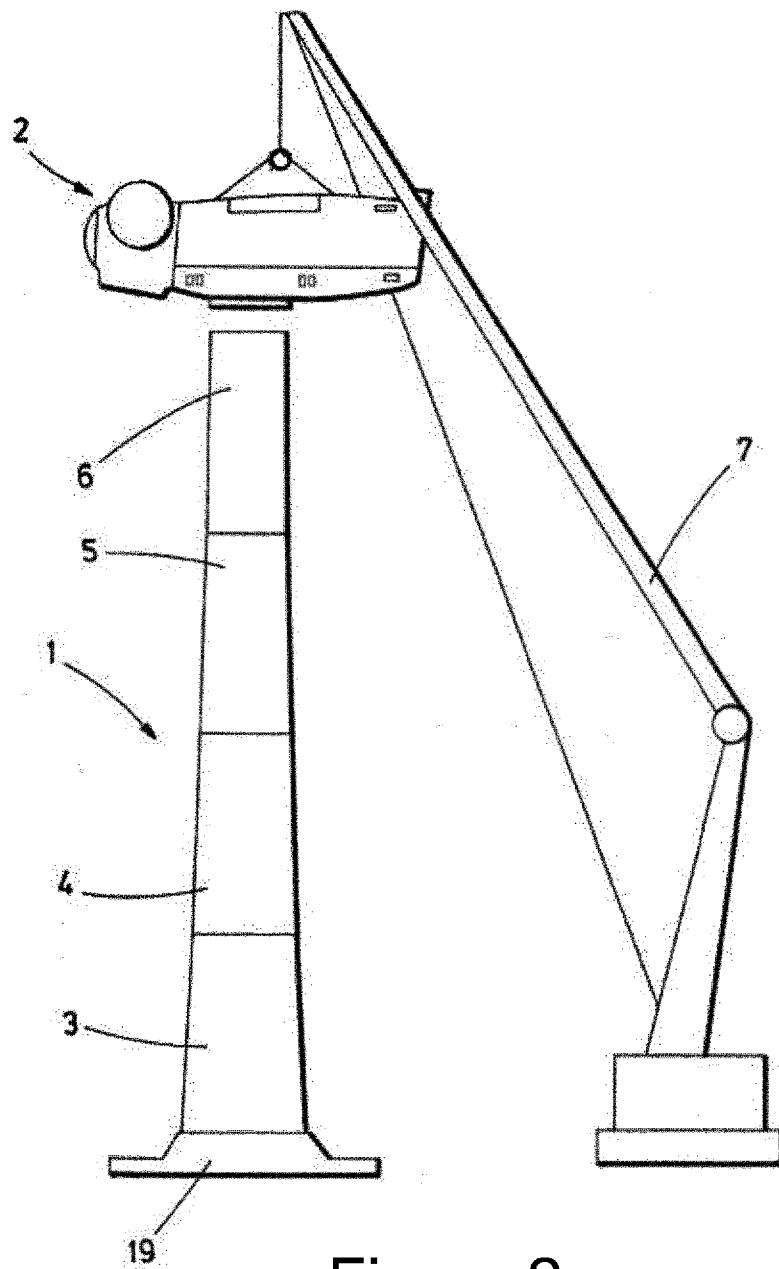


Figura 2

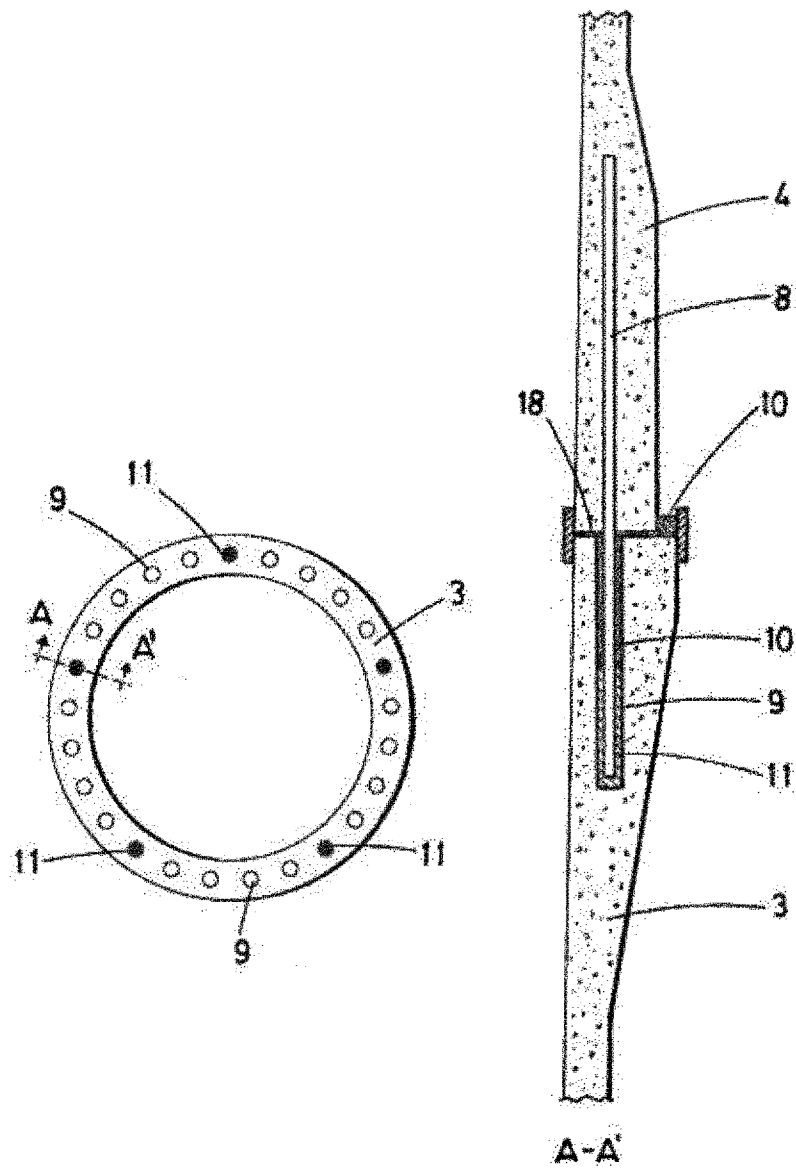


Figura 3



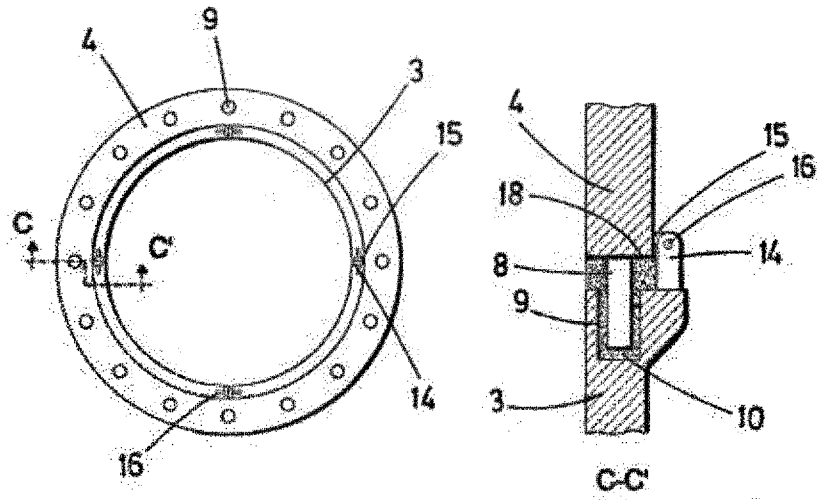


Figura 5

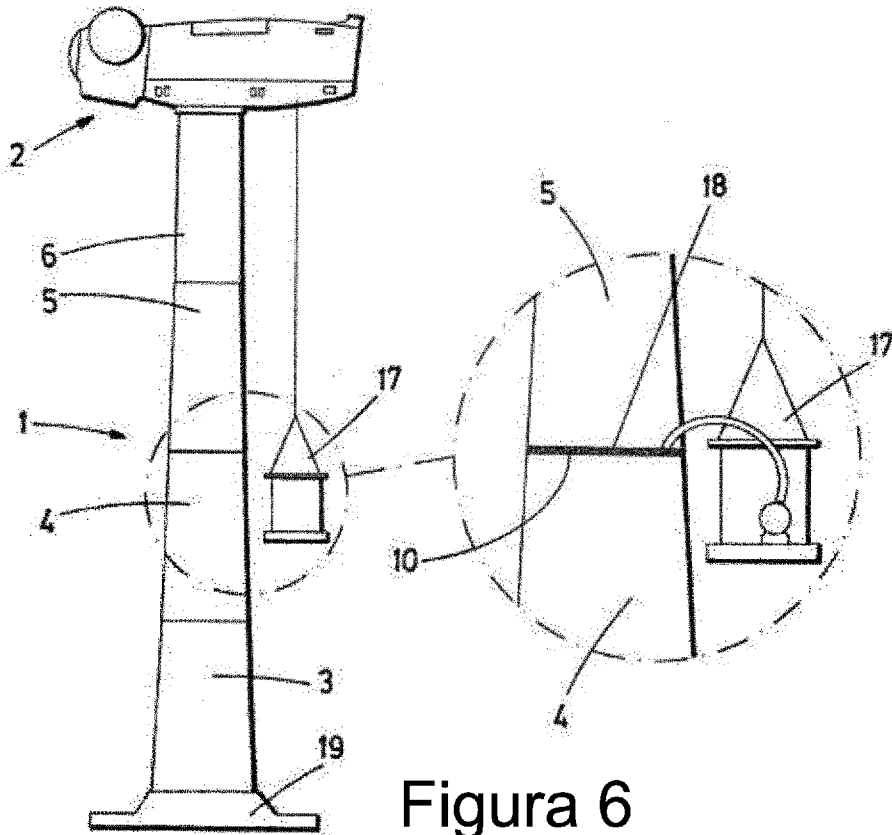


Figura 6