

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 612**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)

E04H 12/08 (2006.01)

E04H 12/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2018** **E 18202184 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024** **EP 3477099**

54 Título: **Torre con elementos de adaptación cónicos de acero**

30 Prioridad:

26.10.2017 DE 102017009984

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

14.04.2025

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
SERVICE GMBH (100.00%)
Beim Strohause 17-31
20097 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

FROST, BERND

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 013 612 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

Torre con elementos de adaptación cónicos de acero

5 La invención se refiere a una torre, en particular, para una turbina eólica, que comprende una sección de torre inferior y una sección de torre superior, en donde la sección de torre inferior está configurada por segmentos de hormigón u hormigón *in situ* y la sección de torre superior está configurada por al menos un segmento de acero, en donde una sección de adaptación está dispuesta entre la sección de torre inferior y la sección de torre superior. La invención
10 también se refiere a un procedimiento para erigir una torre, en particular, para una turbina eólica.

En el caso de las turbinas eólicas, a menudo tiene sentido erigir torres de más de 150 metros de altura, ya que así aumenta el rendimiento energético. También puede tener sentido prever tales alturas de torre cuando se construyen torres de radio. Para erigir torres de tales alturas, a menudo se construye una sección inferior con segmentos de
15 hormigón y una sección superior con segmentos de acero. Estas torres se denominan torres híbridas y pueden construirse a mayor altura que las torres de segmentos de acero puras o las torres de hormigón puras, ya que la altura de las torres de segmentos de acero o las torres de hormigón es limitada debido a los problemas de transporte, carga y fabricación.

La fabricación de secciones de torre de acero suele ser más económica que el uso de hormigón. Por lo tanto, para las torres híbridas tiene sentido mantener una sección de torre de acero superior lo más alta posible y una sección de torre de hormigón inferior lo más pequeña posible. Una forma rentable de fabricar la sección de torre de acero es utilizar segmentos de acero cilíndricos o cónicos. Sin embargo, las dimensiones de estos segmentos de acero están limitadas por el transporte hasta la obra. La longitud de un segmento de acero de este tipo se corresponde con la
20 longitud máxima de transporte de los vehículos utilizados y es de unos 30 metros. El diámetro máximo de los segmentos de acero viene determinado por la altura máxima de transporte, limitada por puentes, túneles o similares, y es de unos 4,3 m a 4,5 m. Una alternativa es fabricar los segmentos de acero *in situ*, pero para ello es necesario disponer de correspondientes posibilidades de fabricación, lo que conlleva unos costes elevados.

La sección de torre inferior se fabrica *in situ* utilizando el llamado hormigón *in situ* o se construye a partir de segmentos prefabricados de hormigón, en donde el uso de segmentos prefabricados de hormigón permite reducir el tiempo de construcción y, por tanto, los costes.

A menudo se utilizan elementos de adaptación de hormigón para conectar la sección de torre superior de acero con la sección de torre inferior de hormigón. Debido a la sección de torre superior, se producen cargas elevadas en la superficie de apoyo del elemento de adaptación de hormigón. Por lo tanto, para garantizar la estabilidad y resistencia de la torre, ha de limitarse la altura máxima de la sección de torre superior de acero y, en su lugar, ha de erigirse una sección de torre inferior de hormigón más alta. Sin embargo, a medida que aumenta la altura de la sección de torre inferior, se incrementa el coste de tal torre.

El documento WO 2012/163906 A1 revela, por ejemplo, una torre híbrida, en la que una sección de torre superior está fabricada por segmentos de acero esencialmente cilíndricos o cónicos y una sección de torre inferior más alta, por segmentos de hormigón. En este caso, el elemento de adaptación es una pieza cilíndrica de transición, que está fabricada con un material compuesto de acero y hormigón.

El documento DE 10 2016 203 526 A1 se refiere a una torre con un dispositivo de adaptación, en donde la torre está hecha predominantemente de hormigón y el dispositivo de adaptación está configurado por un anillo de adaptación predominantemente de acero, en donde el anillo de adaptación presenta una brida superior en un extremo superior y una brida inferior en un extremo inferior, que está conectada a la brida superior a través de una sección anular con forma de tubo del anillo de adaptación, en donde la brida superior está configurada como una brida anular que se extiende radialmente en dirección de un lado interior del anillo de adaptación y la brida inferior está configurada como una brida anular que se extiende radialmente en dirección de un lado exterior del anillo de adaptación.

El documento EP 2 672 115 A2 se refiere a una torre con una columna de hormigón apoyada en el suelo, una estructura superior y un segmento de adaptación con un revestimiento de acero anular situado entre ellos, en donde esta estructura de torre híbrida presenta un revestimiento de acero, que define una zona de conexión que discurre esencialmente a nivel con la columna de hormigón inferior en el perímetro exterior, y en un lado interior del revestimiento de acero, están previstos respectivos elementos de anclaje, que están configurados como respectivas unidades de retención que enganchan al menos el revestimiento de acero, con las que las cargas que pueden ser absorbidas en el área de conexión de la columna de hormigón y la estructura superior se transferir desde el segmento de adaptación a la estructura de hormigón de forma dirigida como componentes longitudinales, transversales y de cizallamiento respectivamente divisibles.

El objetivo de la invención consiste en indicar una torre, en particular, para una turbina eólica, así como un procedimiento para erigir dicha torre, en donde debe mejorarse la eficiencia económica de la torre.

Este objetivo se resuelve mediante una torre, en particular, para una turbina eólica, que comprende una sección de torre inferior y una sección de torre superior, en donde la sección de torre inferior está configurada por segmentos de hormigón u hormigón *in situ* y la sección de torre superior, por al menos un segmento de acero, en donde una sección de adaptación está dispuesta entre la sección de torre inferior y la sección de torre superior, que está perfeccionada por que la sección de adaptación comprende un elemento de adaptación de hormigón y al menos un elemento de adaptación de acero dispuesto por encima del elemento de adaptación de hormigón, en donde el elemento de adaptación de acero tiene forma cónica y se estrecha en dirección de la sección de torre superior.

Por tanto, la sección de adaptación de la torre comprende un elemento de adaptación de hormigón y al menos un elemento de adaptación cónico de acero dispuesto sobre él. Al utilizar los elementos de adaptación de acero cónicos, es posible aumentar el diámetro del elemento de adaptación de hormigón, sin tener que aumentar el diámetro de los segmentos de acero situados por encima. El aumento del diámetro del elemento de adaptación de hormigón aumenta la resistencia de su componente, en donde el aumento es aproximadamente cuadrático con respecto al diámetro del elemento de adaptación de hormigón. Al mismo tiempo, se pueden utilizar segmentos de acero para la sección de torre superior, que son económicos de fabricar y transportar, ya que su diámetro puede mantenerse siendo pequeño.

Según la invención, puede utilizarse un único elemento de adaptación de acero o varios elementos de adaptación de acero superpuestos. Aunque el uso de una pluralidad de elementos de adaptación de acero aumenta los costes de fabricación de los elementos de adaptación de acero, también se puede aumentar el diámetro máximo del elemento de adaptación de acero situado más abajo y, por tanto, el diámetro del elemento de adaptación de hormigón.

Preferiblemente, una altura de la sección de torre superior es mayor, en particular, al menos el doble, que una altura de la sección de torre inferior, en donde, en particular, la altura total de la torre es de al menos 150 m.

Mediante el uso de los elementos de adaptación cónicos de acero y el aumento asociado de la resistencia de los componentes del elemento de adaptación de hormigón, la sección de torre superior de acero puede construirse significativamente más alta y la sección de torre inferior de hormigón significativamente más baja que en el caso de las torres según el estado de la técnica. Esto puede reducir significativamente el coste de construcción de la torre.

Esto resulta especialmente útil en torres con alturas superiores a 150 metros, ya que en estas torres surge con especial intensidad el problema de las cargas provocadas por los segmentos de acero sobre el elemento de adaptación de hormigón. Por lo tanto, mediante el uso de los elementos de adaptación de acero según la invención, es posible realizar alturas de torre, que según el estado de la técnica, solo se pueden erigir utilizando secciones de torre inferiores altas hechas de hormigón y con los correspondientes elevados costes de construcción asociados.

En un diseño ventajoso, los elementos de adaptación de acero presentan en cada caso una altura de al menos 2,5 m, en particular, de 3,5 m a 4,5 m. En función de las condiciones de la ruta de transporte, la altura de los elementos de adaptación de acero se selecciona de modo que puedan transportarse horizontalmente, es decir, que los elementos de adaptación de acero descansen sobre la superficie de cubierta inferior. Esto permite diseñar el diámetro máximo de los elementos de adaptación de acero, para que sea mayor que el diámetro máximo de los segmentos de acero. La única limitación viene dada por la anchura de transporte.

Los elementos de adaptación de acero presentan en cada caso ventajosamente una relación entre la altura y el diámetro máximo de 1 o menos, en donde, en particular, la relación es entre 1 y 0,6. Esta relación entre altura y diámetro máximo logra un buen punto medio entre rentabilidad económica y capacidad de carga. Si la relación es demasiado alta, hay que utilizar elementos de adaptación de acero adicionales para conseguir el aumento de diámetro necesario, lo que supone un aumento de los costes. Si la relación es demasiado baja, los elementos de adaptación de acero ya no pueden absorber de forma fiable las cargas que actúan sobre ellos.

En una forma de realización preferida, una superficie de cierre inferior de la sección de torre superior presenta el mismo diámetro que una superficie de cubierta superior de un elemento de adaptación de acero situado debajo y una superficie de cubierta inferior de cada elemento de adaptación de acero presenta el mismo diámetro que una superficie de cubierta superior de un elemento de adaptación de acero situado debajo o una superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón situado debajo. Esto garantiza que el elemento de adaptación de acero situado más arriba proporcione una buena superficie de apoyo para el segmento de acero situado encima. Esto también se cumple para las superficies de apoyo de elementos de adaptación de acero superpuestos y para la superficie de apoyo del elemento de adaptación de hormigón. Además, se consigue una transición visualmente limpia entre los elementos de adaptación y la sección de torre superior.

En al menos un elemento de adaptación de acero, el diámetro de la superficie de cubierta inferior es preferiblemente al menos 0,4 m, en particular, hasta 0,6 m mayor que el diámetro de la superficie de cubierta superior. Además, la superficie de cierre inferior de la sección de torre superior presenta preferiblemente un diámetro de hasta 4,5 m y la superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón presenta un diámetro de al menos 4,7 m, en particular, de aproximadamente 6,0 m.

Limitando el diámetro de la superficie de cierre inferior de la sección de torre superior a la altura máxima de transporte, que es de unos 4,3 m a 4,5 m, los segmentos de acero pueden transportarse horizontalmente. La altura del elemento de adaptación de hormigón se selecciona de modo que pueda transportarse en posición vertical, de modo que el diámetro máximo del elemento de adaptación de hormigón solo esté limitado por la anchura de transporte. El diámetro de la superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón se selecciona de modo que pueda absorber las cargas que se produzcan en función de la altura y de la carga de flexión asociada de la sección de torre superior y de los elementos de adaptación de acero. Por ejemplo, con un diámetro de 6,0 metros de la superficie de cubierta superior del adaptador de hormigón, la resistencia de sus componentes aumenta alrededor de un 95 % en comparación con un diámetro de 4,3 metros.

Si se selecciona una relación razonable entre la altura y el diámetro máximo, los elementos de adaptación de acero presentan un aumento de diámetro de 0,4 m a 0,6 m desde la superficie de cubierta superior hasta la superficie de cubierta inferior. En función de la diferencia entre el diámetro de la superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón y la superficie de cierre inferior de la sección de torre superior, se dispone un número de elementos de adaptación de acero sobre el elemento de adaptación de hormigón para compensar esta diferencia. Por ejemplo, si el diámetro del segmento de acero al elemento de adaptación de hormigón aumenta de 4,5 m a 6 m, pueden utilizarse tres elementos de adaptación de acero con un aumento de diámetro de 0,5 m cada uno.

Ventajosamente, en el caso de una sección de torre inferior compuesta de segmentos de hormigón, al menos un segmento de hormigón y/o el elemento de adaptación de hormigón se divide en varios segmentos parciales a lo largo de uno o más planos de corte que discurren en la dirección radial de la torre. El aumento del diámetro del elemento de adaptación de hormigón y de los segmentos de hormigón situados debajo también incrementa su peso. Para colocar los segmentos de hormigón y el elemento de adaptación de hormigón a la altura requerida en la torre utilizando las capacidades disponibles de grúa, tiene sentido dividirlos en varios segmentos parciales para reducir el peso de los segmentos parciales individuales. Esto hace superfluo el uso de grúas con mayor capacidad de carga, lo que ahorra costes. Además, también puede evitarse la limitación del diámetro máximo del elemento de adaptación de hormigón o de los segmentos de hormigón por la anchura máxima de transporte.

Los elementos de adaptación de acero se fijan preferiblemente entre sí y a la superficie de cierre inferior de la sección de torre superior, en particular, mediante uniones atornilladas pretensadas. Según una forma de realización de la invención, un elemento de adaptación de acero inferior se fija a la superficie de la cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón mediante barras de anclaje hormigonadas en el elemento de adaptación de hormigón. En una forma de realización alternativa, la fijación de un elemento de adaptación de acero inferior a la superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón se efectúa mediante un anillo de cojinete, en particular, hecho de acero, dispuesto entre el elemento de adaptación de acero situado más abajo y el elemento de adaptación de hormigón, en donde en particular el anillo de cojinete se fija al elemento de adaptación de acero situado más abajo por medio de uniones atornilladas y la fijación del anillo de cojinete al elemento de adaptación de hormigón se efectúa por medio de las barras de anclaje hormigonadas en el elemento de adaptación de hormigón. En otra forma de realización alternativa, el elemento de adaptación de acero situado más abajo se fija a la superficie de la cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón mediante cordones tensores, que atraviesan la sección de torre inferior y el elemento de adaptación de hormigón, y se fijan en el elemento de adaptación de acero situado más abajo mediante tuercas de apriete.

Las superficies de cubierta inferior y superior de los elementos de adaptación de acero y una superficie de cierre inferior de la sección de torre superior presentan ventajosamente bridas, en las que se efectúa la fijación de los elementos de adaptación de acero a la sección de torre superior, al elemento de adaptación de hormigón y entre sí, en donde las bridas están configuradas, en particular, como bridas en L o bridas en T.

En este diseño, los elementos de adaptación de acero se fijan entre sí y a la sección de torre superior mediante uniones atornilladas con las que se fijan entre sí las bridas de los elementos adyacentes entre sí. El uso de barras de anclaje para fijar el elemento de adaptación de acero situado más abajo al elemento de adaptación de hormigón proporciona una fijación particularmente segura. Si, además, se dispone un anillo de cojinete entre el elemento de adaptación de acero situado más abajo y el elemento de adaptación de hormigón, se puede aumentar la longitud de las barras de anclaje, sin que la forma cónica del elemento de adaptación de acero situado más abajo obstaculice la fijación a las barras de anclaje. Alternativamente, se pueden utilizar cordones tensores para fijar el elemento de adaptación de acero situado más abajo. Estos cordones tensores se utilizan para aumentar los esfuerzos de tracción admisibles en el hormigón. Si se utilizan también para fijar el elemento de adaptación de acero situado más abajo, pueden evitarse costes adicionales.

Una brida en L comprende un anillo, que discurre preferiblemente en el lado interior del elemento que se va a fijar y que presenta un número de aberturas para la fijación mediante uniones atornilladas, barras de anclaje o cordones tensores. Una brida en T presenta en cada caso un anillo en el lado interior y el lado exterior del respectivo elemento, lo que permite realizar una mayor resistencia de los componentes. La desventaja de utilizar una brida en T es que aumenta el diámetro máximo del elemento. Además, el montaje y el mantenimiento de una brida en T también deben realizarse desde el exterior de la torre.

Además, el objetivo se consigue mediante una turbina eólica con una torre según una de las formas de realización descritas anteriormente. La turbina eólica presenta las mismas ventajas, características y propiedades que la torre según la invención descrita anteriormente.

5 Además, el objetivo se consigue mediante un procedimiento para erigir una torre, en particular, según una de las formas de realización descritas anteriormente, en particular, para una turbina eólica, con las siguientes etapas de procedimiento:

- Construcción de una sección de torre inferior a partir de segmentos de hormigón o de hormigón *in situ*,
- 10 - disposición de un elemento de adaptación de hormigón en la sección de torre inferior compuesta de segmentos de hormigón o de hormigón *in situ*, en particular, integración de un elemento de adaptación de hormigón en el hormigón *in situ* en un lado superior de la sección de torre inferior,
- 15 - disposición de al menos un elemento de adaptación de acero con forma cónica, que se estrecha desde una superficie de cubierta inferior hasta una superficie de cubierta superior del elemento de adaptación de acero, sobre el elemento de adaptación de hormigón o sobre un anillo de cojinete dispuesto entre el elemento de adaptación de acero y el elemento de adaptación de hormigón,
- 20 - construcción de una sección de torre superior compuesta por al menos un segmento de acero sobre el elemento de adaptación de acero situado más arriba.

El procedimiento también presenta las mismas ventajas, características y propiedades que la torre según la invención descrita anteriormente.

25 Otras características de la invención se desprenden de la descripción de formas de realización según la invención junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Formas de realización según la invención pueden cumplir características individuales o una combinación de varias características.

30 La invención se describe a continuación, sin limitar la idea general de la invención, mediante ejemplos de realización con referencia a los dibujos, en donde se remite expresamente a los dibujos con respecto a todos los detalles según la invención no explicados con más detalle en el texto. Muestran:

35 La figura 1a, una representación esquemática de una torre híbrida con un elemento de adaptación de hormigón y un elemento de adaptación cónico de acero,

la figura 1b, una representación esquemática de una torre híbrida con un elemento de adaptación de hormigón y dos elementos de adaptación de acero,

40 la figura 2, una vista despiezada esquemática de una sección de adaptación,

la figura 3a, una representación esquemática de una fijación de los elementos de adaptación de acero mediante una brida en L,

45 la figura 3b, una representación esquemática de una fijación de los elementos de adaptación de acero mediante una brida en T,

la figura 4a, una representación esquemática de una fijación del elemento de adaptación de acero situado más abajo mediante barras de anclaje,

50 la figura 4b, una representación esquemática de una fijación del elemento de adaptación de acero situado más abajo mediante barras de anclaje y un anillo de cojinete y

55 la figura 4c, una representación esquemática de una fijación del elemento de adaptación de acero situado más abajo mediante cordones tensores.

En los dibujos, en cada caso elementos y/o partes iguales o equivalentes están provistos de las mismas referencias, de modo que se prescinde en cada caso de una nueva presentación.

60 La figura 1a muestra esquemáticamente una torre 2, que está diseñada como una torre híbrida. La torre 2 comprende una sección 4 de torre inferior y una sección 6 de torre superior, entre las cuales está dispuesta una sección 8 de adaptación. La sección 4 de torre inferior comprende varios segmentos 10 de hormigón, de los cuales solo el segmento 10 de hormigón superior está provisto de una referencia en aras de una mayor claridad en la figura 1a. Un elemento 14 de adaptación de hormigón y un elemento 16 de adaptación de acero están dispuestos por encima de la sección 4

65 de torre inferior. Sobre el elemento 16 de adaptación de acero están dispuestos a su vez cuatro segmentos 12 de

acero esencialmente cilíndricos, de los cuales solo el situado más abajo está provisto de una referencia en aras de una mayor de claridad, y que juntos forman la sección 6 de torre superior.

El elemento 16 de adaptación de acero presenta forma cónica. El diámetro del elemento 14 de adaptación de hormigón puede aumentarse utilizando un elemento 16 de adaptación cónico de acero. Esto aumenta la superficie de apoyo y, por tanto, la resistencia de los componentes del elemento 14 de adaptación de hormigón, lo que permite configurar la sección 6 de torre superior más alta que la sección 4 de torre inferior y, por tanto, ahorrar costes.

La figura 1b muestra una torre 2 que difiere de la torre híbrida de la figura 1a en que, la sección 8 de adaptación comprende dos elementos 16 de adaptación de acero, de modo que la superficie de apoyo y, por tanto, la resistencia de los componentes del elemento 14 de adaptación de hormigón puede aumentarse aún más. Esto permite disponer otro segmento 12 de acero en la sección 6 de torre superior y aumentar así la altura total de la torre.

El mayor diámetro del elemento 14 de adaptación de hormigón y de los segmentos 10 de hormigón situados debajo también conlleva un aumento del peso de estos elementos. Para no aumentar las capacidades necesarias de grúa, tanto el elemento 14 de adaptación de hormigón como los segmentos 10 de hormigón se dividen en cada caso en dos segmentos 48 parciales a lo largo del plano 46 de corte. El plano de corte de cada segundo segmento 10 de hormigón discurre en perpendicular al plano 46 de sección, es decir, paralelo al plano de la imagen. Los segmentos 48 parciales son significativamente más ligeros en comparación con un elemento 14 de adaptación de hormigón o un segmento 10 de hormigón no subdividido, lo que evita un aumento de las capacidades de grúa. Para reducir aún más el peso de los segmentos 48 parciales, también pueden preverse otros planos de corte que discurran en la dirección radial de la torre, aunque estos no se muestran en la figura 1b.

Las representaciones de las torres 2 de las figuras 1a y 1b son solo ejemplos. La invención también comprende torres 2 con un único elemento 16 de adaptación de acero, en las que el elemento 14 de adaptación de hormigón y/o los segmentos 10 de hormigón están subdivididos en varios segmentos 48 parciales. La invención también abarca las torres 2 con dos o más elementos 16 de adaptación de acero, en las que el elemento 14 de adaptación de hormigón y/o los segmentos 10 de hormigón son de una sola pieza, al igual que las torres 2 en las que la sección 4 de torre inferior está fabricada de hormigón *in situ* y no presenta segmentación como en las figuras 1a y 1b.

Si la sección 4 de torre inferior es de hormigón *in situ*, este se hormigona *in situ*. El elemento 14 de adaptación de hormigón puede colocarse en una superficie superior, de forma similar a los segmentos 10 de hormigón, o incrustarse o integrarse en la zona superior cuando se vierte el hormigón *in situ*, en donde en este último caso el elemento 14 de adaptación de hormigón presenta estructuras, que se hormigonan en el hormigón *in situ* y proporcionan un anclaje en el hormigón *in situ*, y otras estructuras que sobresalen del hormigón *in situ*.

La figura 2 muestra una vista esquemática despiezada de una sección 8 de adaptación con un único elemento 16 de adaptación de acero. En el estado montado, la superficie 64 de cierre inferior del segmento 12 de acero situado más abajo está en contacto con la superficie 36 de cubierta superior del elemento 16 de adaptación de acero. La superficie 34 de cubierta inferior del elemento 16 de adaptación de acero está en contacto con la superficie 42 de cubierta superior del elemento 14 de adaptación de hormigón. Dado que los segmentos 12 de acero se transportan horizontalmente, el diámetro máximo de la superficie 64 de cierre inferior está limitado por la altura máxima de transporte, que es de unos 4,3 a 4,5 metros. La altura máxima de transporte también limita la altura 30 de los elementos 16 de adaptación de acero, ya que estos se transportan en posición vertical. Por otra parte, el diámetro 32 máximo del elemento 16 de adaptación de acero y el diámetro de la superficie 42 de cubierta superior del elemento de adaptación de hormigón no están limitados por la altura de transporte y pueden seleccionarse para que sean mayores, de modo que el elemento 14 de adaptación de hormigón pueda soportar las cargas de los segmentos 12 de acero y los elementos 16 de adaptación de acero situados sobre él.

La forma cónica del elemento 16 de adaptación de acero iguala la diferencia de diámetro entre la superficie 64 de cierre inferior y la superficie 42 de cubierta superior. La relación entre la altura 30 del elemento 16 de adaptación de acero y su diámetro 32 máximo está comprendida preferiblemente entre 1 y 0,6. Esta relación aumenta el diámetro 32 de la superficie 34 de cubierta inferior en comparación con el diámetro de la superficie 36 de cubierta superior, sin poner en peligro la estabilidad del elemento 16 de adaptación de acero ni requerir el uso de un número innecesariamente grande de elementos 16 de adaptación de acero.

El elemento 14 de adaptación de hormigón y los segmentos 10 de hormigón también pueden tener forma cónica, por lo que solo el diámetro de la superficie 42 de cubierta superior es decisivo para la resistencia de los componentes del elemento 14 de adaptación de hormigón. Los segmentos 10 de hormigón, los segmentos 12 de acero, el elemento 14 de adaptación de hormigón y los elementos 16 de adaptación de acero tienen una sección transversal anular según una forma de realización de la invención. Sin embargo, la invención también comprende formas de realización, en las que uno o más de estos elementos presenta una forma de sección transversal diferente, por ejemplo, la forma de un polígono. En este caso, el diámetro de estos elementos es el diámetro de un círculo que comprende el polígono.

La figura 3a muestra esquemáticamente una sección transversal a través de la pared exterior de un segmento 12 de acero y de un elemento 16 de adaptación de acero. Estos se fijan entre sí mediante una unión 52 atornillada en una

brida en L 61. La brida en L 61 discurre a este respecto preferiblemente en forma de anillo a lo largo del lado interior de un segmento 12 de acero o de un elemento 16 de adaptación de acero. Esto significa que la unión 52 atornillada puede montarse y mantenerse desde el interior de la torre.

5 La figura 3b muestra esquemáticamente una sección transversal a través de la pared exterior de un segmento 12 de acero y un elemento 16 de adaptación de acero, que presentan en cada caso una brida en T 62. En dicha brida en T 62, un anillo de brida discurre por el lado interior y otro por el lado exterior de un segmento 12 de acero o de un elemento 16 de adaptación de acero. En este caso, la fijación también se efectúa mediante uniones 52 atornilladas. Ventajosamente, con una brida en T 62 se puede conseguir una resistencia de componentes significativamente mayor.

10 Sin embargo, el anillo de brida exterior tiene la desventaja de que dificulta el montaje y el mantenimiento. Además, el anillo de brida exterior aumenta el diámetro de un segmento 12 de acero o de un elemento 16 de adaptación de acero. Para los segmentos 12 de acero, esto tiene como consecuencia que el diámetro de los segmentos 12 de acero ha de reducirse para mantener la altura máxima de transporte.

15 Las figuras 4a a 4c ilustran esquemáticamente diversos procedimientos de fijación del elemento 16 de adaptación de acero inferior al elemento 14 de adaptación de hormigón. La figura 4a muestra una forma de realización en la que un número de barras 54 de anclaje se hormigona en el elemento 14 de adaptación de hormigón en forma de anillo. Las barras 54 de anclaje encajan en las aberturas de una brida en forma de L del elemento 16 de adaptación de acero, no mostrado, que se fija a continuación con ayuda de tuercas. Cuanto mayor sea la superficie de cubierta superior del elemento 14 de adaptación de hormigón, más barras 54 de anclaje podrán hormigonarse en él, lo que permite que el elemento 14 de adaptación de hormigón soporte mayores cargas. En una forma de realización alternativa de la invención, se prevé una brida en T 62 para fijar el elemento 16 de adaptación de acero al elemento 14 de adaptación de hormigón. En este caso, la superficie 42 de cubierta superior del elemento 14 de adaptación de hormigón presenta dos anillos concéntricos de barras 54 de anclaje. Además, el diámetro de la superficie 42 de cubierta superior del elemento 14 de adaptación de hormigón es mayor que el diámetro 32 de la superficie 34 de cubierta inferior del elemento 16 de adaptación de acero.

20

25

La figura 4b muestra otra forma de realización en la que, adicionalmente a la forma de realización de la figura 4a, entre el elemento 16 de adaptación de acero y el elemento 14 de adaptación de hormigón está dispuesto un anillo 56 de cojinete. El anillo 56 de cojinete dispone de una brida inferior a través de la cual pasan las barras 54 de anclaje. Una brida superior del anillo 56 de cojinete se fija al elemento 16 de adaptación de acero situado encima mediante uniones atornilladas. La longitud de las barras 54 de anclaje puede aumentarse mediante el anillo 56 de cojinete, sin que la forma cónica del elemento 16 de adaptación de acero obstaculice la fijación a las barras 54 de anclaje. La figura 4c muestra una fijación del elemento 16 de adaptación de acero en el elemento 14 de adaptación de hormigón mediante cordones 58 tensores, que atraviesan el elemento 14 de adaptación de hormigón y los segmentos 10 de hormigón situados debajo. En este caso, el elemento 16 de adaptación de acero dispone de una brida en L 61 interna a la que se fijan los cordones 58 tensores mediante tuercas 59 de apriete.

30

35

Todas las características mencionadas, incluidas las que se desprenden únicamente de los dibujos y también las características individuales divulgadas en combinación con otras características, se consideran esenciales para la invención, tanto solas como en combinación. Formas de realización según la invención pueden cumplirse a través de características individuales o una combinación de varias características. En el marco de la invención las características señaladas con “en particular” o “preferiblemente” han de entenderse como facultativas.

40

Lista de referencias

	2	Torre
5	4	Sección de torre inferior
	6	Sección de torre superior
	8	Sección de adaptación
10	10	Segmento de hormigón
	12	Segmento de acero
15	14	Elemento de adaptación de hormigón
	16	Elemento de adaptación de acero
	30	Altura
20	32	Diámetro máximo
	34	Superficie de cubierta inferior
25	36	Superficie de cubierta superior
	42	Superficie de cubierta superior
	46	Plano de sección
30	48	Segmentos parciales
	52	Uniones atornilladas
35	54	Barras de anclaje
	56	Anillo de cojinete
	58	Cordón tensor
40	59	Tuerca de apriete
	61	Brida en L
45	62	Brida en T
	64	Superficie de cierre inferior

REIVINDICACIONES

1. Torre (2), en particular, para una turbina eólica, que comprende una sección (4) de torre inferior y una sección (6) de torre superior, en donde la sección (4) de torre inferior está configurada por segmentos (10) de hormigón u hormigón *in situ* y la sección (6) de torre superior, por al menos un segmento (12) de acero, en donde una sección (8) de adaptación está dispuesta entre la sección (4) de torre inferior y la sección (6) de torre superior, en donde la sección (8) de adaptación comprende un elemento (14) de adaptación de hormigón y al menos un elemento (16) de adaptación de acero dispuesto por encima del elemento (14) de adaptación de hormigón, en donde el elemento (16) de adaptación de acero tiene forma cónica y se estrecha en dirección de la sección (6) de torre superior, en donde al menos un segmento (10) de hormigón y/o el elemento (14) de adaptación de hormigón se divide en varios subsegmentos (48) a lo largo de uno o más planos (46) de sección que se extienden en dirección radial de la torre (2) y en donde el elemento (14) de adaptación de hormigón presenta barras (54) de anclaje empotradas en hormigón.
2. Torre (2) según la reivindicación 1, **caracterizada por que** una altura de la sección (6) de torre superior es mayor, en particular, al menos el doble, que una altura de la sección (4) de torre inferior, en donde en particular la altura total de la torre es de al menos 150 m.
3. Torre (2) según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que** los elementos (16) de adaptación de acero presentan en cada caso una altura (30) de al menos 2,5 m, en particular, de 3,5 m a 4,5 m.
4. Torre (2) según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** los elementos (16) de adaptación de acero presentan en cada caso una relación entre la altura (30) y el diámetro (32) máximo igual o inferior a 1, en donde en particular la relación se sitúa entre 1 y 0,6.
5. Torre (2) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** una superficie (64) de cierre inferior de la sección (6) de torre superior presenta el mismo diámetro que una superficie (36) de cubierta superior de un elemento (16) de adaptación de acero situado debajo y una superficie (34) de cubierta inferior de cada elemento (16) de adaptación de acero presenta el mismo diámetro (32) que una superficie (36) de cubierta superior de un elemento (16) de adaptación de acero situado debajo o una superficie (42) de cubierta superior del elemento (14) de adaptación de hormigón situado debajo.
6. Torre (2) según la reivindicación anterior, **caracterizada por que**, en al menos un elemento (16) de adaptación de acero, un diámetro (32) de la superficie (34) de cubierta inferior es mayor en al menos 0,4 m, en particular, hasta 0,6 m, que un diámetro de la superficie (36) de cubierta superior.
7. Torre (2) según la reivindicación anterior, **caracterizada por que** la superficie (64) de cierre inferior de la sección (6) de torre superior presenta un diámetro de hasta 4,5 m y la superficie (42) de cubierta superior del elemento (14) de adaptación de hormigón presenta un diámetro de al menos 4,7 m, en particular, de aproximadamente 6,0 m.
8. Torre (2) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la fijación de los elementos (16) de adaptación de acero entre sí y en la superficie (64) de cierre inferior de la sección (6) de torre superior se efectúa mediante uniones (52) atornilladas, en particular, pretensadas.
9. Torre (2) según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada por que** la fijación de un elemento (16) de adaptación inferior de acero a la superficie (42) de cubierta superior del elemento (14) de adaptación de hormigón se efectúa mediante las barras (54) de anclaje hormigonadas en el elemento (14) de adaptación de hormigón.
10. Torre (2) según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada por que** la fijación de un elemento (16) de adaptación de acero inferior a la superficie (42) de cubierta superior del elemento (14) de adaptación de hormigón se efectúa mediante un anillo (56) de cojinete dispuesto entre el elemento (16) de adaptación de acero situado más abajo y el elemento (14) de adaptación de hormigón, en donde en particular, el anillo (56) de cojinete se fija al elemento (16) de adaptación de acero situado más abajo por medio de uniones (52) atornilladas y la fijación del anillo (56) de cojinete al elemento (14) de adaptación de hormigón se efectúa por medio de las barras (54) de anclaje hormigonadas en el elemento (14) de adaptación de hormigón.
11. Torre (2) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** las superficies (34, 36) de cubierta inferior y superior de los elementos (16) de adaptación de acero y una superficie (64) de cierre inferior de la sección (6) de torre superior presentan bridas, en las que se efectúa la fijación de los elementos (16) de adaptación de acero a la sección (6) de torre superior, al elemento (14) de adaptación de hormigón y entre sí, en donde las bridas están configuradas, en particular, como bridas en L (61) o bridas en T (62).
12. Turbina eólica con una torre (2) según una de las reivindicaciones anteriores.

13. Procedimiento para erigir una torre (2) según una de las reivindicaciones 1 a 11, en particular, para una turbina eólica, con las siguientes etapas de procedimiento:

- 5 - Construcción de una sección (4) de torre inferior a partir de segmentos (10) de hormigón o de hormigón *in situ*,
- disposición de un elemento (14) de adaptación de hormigón en la sección (4) de torre inferior compuesta de segmentos (10) de hormigón o de hormigón *in situ*, en particular, integración de un elemento (14) de adaptación de hormigón en el hormigón *in situ* en un lado superior de la sección de torre inferior,
- 10 - disposición de al menos un elemento (16) de adaptación de acero con forma cónica, que se estrecha desde una superficie (34) de cubierta inferior hasta una superficie (36) de cubierta superior del elemento (16) de adaptación de acero, sobre el elemento (14) de adaptación de hormigón o sobre un anillo (56) de cojinete dispuesto entre el elemento (16) de adaptación de acero y el elemento (14) de adaptación de hormigón,
- 15 - construcción de una sección (6) de torre superior compuesta por al menos un segmento (12) de acero sobre el elemento (16) de adaptación de acero situado más arriba.

Figura 1a

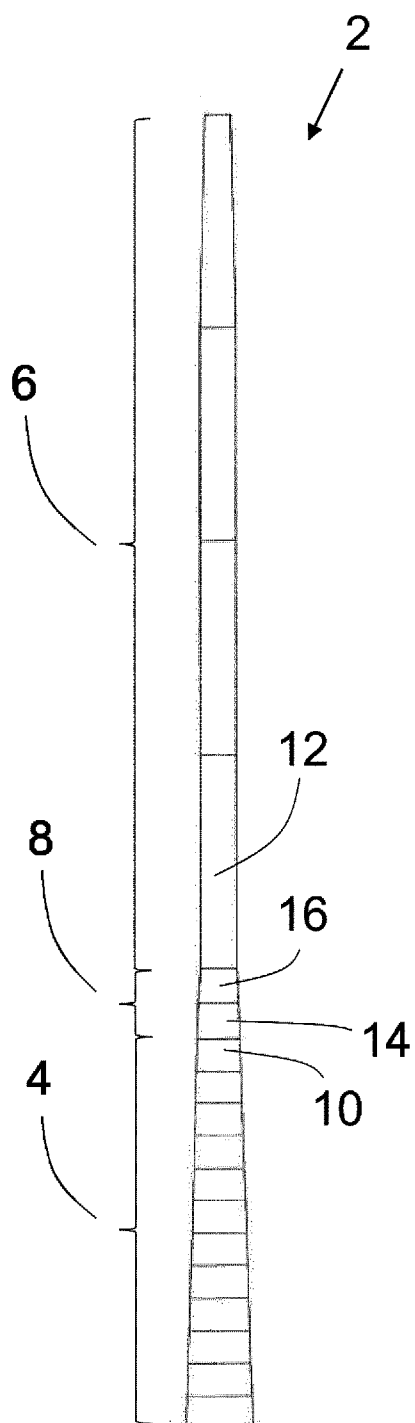


Figura 1b

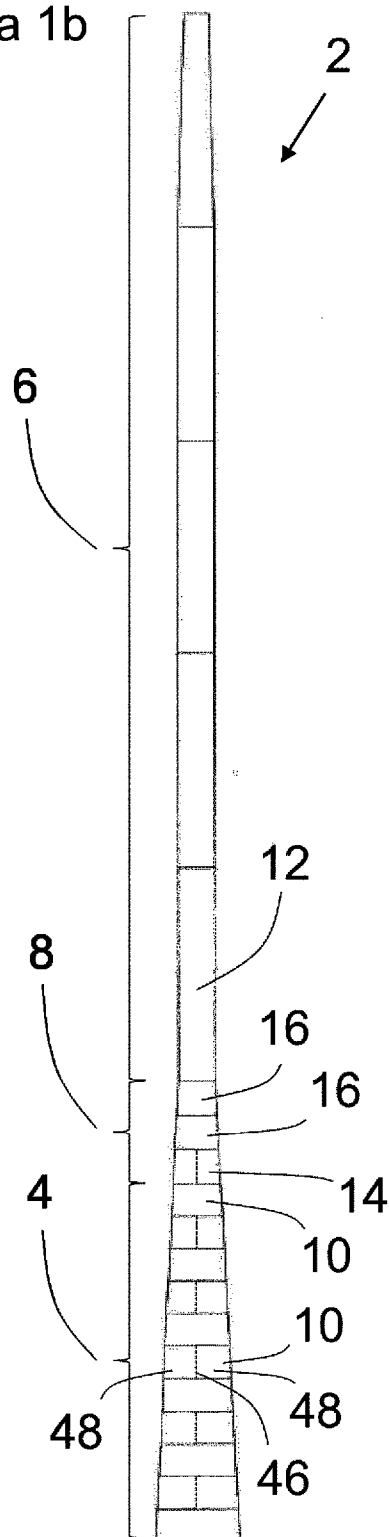


Figura 2

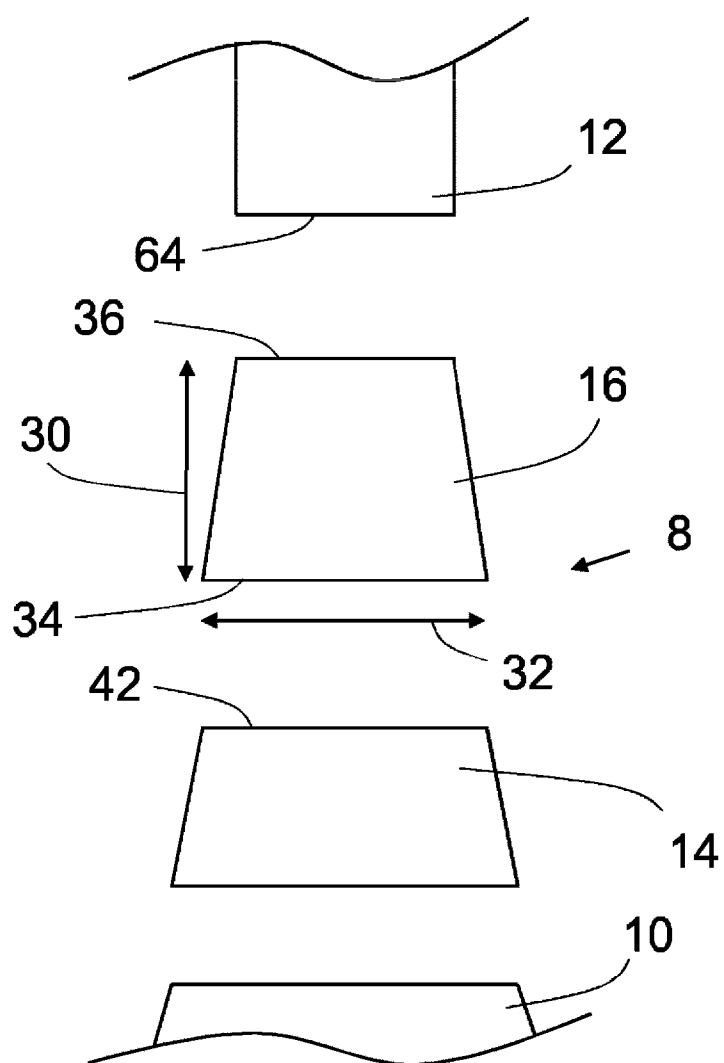


Figura 3a

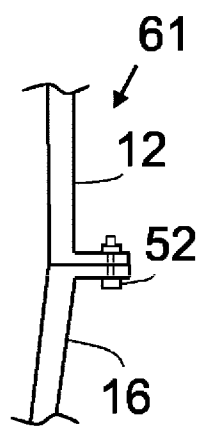


Figura 3b

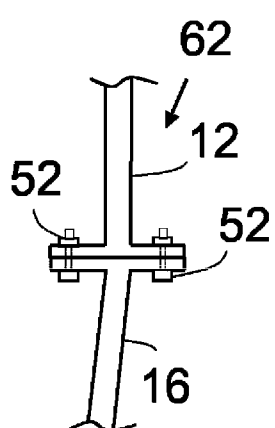


Figura 4a

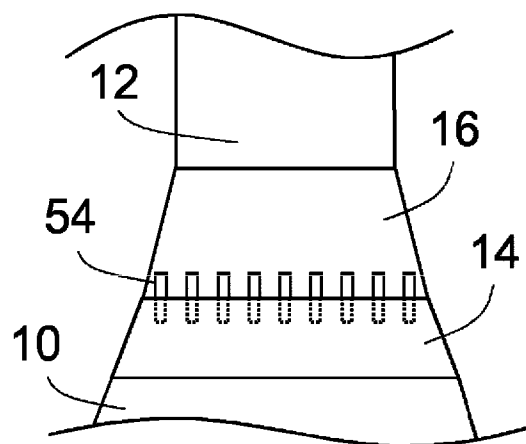


Figura 4b

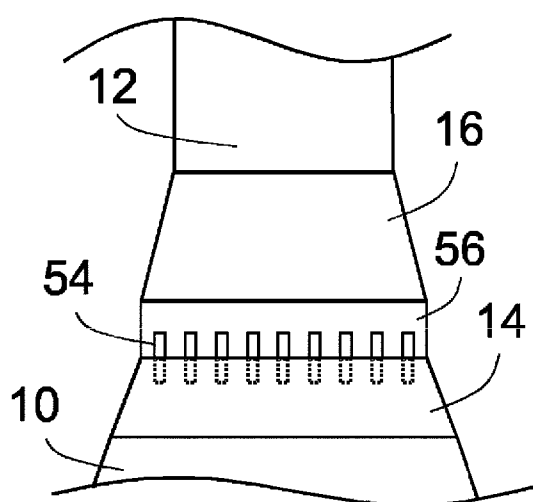


Figura 4c

