

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 893 286**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.09.2013 PCT/EP2013/068207**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014 WO14033332**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2013 E 13753898 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2020 EP 2893187**

54 Título: **Estructura de una torre de un aerogenerador y método de estabilización de la estructura de una torre de un aerogenerador**

30 Prioridad:

03.09.2012 DE 102012017302

03.09.2012 DE 102012017301

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

08.02.2022

73 Titular/es:

X-TOWER CONSTRUCTIONS GMBH (100.0%)

Am Einlass 3 A

80469 München, DE

72 Inventor/es:

WAGNER, PHILIPP

ES 2 893 286 T3

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

DESCRIPCIÓN

Estructura de una torre de un aerogenerador y método de estabilización de la estructura de una torre de un aerogenerador

5 El invento se refiere a los métodos de construcción de torres de aerogeneradores y a un método para estabilizar la estructura de una torre de un aerogenerador.

10 Las turbinas eólicas (VWTG) con generadores eólicos, a las que se refieren los métodos de construcción según el invento, tienen una torre de hormigón y componentes pesados, a veces muy proyectados, montados en la parte superior de la torre. Estos grandes componentes son, si están presentes, una góndola, un generador eléctrico, un rotor con al menos una pala de rotor y, si está presente, una caja de engranajes para el rotor y, en el caso de las torres híbridas, segmentos de acero tubular adicionales montados en la torre de hormigón y que
15 soportan el generador o los generadores eólicos.

20 Las turbinas de viento de diferente tamaño, potencia y tipo se están extendiendo cada vez más para generar energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento. La eficacia de tal turbina de viento depende, entre otras cosas, de que el viento esté presente el mayor tiempo posible y distribuido uniformemente a lo largo del año. Es sabido que las turbinas eólicas pueden obtener mayores rendimientos del suministro de viento distribuido a lo largo del año, cuanto más alto se construyan las turbinas eólicas, ya que a mayores altitudes el viento sopla más rápido y más laminar en promedio. Este es el caso en particular de las zonas costeras, montañosas o de colinas. En los últimos años, debido a consideraciones económicas, la
25 tendencia ha sido hacia unidades de turbinas cada vez más grandes, siendo el tipo de turbina eólica más extendido, el del rotor multipala de eje horizontal en una torre, el que sigue teniendo el mayor potencial de mercado. Un problema de este tipo de turbina eólica es que la ampliación de los grandes componentes del generador eólico requiere simultáneamente una torre cada vez más alta y estable. Estas estructuras de torres y sus cimientos representan actualmente
30 entre el 30 y el 45% de los costos totales de construcción, lo que hace que la viabilidad económica de las estructuras de las torres para turbinas eólicas tan grandes ("turbinas de varios megavatios") con alturas de cubo de 140 m y más sea un factor decisivo. Lo mismo se aplica a las turbinas eólicas con rotores de eje vertical, cuyo tamaño también aumenta constantemente.

35 En principio, las turbinas eólicas cada vez más altas y potentes tienen sentido, ya que incluso con el principio de construcción convencional del voladizo vertical independiente, sujetado unilateralmente, el consumo de material para la estructura de la torre aumenta sólo a la segunda potencia con el aumento de la potencia, mientras que el rendimiento energético
40 aumenta a la tercera potencia como resultado de la ecuación de la energía eólica. Esta circunstancia ha dado lugar a un considerable aumento de la producción de las turbinas eólicas en el pasado, que continúa sin disminuir.

45 Esta tendencia también se reflejó en el desarrollo de torres cada vez más altas y poderosas. Sin embargo, entretanto, esto ha llegado a un límite, especialmente en el caso de los rotores de eje horizontal, en el que el rendimiento adicional de la máquina está limitando gravemente la eficiencia económica general de la turbina eólica como resultado del fuerte aumento de los costos de construcción de la torre y de los cimientos. En particular, los operadores de turbinas eólicas en sitios con menor suministro de viento, por ejemplo en zonas interiores, que
50 necesitan alturas de cubo muy altas para generar rendimientos económicos, dependen de estructuras de torres muy altas y al mismo tiempo muy económicas.

En el pasado reciente se han probado y desarrollado varios tipos de torres, especialmente para las turbinas eólicas de eje horizontal, con el fin de elevar la altura del cubo y llevar el rotor a las capas de aire más altas con mayores rendimientos de viento. En particular, cabe mencionar la torre de hormigón, la torre híbrida, que consiste en un pozo de hormigón y un mástil de acero adosado sobre el que se asienta el generador eólico, así como las construcciones de torre de celosía alta.

Cada uno de estos tipos de torre tiene sus propias ventajas y desventajas, dando preferencia a uno u otro tipo de torre dependiendo de la aplicación.

La desventaja de todos los métodos de construcción de generadores eólicos potentes que se ofrecen en el mercado, con la excepción de la torre de celosía, es el fuerte aumento del consumo de materiales por razones estáticas y dinámicas, que se debe al principio de construcción como tal: Cuanto más altas sean las torres independientes, más se produce el efecto constructivo por el cual el consumo de masa aumenta exponencialmente con el aumento de la altura, como se ha mencionado anteriormente. Este efecto tiene su origen en una superposición de la ley de palanca de la estática por un lado, donde el producto de la fuerza y el brazo de palanca provocan un momento en el componente, lo que hace necesario el correspondiente dimensionamiento, y los requisitos de la dinámica por otro lado, donde los componentes deben estar equipados con las correspondientes reservas en la sección transversal del componente como resultado del esfuerzo de fatiga durante el período de uso. Este efecto se hace cada vez más evidente en el caso de las torres de turbinas eólicas, especialmente a partir de alturas de unos 120 metros.

Además, a partir de unos 140 metros de altura, todos los métodos de construcción de torres se enfrentan, además, a sus propios problemas inherentes al material y a la construcción, que también deben mencionarse aquí para ilustrar los problemas a partir de los cuales se desarrolla el invento:

Las torres de acero tubular puro con secciones transversales de paredes sólidas son particularmente susceptibles a las vibraciones desde alturas de 120 metros debido a su flexibilidad. Los absorbentes y elementos de amortiguación son necesarios para reducir las vibraciones de la torre. Además, por ejemplo, a una altura del cubo de 140 metros, las estructuras de acero puro requieren hasta dos tercios de las cantidades de acero necesarias para responder a las cargas dinámicas y evitar el problema de la fatiga causada por la excitación por vibración. Debido a la flexibilidad, especialmente ciertas velocidades del rotor no pueden ser aplicadas, ya que fomentarían la vibración de la torre. Debido a este hecho, el rotor tiene que girar más lentamente de lo que el viento permitiría a ciertas velocidades de viento por medio de actuadores, lo que significa una pérdida de rendimiento fuera de la velocidad óptima para el perfil de viento presentado.

Las torres de hormigón, así como las torres híbridas, requieren masas importantes a medida que aumenta la altura debido a la necesaria extensión del eje de la torre en la parte inferior de la misma y se requieren fuerzas apreciables de pretensado para que la torre, que es un brazo de palanca, sea aceptablemente delgada en toda su longitud. Las torres de hormigón in situ y las torres prefabricadas horizontales unidas o no unidas por junta seca horizontal funcionan aquí con pretensado de compresión parcial o total. Esto significa que el pretensado que se introducirá a través de los elementos de tensión está diseñado de tal manera que contrarresta las fuerzas de tensión que se producen en el componente como resultado del brazo de palanca con una contrafuerza suficiente para mantener el eje de hormigón permanentemente sobrecomprimido (totalmente sobrecomprimido) o, en el caso de las torres de hormigón colado in situ, sólo permite una transición del estado I al estado II del hormigón en casos de carga

extrema (parcialmente sobrecomprimido). Además, se producen cambios en la frecuencia natural de la torre durante la transición del estado I al estado II en el caso de las estructuras de hormigón in situ o de los elementos prefabricados adheridos.

5 Las torres de celosía evitan inicialmente el aumento de masa de los métodos de construcción mencionados, que se hincha fuertemente con el aumento de la altura, descomponiendo el eje de la torre en barras individuales. Las fuerzas que se producen se transmiten por una estructura reticular de varillas compuestas entre la góndola y la base, aunque las torres reticulares tienen una difusión particularmente amplia en su extremo inferior debido a su principio de construcción. A menudo, esto es considerado algo antiestético, por lo que las torres de celosía nunca se han puesto de moda. Además, a lo largo de los años de funcionamiento, el personal de mantenimiento del WTG no los considera el diseño ideal de la torre porque no hay un acceso al generador protegido contra las inclemencias del tiempo. Las torres de celosía altas también se consideran vulnerables a la torsión.

15 La desventaja de todas las torres en voladizo sujetadas por un lado es la susceptibilidad a las vibraciones de todas las frecuencias naturales de la estructura de la torre independiente, que están documentadas en los diagramas de Campbell y que, o bien dan lugar a las pérdidas de rendimiento descritas durante el funcionamiento de la planta, ya que deben evitarse determinados rangos de velocidad, o bien obligan a modificar la geometría de la torre para el funcionamiento nominal deseado, lo que no representa el nivel óptimo económicamente con respecto al diseño de la torre. Hoy en día, la mayoría de las torres están diseñadas como los llamados diseños «duro/blando» en los que el rango de velocidad permitido del rotor comienza por encima de la intersección de la primera frecuencia natural de la estructura de la torre y la excitación por el rotor de tres palas 3p normalmente en un diagrama de Campbell. El rango de velocidad termina antes de que se alcance la excitación p, lo cual es causado, por ejemplo, por disequilibrios. A un diseño «duro/duro» de la construcción de la torre, en el que se omite el límite de velocidad inferior, lo que es deseable para los emplazamientos con vientos bajos, se opone un consumo de material muy elevado para obtener la rigidez suficiente para la construcción de la torre. Los diseños blandos/blandos son rechazados por los expertos por estar poco determinados.

Además, al principio del desarrollo de la industria de la energía eólica comercial, se ensayó un tubo de torre de acero sujetado en la torre de aproximadamente 100 metros de altura de la turbina eólica a gran escala Growian y en la turbina experimental más pequeña Monopteros en Wilhelmshaven. Aunque el diseño de este sistema representó una cierta mejora en el sistema estático, no se siguió adelante debido a los numerosos problemas técnicos de ambas turbinas. En ese momento, los cables de los tipos se deslizaban por debajo de la góndola y las palas del rotor estaban provistas de la correspondiente inclinación hacia adelante, lo que ya no es aceptable en términos de geometría de las palas del rotor según los principios de construcción actuales, por ejemplo, que son lo más económico posible. Hoy en día, las puntas de las cuchillas corren muy cerca de la torre en casos de carga extrema.

Hoy en día, los tubos de torre con tirantes sólo se ofrecen y se utilizan en el área de las pequeñas turbinas eólicas y para las turbinas de tamaño medio y de baja altura de cubo de menos de 100 metros. Por lo general, consisten en un tubo metálico que se sujeta con cuerdas por debajo del rotor. La finalidad de estos arriostros se limita exclusivamente a la transferencia de las fuerzas que actúan horizontalmente sobre el eje de la torre, en particular, como resultado del empuje del rotor que se produce y tiene que ser disipado en el suelo. Este diseño es económico para esta aplicación debido a la gran reducción del momento de entrada en la base de la construcción del eje y por lo tanto la innecesaria dispersión de los componentes del tubo del eje en la base de la torre.

Sin embargo, dado que la característica del punto de arriostramiento del fuste de la torre es un muelle de torsión flexible y desplazable lateralmente, los fustes de las torres de acero son muy blandos a la torsión a partir de una altura total de 150 metros en particular, siempre que también estén diseñados para ser muy delgados de manera deseable como resultado del arriostramiento. La desventaja de la suavidad de la torsión se presenta particularmente en combinación con las longitudes de las palas de más de 60 metros para los generadores eólicos de eje horizontal que ahora son comunes. El viento entrante desigual con cizallamiento vertical (más viento a la izquierda que a la derecha), la turbulencia y los efectos de torbellino en los parques eólicos o el viento que gira lateralmente con flujo oblicuo generan una fuerza de palanca con diámetros de rotor de más de 120 metros en particular, que es absorbida por las palas giratorias y transmitida por la góndola como fuerza de torsión al eje de la torre. Además de las fuerzas de palanca que actúan sobre el eje de la torre, estas fuerzas de torsión desempeñan un papel cada vez más importante en las tensiones dinámicas con componentes de tamaño creciente. La frecuencia natural de flexión y torsión de la torre y la frecuencia de excitación de los grandes componentes del generador eólico están demasiado cerca una de la otra, teniendo en cuenta una distancia suficientemente grande entre las frecuencias naturales y de excitación, por lo que el principio de construcción según la invención no favorece la combinación de arriostramiento y ejes de torre de acero puro por la razón mencionada. A pesar de la necesaria y deseada esbeltez de la construcción de la torre, la baja vibración es un criterio fundamental de un aerogenerador moderno en lo que respecta a su rendimiento, ya que todos los componentes conectados a la torre deben garantizar su plena seguridad de funcionamiento incluso en el caso de carga más desfavorable y, en particular, no deben causar ninguna colisión cuando las palas atraviesan el eje de la torre, incluso con las máximas desviaciones desfavorables de varios componentes. Por consiguiente, esto también se aplica a la inversa a las reducciones de rendimiento debidas a paradas o condiciones de funcionamiento subóptimas, en la medida en que los límites de carga y las frecuencias de excitación o similares reducen el máximo rendimiento posible de las turbinas convencionales. Por lo tanto, las construcciones de acero de paredes completas, que tienden a ser suaves en la flexión y la torsión y cuya resistencia material es demasiado baja, no son adecuadas para los generadores eólicos de alto rendimiento con dimensiones de componentes delgados y largos.

Lo mismo se aplica a las torres de celosía, que como delgadas construcciones arriostradas, como los mástiles de transmisión o los mástiles de medición de viento, no pueden soportar ninguna carga de cabeza significativa y ampliamente proyectada lateralmente.

Además, cabe señalar que las estructuras convencionales con tirantes y arriostramientos no tienen ninguna propiedad, que puede modificarse mediante accionadores en los tendones de proa y de popa, que influyen en la rigidez o la posible desviación de la estructura de la torre, de modo que el generador se sostiene con la masa giratoria de mejor forma que las estructuras de torre convencionales. Cabe destacar aquí la amortiguación aerodinámica, en la que en los diseños convencionales la torre siempre rinde de la misma manera y no permite una respuesta variable y ajustable a las cargas aplicadas, en particular por el empuje del rotor en la brida de la cabeza. Las estructuras de las torres convencionales sólo reaccionan de la misma manera debido a las propiedades materiales preestablecidas, las inercias de la masa y el diseño constructivo de la estructura. Este comportamiento da lugar a una fatiga prematura o, por el contrario, a un mayor consumo de material tanto en la estructura de la torre como en las palas del rotor para lograr las propiedades deseadas en cuanto a elasticidad, rigidez, comportamiento de vibración y frecuencias de excitación de los componentes que deben evitarse, es decir, la interacción aeroelástica de las palas del rotor, la turbina y la estructura de la torre como una unidad. En el caso de los diseños de torres híbridas, este comportamiento también tiene la desventaja de que la sección inferior y más larga de la torre, hecha de hormigón, es muy rígida y sólo la parte superior de la torre en acero cede, lo que da lugar a una rotación de la masa giratoria alrededor de un eje acortado en las proximidades de la brida de adaptación entre la

torre de hormigón y la de acero, lo que a su vez da lugar a fuerzas de Coriolis en las aspas giratorias de los rotores de múltiples aspas, que se excitan así a vibraciones indeseables.

5 En el caso de los rotores de eje vertical, las frecuencias periódicas de excitación muy altas causadas por la rotación de las palas del rotor alrededor del eje longitudinal de la torre son particularmente perjudiciales. Las fuerzas introducidas en la torre por este efecto son varias veces mayores que las fuerzas comparables en el curso de una revolución en el caso de los rotores de varias palas de eje horizontal, debido a la habitual rigidez de las palas del rotor de este tipo de análogos. La estructura de la torre está sometida a cargas considerablemente más
10 altas y, debido a las fuerzas introducidas, tiene una tendencia a tambalearse y balancearse similar a la precesión, que ya no puede ser compensada económicamente mediante el puro aumento de material. El problema se agrava aún más si las palas del rotor cambian su ángulo en relación con el eje de rotación en la vista en planta con cada revolución mediante un sistema de paso. Los sistemas de paso se utilizan en particular para los grandes rotores de eje
15 vertical, lo que hace aún más necesario adaptar la torre y su comportamiento de respuesta, en particular a las cargas periódicas pero también no periódicas introducidas por el WT vertical.

Tanto el brazo en voladizo cónico de diseño vertical sujetado unilateralmente con la máxima entrada de carga en el extremo superior alcanza un límite económico desde alturas de 150
20 metros, y los tipos de torre arriostrada en construcción de acero desarrollados hasta ahora no proporcionan una respuesta económicamente interesante a los requisitos de las grandes turbinas eólicas de varios megavatios, especialmente las que tienen grandes longitudes de pala en condiciones de viento bajo, que son muy delgadas y susceptibles a las vibraciones.

25 En este momento, se proponen nuevos diseños de torres ventajosos contra el prejuicio de los expertos para los diseños de torres, preferentemente desde una altura de centro de 140 metros. Hasta ahora no se consideraba económico, ni apropiado, ni acorde con la tendencia de la construcción de torres de aerogeneradores, proponer construcciones atirantadas en lugar de torres independientes para las turbinas de la clase de multimegavatios, especialmente no en
30 relación con las torres de hormigón, porque éstas eran supuestamente demasiado pesadas, por ejemplo. La tendencia hacia torres cada vez más grandes y altas ha sido impugnada hasta ahora exclusivamente mediante la ampliación de los métodos de construcción existentes. La física de un cable estático y las propiedades de las estructuras de hormigón no dan como resultado una solución económica o sensata cuando se tienen en cuenta los requisitos de una
35 torre de turbina eólica altamente cargada dinámicamente, según la opinión. El gran componente vibratorio adicional de un elemento tensor complicaría el cálculo, dificultaría innecesariamente el proceso de construcción y requeriría el mantenimiento de otro componente durante el período de funcionamiento. Además, la interacción de las frecuencias de los elementos tensores y los demás componentes de una turbina eólica no sería controlable
40 económicamente. Por esta razón, se mantienen los métodos de construcción existentes.

Una estructura genérica de la torre se muestra en WO 2011/091799 A1. Aquí, durante la construcción de la torre, que se ensambla a partir de anillos prefabricados, las cuerdas de sujeción se fijan en un anillo intermedio para su estabilización temporal con el fin de alinear
45 lateralmente la torre, que aún no está terminada, durante la construcción.

El documento WO 2007/025555 A1 describe la construcción de una estructura de torre, en la que el hormigón se presiona en forma de anillo en la parte inferior y sale de la parte superior de la forma de anillo de manera similar a un proceso de extrusión. Un anillo de retención en la
50 parte superior de la torre de crecimiento vertical se mantiene lateralmente mediante cables estabilizadores durante el proceso de fabricación, que tienen por objeto garantizar la alineación vertical de la torre sólo durante la fabricación.

El invento muestra que esto no es así.

La invención prevé evitar, por una parte, el problema del voladizo de gran alcance independiente sujetado por un lado y, por otra, la suavidad torsional de las secciones transversales de los ejes arriostrados anteriores y, en su lugar, utilizar una interacción óptima de las propiedades de pretensado, arriostramiento y materiales, en particular las resistencias de los materiales del tubo de la torre, para lograr una respuesta mejorada al comportamiento dinámico del sistema global y, por lo tanto, una aeroelasticidad mejorada y optimizada para la estructura de la torre y el generador eólico en su conjunto.

La solución del problema se logra mediante el principio de construcción según la reivindicación 1, que vincula un sistema de rótula con el eje de la torre de tal manera que el sistema de rótula y la resistencia del material presente en el eje de la torre están conectados entre sí y, por lo tanto, representan una alternativa económicamente más favorable en comparación con los métodos de construcción convencionales mencionados, en particular de las relaciones de esbeltez del eje de la torre superiores a 25, de las alturas de los cubos de más de 140 metros en particular y de los generadores de más de 2 megavatios de potencia instalada. En particular, la invención se refiere a las turbinas de viento en las que la longitud de la pala del rotor y la altura de la torre están en una proporción de uno a tres o menos.

Características en detalle:

La torre de hormigón pretensado para turbinas de viento según la invención se crea preferentemente con un diámetro exterior de eje constante o con dimensiones exteriores de eje constante (en el caso de un polígono) a lo largo de toda su longitud. Los elementos de tensión que aplican el pretensado al elemento de hormigón pretensado entre el extremo inferior del elemento de hormigón pretensado y la pieza de transición al generador eólico o a otros elementos de tubos de acero en el extremo superior de la torre de hormigón pretensado corren opcionalmente en el muro del pozo del hormigón pretensado o se fijan al muro, o se empotran en él, es decir, corren radialmente hacia el interior de la piel exterior del pozo de la torre.

Una parte del pretensado necesario se dirige a los cimientos de la torre o a cimientos separados dispuestos radialmente alrededor del eje de la torre por al menos tres elementos tensores que se extienden radialmente lejos del eje de la torre en vista de planta, y diagonalmente lejos del eje de la torre en vista, que se fijan al eje de la torre preferentemente por debajo del paso de las aspas del rotor inferior y en puntos de subdivisión más lejanos del eje de la torre en el caso de múltiples elementos tensores a diferentes alturas del eje de la torre. Los elementos de refuerzo se extienden radialmente fuera del eje de la torre y, por lo tanto, son visibles para un observador de la torre desde el exterior. La estructura de la torre para una turbina de viento según la invención está diseñada con una torre shaft, una fundación y una pieza de transición en la región del extremo superior de la torre shaft, en la que se proporcionan elementos tensores que están inclinados con respecto a un eje longitudinal de la torre shaft y corren radialmente fuera de la piel exterior definida por la torre shaft, por el que el fuste de la torre se arriostra al menos en secciones, en las que los elementos de tensión se proporcionan radialmente hacia el interior de la piel exterior por la que el fuste de la torre está pretensado verticalmente al menos en secciones, y en las que el fuste de la torre está hecho de hormigón, en particular hormigón pretensado, en la región entre la pieza de transición y los cimientos. Además, el soporte no está diseñado como un sistema rígido, sino que está diseñado de tal manera que la amortiguación aerodinámica se hace posible en la medida previamente conocida y más allá, y las posibles resonancias naturales pueden ser suprimidas. En la pared del pozo se utilizan tipos de hormigón de diferente densidad y diferentes grados y

geometrías de refuerzo para influir positivamente en el comportamiento vibratorio del pozo de la torre y suprimir las frecuencias y armónicos naturales.

5 Un sistema de postesado variable permite combinar el postesado y el pretensado necesario de la sección transversal de hormigón pretensado de los elementos de hormigón in situ o prefabricados que pasan por el fuste de la torre en una ventajosa interacción de pretensado, postesado y resistencia de los materiales, de tal manera que se pueden excluir las frecuencias no deseadas cambiando los grados de tensado y se hace posible la amortiguación aerodinámica a pesar de la gran rigidez de la estructura de la torre y la amortiguación de
10 frecuencia natural.

Además, la invención también comprende un dispositivo mediante el cual se efectúa la estabilización de una estructura de torre generalmente arriostrada, en la que durante el funcionamiento de la central eólica se determinan los datos actuales sobre el estado de la
15 estructura de la torre, en particular sobre la tensión en al menos un elemento de arriostramiento de la estructura de la torre, y en función de esos datos se modifica activamente la tensión en al menos un elemento de arriostramiento.

Por medio del dispositivo, los elementos tensores no se pretensan antes del funcionamiento inicial de la turbina eólica, sino que la estructura de la torre se ajusta durante el funcionamiento de la turbina eólica para adaptarla a las diferentes condiciones de carga. El dispositivo es un
20 dispositivo motorizado que también está permanentemente unido a la estructura de la torre.

Los elementos tensores pueden ser alambres paralelos envainados, paquetes de alambres envainados prensados con grasa, alambres galvanizados, cuerdas, varillas metálicas, láminas de fibra de carbono o de fibra de vidrio, o similares, anclados en sus pilares por ojos de cuerda, pernos, soldaduras, abrazaderas, conexiones atornilladas, cuñas tensoras, cabezas tensoras, u
25 otros elementos de conexión, o encajados y asegurados en sus monturas de desviación.

La invención preferentemente prevé el uso de cabezas tensoras como punto final con un cambio de carga resistente preferentemente sujetando de la cuña anclada filamentos esféricos o biaxialmente filamentos movibles en el punto superior de tensión de los elementos tensores. La invención preferentemente prevé utilizar en el extremo inferior un punto de fin variablemente
30 ajustable en longitud mediante un actuador en el abutment, preferentemente también un tensioning, que esté conectado al actuador.

De acuerdo con la invención, el actuador puede ser movido de forma controlada o regulada mediante un accionamiento y al menos un elemento de medida que controla la pretensión y la oscilación del elemento tensor y opcionalmente también la del eje de la torre y la velocidad de
40 la unidad del rotor y la posición y deflexión del generador de viento, así como la naturaleza y velocidad de la masa de aire que fluye delante del rotor, de forma que la pretensión en el cable pueda ser reajustada automáticamente. Así pues, por una parte, la pretensión óptima debe garantizarse durante todo el ciclo anual con sus perfiles de temperatura y los cambios de longitud térmica asociados y, por otra parte, si es necesario, la pretensión debe ajustarse en
45 función de la velocidad del rotor de tal manera que, en particular, las excitaciones del rotor, como p y $3p$, y las frecuencias naturales de la torre y las de los elementos tensores permanezcan separadas entre sí, así como la energía cinética contenida en el aire se extraiga de la manera más óptima posible por el comportamiento de reacción de toda la turbina eólica y, en particular, de la torre, o bien debe oponerse una menor resistencia material a las cargas
50 extremas que se produzcan. Este debería ser el caso en particular si las respuestas de frecuencia de estos componentes no pueden separarse de manera fiable entre sí por razones de diseño. Una fuerza tensora variable aplicada a los elementos tensores por medio de

actuadores cambia las frecuencias naturales de la torre y las de los elementos tensores, de modo que el rotor ya no está sujeto a una restricción de velocidad. Además, este dispositivo compuesto de elemento de medición y actuador puede contrarrestar los movimientos del suelo, como la hinchazón o la contracción, de manera ventajosa y muy segura. Lo mismo se aplica a los cambios de longitud debidos a la temperatura. El elemento de control puede ser un componente de un sistema de vigilancia de la condición de todo el WTG.

En una variante de esta característica para cambiar la precarga en el elemento tensor, se propone un elemento de retención secundario que se fija al elemento tensor y se devuelve preferentemente al eje de la torre donde también se fija. En la encarnación, este elemento de retención secundario está provisto de un actuador para que pueda variar su longitud y así desviar el elemento tensor lateralmente, es decir, ya sea acercándolo a la torre o aflojándolo para alejarlo de ella. Esta desviación lateral, preferiblemente a mitad de camino a lo largo de la longitud del elemento tensor, altera tanto el esfuerzo de tracción como la vibración natural del elemento tensor debido al cambio geométrico. Según el invento, este esfuerzo de tracción adicional (o reducido) en el elemento tensor tiene un efecto definido sobre la precarga en el eje de la torre y, por lo tanto, cambia temporalmente su frecuencia natural o su desviación de manera deseada. De esta manera, la frecuencia natural del eje de la torre y las frecuencias de excitación de los principales componentes del generador eólico, en particular p y $3p$, no entran en conflicto.

La invención también se relaciona con una estructura de torre para una turbina de viento con una torre shaft, una pieza de transición del extremo superior de la torre shaft, una fundación, y tensionando elementos que están inclinados con respecto a un eje longitudinal de la torre shaft, se extienden radialmente fuera de la piel exterior definida por la torre shaft y por medio del cual la torre shaft se tensa al menos en secciones, estando al menos un elemento tensor acoplado a un dispositivo para ajustar de forma variable la tensión del elemento tensor.

El dispositivo para ajustar de forma variable la tensión en el elemento tensor de la turbina eólica para cambiar temporalmente la frecuencia natural de la torre y para un comportamiento de respuesta ajustable de forma diferente para, por ejemplo, un grado de desviación diferente, ya es inventivo en sí mismo y no se limita a las torres de hormigón armado o a las construcciones mixtas propuestas. En particular, también se concibe usar este dispositivo para torres de acero puro reforzado.

Las piezas de transición son, por ejemplo, bridas intermedias fijadas al fuste de la torre, en particular de metal, o directamente mástiles de acero o componentes de mástil de acero o similares. Además, sin embargo, la góndola o un mástil de acero también puede ser colocado en las piezas de transición. En el caso de los rotores de eje vertical, las piezas de transición son elementos que proporcionan la conexión entre el tubo de la torre y la unidad generadora vertical.

En particular, se puede evitar adicionalmente que los elementos de refuerzo sean excitados a vibrar mediante elementos de amortiguación de vibraciones. Los elementos de amortiguación de vibraciones pueden ser de naturaleza activa o pasiva, en particular los amortiguadores de fricción, los amortiguadores de inducción, los amortiguadores hidráulicos, preferentemente cerca del punto de tipo inferior, así como las masas de amortiguación de vibraciones, los elementos de retención en los puntos de subdivisión del elemento de tipo, como las cuerdas de retención secundarias, o similares.

En particular, la longitud de los elementos tensores, el ángulo de tensión y la fuerza de tensión aplicada en conjunción con la resistencia del material del eje de la torre y cualquier fuerza de

pretensión de la misma se adaptan entre sí de tal manera que las vibraciones naturales del elemento tensor no perjudiquen o restrinjan la capacidad operativa de la estructura de la torre tensada como resultado de las resonancias del elemento tensor, y el uso de elementos de amortiguación de vibraciones aumenta adicionalmente esta seguridad, por ejemplo, amortiguando y neutralizando las vibraciones inducidas por el viento y cualquier armónico o galopante que pueda producirse.

En particular, los puntos tensores inferiores de los elementos tensores que se extienden radialmente lejos de la torre pueden estar anclados en sus propios cimientos o pueden estar anclados en un cimiento común con el fuste de la torre. En particular, en el caso de múltiples puntos de apoyo a diferentes alturas en el eje de la torre, los elementos de apoyo pueden estar anclados al suelo en cimientos comunes.

En particular, los elementos tipo pueden dividirse y bifurcarse hacia el punto tipo superior y pueden estar unidos al eje de la torre tanto central como tangencialmente o intermedios, o pueden desviarse allí.

En particular, los pozos de hormigón pretensado hechos de hormigón in situ o de piezas prefabricadas se utilizan para el pozo de la torre o para partes del pozo de la torre, en particular entre el punto de base y el punto de anclaje situado más arriba, que, en comparación con los pozos de acero tubular y las construcciones de mástil de celosía, se comportan con una rigidez torsional significativamente mayor y menos vibraciones, en particular en el caso de la gran esbeltez debida a la inercia de la masa de hormigón, por lo que todo el sistema de torres de la WTG tiene menos vibraciones y, por lo tanto, es más eficiente y más resistente a la fatiga. Según el invento, la resistencia material significativamente más alta de la sección del eje de la torre de hormigón pretensado impide que el generador de viento gire de lado en caso de viento entrante lateral, en caso de cizallamiento horizontal del viento o en caso de turbulencia, lo que tiene un efecto favorable sobre la vida útil de todos los componentes sometidos a tensión a este respecto.

En particular, el pretensado necesario para la sobrepresión parcial o total de la sección del eje de hormigón pretensado por debajo del nivel de arriostramiento superior hasta el extremo inferior del eje de hormigón pretensado no sólo se efectúa mediante miembros de tensión en o sobre la torre, sino que también se efectúa parcialmente mediante el arriostramiento.

En particular, la frecuencia natural de la torre es libremente seleccionable combinando la fuerza del tipo y la fuerza del pretensado y así, en particular, los "rangos de velocidad prohibidos" para el rotor son completamente eliminados. La frecuencia natural de la torre se comporta preferentemente "dura/dura" a las frecuencias de excitación p y $3p$ de la unidad del rotor según el diagrama de Campbell, de modo que en particular se pueden utilizar los rangos de baja velocidad del rotor y se puede lograr un mayor rendimiento del viento.

En particular, la interacción de la inercia de la masa, la resistencia de los materiales, el arriostramiento variable y, de ser necesario, el pretensado adicional en la estructura de la torre puede adaptar las características de vibración de la torre a la entrada de carga periódica de los rotores de eje vertical de tal manera que la carga de fatiga de la estructura de la torre se reduzca como resultado de resonancias más bajas y que también sea económicamente posible acomodar varios rotores uno encima del otro en un eje de la torre.

En particular, el eje de hormigón pretensado o sus partes pueden fabricarse no sólo en hormigón armado sino también en hormigón textil, en particular, hormigón de fibra de carbono (pretensado), hormigón de fibra de vidrio AR (pretensado) o en mezclas de estos tipos de

refuerzo. Para mejorar la resistencia a la torsión, pueden contribuir los refuerzos de acero convencionales, pero sobre todo el refuerzo textil propuesto, que puede aplicarse en diagonal en la dirección circunferencial o los encofrados y elementos de sándwich perdidos.

5 En particular, la estructura de la torre puede estar hecha continuamente del eje de hormigón pretensado propuesto desde la base de la estructura de la torre hasta la pieza de transición (aquí: elemento adaptador) en la transición al generador eólico. Preferiblemente, el eje de hormigón puede ser fabricado con métodos de construcción deslizante sin grúa. El método de deslizamiento del hormigón elimina ventajosamente la necesidad de grandes grúas o grúas de torre giratoria durante todo el período de construcción del pozo de la torre de hormigón, así como las zonas necesarias para sujetar grandes grúas y piezas prefabricadas o similares. Preferiblemente, el acabado exterior del pozo de la torre de hormigón puede ser una capa de hormigón fino con refuerzo textil. En una encarnación, el acabado exterior del pozo de hormigón puede ser también un encofrado perdido, también de metal, también un elemento de sándwich.

En particular, la base de la estructura de la torre puede comprender un elemento estructural preferentemente prefabricado o una sección de pozo en la que los estribos del miembro de tensión inferior están integrados por encima del borde superior del terreno y en la que se proporciona espacio y área de maniobra para instalar los dispositivos de tensión para instalar y aplicar el pretensado a los miembros de tensión con fines de montaje y para prescindir del sótano de pretensado por debajo del borde superior del terreno que ha sido habitual en las torres de hormigón pretensado. En una encarnación de la invención, los miembros de tensión se desvían hacia afuera en la base de la torre y los estribos de los miembros de tensión se montan en el exterior de la torre. El interior de la torre queda, por lo tanto, libre para cualquier instalación que necesite ser protegida del clima. Según el invento, la abertura de acceso al espacio interior, así como los posibles conductos de instalación necesarios, también pueden estar situados en este componente prefabricado. La abertura de acceso se encuentra preferentemente debajo de los pilares del miembro de tensión. Esto es particularmente ventajoso si todos los miembros de tensión del eje de la torre se pasan al elemento estructural en la base de la torre y la distancia entre los miembros de tensión no permitiría de otro modo una apertura del ancho necesario.

En particular, el fuste de la torre puede erigirse sobre estructuras de cimentación que pueden absorber poca o ninguna fuerza de palanca del fuste de la torre erigida sobre la cimentación. Se trata, por ejemplo, de un simple hormigonado o fijación sobre roca de carga existente, cimientos de pilotes perforados en suelos de cimentación blandos o pilotes de cimentación cuyas dimensiones están determinadas únicamente por la capacidad de carga del suelo en dirección vertical y cuyas dimensiones no están determinadas por las fuerzas (de palanca) que deben impedir el vuelco o deben absorber fuertes cargas unilaterales debidas a una dirección principal del viento, excepto las de la verificación de la capacidad de carga durante la fase de construcción, siempre que la torre o sus secciones estén libres. Los cimientos de la torre, que preferiblemente se proyectan poco lateralmente con pequeñas dimensiones laterales, reducen considerablemente la huella de la estructura de la torre, especialmente en comparación con las anteriores estructuras de cimentación para estructuras de torres independientes con grandes extensiones en la base de la torre debido a las fuerzas de palanca y estructuras de cimentación que se proyectan ampliamente lateralmente para la verificación de la estabilidad de los cimientos contra el vuelco.

En particular, el diámetro exterior o la geometría exterior del fuste de la torre de hormigón pretensado puede permanecer igual en toda su longitud y cualquier cambio necesario o posible en el área transversal requerida de la pared del fuste puede lograrse mediante un diámetro

interior o una geometría interior variables. De esta manera, por ejemplo, un dispositivo de mantenimiento en el exterior de la torre puede moverse más fácilmente en dirección vertical.

5 En particular, la sección de la torre de hormigón pretensado puede extenderse por debajo de la pieza de transición al generador eólico. Alternativamente, la sección de la torre de hormigón pretensado puede extenderse a una pieza de transición en la que se monta una corona de la torre, por ejemplo, segmentos tubulares ligeros o de acero, que se extienden por debajo del generador eólico. Preferiblemente, cualquier pieza de transición a otros elementos de tubos de torre que puedan utilizarse en la sección superior de la estructura de la torre por razones de peso, al mismo tiempo forma el plano superior, posiblemente el único plano de tipo en la estructura de la torre y el plano para el estribo superior o cojinete de desviación de los tendones del eje de la torre. Este estribo de anclaje en el eje de la torre se conoce generalmente como el elemento de transición. Este elemento de transición está situado preferentemente cerca del paso de la pala inferior en los generadores eólicos de eje horizontal.

10 Según el invento, la sección de la torre puede construirse preferentemente sobre el plano superior en construcción ligera, también en acero, también en elementos de sándwich y también en madera, cada uno como un cuerpo que encierra una cavidad o como una estructura de celosía o como una construcción mixta.

15

20 En particular, el plano de tipo superior está situado a una altura entre la cima de la torre y la base de toda la estructura de la torre, que divide esta longitud preferentemente en una proporción de uno a dos o en una proporción inferior.

25 En particular, un posible plano de tipo inferior está situado a una altura entre la cima de la torre y la base de toda la estructura de la torre, que divide esta longitud preferentemente en una proporción de dos a uno o en una proporción superior.

30 En particular, el eje de la torre y los puntos de sujeción inferiores pueden fijarse en cimientos individuales. Sin embargo, una variante del invento establece que en el caso de suelos muy blandos, los puntales en forma de estrella corren hacia afuera desde los cimientos de la torre, que absorben las fuerzas de los elementos de refuerzo y los guían de vuelta a la torre redirigiendo la fuerza en un segundo elemento de tensión. De esta manera, se puede garantizar una trayectoria de fuerza circunferencial cerrada incluso en el caso de suelos muy blandos. Además, una variante prevé un cimiento plano en forma de cono que se coloca preferentemente en el suelo y que puede ser fácilmente retirado por completo durante el desmantelamiento.

35

40 En particular, según el principio de construcción de torres propuesto, también se pueden realizar instalaciones de varios pisos con varios generadores eólicos dispuestos uno sobre otro.

Además, la invención también se refiere a un método para estabilizar una estructura de torre descrito anteriormente, en el que los datos actuales sobre el estado de la estructura de la torre, en particular sobre la tensión de tracción en al menos un elemento tensor de la estructura de la torre, se determinan durante el funcionamiento de la central eólica, y la tensión de tracción en al menos un elemento tensor se modifican activamente en función de estos datos.

45

Las características descritas anteriormente e indicadas en las afirmaciones del dispositivo también pueden estar expresamente previstas en el método.

50 Las características y ventajas adicionales de la invención serán evidentes en la siguiente descripción y en los siguientes dibujos a los que se hace referencia. En los dibujos se muestra lo siguiente:

- La figura 1 muestra una serie de las torres de aerogeneradores disponibles actualmente en el mercado y las tendencias comunes según la opinión unánime de los expertos en el sector. 02 muestra esquemáticamente una torre sobre un cuerpo de cimentación formado por varias secciones de tubos de acero con secciones de pared sólida. 04 muestra una torre de hormigón esquemático formada por elementos prefabricados sobre un cuerpo de cimentación. 06 muestra una torre híbrida independiente que consta de hormigón in situ en la sección inferior y secciones de tubos de acero en la sección superior. 08 muestra un método de construcción modificado en el que la sección de hormigón está formada por elementos prefabricados. 10 muestra una torre de hormigón puro en un cuerpo de cimentación. 12 muestra esquemáticamente una torre de celosía. Este método de construcción, que suele basarse en cimientos únicos, alcanza las mayores alturas de los núcleos según el estado de la técnica. 14 muestra pequeñas turbinas de viento comercialmente disponibles con eje horizontal y vertical arriostradas en un tubo de acero.
- 15 La figura 2 explica un problema clave del que surge el invento. La figura 2a muestra una torre de aerogenerador con un cubo muy grande de altura 40, en la que está montado un generador eólico 33.1 con una pala de tipo 33.1.1 con una longitud de pala 42.1. Este tipo de pala de rotor es adecuado para un perfil de viento medio con una distribución de Weibull cuyo máximo es la velocidad de viento media. La longitud de las palas del rotor es, en consecuencia, corta en relación con las dimensiones de la turbina en general. Esta gran altura del cubo 40 con el generador 33.1 sólo puede realizarse económicamente según el estado de la técnica con la construcción de la torre de celosía 12.2 que se muestra. La construcción de la torre de celosía no sólo debe absorber las fuerzas del brazo de palanca a lo largo de la longitud 40, sino también las fuerzas de torsión 41,1 resultantes de la longitud de la hoja 42,1. Ya es necesario un esparcimiento correspondiente en la base de la torre. Si se van a montar en la torre 12.1 turbinas adecuadas para zonas de vientos bajos con una distribución de Weibull que tiene su máximo a velocidades de viento más bajas, se requiere una longitud de pala correspondientemente mayor 42.2, lo que aumenta las fuerzas de torsión 41.2 que actúan sobre la estructura de la torre y hace que el diseño elegido sea antieconómico según el estado de la técnica. La dispersión 12,2 en la base de la torre aumentaría, habría que temer una excitación de las palas del rotor por la frecuencia de torsión intrínseca de la estructura de la torre y, por lo tanto, el funcionamiento económico de la planta se vería gravemente restringido por la exclusión de las correspondientes gamas de velocidad del rotor.
- 35 En la figura 2b se muestra el invento en el que el generador eólico 33.2, que es particularmente adecuado para emplazamientos de viento bajo y que tiene palas delgadas de rotor 33.2.2 con una gran longitud 42.2, está montado en el eje de la torre arriostrada según el invento, el eje 32. 40 está diseñado como un cuerpo hueco de hormigón resistente a la torsión y, a pesar de su gran esbeltez 32,2, transfiere las fuerzas de torsión que se producen 41,2 del generador eólico 33,2 a los cimientos 26 y los cimientos 72 de forma económica y con ahorro de material. El momento de flexión del eje de la torre se transfiere mediante un puntal 20, que se fija al eje de la torre 32.40 en un punto de refuerzo 22, preferiblemente justo debajo del paso del rotor, mediante puntos de refuerzo 24 dispuestos radialmente alrededor del eje de la torre 32.40 por medio de un cimientos 28 en el suelo de los cimientos. Para reducir la longitud de oscilación libre, el elemento de refuerzo 20 puede ser mantenido en su lugar por un elemento secundario 30.
- 50 La figura 2c muestra una variante del invento que permite la tendencia 46 hacia turbinas eólicas cada vez más grandes con alturas de cubo cada vez mayores 48 para hacer funcionar turbinas cada vez más potentes 33.3 con palas cada vez más largas 33.3.2 en las capas de viento de mayor rendimiento. El esbelto y rígido eje de la torre de hormigón 32.48 se mantiene en su lugar por un plano tensor superior 36, preferiblemente debajo del paso del rotor, y por un plano tensor inferior 34, que toma fuerzas de momento adicionales de la torre y las disipa en el

suelo 1 a través de los elementos tensores 20 y 20.1. Según el invento, el tipo apunta 38 en el suelo puede estar anclado en el suelo 1 por un cimiento común 28.

De la misma manera, los rotores de eje vertical pueden ser montados a grandes alturas.

5 Las figuras 3 a 7 ilustran los valores relevantes que muestran por qué, contrariamente a los prejuicios de los expertos en la materia, el principio de construcción según la invención prevé la combinación de una torre de hormigón con un sistema de postesado MÁS un sistema de refuerzo adicional.

10 La figura 3 muestra primero una construcción existente de una pequeña turbina eólica, consistente en un tubo de acero de 31.K con una sección transversal de pared sólida y un armazón perfilado de 20.K con un punto de armazón de 36.K. El momento seccional muy bajo de resistencia 144.K de la torre de hormigón con un punto de armazón 36.K del punto de
15 armazón 36.K es un momento seccional muy bajo de resistencia. El módulo de sección muy bajo 144,3 de esta construcción, con la gran esbeltez del tubo de la torre 141.K, genera una desviación torsional 146,3, como se muestra en la figura 2, en el caso de las fuerzas que actúan lateralmente sobre el pequeño generador eólico 33.K, cuya desviación torsional aumenta notablemente hacia la parte superior del generador 33.K. La suavidad del material
20 144,3 y la baja masa 140,3 significan una excitación lateral, longitudinal y torsional correspondientemente alta 148,3 a lo largo y alrededor de su eje a lo largo de toda la longitud del eje. El módulo de sección baja 144,3 de dicho diseño reforzado no permite la ampliación de este diseño, ya que no se garantiza el funcionamiento seguro y económico del generador eólico debido a las máximas desviaciones posibles en la parte superior de la torre y a las numerosas
25 interferencias excitantes de las oscilaciones, especialmente de las frecuencias naturales de la torre, la torsión de la torre, la frecuencia natural de las palas y la excitación por la rotación de las palas p y 3p, especialmente para las turbinas de varios megavatios de 2MW de potencia instalada y superiores.

30 Análogamente, los rotores de eje vertical también generan excitaciones que actúan sobre la torre, lo que hace que el puro aumento de escala de este diseño sea antieconómico.

En la figura 4 se muestra el principio de construcción según el invento, en el que un cuerpo hueco de hormigón, preferiblemente un tubo de hormigón, que está bajo pretensado, está
35 provisto de un refuerzo 20 en el punto de refuerzo 36. El peso específico sustancialmente mayor de la torre por metro 140,4, la altísima resistencia material del hormigón armado, en particular del hormigón pretensado 142,4 reducen los valores de la deflexión torsional máxima 146,4 a fracciones del método de construcción de la figura 3 (línea discontinua) para la misma fuerza lateral aplicada en el aerogenerador 33. La susceptibilidad a la excitación 148,4 tanto
40 lateral como longitudinal, así como en torno a su propio eje, se reduce considerablemente en toda la longitud del eje, lo que permite el funcionamiento seguro del generador eólico 33 incluso a grandes alturas y con gran esbeltez material 141.

En la figura 5 se muestra una variante del principio de construcción según el invento, en la que el pozo de hormigón 32.5 se lleva hasta un armazón 20 con el punto de armazón 36, que
45 puede fijarse preferentemente a un elemento de transición 32.56, sobre el que puede colocarse una corona de torre compuesta por otros elementos 32.54 en construcción ligera y una menor resistencia material de la construcción del pozo para soportar el generador 33. En esta encarnación, el elemento de transición también forma la pieza de transición. Este método de
50 construcción puede ser particularmente útil cuando la estructura de la torre no está pensada o no se permite que exceda de una cierta masa global, y se utilizan métodos de construcción ligeros pero, de nuevo, más suaves en la parte superior de la torre. La deflexión torsional 146,5

y la susceptibilidad máxima a la excitación 148,5 también son considerablemente menores con esta combinación de varias secciones de torre con diferentes métodos de construcción que con la que se muestra en la figura 3.

5 En la figura 6 se muestra también una variante preferida del principio según el invento, en la que se utilizan diferentes espesores de pared de hormigón del pozo 32,62, 32,64 y 32,66 con diferentes pesos específicos por metro de torre 140,6 de la pared del pozo con la misma esbeltez 141 y, además, pueden utilizarse diferentes clases de resistencia del hormigón con diferentes resistencias de material 144,6. Una vez más, la desviación de torsión 146,6 y la
10 susceptibilidad a la excitación 148,6 son muy bajas. Además, este diseño es muy eficaz para evitar posibles armónicos a lo largo de toda la longitud de la torre, ya que cada sección del eje tiene frecuencias naturales diferentes a pesar de tener el mismo diámetro exterior.

15 En lo que respecta a los rotores de eje vertical, cabe mencionar en particular la baja excitabilidad de estos diseños con sus propiedades mencionadas.

Las combinaciones de los diseños también son posibles.

20 La figura 7 muestra esquemáticamente las fuerzas de pretensión y tensión y su ventajosa adición.

La figura 7a muestra la variante preferida en la que el eje de hormigón pretensado se extiende desde la base de la torre y el elemento de base preferido 60, explicado a continuación, hasta la pieza de transición 61 en la parte superior de la torre, debajo del generador eólico 33.
25 Preferentemente, la fuerza de pretensado 52 a lo largo del eje 50 de la torre se aplica a lo largo de toda la longitud de la torre y se complementa con la fuerza de pretensado 54 de los cables 20. De esta manera, se crea una fuerza global de pretensado 56 que sobreprime ventajosamente la sección transversal del eje y por lo tanto le proporciona la rigidez necesaria. Según el invento, los elementos tensores no sólo cumplen la función de impedir la inclinación lateral, sino que también contribuyen en parte a la sobrepresión del eje de la torre de hormigón.
30

La figura 7b muestra una variante en la que el eje de hormigón pretensado 57 se extiende desde la base de la torre 60 hasta el plano de apoyo 36 y se somete a su propio pretensado 58, y desde allí, preferentemente después de una pieza de transición 61, continúa como
35 componente no pretensado 55 hasta el adaptador de cabeza 61 de la torre bajo la góndola 33. Una vez más, las fuerzas de tensión 58 de los elementos de tensión a lo largo de la torre 57 complementan la fuerza de tensión 54 de los elementos de tensión 20 de manera ventajosa para formar una pretensión común 59, que está dimensionada de tal manera que el eje de la torre recibe la rigidez necesaria de la sobrepresión 59.
40

La figura 8.1 muestra a la derecha un ejemplo de una sección esquemática a través de la construcción según el invento y en la ampliación 8.1.A componentes del pilar con el actuador 166 del armazón 20 en el extremo inferior, que en su funcionalidad son preferentemente componentes del invento. El elemento de refuerzo 20 se sujeta en el elemento de pilar 154 por
45 medio de un elemento de fijación 156, por ejemplo un ojo de cable, y se monta de forma móvil en la dirección longitudinal del refuerzo por medio de un actuador 166. Tanto la pretensión como las posibles vibraciones del elemento tensor se transmiten a través de un sensor 162.1, que preferiblemente puede estar conectado al elemento tensor, a una unidad lógica 164, que puede proporcionar señales de control para retensar o relajar el elemento tensor para el
50 actuador. Opcionalmente, hay otros sensores situados en el eje de la torre para supervisar sus características de vibración (162.2), en el conjunto del rotor para supervisar su velocidad de rotación (162.3) y, opcionalmente, en la pala del rotor para supervisar su vibración natural

(162.4). Esta unidad de procesamiento puede calcular la velocidad del rotor, la vibración de la torre, la vibración del cable, la tensión del cable y otros valores necesarios entre sí, y de esta manera dar las señales de control al actuador para retensar y relajar el elemento tensor. Un elemento amortiguador 158 no lejos del pilar reduce en particular las vibraciones inducidas por el viento del elemento tensor. El estribo se empotra preferentemente en un cimiento 152 que transfiere las cargas al suelo a través de elementos de cimentación 150, como pernos de roca, clavos de roca, cimientos de gravedad, anclajes de tierra o similares. La línea discontinua 20.1 tiene por objeto ilustrar que en un cimiento común pueden anclarse varios niveles de refuerzo con diferentes inclinaciones.

En la figura 8.2 se muestra una variante en la que el esfuerzo de tracción en el elemento tensor 20 no se produce en su punto de pie o de cabeza mediante un cambio de longitud por un actuador en la dirección longitudinal, sino mediante un elemento secundario 30 que está unido al elemento tensor y que puede cambiar el curso del elemento tensor acercando el elemento tensor al eje de la torre y tensándolo así con más fuerza (20.A), o dejándolo aflojar de nuevo para que vuelva a su posición original. Para ello se utiliza también un actuador 166.30, que puede mover el elemento secundario 30 en su dirección longitudinal. El actuador también está controlado por una unidad lógica que procesa los datos entrantes de los sensores 164.1, 164.2, 164.3 y 164.4 y calcula a partir de ellos un valor para el actuador que, a través del elemento 30, tensa el elemento tensor de tal manera que las fuerzas de tracción crecientes o decrecientes se complementan entre sí junto con el pretensado del eje de la torre, de modo que la frecuencia de excitación y la frecuencia natural siempre permanecen separadas entre sí.

Generalmente, el almacén se extiende radialmente fuera de la piel exterior 400 formada por la superficie exterior del eje de la torre de manera inclinada hacia abajo. Los elementos de tensión encargados de pretensar el hormigón se desplazan radialmente hacia el interior de la piel exterior, es decir, ya sea en el hormigón o en la cavidad formada por el muro de la torre, es decir, en el interior del pozo.

La figura 8.3 muestra en tres diagramas de Campbell, primero el estado de la técnica y luego la solución inventiva con un eje de torre que es variablemente ajustable en su frecuencia natural f_{1-1} a f_{2-2} por la interacción de los miembros de tensión que ejercen esfuerzos de tracción ajustables en el eje de la torre. 8.3.1 muestra un diseño duro/blando de la torre de acuerdo con el estado de la técnica y el diseño más utilizado hoy en día. La primera torre de frecuencia natural f_1 y la segunda torre de frecuencia natural f_2 están diseñadas de tal manera que en un rango de velocidad definido (zona sombreada) no hay superposición de la frecuencia natural y las frecuencias de excitación, en particular de las palas del rotor $3p$ y la rotación del rotor p . El diagrama 8.3.2 muestra un diseño de resonancia/blando en el que la primera frecuencia natural de la estructura de la torre f_1 y la frecuencia de excitación p tienen un punto de intersección X en el rango de velocidad. El diagrama 8.3.3 muestra el efecto ventajoso del invento mediante el diagrama de Campbell: la frecuencia natural de la torre es ajustable en un cierto rango de f_{1-1} a f_{2-2} mediante la combinación de pretensado y sujeción variable. De esta manera, las intersecciones entre las frecuencias naturales y las frecuencias de excitación (especialmente también de los rotores de eje vertical) pueden ser evitadas haciendo variable la tensión de los elementos tensores. El rango de velocidad nominal puede seleccionarse con total libertad, a diferencia de los otros diseños de torres (mayor área de sombra).

La figura 9 muestra un ejemplo de una variante de cimentación de toda la torre, incluyendo el arriostramiento para suelos muy blandos o sin carga. En este caso, la fuerza de tracción del elemento de refuerzo 20 en su punto base 24, 38 se redirige a través de la punta de un elemento de viga 180, que sale preferentemente de los cimientos de la torre 72, y se devuelve a los cimientos 72 o a los cimientos 26 del fuste de la torre a través de un elemento de tensión 182 en forma de estrella en la vista en planta y en un ángulo poco profundo en la vista y

anclado allí. De esta manera, se pueden evitar los cimientos de gravedad excesiva en la base 24,38 del elemento tensor 20 como resultado de las fuerzas de tensión que se producen cuando el suelo no es seguro.

5 En la figura 10 se muestra, a modo de ejemplo, una variante de los cimientos de la torre para terrenos de construcción inseguros, en la que opcionalmente se puede conducir una viga en forma de pico 192 desde los cimientos de la torre 72 hasta el punto de arriostramiento 24, 38, que recibe el elemento de arriostramiento 20, o en la que la estructura 186 que se aleja de los cimientos de la torre 72 está formada en forma de placa, disco o cono, o en la que los picos
10 están adicionalmente conectados entre sí por elementos de tensión 195 o, en vista de la planta, forman un triángulo, preferiblemente un tetraedro 196.1, a fin de garantizar una estabilidad suficiente.

15 La figura 11 muestra un ejemplo de una variante de la figura 10, en la que el elemento que se aleja de la torre se divide en una cuerda superior 198, una cuerda inferior 199, que juntas encierran una cavidad 197, que puede rellenarse con material de relleno con fines de estabilidad.

20 La figura 12a muestra un ejemplo de una variante del punto de anclaje 36 en un diseño muy simple: el elemento de anclaje 20 se fija al eje de la torre 32 mediante una pieza final 260 en un elemento receptor 262. La figura 12b también muestra un elemento de refuerzo 264, que evita que el tubo de la torre se ovalice o doble otras posibles geometrías de la torre (por ejemplo, polígonos) como resultado de las fuerzas de tracción aplicadas. El elemento de refuerzo puede ser fijado en el interior o exterior del eje de la torre. La figura 12c muestra un ejemplo de otra
25 variante en la que el elemento de refuerzo 20 se divide en un elemento de la bifurcación 264 y se fija al eje de la torre al menos en dos puntos, uno sobre el otro. De esta manera, se reduce el momento de flexión máximo en la región del elemento de refuerzo y se evitan los picos de tensión.

30 La figura 13a muestra un ejemplo de una variante del punto de refuerzo 36 en el que el elemento de refuerzo 20 se ramifica en un elemento 264 cerca del estribo superior y la pieza final 260 se fija tangencialmente al eje de la torre 32 a través del elemento de transición 262 o elemento de retención. La figura 13b muestra una variante en la que el elemento tensor 20 se enlaza en bucle alrededor de la torreta 32 y se fija a la torreta mediante los elementos de
35 retención 262.

En la figura 14a se muestra un ejemplo de una variante del elemento tipo 36, en la que el elemento tipo 20 está provisto de una pieza final 260 y está anclado en un elemento 270 que se une a la torreta 32 en forma trapezoidal para permitir una transferencia de fuerza entre el
40 elemento tipo 20 y el tubo de la torreta 32 que sea lo más homogénea posible.

En las figuras 11 a 14, la pieza final 260 se monta preferentemente de forma esférica o biaxial para que no se produzcan cargas unilaterales en el pilar y se garanticen todos los grados de libertad del pilar superior 36, que es un resorte de perforación flexible.

45 En la figura 14b se muestra un ejemplo de una variante del punto de anclaje 36, en el que el elemento de anclaje 20 es guiado a través de una silla de desviación 271, que también está conectada trapezoidalmente al tubo de la torre 32. El elemento tensor se asegura contra el desplazamiento lateral y el deslizamiento mediante la retención de los elementos 274, y la silla de desviación se acampana en sus extremos en forma de trompeta para evitar que el elemento
50 tensor se doble.

La figura 15a muestra un ejemplo de una variante del punto tensor 36, en el que el elemento tensor 20 es guiado en el eje de la torre 32, y allí la pieza final 260 se fija en un pilar interno 262.

- 5 La figura 15b muestra una variante de la figura 15 con un elemento de refuerzo 282 en vista de planta.

En la figura 16 se muestra, a modo de ejemplo, el punto de refuerzo 36 y diversas incorporaciones para reforzar este punto de acuerdo con las incorporaciones de las figuras 14 y 15, de manera que las fuerzas del elemento de transición 270 que se introducen y deben llevarse a cabo allí son absorbidas y guiadas de manera segura, permanente y adecuada al material: Las vistas seccionales muestran, en secuencia, un refuerzo del muro del pozo 290 en el interior hecho del material del muro del pozo, un refuerzo separado 292 en la parte interior, un refuerzo separado 294 en la parte exterior, un refuerzo anular 296 en la parte interior, una variante con un refuerzo 298 en la sección transversal del pozo (análogo se aplica a las clases de resistencia del hormigón más altas) y una variante con una pieza de transición 32.56 que también tiene un muro reforzado 300. La última fila muestra variantes con pilares internos 304 y 306, en las que el elemento tensor con el elemento final 260 está anclado directamente en un pilar 304, o está fijado en un pilar 306 mediante una desviación 308.

20 Según el invento, son posibles las mezclas de todos los principios de construcción mostrados aquí y también son posibles los métodos de construcción análogos.

En la figura 17 se muestran ejemplos de encarnaciones del pozo de hormigón pretensado 32. En la figura 17a se muestra una encarnación que comprende una sección transversal de hormigón armado 330 y láminas de fibra de carbono 312 unidas en ranuras previstas para este fin. La figura 17b muestra una encarnación en la que el tubo de la torre está rodeado externamente por un revestimiento 314 o un encofrado perdido o un elemento sándwich capaz de absorber las fuerzas de pretensado. Esto puede incluir, pero no se limita a, capas finas de hormigón con refuerzo textil. La figura 17c muestra una encarnación externa sin unión en la que los miembros de tensión 320 están incrustados en la pared de la torre y su geometría impide que sobresalgan de los huecos. La figura 17d muestra una variante en la que los miembros de la tensión 310 son guiados internamente sin ninguna conexión. La figura 17e muestra una variante en la que los elementos de tracción 318 se mantienen en posición por las geometrías de guía 316 de forma externamente libre de compuestos. La figura 17f muestra una variante, en la que los elementos de tensión 324 son guiados externamente sin conexión en la parte interior lisa de la torre por medio de los elementos de sujeción 326.

40 De acuerdo con la invención, todas las encarnaciones mostradas aquí pueden ser combinadas entre sí como se desee y modificadas en el sentido de la invención.

Las figuras 18 a 21 muestran el elemento base de la torre 60 según el invento en varias encarnaciones ejemplares.

45 En la figura 18a se muestra, a modo de ejemplo, una variante de sección en la que los elementos de tensión sin unión interna 68 están anclados en un canal de tensión 65 en el extremo inferior del eje de hormigón pretensado 64 en un hueco 70 previsto a tal efecto en el elemento de base 60 con una cabeza de tensión 76. Ventajosamente, se omite el habitual sótano de pretensado de los cimientos 26. El hueco en la pared de la torre proporciona el espacio necesario para el montaje, aquí en particular para el dispositivo tensor 78. Integrados en el elemento base están las aberturas y elementos de acceso, como las puertas 72 o los tubos vacíos 74 para rutas de cable y similares. El elemento base es preferentemente un

componente prefabricado que integra un gran número de funciones y funcionalidades necesarias en la base de la torre como enlace entre el pozo de hormigón 64 y los cimientos 26.

5 En la figura 18b se muestra un ejemplo de una variante de la figura 18a, en la que los elementos de tensión sin unión interna se desvían 80 antes de anclar.

La figura 18c muestra una variante ejemplar en la que los miembros de tensión 82 corren a lo largo de la pared interior 86 de la torre sin ninguna conexión externa y el pilar 84 se proyecta hacia el interior.

10 La figura 19a muestra una variante ejemplar en la que el estribo del elemento de tensión 85 está conectado al eje de la torre 86 mediante elementos de retención 85.1. En la variante mostrada, el eje de la torre se extiende hasta los cimientos 26 sin un elemento adicional de base de la torre.

15 La figura 19b muestra una variante ejemplar en la que el elemento de tensión sin compuestos externos 82 es guiado hacia afuera a través de la pared del pozo mediante una desviación 94, donde se forma el pilar, que está provisto de una protección climática 92. Ventajosamente, en esta variante, el interior permanece libre de interiores para el pretensado.

20 La figura 19c muestra un ejemplo del mismo diseño para los miembros de tensión sin unión interna 68 en un canal de tensión 65.

25 En la figura 20a se muestra un ejemplo de una junta a tope 110 en la transición entre el elemento base de la torre 60 y el eje de hormigón pretensado 100.

En la figura 20b se muestra una representación ejemplar en la que se aplica a la superficie exterior una capa de componente adicional 108, preferiblemente un revestimiento, por ejemplo una capa de hormigón textil.

30 La figura 20c muestra una encarnación ejemplar en la que el eje de la torre 100 de la que el elemento base 60 crece internamente, la figura 21a muestra lo mismo desde el exterior.

35 La figura 21b muestra un ejemplo de una encarnación en la que el eje de la torre está unido al tope, o colocado directamente sobre los cimientos.

La figura 21c muestra un ejemplo de una variante en la que los niveles de la abertura de acceso 72, cimentación 1, pisos y cavidades están dispuestos de forma diferente unos de otros, si es necesario.

40 De acuerdo con el invento, todos los diseños mostrados en las figuras 19 a 21 pueden combinarse y mezclarse entre sí de cualquier manera deseada y pueden variarse en el sentido del invento.

45 La figura 22 muestra varias variantes de los bobinados de la pared interior 200 y la posible posición y disposición principal de los miembros de tensión 205, que corresponden a la magnitud del momento de flexión que se produce 214 en el eje de la torre.

50 Según la figura 22a, todos los elementos de tensión pueden pasar de la parte superior de la torre y el anclaje superior 202, preferentemente en la pieza de transición 61 debajo de la góndola, a la base de la torre, donde pueden fijarse con los anclajes 206 en el extremo inferior

de la torre, preferentemente a un elemento de base 208, según el invento. En el caso de que los miembros de la tensión estén adheridos en su lugar o fraguados en hormigón en toda su longitud (en particular en el caso de las aletas de fibra de carbono), las cabezas tensoras y sus estribos no son necesarios, ya que la fuerza de tensión se transfiere al componente circundante en toda la longitud de la unión.

Refiriéndose a la figura 22b, un cierto número de los miembros de la tensión también puede no extenderse a lo largo de toda la longitud del eje, sino que terminan en niveles intermedios 210. Esta disposición se debe a que la fuerza de momento máxima 220 se produce a nivel del avión tipo 204 y disminuye a valores cercanos a cero 218, 216 tanto hacia la cima de la torre como hacia la base de la misma.

Según la figura 22c, un cierto número de los elementos de tensión 212 sólo puede estar situado por encima del nivel de tensión superior en particular, ya que la sección transversal del eje por debajo del nivel de tensión superior (o sólo) 204 está adicionalmente sometida a pretensado por la tensión.

La figura 22d muestra una variante en la que los miembros de tensión se extienden hasta debajo de la abertura de acceso 207 en el extremo inferior de la torre. Las aberturas 209, en particular con fines de mantenimiento, también pueden estar situadas a diferentes alturas de la torre. Según el invento, estas escotillas de mantenimiento pueden ser colocadas en áreas donde no hay miembros de tensión a lo largo de la pared del pozo.

En la figura 23 se describe en las variantes 23a a 23c, de la misma manera, la posible disposición de los elementos de tensión 205 para un fuste de torre 200, que en el ejemplo mostrado está construido en hormigón pretensado sólo hasta el nivel de arriostramiento 204, sobre el que se coloca preferentemente una pieza de transición 61.1 y sobre el que se colocan otros elementos de fuste resistentes a la tensión 242 con secciones transversales de pared delgadas y ligeras. También en este caso, los elementos de tensión 205 pueden terminar prematuramente a diferentes alturas 210, 211, 212 de acuerdo con el momento decreciente 214 en el eje de la torre hacia el extremo inferior 218, con el fin de ahorrar material y costes.

La figura 24 muestra un ejemplo de una posible disposición de varios generadores eólicos 33.24.0 y 33.24.1 uno sobre el otro en el eje de la torre 32 según el invento, con un tipo inferior 20.0 en puntos de tipo debajo del rotor inferior 34.0 y un tipo intermedio 20.1 en puntos de tipo 34.1 situados entre los generadores. Esta disposición de elementos tipo, que además de introducir la fuerza de tensión en la torre también absorben la fuerza de momento del eje de la torre, permite apilar los TW, ya que la interacción de la armadura de momento y la rigidez torsional en la sección transversal del eje de la torre permite disposiciones incluso con una carga doble o múltiple, incluso para grandes generadores eólicos de la clase de multimegavatios a partir de una potencia de 2MW. De esta manera, se puede lograr casi el doble de rendimiento de las turbinas convencionales en un solo lugar. Además, con un diseño de parque de dos pisos, el área requerida se reduce a la mitad o su rendimiento se duplica.

La figura 25 muestra un ejemplo de una posible disposición de varios generadores eólicos de eje vertical 33.30.0 y 33.30.1 uno sobre el otro en el eje de la torre 32 según el invento, con un tipo inferior 20.0 en puntos de tipo debajo del rotor inferior 34.0 y un tipo intermedio 20. Esta disposición de elementos tipo, que además de introducir la fuerza tipo en la torre también absorben la fuerza de momento del eje de la torre, permite apilar los TW también para la encarnación vertical de los generadores de TW, por las razones mencionadas en la sección anterior.

En las figuras 26 y 27 se muestran los diseños de conexión preferidos para el elemento de refuerzo como una combinación de las características descritas anteriormente: En la figura 26 se muestra una expansión del eje girado hacia el interior, en la que se crea un elemento de hormigón 290 con un pilar 304 para un elemento tensor 20 doble y, por tanto, redundantemente guiado, en un muro de torre creado previamente mediante los anclajes de flexión inversa 290.2, preferiblemente en un encofrado perdido 290.3. Aquí, los miembros de tensión vertical 205 son guiados a lo largo de los huecos 205.1.

La figura 27 muestra en tres encarnaciones diferentes el elemento de travesaño 154, que se fija de forma ejemplar en el suelo de los cimientos mediante anclas inyectadas 150,20. En la variante 154.10, la tensión de tracción introducida del elemento de refuerzo 20 se transfiere al anclaje del suelo de los cimientos a través de un elemento similar a un escritorio. En la variante 154.20, el esfuerzo de tracción del elemento de refuerzo 20 se entrega a un elemento de travesaño parcialmente enterrado en el suelo, que a su vez entrega la fuerza aplicada al suelo circundante mediante un anclaje de tierra 150.20. La variante 154.30 muestra un elemento que flota libremente y conecta el elemento de refuerzo 20 y el anclaje de tierra 150.20 entre sí.

Según el invento, todas las encarnaciones ejemplares mostradas en las figuras pueden combinarse y mezclarse libremente entre sí y modificarse en el sentido del invento.

Según el invento, la estructura de la torre está opcionalmente provista de un dispositivo para ajustar de forma variable la tensión de los miembros de la tensión y/o los elementos de tensión.

Según la invención, un actuador 166, 504, 506 influye en un cambio de longitud de los miembros de tensión y/o elementos tensores, por ejemplo en la proximidad de los puntos de tensión, como resultado de lo cual la tensión en los miembros de tensión y/o elementos tensores puede cambiar y por tanto también en la región pretensada y tensada del fuste de la torre, que por un lado influye en la frecuencia natural del elemento tensor y del fuste de la torre y por otro lado también permite la amortiguación aerodinámica de toda la estructura de la torre en forma de un movimiento oscilante por cesiones controladas (Fig. 28b). Este actuador 166, 504, 506 está conectado a una unidad lógica 164 que efectúa preferentemente valores como la oscilación del elemento tensor, la tensión de los miembros tensores y/o elementos tensores, la velocidad de rotación de la unidad del rotor, la oscilación de las palas, la oscilación del eje de la torre y, si es necesario, una amortiguación aerodinámica deseada en el caso de ráfagas de viento que incidan por ceder el tensor o el pretensado y calcula a partir de ello una tensión necesaria en los miembros tensores y/o elementos tensores u otras variables.

Según el invento, el actuador ajusta la tensión necesaria calculada en los miembros de tensión y/o elementos tensores de tal manera que las frecuencias de excitación y las frecuencias naturales permanecen separadas entre sí mediante un cambio en la tensión en el elemento tensor y en el eje de la torre. El diseño de la frecuencia natural de la torre con respecto a las frecuencias de excitación p y $3p$ según el diagrama de Campbell puede ser tal que la torre puede cambiar entre duro/duro, duro/blando, resonancia/blando y blando/blando cambiando la fuerza de tensión. Para ello, el actuador es controlado por una unidad lógica que utiliza sensores para medir la fuerza de tensión de los elementos tensores 162.1, la velocidad del rotor 162.3, la vibración de la torre 162.2, la vibración de las palas 162.4 y la vibración de los elementos tensores 162.1, posiblemente también el viento que se aproxima, y durante el funcionamiento de la turbina eólica pueden determinarse los datos de corriente sobre el estado de la estructura de la torre y, en función de esos datos, puede cambiarse activamente la tensión en al menos un elemento tensor y/o miembro de la tensión y los datos pueden utilizarse, además, con fines de vigilancia y comportamiento a largo plazo.

Según el invento, este cambio en la tensión de tracción de los elementos tensores también puede ser efectuado por un apriete lateral del elemento tensor por medio de un elemento adicional, preferentemente un segundo elemento de retención, que está conectado a un actuador. Las vibraciones y los armónicos, en particular de los elementos tensores, se amortiguan así eficazmente en sus posibles vibraciones (inducidas por el viento).

Según la invención, la fuerza de tensión ajustable de los miembros de pre-tensión y/o tensión puede ser usada para causar que la estructura entera se comporte más suavemente sobre una cierta cantidad de desviación de la posición de reposo que en las desviaciones que exceden esto. La amortiguación aerodinámica similar a la de una varilla de péndulo dirigida hacia arriba por medio del ceder es posible, por lo tanto, a lo largo de un cierto rango para aprovechar mejor la energía del viento debido a la amortiguación aerodinámica por medio del ceder y oscilar hacia atrás durante un corto tiempo (Fig. 28b) que con una construcción rígida. Para las deformaciones más allá de esto, la fuerza de pretensado y/o la fuerza de tensión se ajusta o limita de manera que no sea posible una mayor deformación y puede, por ejemplo, impedir que una estructura de tubería de hormigón pase del estado I al estado II o impedir, de otro modo, que la estructura o sus partes se desvíen o deformen más allá de un grado deseado, por ejemplo para evitar un excesivo cabeceo de la turbina. (Fig.28c).

La Fig. 28d muestra una vista seccional a través del eje de la torre con los miembros de tensión ejemplares 82, de longitud variable, ajustables por los actuadores 506. Por consiguiente, los elementos de los miembros de tensión 82 también pueden ser montados en el extremo superior del eje de la torre.

Según el invento, el ceder del tipo por medio de actuadores es particularmente ventajoso, lo que da a la varilla vertical las propiedades de un péndulo ceder en toda la longitud 500 y así evita el cabeceo de la góndola, en particular debido a la segunda forma inherente de la torre, y de esta manera reduce las fuerzas de Coriolis 508 causadas por la rotación de la masa giratoria del rotor 510 sobre una corta distancia 502 al punto de tipo 512, como se describe esquemáticamente en la comparación de las figuras 28b y 28c. Lo mismo se aplica análogamente a los rotores de eje vertical.

Según la invención, los actuadores en los miembros de la tensión y/o los elementos de tensión para ajustar la tensión pueden ser preferentemente de naturaleza activa.

Según el invento, la estructura de la torre tiene en su punto de sujeción inferior una conexión permanentemente elástica entre la torre y los cimientos, que evita las limitaciones debidas a las imperfecciones, la inclinación, el asentamiento diferencial del suelo y la resultante inclinación de los cimientos o debido a la deformación bajo carga en las formas inherentes del eje de la torre y, por lo tanto, evita el agrietamiento en la transición de la torre a los cimientos. Esta conexión no puede girarse alrededor del eje longitudinal de la torre.

Además, para la clase de turbinas de varios megavatios, contrariamente a los prejuicios de los expertos, hay otras ventajas que una torre arriostrada trae consigo: En particular, hay que mencionar aquí el ahorro de material y la eficiencia material debido a la gran esbeltez. La desviación lateral del generador eólico es considerablemente menor, y las alturas de los cubos deseadas, significativamente mayores, pueden lograrse con un esfuerzo de diseño justificable debido a la rigidez torsional. Además, los actuadores opcionales de los elementos de pretensado y tensado permiten evitar activamente las posibles resonancias y ajustar las deflexiones laterales de tal manera que la amortiguación aerodinámica sigue siendo posible a pesar de la gran rigidez de la construcción. El espacio necesario para todo el sistema es menor

debido a la delgada base de la torre y el paisaje se ve menos afectado por la extrema delgadez que por los métodos de construcción convencionales.

REIVINDICACIONES

1. Estructura de la torre de una central de energía eólica con un fuste de torre (32), un cimient
(26, 28) y una pieza de transición (61) en la región del extremo superior del fuste de la torre
(32), en la que los elementos de tensión (68) están dispuestos radialmente hacia el interior de
la piel exterior, mediante los cuales el fuste de la torre (32) está pretensado verticalmente al
menos en secciones, y en la que el fuste de la torre (32) está hecho de hormigón, en particular
hormigón pretensado, en la región entre la pieza de transición (61) y el cimient (26, 28),
caracterizada por el hecho de que en la estructura de la torre terminada se proporcionan
elementos de arriostramiento (30) que están inclinados con respecto a un eje longitudinal (A)
del fuste de la torre (32) y se extienden radialmente fuera de la piel exterior definida por el fuste
de la torre (32), por medio de los cuales se arriostra el fuste de la torre (32) por lo menos en
secciones, y por el hecho de que se utilizan diferentes tipos de hormigón, diferentes secciones
de fuste y diferentes grados de refuerzo para evitar los armónicos de la estructura de la torre.
2. Estructura de la torre según la afirmación 1, caracterizada por el hecho de que el eje de la
torre (32) tiene una sección transversal que encierra una cavidad (197).
3. Estructura de la torre según la reivindicación 1 o 2 o según el término genérico de la
reivindicación 1, caracterizada por el hecho de que al menos un elemento tensor (20) está
acoplado a un dispositivo para ajustar de forma variable la tensión del elemento tensor (20), en
particular que se proporcionan miembros tensores, para generar la fuerza tensora variable en
el elemento tensor (30).
4. Estructura de la torre según la afirmación 3, caracterizada en el sentido de que se
proporcionan sensores, a través de los cuales se determinan los datos actuales sobre el estado
de la estructura de la torre durante el funcionamiento de la turbina eólica y, en función de esos
datos, se modifica y/o caracteriza activamente la tensión en al menos un elemento tensor (30),
en el sentido de que un actuador (166) en un punto de sujeción inferior (24, 38) y/o en un punto
de sujeción superior (36) del elemento tensor (30) efectúa un cambio en la longitud del
elemento tensor (30) para modificar la tensión de tracción en el elemento tensor (30) y, por
tanto, también la tensión en la región tensada del eje de la torre (32).
5. Estructura de la torre según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, caracterizada por el
hecho de que los sensores (164, 164.1, 164.2) se proporcionan para determinar valores como
la vibración de uno o más elementos tensores (30), la tensión del elemento tensor (30), la
velocidad de rotación de la unidad del rotor, la vibración de las palas, la velocidad del viento
entrante frente a la estructura de la torre y/o la vibración del eje de la torre (32), procesándose
los valores y determinándose de ellos una tensión necesaria.
6. Estructura de la torre según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizada en que se
proporciona un elemento de anclaje (156) y el actuador (166) establece un esfuerzo de tracción
calculado y necesario en el elemento tensor (30) a través del elemento de anclaje (156).
7. Estructura de la torre según una de las afirmaciones anteriores, caracterizada en que la
fuerza de tensión en los miembros de la tensión (68) del eje de la torre (32) está diseñada para
ser ajustable de forma variable.
8. Estructura de la torre según una de las afirmaciones superiores, caracterizada en que los
elementos tensores (30) son amortiguados en sus posibles vibraciones, en particular también
las vibraciones inducidas por el viento y los armónicos, a través de elementos amortiguadores
de vibraciones (158) como amortiguadores de fricción, cables perturbadores de vibraciones,

amortiguadores de aceite y amortiguadores magnetoreológicos, y las vibraciones del eje de la torre (32) también son amortiguadas por medio de las propagaciones a través de los elementos tensores (30) por estos elementos amortiguadores de vibraciones (158).

- 5 9. Estructura de la novena torre según cualquiera de las reivindicaciones precedentes para las turbinas eólicas de más de 2 megavatios de potencia instalada, preferentemente de más de 140 metros de altura del buje, en particular a partir de 170 metros de altura del buje y/o con grados de esbeltez de la estructura del eje superiores a 30 y para los rotores multipala, en particular para longitudes de pala de más de 50 metros.
- 10 10. Estructura de la torre según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por el hecho de que la estructura de la torre comprende un elemento prefabricado en la base de la torre que comprende aberturas, ejes y/o estribos de miembros de tensión (85).
- 15 11. Estructura de la torre según la afirmación 10, caracterizada en que los estribos del elemento de tensión (85) de la estructura del pozo pueden formarse externamente en el pozo de la torre (32) o en los cimientos (26, 28).
- 20 12. Estructura de la torre según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por el hecho de que el eje de la torre (32) tiene una sección exterior constante, en particular con respecto al plano de apoyo, para formar una piel exterior cilíndrica, preferentemente en la que el diámetro interior del eje de la torre (32) tiene una sección interior no constante.
- 25 13. Estructura de la torre según cualquiera de las afirmaciones anteriores, caracterizada en que la estructura de la torre comprende una pluralidad de planos de arriostramiento, cuyos elementos de arriostramiento (30) convergen en el suelo preferentemente en cimientos comunes (26, 28).
- 30 14. Estructura de la torre según cualquiera de las afirmaciones anteriores, caracterizada en que el plano guy superior o único divide la altura entre la cima de la torre y la base (24) de toda la estructura de la torre en una proporción de uno a dos o en una proporción inferior y/o caracterizada en que un plano guy inferior divide la altura entre la cima de la torre y la base (24) de toda la estructura de la torre preferentemente en una proporción de dos a uno o en una proporción superior.
- 35 15. Método para estabilizar la estructura de una torre según una de las afirmaciones anteriores, caracterizado en que durante el funcionamiento de la turbina eólica se determinan los datos actuales sobre el estado de la estructura de la torre y, en función de esos datos, se modifica activamente la tensión en al menos un elemento tensor (30).
- 40

Fig. 1
(Estado de la técnica)

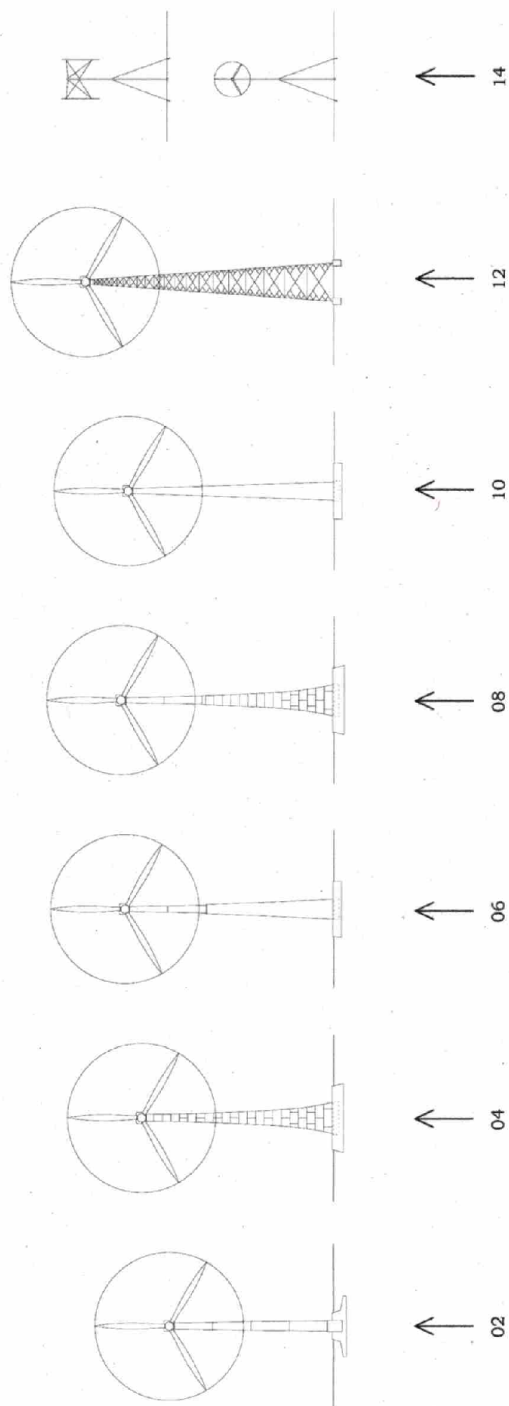


Fig. 2

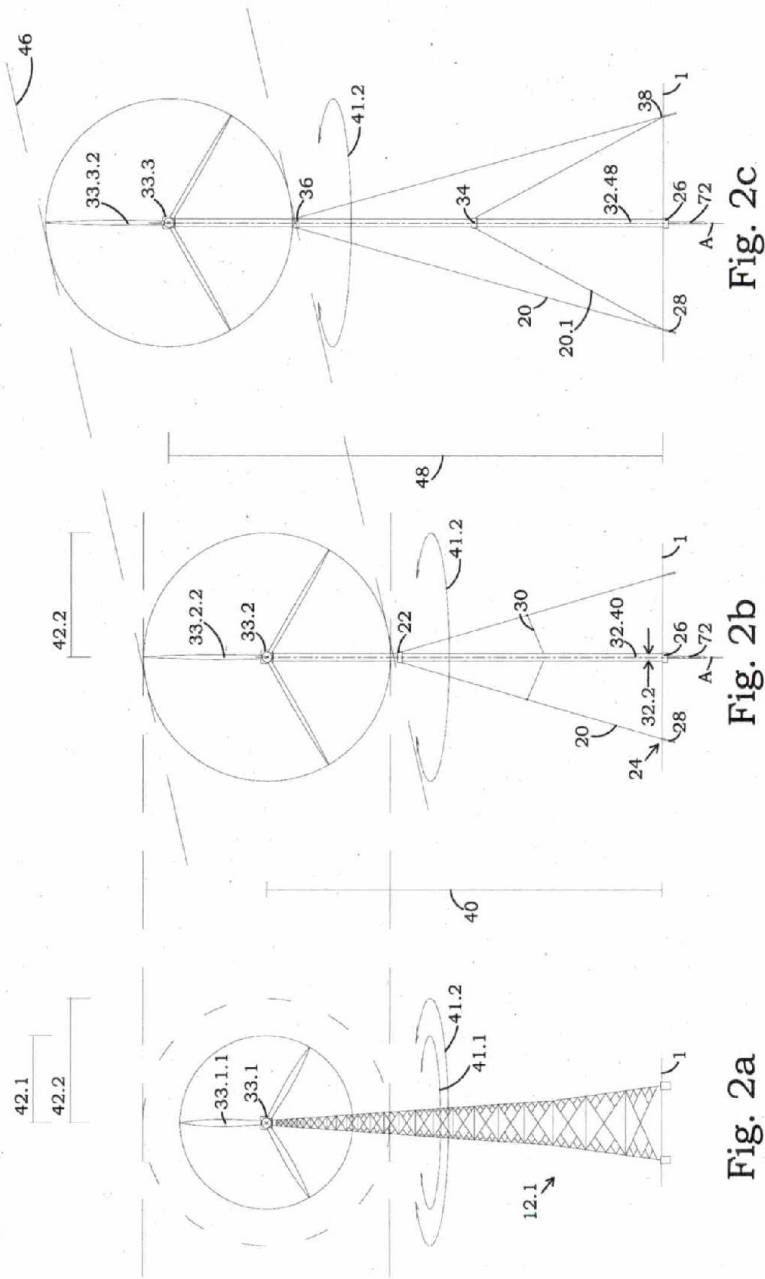


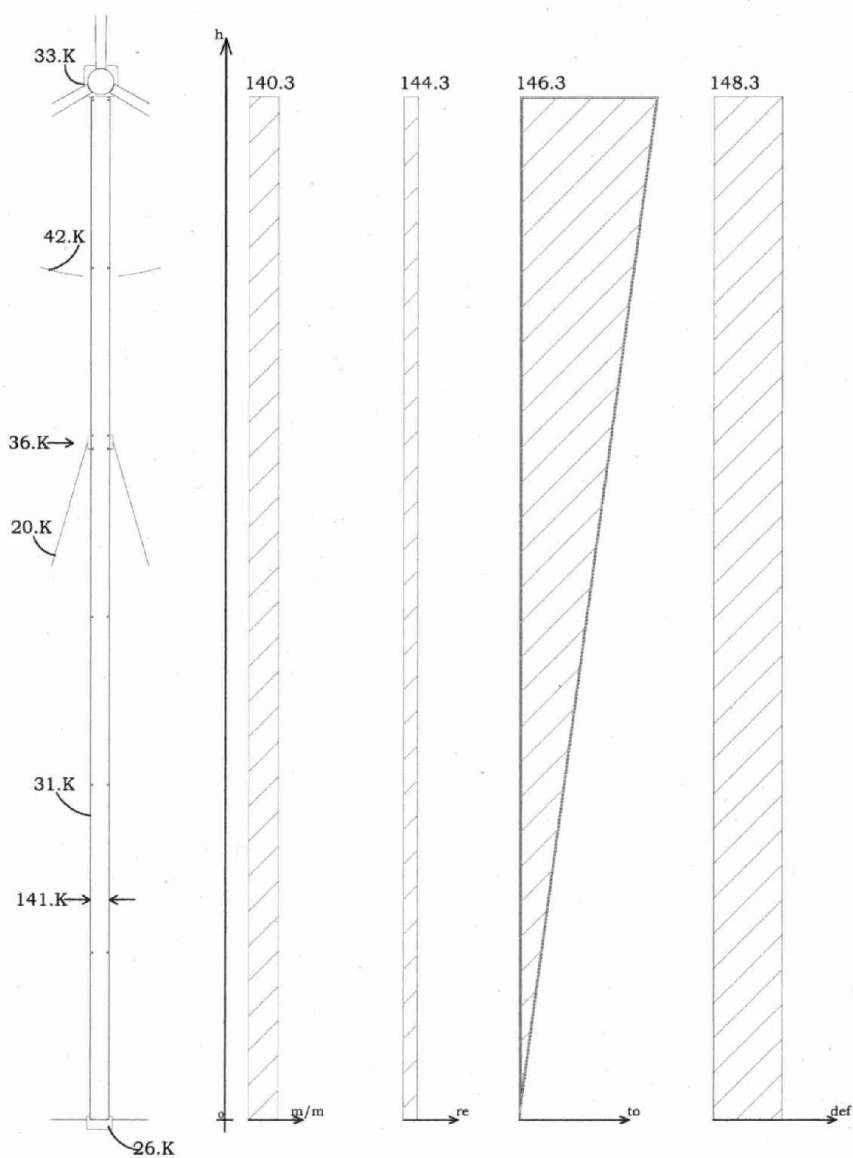
Fig. 3 (Estado de la técnica)

Fig. 4

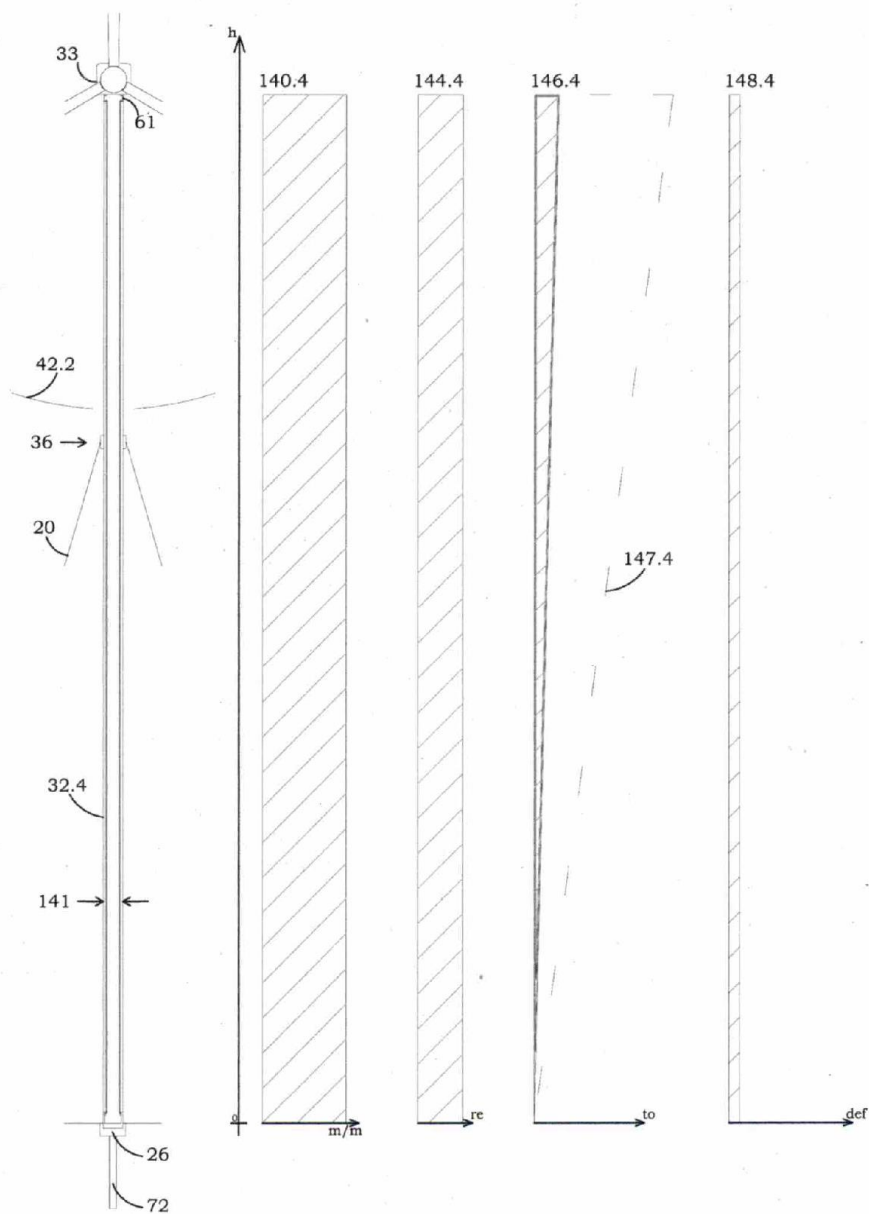


Fig. 5

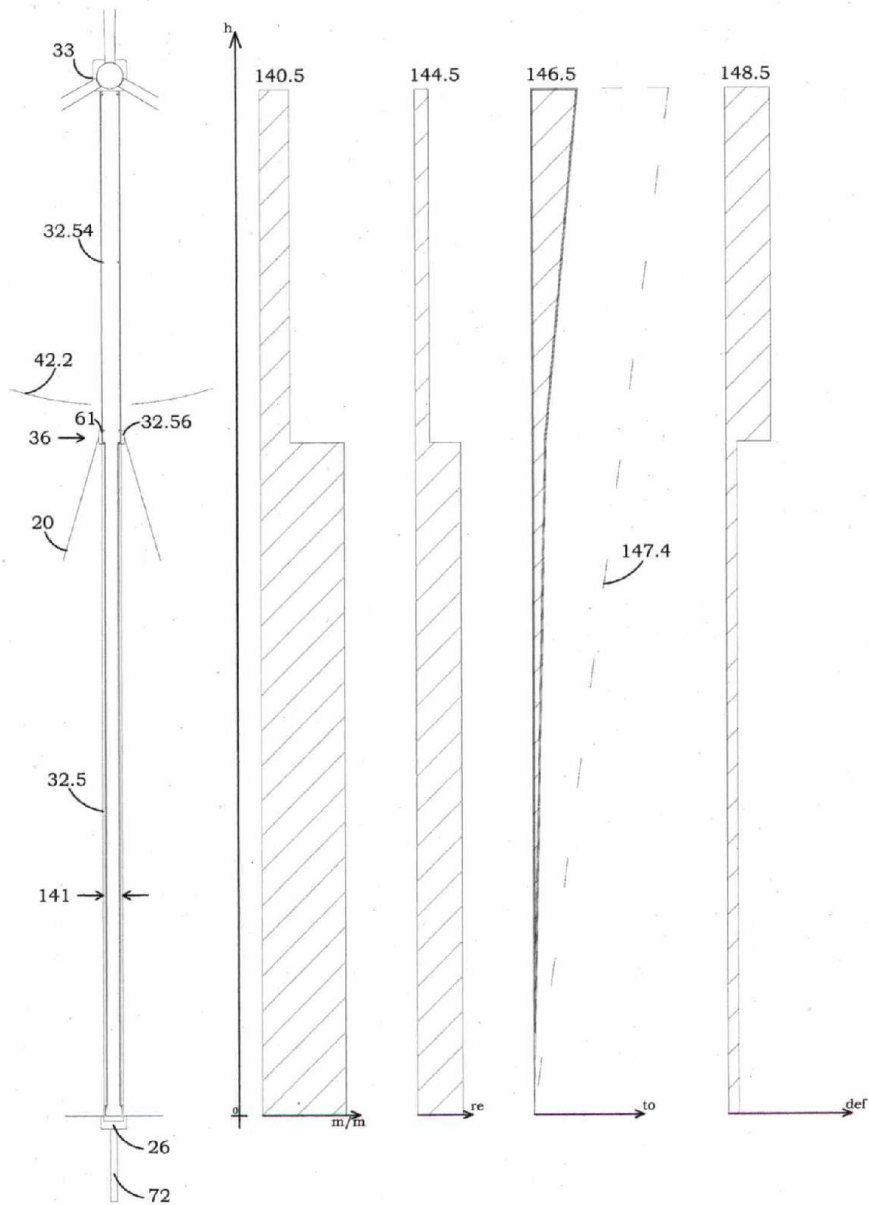


Fig. 6

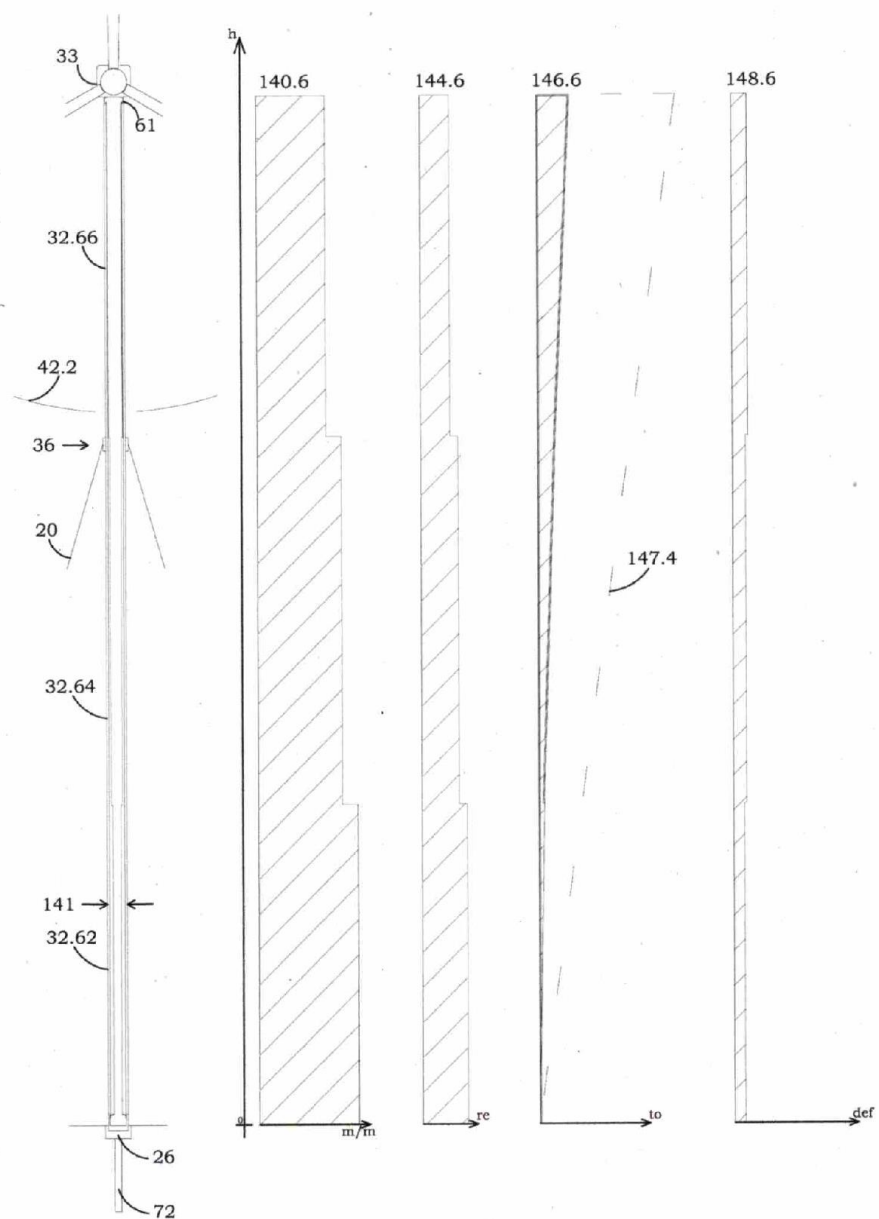


Fig. 7

Fig. 7a

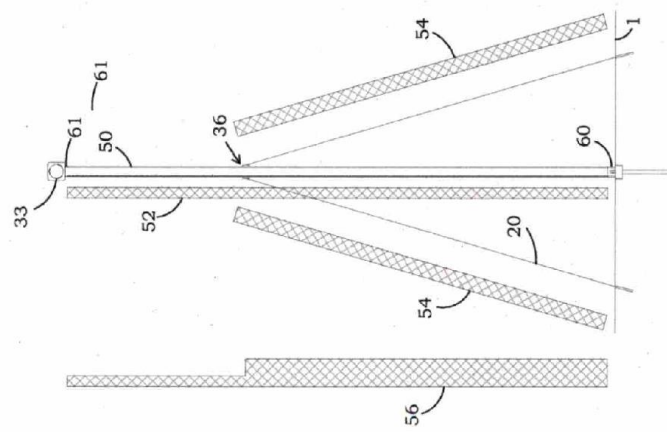


Fig. 7b

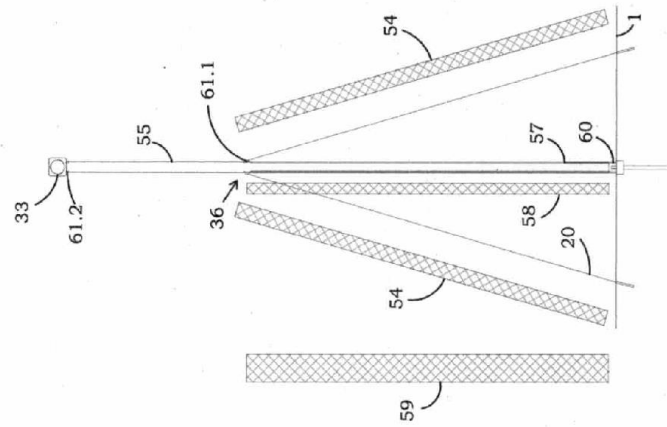


Fig. 8.1

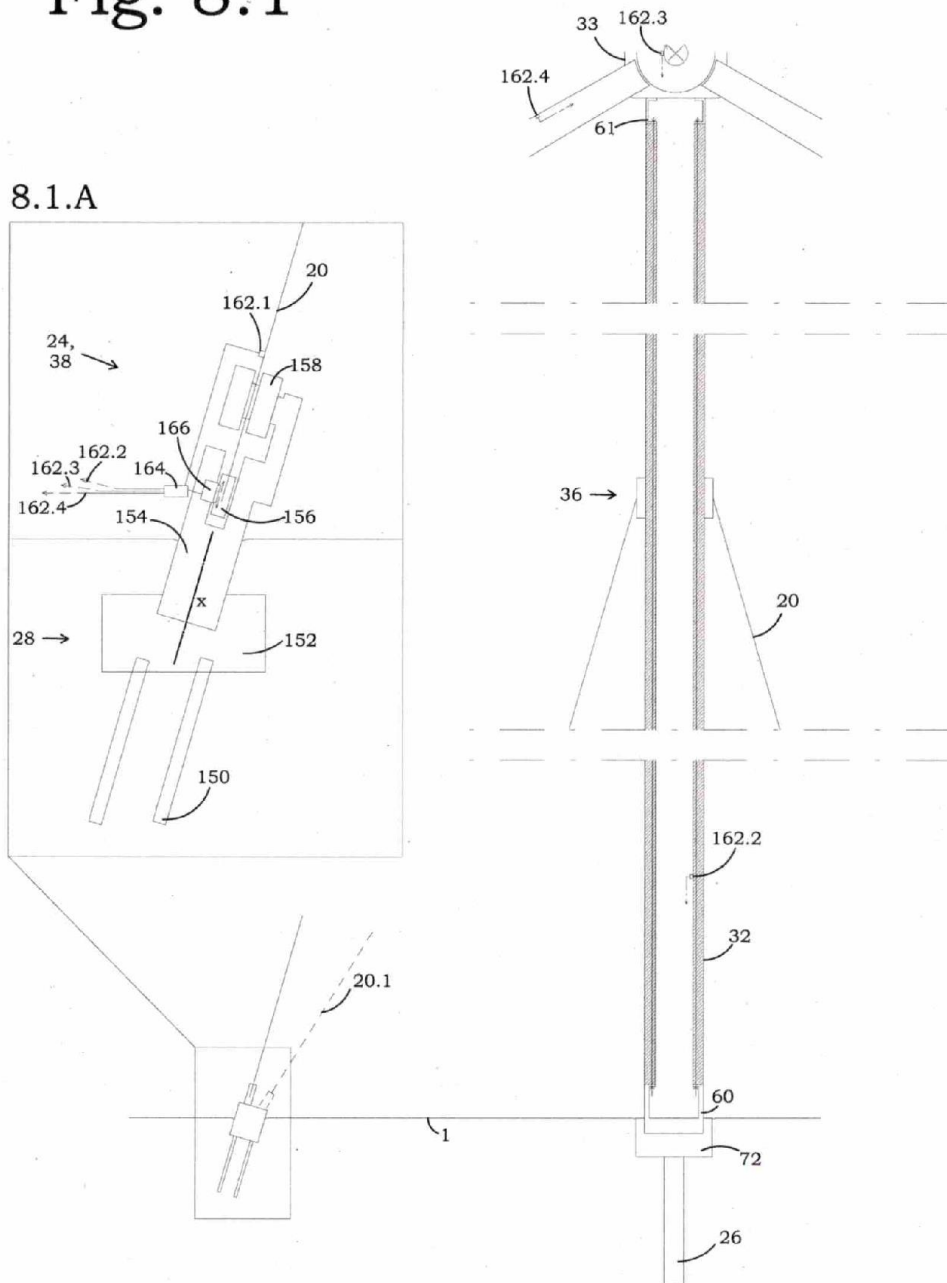


Fig. 8.2

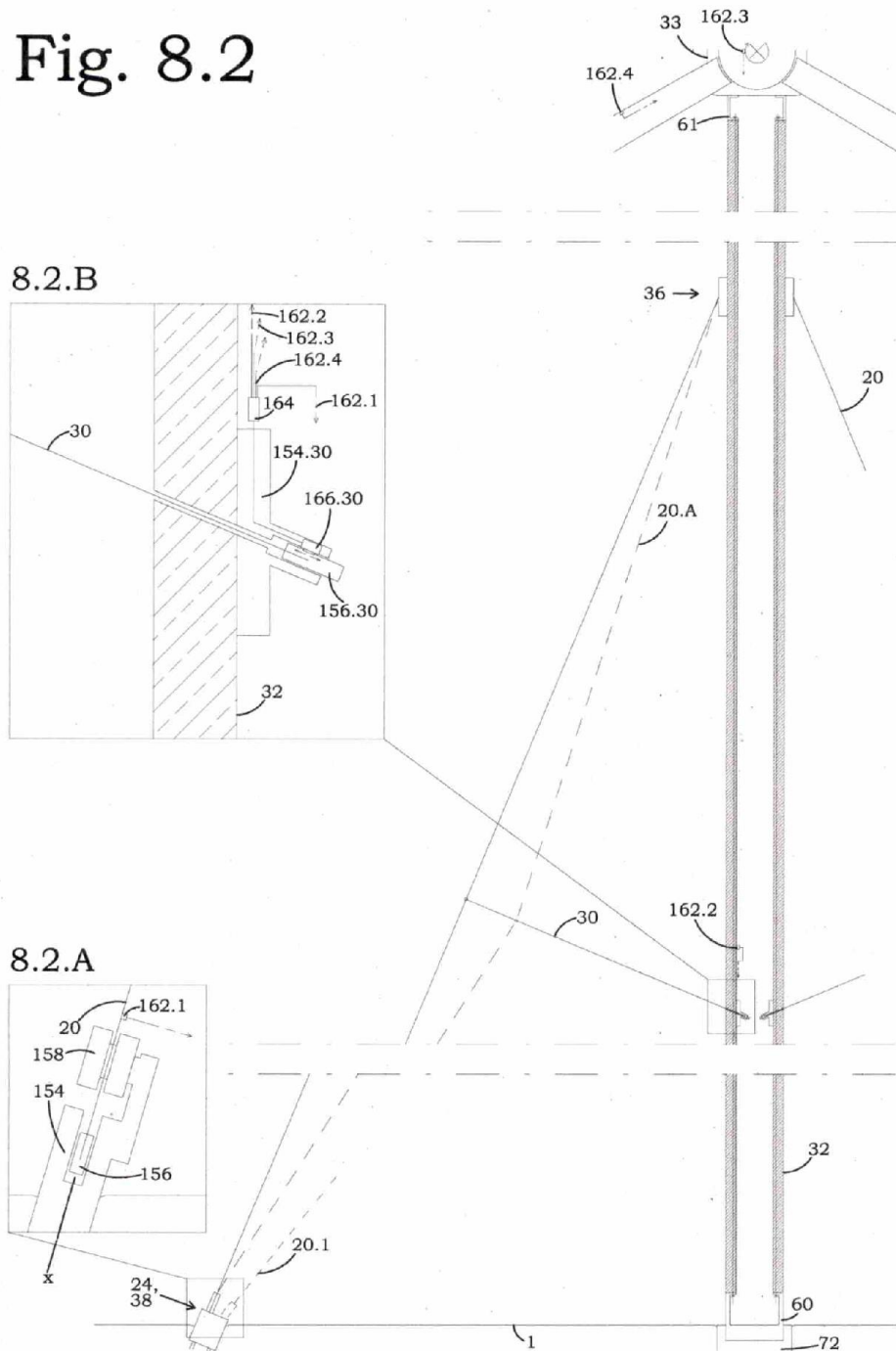
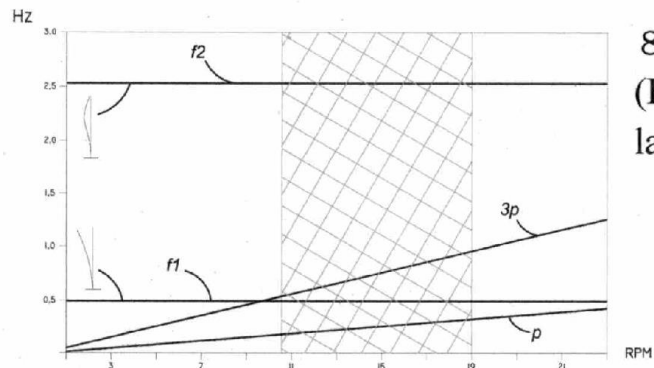
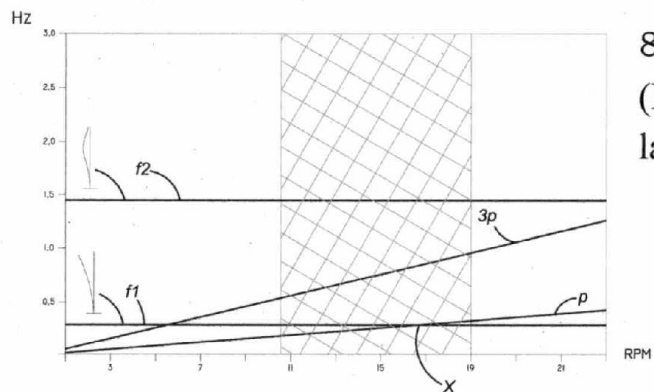


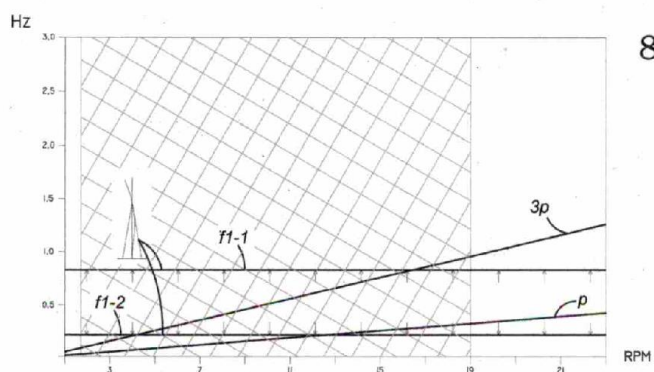
Fig. 8.3



8.3.1
(Estado de
la técnica)



8.3.2
(Estado de
la técnica)



8.3.3

Fig. 9

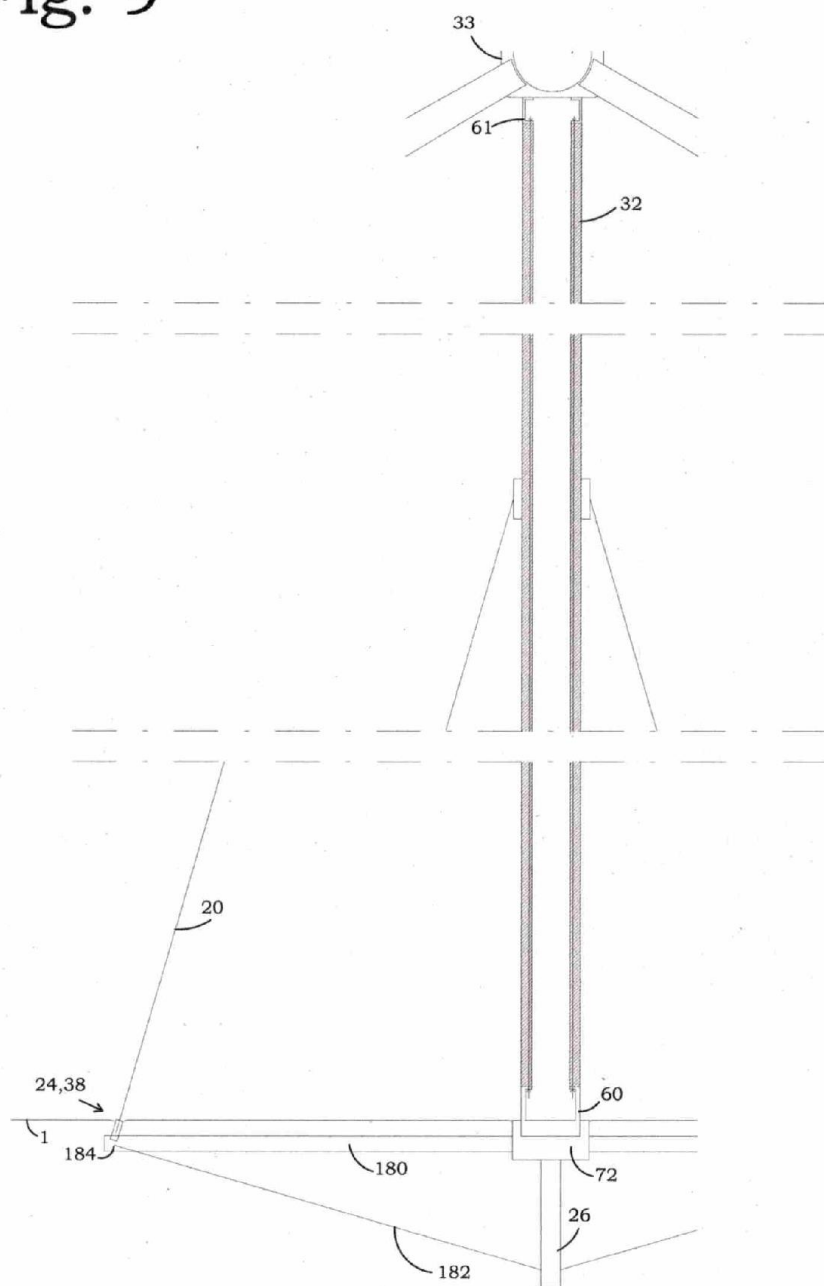


Fig. 10

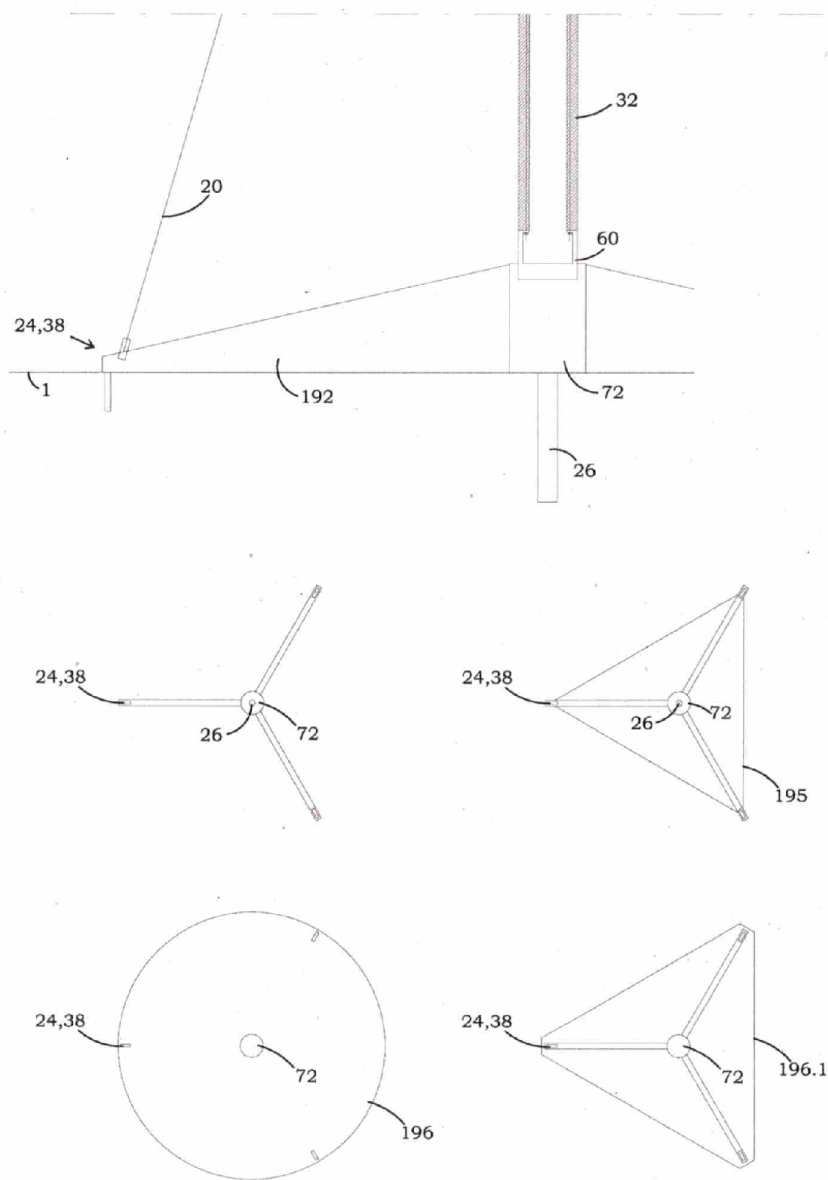


Fig. 11

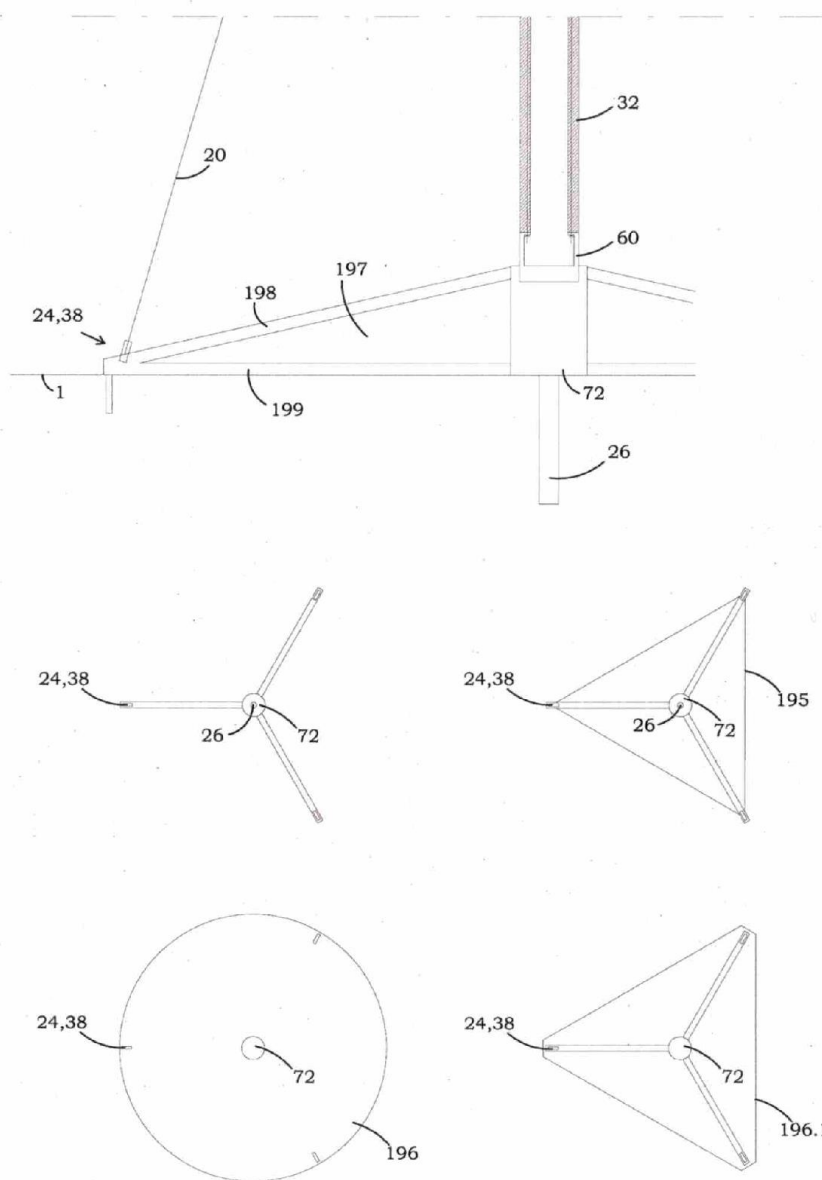


Fig. 12a

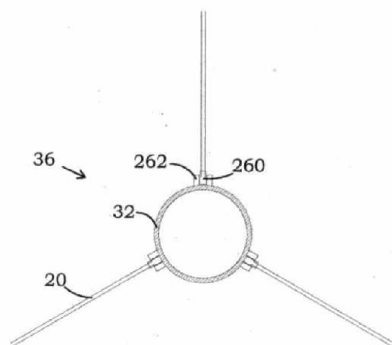


Fig. 12b

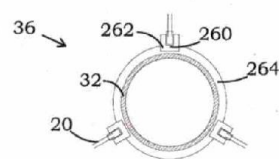


Fig. 12c

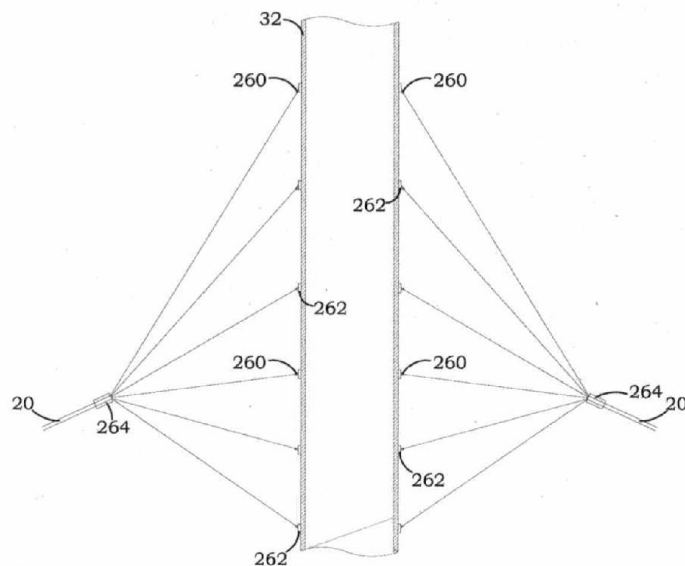


Fig. 13a

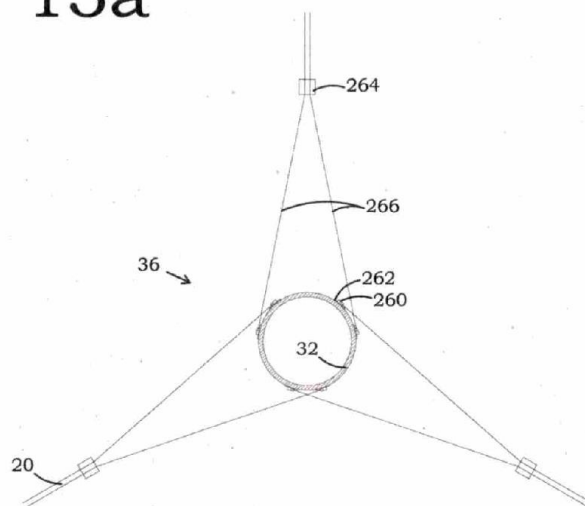


Fig. 13b

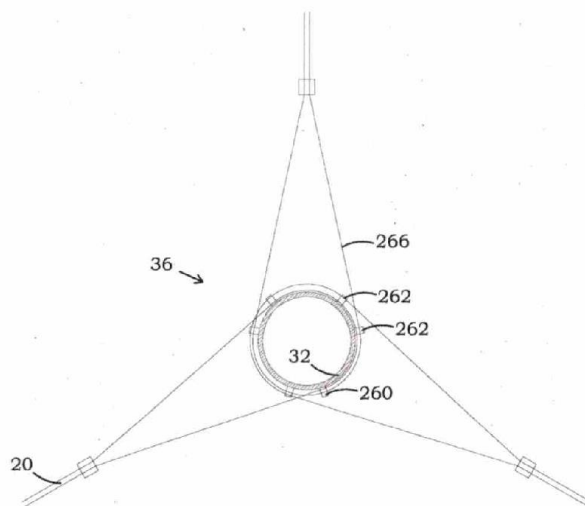


Fig. 14a

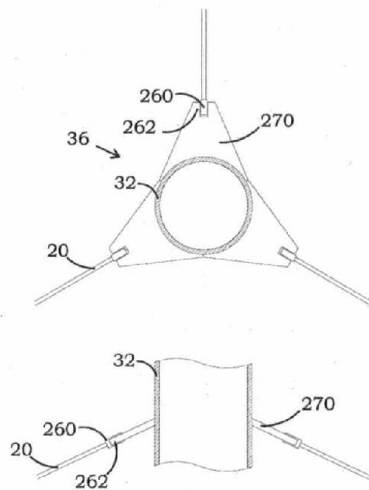


Fig. 14b

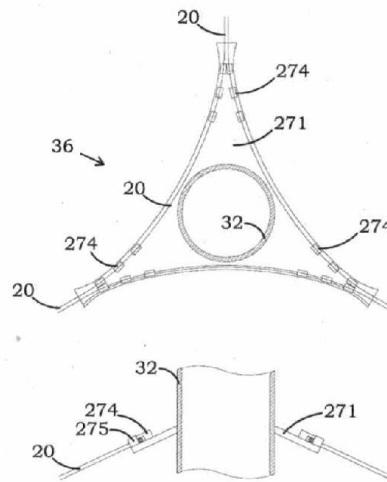


Fig. 15a

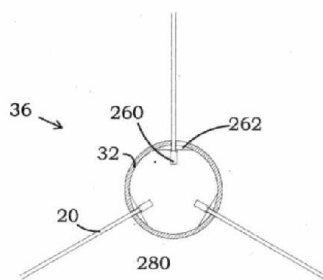


Fig. 15b

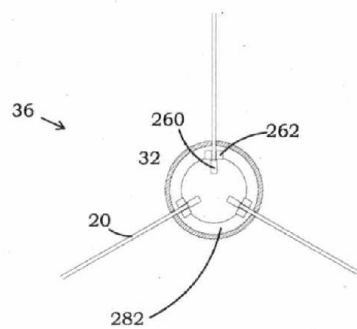


Fig. 16

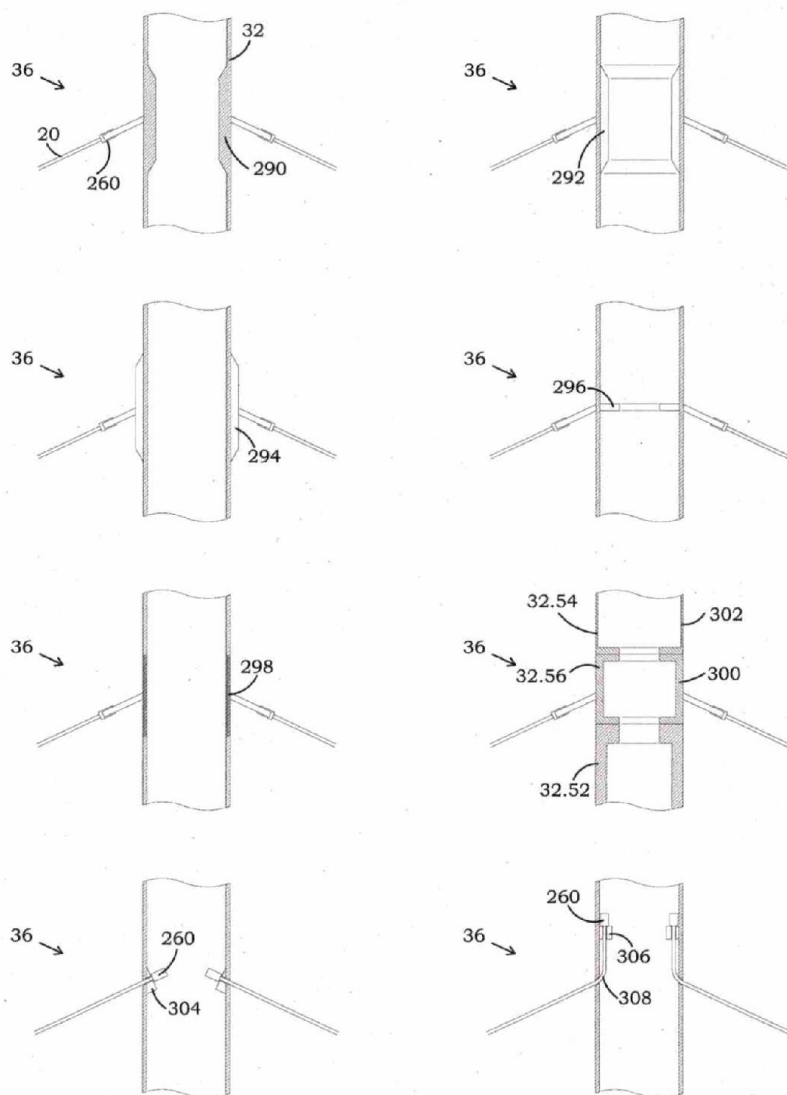


Fig. 17

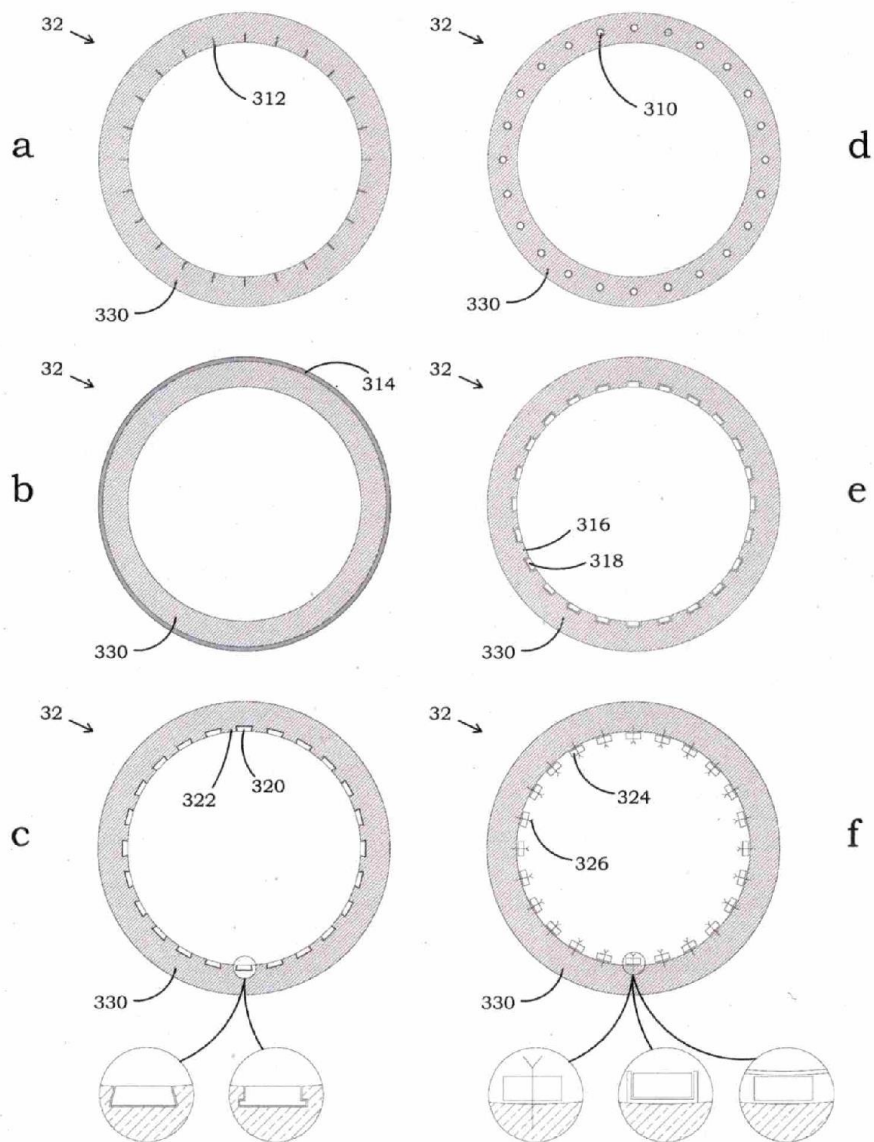


Fig. 18

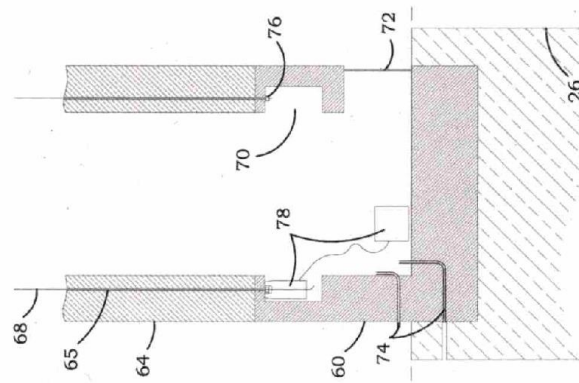


Fig. 18a

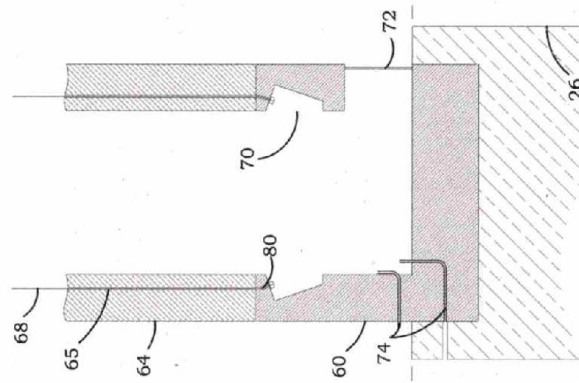


Fig. 18b

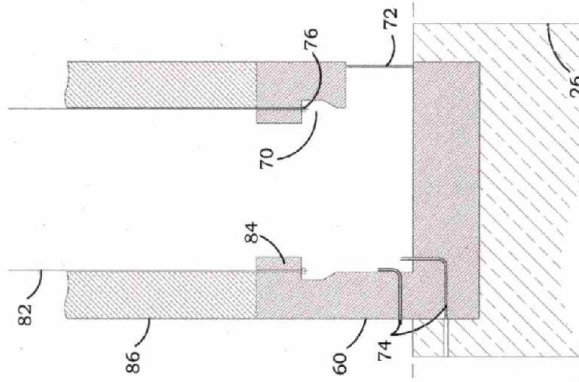


Fig. 18c

Fig. 19

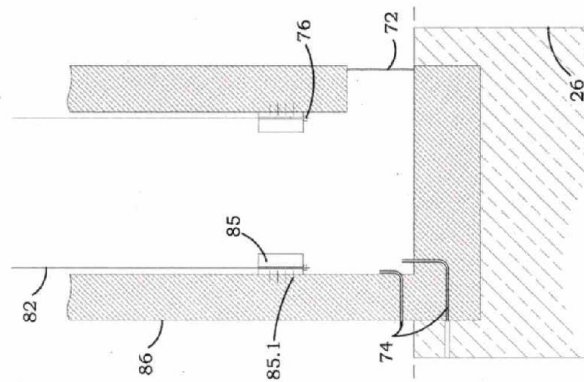


Fig. 19a

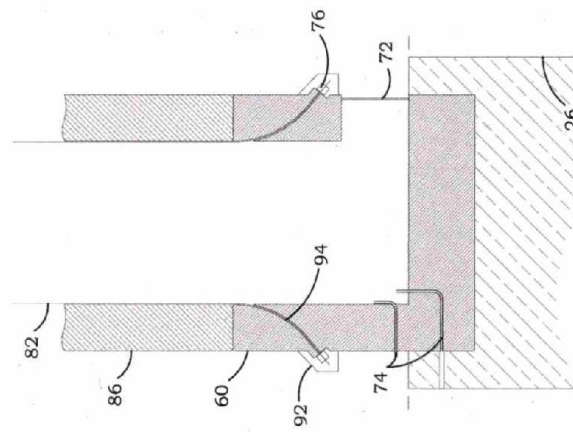


Fig. 19b

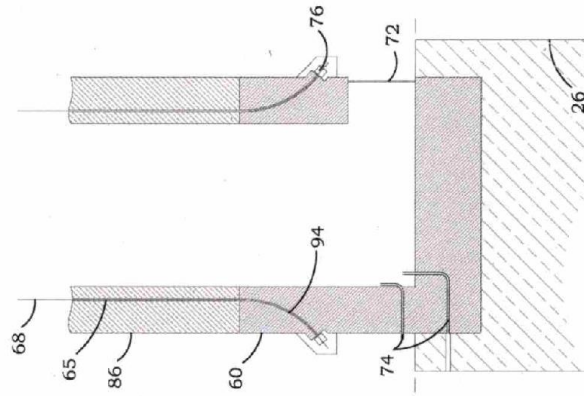


Fig. 19c

Fig. 20

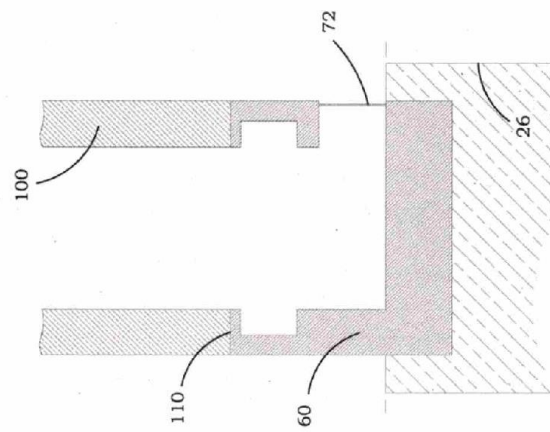


Fig. 20a

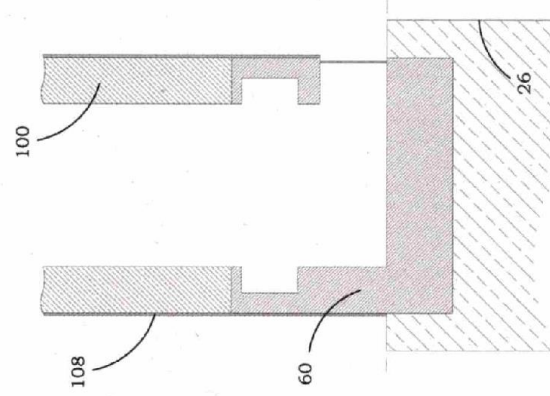


Fig. 20b

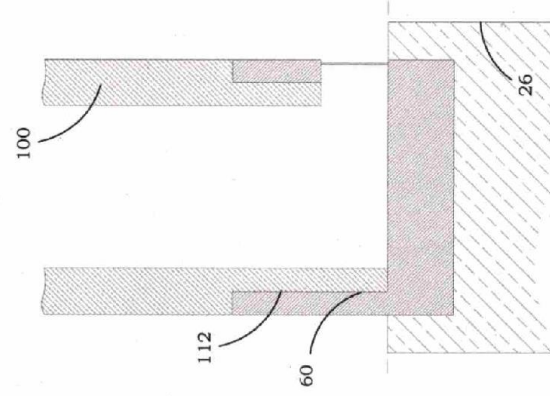


Fig. 20c

Fig. 21

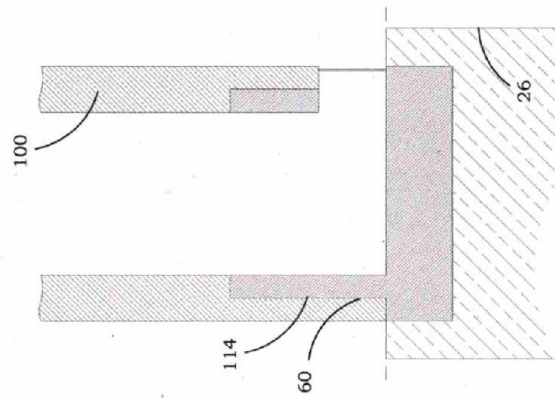


Fig. 21a

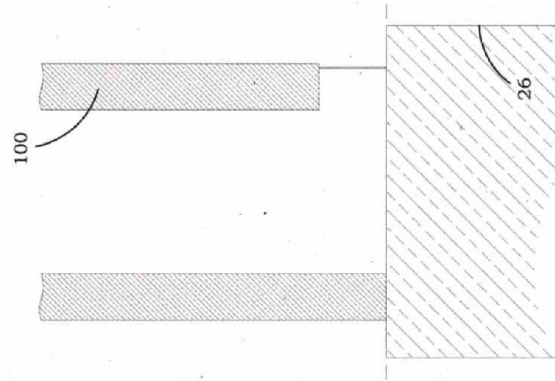


Fig. 21b

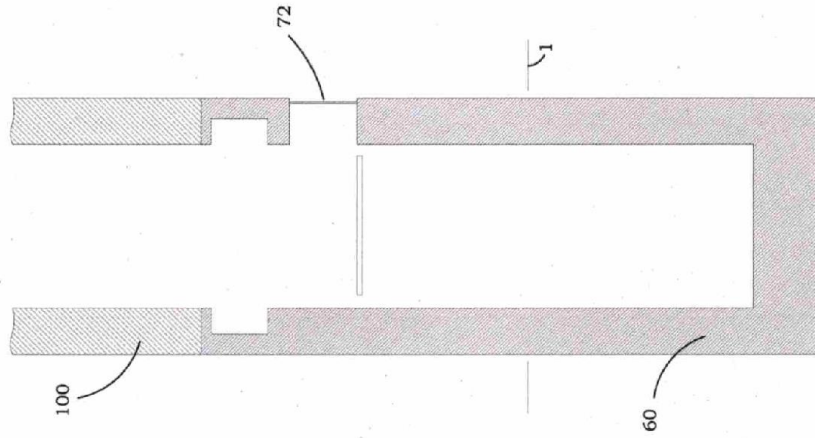


Fig. 21c

Fig. 22

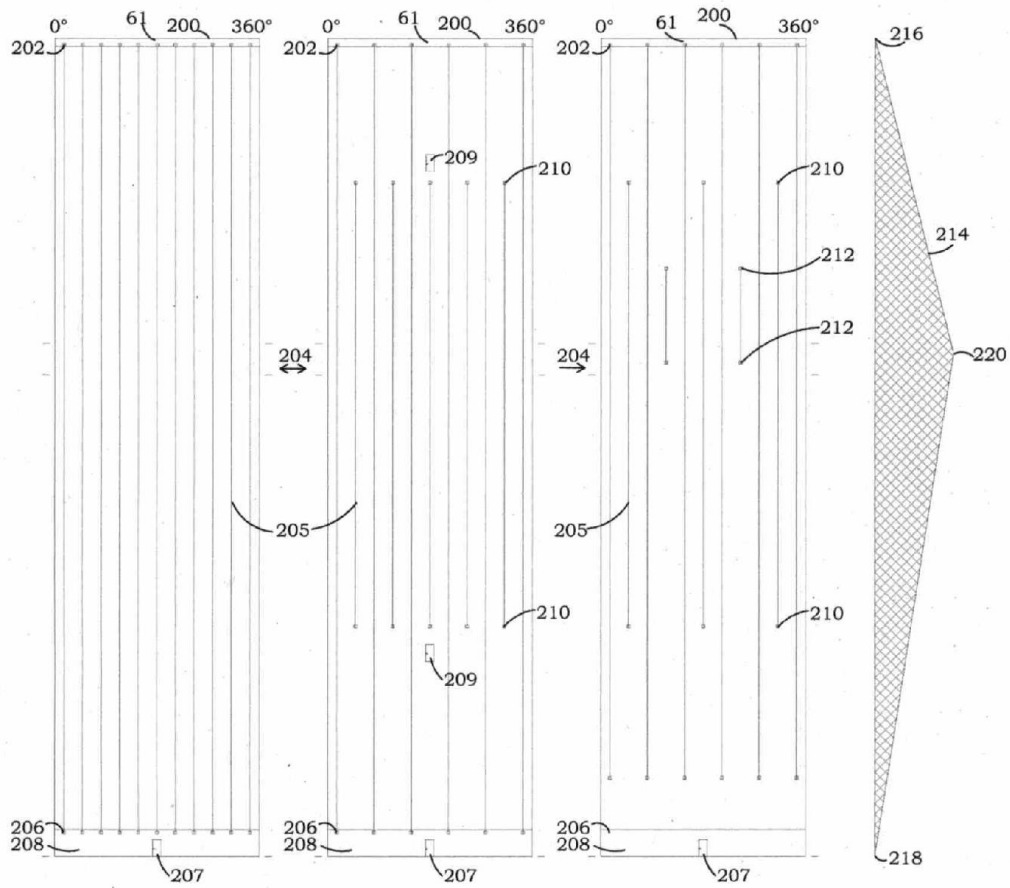


Fig. 22a

Fig. 22b

Fig. 22c

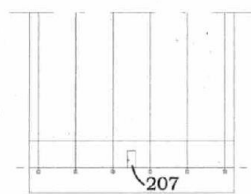


Fig. 22d

Fig. 23

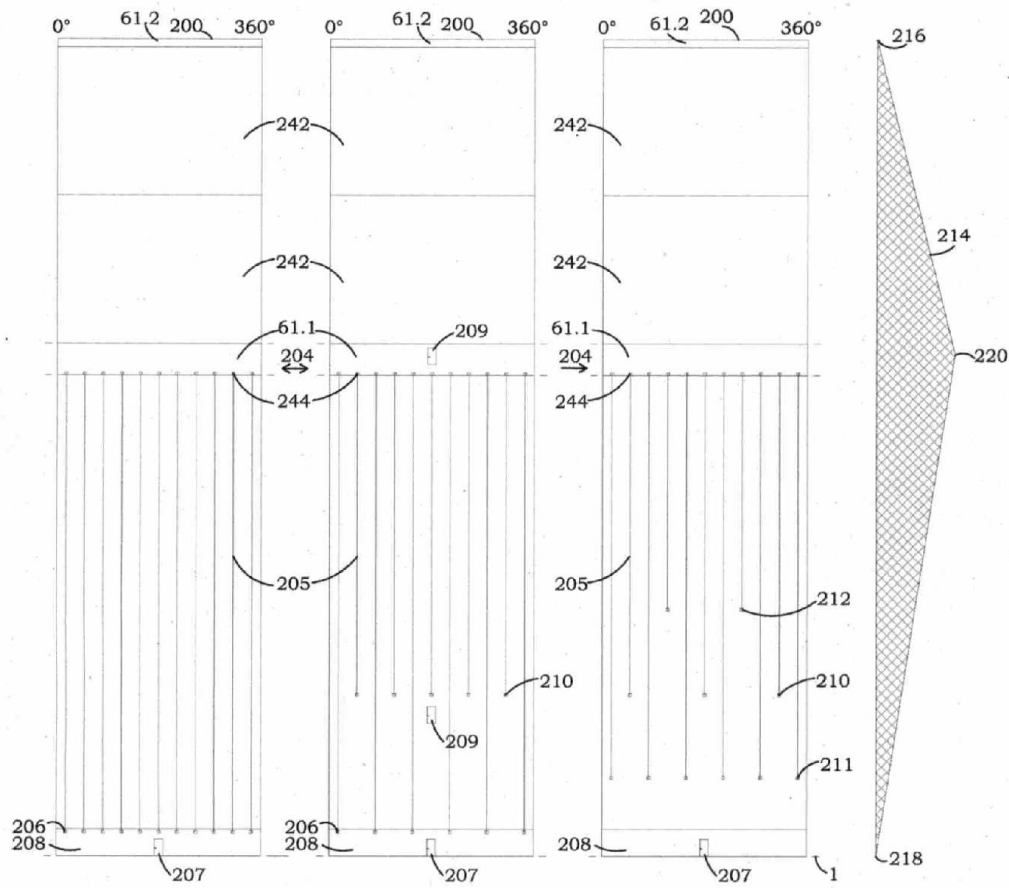


Fig. 23a

Fig. 23b

Fig. 23c

Fig. 24

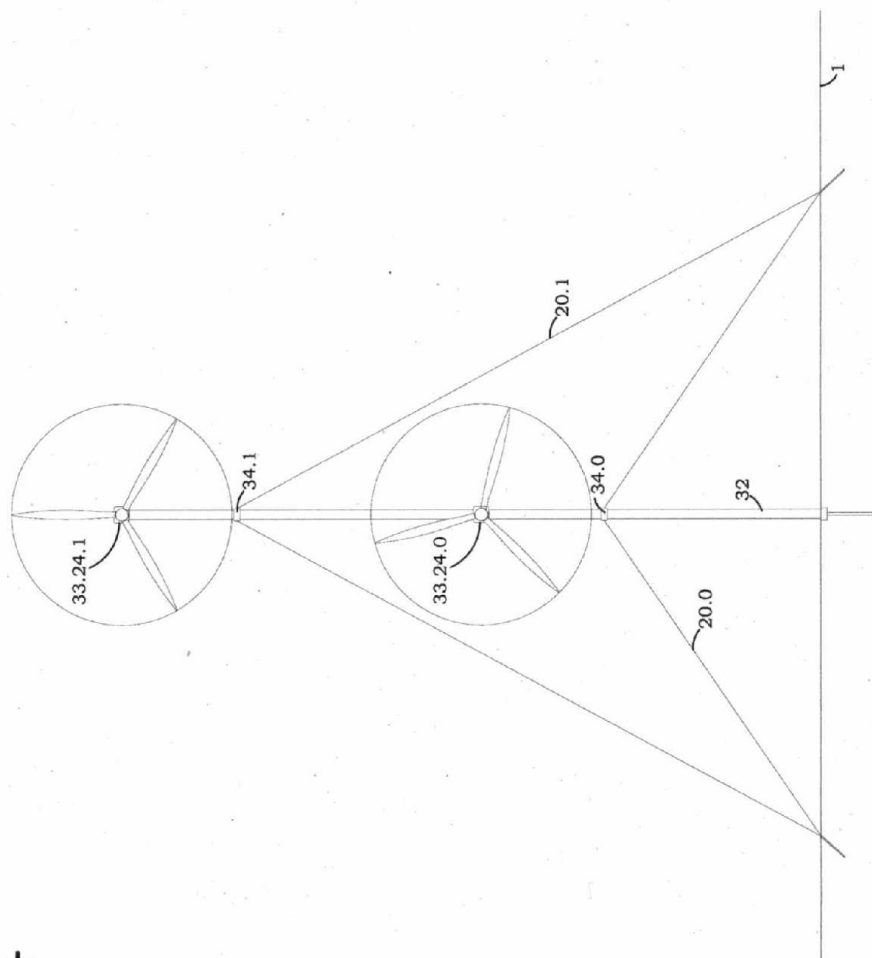


Fig. 25

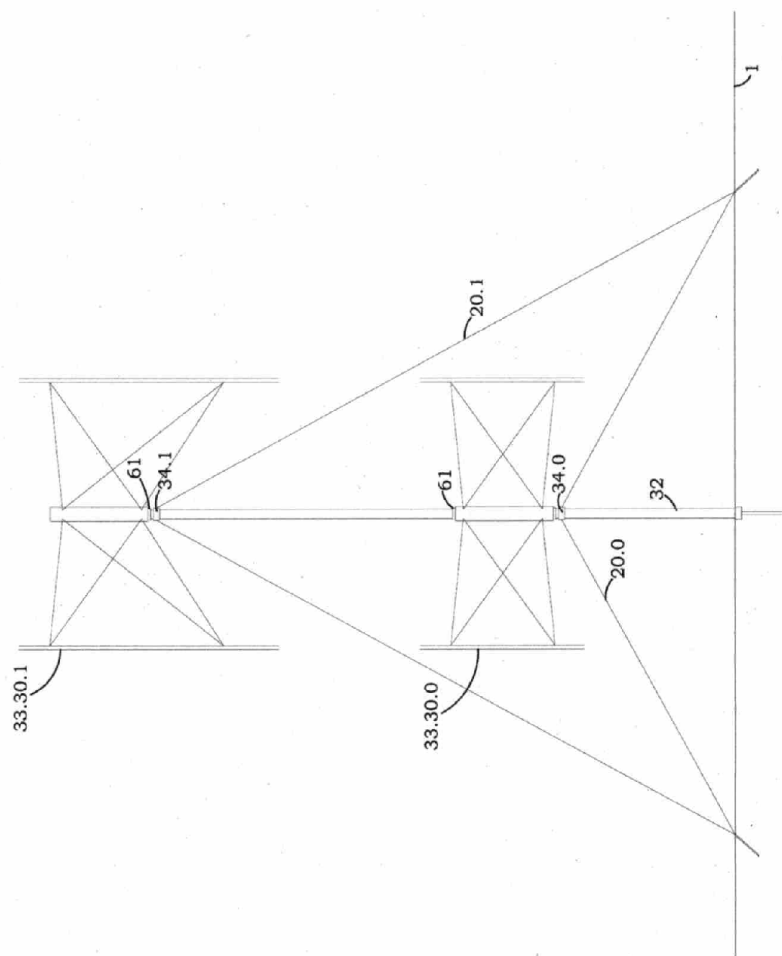


Fig. 26

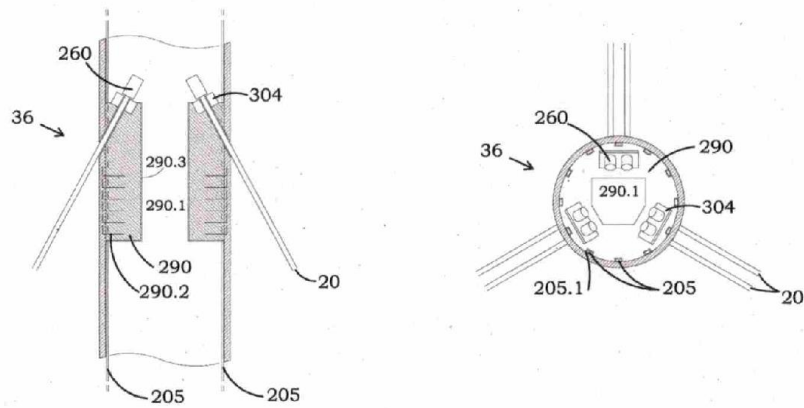


Fig. 27

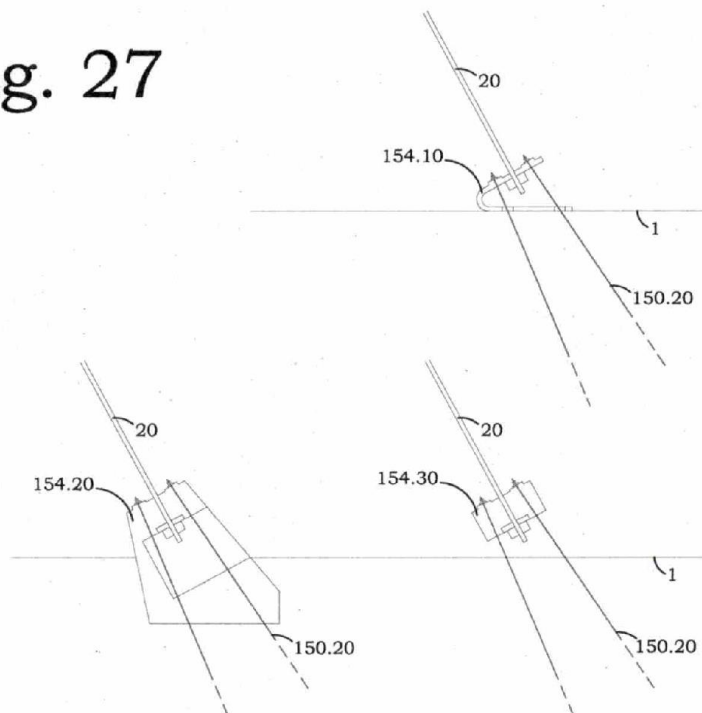


Fig. 28

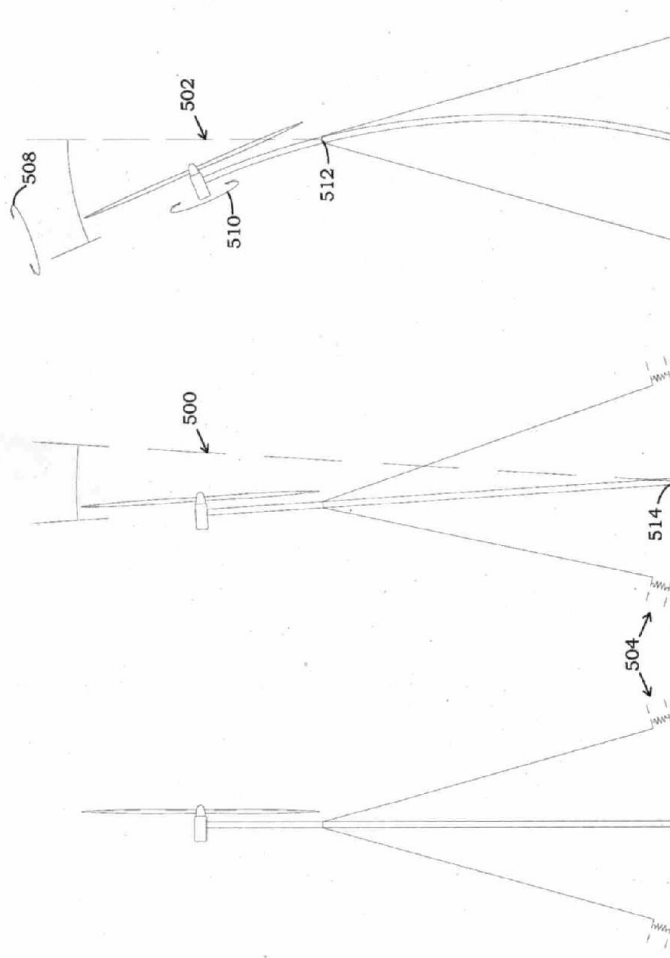


Fig. 28a

Fig. 28b

Fig. 28c

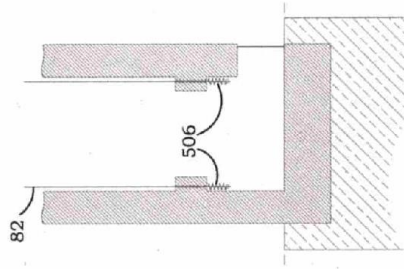


Fig. 28d