

DESCRIPCIÓN

ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA AEROGENERADORES

Campo de la técnica

La presente invención concierne al campo de las estructuras de soporte para aerogeneradores, dotadas de una torre constituida por piezas de pared de hormigón prefabricado unidas formando secciones anulares superpuestas y posteriormente postensadas.

Estado de la técnica

Son conocidas las estructuras de soporte para aerogeneradores obtenidas mediante el apilado de secciones anulares constituidas de piezas de pared de hormigón prefabricado.

Se conoce por ejemplo el documento EP2631393 de PACADAR, en el que se describe un sistema de este tipo, pero en el que las piezas de pared de cada sección anular son de gran altura, estando la torre tubular completa constituida de pocas secciones anulares, por ejemplo, tres, cuatro o cinco. Esto complica la fabricación, transporte e izado de dichas piezas de pared, encareciendo la obra.

Además, la solución propuesta en este documento requiere que las piezas de pared de una misma sección anular estén conectadas lateralmente mediante una conexión estructural, por ejemplo, un postensado anular alrededor de cada sección anular, tornillos estructurales, barras de armado, mortero y/o hormigonadas in-situ.

Esto requiere que las piezas de pared incluyan refuerzos estructurales diseñados para canalizar los esfuerzos hacia esos puntos en los que se instalarán los conectores estructurales, complicando su fabricación, y que en cada sección anular se realicen tareas de conexión estructural mediante dichos conectores estructurales, requiriendo de operaciones complicadas que deben realizarse a gran altura. Por ejemplo, la realización de un postensado requiere de maquinaria específica que debe ser izada hasta la posición donde se realiza dicho postensado, y los tornillos estructurales son tornillos de gran tamaño que difícilmente pueden ser izados manualmente por un operario, o que deben ser izados uno a uno o en pocas unidades, ralentizando su instalación, y la inyección de mortero requiere del empleo de máquinas de bombeo y encofrados que encarecen y ralentizan la puesta en obra.

Además, este documento no contempla el postensado completo de toda la torre tubular en toda su longitud, sino que emplea postensados locales en cada junta transversal de la torre tubular, motivo por el que se intenta mantener bajo el número de juntas transversales empleando piezas de pared de gran tamaño.

Se conoce también el documento EP1474579, en el que se hace referencia expresa a la unión de las piezas de pared entre sí mediante pernos situados en horizontal, en vertical y en diagonal, consiguiendo así una unión estructural entre las piezas de pared, que tienen como finalidad un comportamiento monolítico de toda la torre tubular. Esto requiere que dichos pernos actúen como conectores estructurales, siendo por lo tanto necesaria la utilización de pernos estructurales de gran peso, y requiriendo además de la instalación, en cada pieza de pared, de anclajes dimensionados para resistir y transmitir dichos esfuerzos estructurales a través de la pieza de pared, concentrando dichos esfuerzos en los anclajes estructurales.

Todas estas características dificultan y encarecen la fabricación de las piezas de pared, así como sus tareas de ensamblado.

Además, en este documento se hace mención a que las piezas de pared deberán tener una altura igual o superior a dos veces el diámetro de la torre tubular. Esto significa que incluso si cada sección anular está formada por solamente dos piezas de pared, cada una de ellas tendrá una altura mayor a dos veces su anchura, siendo por lo tanto piezas de pared muy altas con poca base y que, sometidas a una fuerza horizontal en su extremo superior, generarán un gran momento flector difícilmente asumible por su base sin la colaboración estructural de las piezas de pared colindantes.

El documento FR1145789A también describe una torre tubular, en este caso una chimenea, compuesta de piezas de pared que posteriormente son postensadas desde la cúspide hasta la base. Sin embargo, este documento propone que todas las piezas de pared sean unidas mediante tornillos a las piezas de pared superiores, inferiores y también laterales, consiguiendo así un conjunto solidario, lo que requiere de gran número de uniones atornilladas, complicando y ralentizando el ensamblado de la estructura.

Breve descripción de la invención

La presente invención concierne a una estructura de soporte para aerogeneradores.

Dicha estructura comprende, de un modo conocido en el estado de la técnica,

- una torre tubular dotada de un interior hueco que incluye múltiples secciones anulares superpuestas definiendo entre sí unas juntas transversales, estando cada sección anular formada por al menos dos piezas de pared de hormigón prefabricado definiendo entre sí unas juntas verticales, teniendo cada pieza de pared una sección horizontal en forma de arco circular o de arco poligonal cuya longitud define el ancho de la pieza de pared, una sección vertical recta cuya longitud define el alto de la pieza de pared, dos caras de junta transversal y dos caras de junta vertical que definen el grosor de la pieza de pared en su perímetro;
- unos cimientos que definen un plano de apoyo para la torre tubular;
- configuraciones de fijación superior conectadas a la sección anular de coronación de la torre tubular y configuraciones de fijación inferior conectadas a los cimientos;
- cables postensados que conectan las configuraciones de fijación superior e inferior comprimiendo las piezas de pared superpuestas unas contra las otras, discurriendo dichos cables postensados por el interior hueco de la torre tubular o por el exterior de la misma;
- en donde las juntas verticales de secciones anulares sucesivas son no coincidentes.

Así pues, la torre tubular descrita está formada por secciones anulares superpuestas, y cada una de dichas secciones anulares está a su vez formada por varias piezas de pared dispuestas rodeando el interior hueco de la torre tubular.

Cada pieza de pared será de hormigón prefabricado, pudiendo éste estar pretensado, postensado, o dotado de armaduras pasivas o incluso armado con fibras o combinación de las anteriores.

Cada pieza de pared tendrá una sección horizontal en forma de arco circular o de arco poligonal. Esto significa que la agrupación de dichas piezas de pared formará una sección anular circular o una sección anular poligonal, y significa también que cada pieza de pared dispondrá, estando en posición vertical, de mayor estabilidad que la que tendría una pieza de pared totalmente plana gracias a dicha forma de sección anular circular o poligonal.

Las juntas existentes entre secciones anulares superpuestas serán llamadas juntas transversales, y las juntas verticales existentes entre piezas de pared de una misma sección anular serán llamadas juntas verticales.

La sección anular de coronación de la torre tubular, es decir la sección anular más alejada del suelo, estará conectada a unas configuraciones de fijación superior donde se anclarán

los extremos superiores de unos cables postensados. El extremo inferior de dichos cables postensados estará anclado a su vez a unas configuraciones de fijación inferior fijadas a los cimientos de la torre tubular.

Como resultado dichos cables postensados discurrirán por el interior o exterior de la torre tubular y presionarán en dirección descendente unas secciones anulares contra las otras, comprimiendo las piezas de pared. Esto permite incrementar la resistencia de la torre tubular a las cargas horizontales de viento.

La presente invención propone, además, de un modo no conocido en el estado de la técnica anterior, que:

- en las juntas verticales, las caras de junta vertical de dos piezas de pared adyacentes de una misma sección anular estén enfrentadas y carezcan de conectores estructurales entre sí para la transmisión de esfuerzos estructurales, permitiendo un comportamiento estructural independiente;
- el alto de las piezas de pared sea inferior a dos veces su ancho; y

Se entenderá que los esfuerzos estructurales son aquellos esfuerzos a los que se ve sometida la estructura y sus diferentes partes debido al peso soportado por dicha estructura, y a los esfuerzos generados por los postensados sumada a otras cargas a las que se somete dicha estructura durante su vida útil, como por ejemplo las cargas producidas por la acción del viento sobre la torre y sobre el aerogenerador, y otras cargas como vibraciones, terremotos, etc.

Cuando una carga estructural es aplicada sobre una pieza de pared, desde esta pieza de pared la carga se va transmitiendo a las piezas de pared adyacentes, en dirección vertical, hasta alcanzar los cimientos. Por ejemplo, el peso del aerogenerador descansa sobre las piezas de pared constitutivas de la sección anular de coronación de la torre tubular, y desde ahí las cargas se van transmitiendo sucesivamente de una sección anular a la inmediatamente inferior comprimiendo las piezas de pared hasta llegar a los cimientos.

Cuando los esfuerzos a soportar no son verticales, como por ejemplo el empuje horizontal producido por el viento contra las aspas del aerogenerador, la solución típica consiste en conectar las piezas de pared superpuestas para transmitir los esfuerzos cortantes creados por la fuerza horizontal del viento, y unir también lateralmente las piezas de pared de una misma sección anular, de modo que cada sección anular sea solidaria.

Las fuerzas horizontales aplicadas en el extremo superior de la torre tubular producen un momento flector. Al estar las piezas de pared de cada sección anular unidas lateralmente, cada una de dichas secciones anulares actúa de modo solidario y descompone dicho momento flector en una fuerza de componente descendente que comprime la cara de la torre tubular situada a sotavento (a resguardo del viento), y en otra fuerza de componente ascendente que tracciona la cara de la torre tubular situada a barlovento (expuesta al viento). El postensado de la torre tubular, junto con el propio peso de la torre tubular y el aerogenerador, superan dicha fuerza ascendente evitando el vuelco de la torre tubular y compensan la aparición de tracciones en el hormigón.

La solución propuesta en la presente invención difiere de dicha solución típica, por el hecho de que las piezas de pared de una misma sección anular carecen de conectores estructurales entre sí, por lo que tienen un comportamiento estructural independiente, especialmente frente a dichos esfuerzos horizontales.

En la solución propuesta los esfuerzos horizontales se transmiten en forma de esfuerzos cortantes en cada una de las juntas transversales, siendo dichos esfuerzos transmitidos de una pieza de pared a la inmediatamente superior o inferior como mínimo por la fricción existente entre sus caras que recordemos están comprimidas unas contra otras por efecto del postensado. El momento flector generado por dicho esfuerzo horizontal se reparte en cada una de las piezas de pared, en vez de en cada sección anular, por lo que los esfuerzos de componente vertical descendentes no se concentran en la cara de la torre a sotavento, ni los de componente vertical ascendente se concentran en la cara de la torre a barlovento, sino que cada pieza de pared transmite a las piezas de pared inferiores un esfuerzo de componente vertical ascendente en su región más próxima a la cara a barlovento de la torre tubular y otro esfuerzo de componente vertical descendente en su región más próxima a la cara a sotavento de la torre tubular. Esto permite repartir las cargas por toda la sección anular de la torre impidiendo la concentración de esfuerzos en una zona concreta de la estructura.

Ha de notarse que, debido a la sección horizontal en forma de arco circular o de arco poligonal, aquellas piezas de pared que reciban un esfuerzo horizontal perpendicular a su zona central transmitirán un esfuerzo de componente vertical descendente en los extremos de su forma de arco circular o poligonal y un esfuerzo de componente vertical ascendente en su zona central, o viceversa.

Por el contrario, aquellas piezas de pared que reciban un esfuerzo horizontal tangente a su zona central transmitirán un esfuerzo de componente vertical descendente en un extremo de su forma de arco circular o poligonal y un esfuerzo de componente vertical ascendente en el otro extremo de su forma de arco circular o poligonal.

En la presente invención cuando un esfuerzo horizontal se aplica sobre por ejemplo las aspas del aerogenerador, dicho esfuerzo horizontal se transmite a cada una de las piezas de pared que conforman la sección anular de coronación de la torre tubular.

Dicha fuerza horizontal se transmite en forma de esfuerzo cortante en cada una de las juntas transversales de la torre tubular hasta ser transmitida a los cimientos.

Sin embargo dado que las piezas no pueden transmitir esfuerzos horizontales a las piezas de pared adyacentes, se genera en cada pieza de pared individual un momento flector debido a la carga horizontal transmitida desde su parte superior, que se descompone en dos fuerzas de componente vertical, pues son los únicos esfuerzos que puede transmitir, una de componente vertical descendente que es transmitida a las piezas de pared inferiores, y otra de componente vertical ascendente, que se transmite a las piezas de pared superiores. La fuerza vertical ascendente es equilibrada por otras fuerzas verticales descendentes como el peso o el postensado de la torre tubular.

Para asegurar la estabilidad de cada una de dichas piezas de pared frente a esas fuerzas horizontales, y para reducir los valores de las fuerzas de componente vertical en las que se descompone, es necesario evitar que la altura de la pieza de pared sea más de dos veces superior al ancho de dicha pieza de pared, pues a mayor altura de la pieza de pared en relación a su ancho mayor es el momento generado por la fuerza horizontal sobre la base de la pieza de pared, por efecto de la palanca, y mayores son las fuerzas de componente vertical en las que se descompone. Limitando la proporción de la pieza de pared a dicho rango descrito se evitan fuerzas de componente vertical excesivas difíciles de asumir por la estructura.

Como resultado de dicha característica, las fuerzas horizontales de viento se reparten por toda la sección anular en vez de concentrarse en las caras a barlovento y sotavento, y además se evita el tener que unir lateralmente las piezas de pared con conexiones estructurales, que a las grandes alturas que alcanzan estas estructuras pueden resultar complicadas de instalar.

Se entenderá que, a pesar de no existir conectores estructurales en las juntas verticales entre piezas de pared, sí que pueden existir otros conectores como conectores de montaje

que permitan mantener las piezas de pared en su posición durante las operaciones de izado o durante la erección de la torre tubular. Los conectores de montaje serán conectores que no transmitan esfuerzos estructurales, o que transmitan esfuerzos menores al 10% de los esfuerzos estructurales existentes en ese punto de la estructura en el que se ubican, considerados como esfuerzos residuales, siendo por lo tanto incapaces de transmitir dichos esfuerzos estructurales y por lo tanto no modificando de forma sustancial el funcionamiento estructural descrito.

Dichos conectores de montaje permiten fijar las piezas de pared en su posición mientras dura la erección de la torre tubular, cuando el postensado de dicha torre tubular todavía no se ha efectuado.

Preferiblemente las caras de junta vertical de dos piezas de pared adyacentes de una misma sección anular están enfrentadas y carecerán de tornillos estructurales, pernos estructurales, postensados locales, postensados anulares alrededor de una sección anular, configuraciones machihembradas de las caras de junta vertical enfrentadas, mortero o uniones hormigonadas in-situ que actúen a modo de conectores estructurales para la transmisión de esfuerzos estructurales durante la vida útil de la estructura.

Las configuraciones machihembradas son configuraciones de saliente y ranura, configuraciones de pasadores y agujeros u otras utilizadas comúnmente en elementos estructurales.

Se contempla también que las caras de junta vertical de dos piezas de pared adyacentes de una misma sección anular puedan estar separadas entre sí definiendo una ranura, asegurando así la total ausencia de transmisión de esfuerzos entre ellas.

Como se ha comentado anteriormente, según una realización alternativa las caras de junta vertical de dos piezas de pared adyacentes de una misma sección anular pueden estar unidas entre sí mediante conectores de montaje dimensionados y configurados para retener las piezas de pared en su posición durante el montaje y configurados para no transmitir esfuerzos estructurales durante la vida útil de la estructura. Como se ha comentado anteriormente, aquellos esfuerzos menores al 10% de los esfuerzos estructurales previstos en un punto de la estructura no serán considerados esfuerzos estructurales sino esfuerzos residuales, por lo tanto, un conector de montaje podría ocasionalmente transmitir una fracción de un esfuerzo siempre que éste supusiera menos de un 10% del esfuerzo estructural existente en ese punto de la estructura. Dichos conectores de montaje podrían ser adhesivos de montaje como por ejemplo siliconas o tornillos o pernos de montaje.

Con relación a las juntas transversales de las caras de junta transversal de piezas de pared de secciones anulares sucesivas, se propone que dichas caras estén enfrentadas y en contacto, presionadas entre sí por dichos cables postensados, y que dichas caras de junta transversal enfrentadas y en contacto definan una conexión estructural por contacto para la transmisión de esfuerzos estructurales.

Dichas juntas transversales podrían no disponer de ningún otro conector estructural, sin embargo, también se propone disponer en dichas juntas transversales otros conectores estructurales como tornillos o armadura pasante, o posicionadores que conecten estructuralmente las piezas de pared de una sección anular con las piezas de pared de la sección anular sucesiva.

Dichas caras de junta transversal pueden ser caras planas y lisas carentes de configuraciones machihembradas, o alternatively pueden estar dotadas de configuraciones machihembradas. En caso de incluir configuraciones machihembradas se incrementará la resistencia de la estructura frente a esfuerzos torsores o cortantes de componente horizontal al incrementarse la resistencia de las piezas de pared de una sección anular a desplazarse horizontalmente respecto a las piezas de pared de la sección anular inmediatamente inferior gracias a dichas configuraciones machihembradas.

Según otra realización las caras de junta transversal de dos piezas de pared adyacentes de secciones anulares superpuestas están enfrentadas y carecen de tornillos estructurales, pernos estructurales, postensados locales, mortero, adhesivos estructurales o uniones hormigonadas in-situ que actúen a modo de conectores estructurales para la transmisión de esfuerzos estructurales durante la vida útil de la estructura.

Al igual que con las juntas verticales, se propone que las caras de junta transversal de dos piezas de pared superpuestas de secciones anulares adyacentes puedan estar unidas entre sí mediante conectores de montaje dimensionados y configurados para retener las piezas de pared en su posición durante el montaje y configurados para no transmitir los esfuerzos estructurales durante la vida útil de la estructura. Los esfuerzos iguales o menores al 10% de los esfuerzos estructurales existentes en un punto de la estructura no serán considerados esfuerzos estructurales, sino esfuerzos residuales que podrán ser soportados por y transmitidos a través de dichos conectores de montaje sin que esto suponga una modificación sustancial del comportamiento estructural de la torre tubular.

Las características hasta ahora descritas de la estructura permiten que la torre tubular sea construida sin necesidad de instalar conectores estructurales en las juntas verticales una

vez que dichas piezas de pared han sido colocadas en su posición final, lo que simplifica las operaciones de montaje.

En caso de incluir las piezas de pared conectores de montaje o posicionadores, éstos son mucho más sencillos de colocar que los conectores estructurales, dado que las cargas a asumir por los mismos son muy reducidas y por lo tanto pueden ser conectores de pequeño tamaño fácilmente manipulables e instalables por un solo operario con herramientas manuales.

Una ventaja adicional de esta solución es que el número de juntas verticales y horizontales (cuando las juntas horizontales carecen de conectores estructurales) deja de ser un factor relevante en el coste de la estructura, pues al no requerir de operaciones de ensamblado complejas no es necesario mantener bajo el número de juntas. Esto permite reducir el tamaño de las piezas de pared y por lo tanto su peso, resultando más sencillo su transporte y permitiendo su izado hasta mayores alturas, lo que permite erigir torres de mayor altura a precios competitivos.

A pesar de producir las piezas de pared con la máxima precisión dimensional, pueden existir pequeños errores en sus dimensiones que tienen carácter acumulativo al apilar sucesivas secciones anulares, produciendo leves desviaciones de la verticalidad de la torre tubular.

Al haberse incrementado el número de secciones anulares dichos errores acumulativos pueden también verse incrementados.

Para corregir dicha desviación de la vertical se propone que las piezas de pared constitutivas de al menos una sección anular de la torre tubular tengan sus caras de junta transversal no paralelas entre sí, definiendo en conjunto una sección anular correctiva con una junta transversal inferior y con una junta transversal superior en planos no paralelos entre sí. Esta sección anular correctiva actuará como una cuña que permitirá rectificar la inclinación de las siguientes secciones anulares colocadas por encima de dicha sección anular correctiva.

Para su colocación se procederá a medir la inclinación de la torre tubular en diferentes etapas de su erección, y cuando se detecte una desviación de su verticalidad superior a cierto umbral se procederá a colocar la citada sección anular correctiva en una posición que permita rectificar la verticalidad de la torre tubular.

Según otra realización la torre tubular incluye dos secciones anulares correctivas consecutivas. La posición angular respectiva de una sección anular correctiva respecto a la siguiente sección anular correctiva adyacente permite que la corrección de las dos

secciones anulares correctivas sucesivas se sume, o que se anulen. Esto permite la preparación y fabricación de dichas secciones anulares correctivas en la torre anular antes de saber si existe desviación en la torre tubular, y colocar dichas secciones anulares correctivas en una posición o en otra en función de si se detecta o no desviación, o el grado de desviación detectado.

Se propone también que la torre tubular incluya múltiples secciones anulares correctivas no consecutivas, permitiendo múltiples correcciones a lo largo de su longitud.

Se propone que las configuraciones de fijación superior antes mencionadas estén integradas en un anillo metálico de coronación superior de la torre tubular, estando dicho anillo metálico de coronación apoyado sobre las caras de junta transversal de las piezas de pared de la última sección anular de la torre tubular. Dicho anillo metálico de coronación puede incluir además anclajes para la fijación de una góndola de un aerogenerador.

Esta solución permite, con un único elemento, anclar los cables de postensado, unir entre sí las piezas de pared de la sección anular de coronación de la torre tubular, y proporcionar el anclaje de la góndola a la torre tubular.

Se entenderá también que cualquier rango de valores ofrecido puede no resultar óptimo en sus valores extremos y puede requerir de adaptaciones de la invención para que dichos valores extremos sean aplicables, estando dichas adaptaciones al alcance de un experto en la materia.

Otras características de la invención aparecerán en la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización.

Breve descripción de las figuras

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

la Fig. 1 muestra un alzado lateral de una estructura de soporte para aerogeneradores como la propuesta, incluyendo en su parte superior un aerogenerador y unas aspas;

la Fig. 2 muestra en una vista perspectiva las dos secciones anulares de coronación de la torre tubular superpuestas, cada una formada por cuatro piezas de pared, habiéndose eliminado las restantes secciones anulares para simplificar la comprensión de la figura. Se muestran también las configuraciones de fijación superior dispuestas alrededor de un anillo metálico que, a efectos de facilitar la comprensión del dibujo, se ha mostrado separado de

la sección anular de coronación de la torre. Esta vista incluye también los cables postensados unidos a las configuraciones de fijación superior y a las configuraciones de fijación inferior ancladas a los cimientos de la torre tubular que recorren el interior de la torre;

la Fig. 3 muestra un desarrollo en plano de las piezas de pared que constituyen la torre tubular, según una primera realización en la que no existen conectores ni estructurales ni de montaje entre las piezas de pared, y en la que las caras de junta vertical de las piezas de pared adyacentes están separadas definiendo una ranura;

la Fig. 4 muestra un desarrollo en plano de las piezas de pared que constituyen la torre tubular, según una segunda realización, en la que no existen conectores estructurales entre caras de junta vertical de las piezas de pared, que están en contacto, y en la que las caras de junta transversal de las piezas de pared superpuestas están dotadas de una configuración machihembrada;

la Fig. 5 muestra un desarrollo en plano de las piezas de pared que constituyen la torre tubular, según una tercera realización en la que no existen conectores estructurales entre las piezas de pared, pero que existen unos conectores de montaje en forma de tornillos de montaje o pasadores de montaje dispuestos tanto en las juntas transversales como en las juntas verticales;

la Fig. 6 muestra un desarrollo en plano de las piezas de pared que constituyen la torre tubular, según una cuarta realización en la que las juntas verticales carecen de conectores estructurales y de conectores de montaje, pero que presenta posicionadores de montaje en las juntas transversales en forma de biconos de acero colocados en entrantes dispuestos en las caras de junta transversal de las piezas de pared;

la Fig. 7 muestra un desarrollo en plano de las piezas de pared que constituyen la torre tubular, según una quinta realización en la que las juntas verticales carecen de conectores estructurales y de conectores de montaje, pero que presenta conectores estructurales en las juntas transversales en forma de armaduras pasantes ancladas en las piezas de pared superpuestas;

las Figs. 8a a 8e muestran una vista en perspectiva de una porción de una pieza de pared según varias realizaciones en las que dicha pieza de pared dispone de labios perimetrales que engrosan el grosor perimetral de la pieza de pared en las caras de junta transversal y/o vertical;

la Fig. 9 muestra un alzado lateral de una estructura de soporte para aerogeneradores como la propuesta, en donde la porción inferior de la torre tubular ha sufrido una desviación de su verticalidad durante su erección, y en la que se ha intercalado una sección anular correctiva permitiendo que el resto de la torre tubular sea vertical, estando las desviaciones mostradas en esta figura exageradas a efectos de claridad;

la Fig. 10 muestra una vista ampliada de una porción central de la torre tubular en la que se han dispuesto dos secciones anulares correctivas, sucesivas, dispuestas ambas de modo que su ángulo de corrección se sumara produciendo una corrección de la verticalidad de la torre tubular entre la sección anular inmediatamente inferior y la inmediatamente superior a dichas dos secciones anulares correctivas, sucesivas;

la Fig. 11 muestra la misma porción de la torre tubular mostrada en la Fig. 10, pero en la que la porción inferior de la torre tubular no presentaba ninguna desviación de su verticalidad, y en la que las dos secciones anulares correctivas sucesivas han sido emplazadas de modo que las respectivas correcciones de la verticalidad queden anuladas.

Descripción detallada de un ejemplo de realización

Las figuras adjuntas muestran ejemplos de realización con carácter ilustrativo no limitativo de la presente invención.

En la Fig. 1 se muestra una estructura de soporte para aerogeneradores formada por múltiples secciones anulares 20 de sección troncocónica superpuestas, obteniéndose así una torre tubular 1 de interior hueco de sección transversal cada vez de menor tamaño.

Cada sección anular 20 está formada por múltiples piezas de pared 10 cada una con una sección transversal en forma de sección anular, de modo que al agrupar todas las piezas de pared 10 se forma una sección anular circular.

Como resultará obvio a un experto, en caso de que las piezas de pared 10 tengan una sección transversal en forma de sección poligonal, la sección anular formada por los mismos tendrá también una sección poligonal cerrada en forma de tubo.

Las juntas existentes entre secciones anulares 20 superpuestas son juntas transversales 11, mientras que las juntas existentes entre las piezas de pared 10 adyacentes de una misma sección anular 20 son juntas verticales 12.

Las juntas verticales 12 de una sección anular 20 no coincidirán con las juntas verticales 12 de otra sección anular 20 inmediatamente superior o inferior para evitar debilidades estructurales.

La solución propuesta puede constar, por ejemplo, tal y como se muestra en detalle en la Fig. 2, de cuatro piezas de pared 10 formando cada sección anular y de más de diez secciones anulares 20. La presente invención se aplica a torres de cualquier altura, pudiendo ser empleada también para torres de mucha altura, por encima de los 150 metros de altura, pudiendo incluir más de veinte secciones anulares 20.

Cada pieza de pared 10 tiene dos caras de junta vertical 14 y dos caras de junta transversal 13. En el presente ejemplo dichas caras de junta vertical 14 y caras de junta transversal 13, tienen todas el mismo espesor, que define el grosor perimetral de la pieza de pared 10, siendo en este ejemplo el mismo grosor que toda la pieza de pared 10. Esta realización se corresponde también con la realización mostrada en la Fig. 8a.

Sin embargo, se contempla que la pieza de pared 10 pueda ser más delgada que su grosor perimetral, estando las caras de junta vertical 14 y/o las caras de junta transversal 13 definidas por labios o ensanchamientos de la pieza de pared 10, consiguiendo así aligerar el peso de cada pieza de pared 10, como se muestra por ejemplo en las Figs. 8b a 8e.

En los ejemplos mostrados en las Fig. 8b y 8e las caras de junta vertical 14 tienen un ancho variable a causa de la variación en el grosor de la pieza de pared 10. Por el contrario, en la realización mostrada en la Fig. 8c el ancho de las caras de junta vertical 14 tienen un ancho constante, pero sin embargo las caras de junta transversal 13 son las que tienen un ancho variable.

La superposición de secciones anulares 20 conforma una torre tubular 1 de interior hueco. La última sección anular 20, la más alejada del suelo, está conectada a configuraciones de fijación superior 31, que tal y como se muestra en la Fig. 2 en este ejemplo consta de un anillo metálico que queda apoyado sobre las caras de junta transversal 13 de la última sección anular 20 más distantes del suelo. En dichas configuraciones de fijación superior 31 se anclan los extremos superiores de unos cables de postensado 30 que discurren por el interior de la torre tubular 1 hasta los cimientos 2 sobre los que se erige dicha torre tubular 1, donde los extremos inferiores de los cables de postensado 30 se anclan a los cimientos 2 mediante unas configuraciones de fijación inferiores 32.

Dichas configuraciones de fijación superiores 31 e inferiores 32 pueden constar de cualquiera de las técnicas habituales de postensado conocidas.

Las caras de junta transversal 13 de las piezas de pared 10 son, en esta realización, caras lisas, planas y horizontales, de modo que al superponer las secciones anulares las caras de junta transversal 13 quedarán presionadas unas contra otras en las juntas transversales 11 por efecto del peso de la estructura y por la sobrecarga producida por el postensado de los cables de postensado 30, asegurando así la posición relativa de unas piezas de pared 10 respecto a las inmediatamente superiores e inferiores sin necesidad de ningún conector estructural adicional que conecte las secciones anulares 20 superpuestas entre sí. Esto facilita y acelera sobremanera las tareas de construcción de la torre tubular 1, al no requerir de operaciones de conexión estructural realizadas a gran altura, que pueden resultar costosas, peligrosas y lentas.

Se entiende que esta es una realización de ejemplo pero que otras realizaciones, en donde las caras de junta transversal estén unidas entre sí mediante conectores estructurales son también planteables, como se muestra en las Fig. 4 a 7.

Las caras de junta vertical 14 de las piezas de pared 10 de aquellas piezas de pared 10 adyacentes de una misma sección anular 20 están enfrentadas, pero carecen de todo tipo de conector estructural que las conecte. Dichas caras de junta vertical 14 pueden estar en contacto, como se muestra en la realización de la Fig. 4, o incluso pueden estar distanciadas dejando una ranura entre ellas, como se muestra en la Fig. 3 y 2, pudiendo ser dicha ranura posteriormente sellada con silicona, u otro adhesivo con escasa capacidad de transmitir esfuerzos, para evitar la entrada de agua o viento en el interior de la torre tubular, sin que esto suponga en ningún caso una conexión estructural.

Esta característica permite que las piezas de pared 10 puedan comportarse de forma estructuralmente independiente, especialmente frente a esfuerzos horizontales como es el viento. Al no estar conectadas entre sí lateralmente las piezas de pared 10, cada una debe transmitir el esfuerzo horizontal recibido a las piezas de pared 10 inferiores y superiores.

Una fuerza horizontal aplicada a cierta distancia de la cara de junta transversal 13 producirá un momento flector sobre cada pieza de pared, y dicho momento flector se descompondrá en una fuerza vertical descendente, o sea una fuerza de compresión de las piezas de pared 10 dispuestas por debajo, y en una fuerza vertical ascendente, es decir en una fuerza de tracción que, al ser menor que las cargas descendentes producidas por el peso de la estructura y por el postensado quedarán anuladas.

Esto permite que las cargas descendentes, o cargas de compresión, generadas como consecuencia de los esfuerzos del viento queden repartidos por toda la sección anular de la torre tubular 1, en vez de concentrarse en la cara a sotavento como ocurre con otras soluciones constructivas, reduciendo así las sobrecargas puntuales y permitiendo aligerar la estructura.

En la Fig. 2 se muestra mediante una flecha de gran tamaño una fuerza horizontal transmitida, desde el aerogenerador, a la anilla metálica dotada de configuraciones de fijación superior 31. Dicha fuerza horizontal está producida por el impacto del viento sobre las aspas de dicho aerogenerador que estará conectado a la anilla metálica.

Dicha anilla metálica está en contacto con las caras de junta transversal 13 de las piezas de pared 10 de la última sección anular 20 de la torre tubular 1, la más distanciada del suelo, aunque en esta figura se han mostrado separados para facilitar la comprensión del conjunto. Mediante dicho contacto la fuerza horizontal aplicada a la anilla metálica es transmitida y repartida entre los extremos superiores de todas las piezas de pared 10 que constituyen la sección anular 20 de coronación.

En esta Fig. 2, se ha indicado con una flecha de menor tamaño la fuerza horizontal transmitida a cada una de las cuatro piezas de pared 10 que conforman la sección anular 20 de coronación.

Al estar aplicada la fuerza horizontal sobre el extremo superior de cada pieza de pared 10, y al no poderse transmitir esfuerzos a las piezas de pared 10 lateralmente adyacentes por la ausencia de conectores estructurales, en cada pieza de pared 10 se genera un momento flector que se ha indicado esquemáticamente con una flecha semicircular en esta Figura. Dependiendo de la posición de cada una de las piezas de pared 10 respecto a la dirección de la fuerza horizontal el citado momento flector tendrá una u otra dirección.

El momento flector descrito se descompone en un par de fuerzas verticales, una ascendente y otra descendente, que cada pieza de pared individualmente debe transmitir a las piezas de pared 10 inferiores a través de las caras de junta transversal 13. Dichas fuerzas verticales se han indicado con flechas verticales en esta Figura.

Se entenderá que otras fuerzas, como las cortantes, no se han indicado, y que la transmisión de esfuerzos solo se ha indicado parcialmente para simplificar la comprensión de la figura. Esta figura solamente muestra dos secciones anulares, y no muestra todas las secciones anulares 20 inferiores hasta los cimientos, que se han mostrado separados de las secciones anulares 20 mostradas para facilitar la comprensión de la figura.

Otra ventaja adicional es que, como las uniones de las juntas verticales 12 son siempre carentes de conectores estructurales, cuya instalación es siempre cara y compleja, se reducen los costes y permite reducir el tamaño de las piezas de pared 10 incrementando el número de juntas sin que esto suponga un sobre coste de la estructura. Piezas de pared 10 de menor tamaño son piezas más fáciles de transportar y más fáciles de izar hasta su posición final, menores costes logísticos y torres tubulares 1 de mayor altura al poder izar piezas de pared 10 más pequeñas y por lo tanto más ligeras hasta mayor altura.

Para que esta solución resulte estable, la altura de cada pieza de pared 10 no puede superar dos veces su ancho, puesto que los momentos flectores serán mayores a mayor altura de la pieza de pared 10, y las dos fuerzas de componente vertical en las que se descompone el citado momento flector serán mayores cuanto más pequeño sea el ancho de la pieza de pared. Por todo ello se ha determinado que esta proporción de dos altos por un ancho es el máximo, a partir del cual las fuerzas de componente vertical resultan excesivas.

Se propone, a modo de ejemplo, piezas de pared 10 con una altura igual o menor a los 10 metros, siendo por lo tanto su ancho igual o mayor a los 5 metros. Dichas medidas pueden ser alteradas por ejemplo proporcionando piezas de pared con una altura igual o menor a los 5 metros y una anchura igual o superior a los 2,5 metros, preferiblemente igual o superior a los 5 metros.

Estas dimensiones difieren sensiblemente de las dimensiones habituales en las piezas de pared 10 de las torres tubulares 1 de hormigón prefabricado, pues habitualmente se intenta utilizar piezas de pared 10 del mayor tamaño posible, típicamente con piezas de pared con una altura mayor a 25 metros, que resultan muy pesadas y difíciles de transportar por carretera, de manipular, y de izar hasta grandes alturas.

Se contempla además que las juntas transversales 11 y verticales 12 de la presente invención pueden incluir otras soluciones que faciliten las operaciones de montaje, o que aseguren la posición de las piezas de pared 10 durante las operaciones de erección de la torre tubular 1 previas al postensado del conjunto, momento en el que la torre tubular 1 puede resultar menos estable, pero sin recurrir a conectores estructurales que como se ha indicado anteriormente resultan caros y complicados de instalar.

En la Fig. 4 se muestra como las caras de junta transversal 13 pueden incluir una configuración machihembrada, lo que incrementa la transmisión de esfuerzos cortantes y torsores entre las secciones anulares 20 superpuestas. De un modo equivalente en la Fig.

6 se muestra la incorporación de biconos a modo de posicionadores de montaje 40, que permiten centrar la posición de las piezas de pared 10 al superponerlas.

Alternativamente o adicionalmente se contempla también que entre las caras de junta transversal 13 y/o entre las caras de junta vertical 14 pudiera intercalarse algún material en lámina, mortero o adhesivo que mejorara el contacto entre las caras enfrentadas o para prevenir la entrada de agua, viento, insectos o suciedad en general. En caso de ser una lámina, por ejemplo, una lámina elástica, ésta podría estar incluida en las piezas de pared 10 antes de su izado, con lo que tampoco supondría una complicación de las tareas de ensamblado.

En el caso de utilizar morteros o adhesivos se requeriría que un operario colocara dicho material fresco antes de la colocación de cada pieza de pared 10 en su posición final en la torre tubular 1, lo que supondría una complicación en la ejecución de la torre tubular 1, pero son tareas que fácilmente podría realizar un operario solo con herramientas manuales sin que supusieran una gran complejidad ni sobrecoste.

Opcionalmente dichas caras de junta transversal 13 de piezas de pared 10 superpuestas y/o dichas caras de junta vertical 14 de piezas de pared 10 adyacentes podrían también estar conectadas entre sí mediante conectores de montaje 40, como por ejemplo tornillos de montaje, tal y como se muestra en la Fig. 5.

Alternativamente dichos conectores de montaje 40 podrían ser protuberancias de una cara de junta transversal 13 insertadas en huecos complementarios previstos en la cara de junta transversal 13 enfrentada, o piezas insertadas simultáneamente en huecos enfrentados previstos en las caras de junta transversal 13 enfrentadas.

Los conectores de montaje 40 permiten asegurar la posición de cada pieza de pared 10 durante las operaciones de montaje de la estructura, antes de la colocación de los cables de postensado, pero son insuficientes para transmitir los esfuerzos estructurales previstos en los puntos en los que se colocan, es decir que pueden transmitir esfuerzos iguales o inferiores a un 10% de dichos esfuerzos, considerándose por lo tanto los esfuerzos transmitidos como esfuerzos residuales. Es decir que por ejemplo los conectores de montaje permiten resistir la fuerza horizontal causada del viento impactando contra la torre tubular 1 durante las tareas de montaje, pero que resultarían insuficientes para resistir las fuerzas horizontales provocadas por el viento impactando contra las aspas de la turbina del aerogenerador, que sumarán una gran superficie enfrentada al viento y por lo tanto un gran

aumento del valor de dichas fuerzas horizontales, aplicado además a la cúspide de la torre tubular 1 donde mayor momento flector produce sobre la torre tubular 1.

Esto puede lograrse por ejemplo dejando ciertas holguras entre los conectores de montaje 40 y las piezas de pared 10, lo que permitiría un desplazamiento relativo de algunos milímetros de las piezas de pared 10 unidas por dichos conectores de montaje 40, impidiendo así la transmisión de esfuerzos estructurales.

Otra solución equivalente consistiría en intercalar elementos comprimibles, como por ejemplo elementos de goma, entre los conectores de montaje 40 y las piezas de pared 10, permitiendo igualmente dicho movimiento relativo entre las piezas de pared 10 sin transmisión de esfuerzos estructurales, aunque permitiendo alguna transmisión de esfuerzos residuales.

También se contempla que dichos conectores de montaje queden desconectados si se supera cierto umbral de esfuerzos, como pasaría por ejemplo con ciertos adhesivos con escasa capacidad de transmitir esfuerzos, que permitirían mantener las piezas de pared 10 en su posición durante el montaje transmitiendo esfuerzos residuales pero que, cuando se vean sometidos a grandes esfuerzos estructurales quedarían desconectados. Igualmente pueden dimensionarse otro tipo de conectores, como tornillos o pernos, para que se desconecten o se rompan al superarse ciertas tensiones.

Además, los esfuerzos residuales transmitidos a las piezas de pared no requerirían de complejos refuerzos estructurales dentro de la pieza de pared para canalizar y concentrar los esfuerzos hasta los puntos de anclaje de los conectores, gracias a ser esfuerzos fácilmente asumibles por la pieza de pared circundante al punto de anclaje, o con un refuerzo local ligero, lo que simplifica y abarata la fabricación de las piezas de pared.

Dichos conectores de montaje 40, al tener unos requisitos de resistencia menores que unos conectores estructurales, pueden ser también de menor tamaño y más escasos, facilitando y acelerando su instalación manual por uno o pocos operarios con herramientas manuales, lo que apenas supone una afectación en el coste y tiempo de erección de la estructura.

En el caso de las juntas transversales 11 se plantea que puedan existir conectores estructurales 41 que conecten entre si las piezas de pared 10 superpuestas. En el ejemplo mostrado en la Fig. 7 dichos conectores estructurales 41 constan de armaduras pasantes conectadas simultáneamente a las piezas de pared 10 superpuestas, pero otras realizaciones están también contempladas, como por ejemplo tornillos estructurales, cables de postensado local, hormigonado local, etc.

Al incrementar el número de secciones anulares 20 respecto a una estructura equivalente habitual, un posible error en la longitud de las piezas de pared 10 de cada sección anular 20 puede irse acumulando hasta provocar una desviación de la verticalidad de la torre tubular 1, incluso a pesar de tomar todas las precauciones en la fabricación de las piezas de pared 10 con la máxima precisión posible. También pueden darse fenómenos de asentamiento diferencial de los cimientos durante las tareas de erección de la torre tubular 1.

Para permitir revertir dicha desviación se propone que, a medida que se erige la torre tubular 1, se puedan intercalar secciones anulares correctivas 21.

Una sección anular correctiva 21 es una sección anular 20 en la que las caras de junta transversal 13 superior e inferior de las piezas de pared 10 que la constituyen no son paralelas entre sí, logrando así que la sección anular correctiva 21 forme una junta transversal 11 superior e inferior no paralelas entre sí. Esto permite que la sección anular correctiva 21 actúe como cuña corrigiendo la desviación de la verticalidad de la torre tubular 1 en las sucesivas secciones anulares 20.

Esta característica puede verse en la Fig. 9, donde evidentemente se han exagerado las inclinaciones para hacer más evidente esta característica.

Por supuesto se contempla que una torre tubular 1 pueda incorporar varias secciones anulares correctivas 21 a lo largo de su longitud.

En las Fig. 10 y 11 se muestra como dos secciones anulares correctivas 21 pueden ser colocadas consecutivamente. Dependiendo de su posición angular relativa la corrección de la inclinación proporcionada por cada una de las secciones anulares correctivas 21 puede sumarse consiguiendo una importante corrección de inclinación al quedar superpuestos los lados de mayor longitud de las dos secciones anulares correctivas 21, tal y como se muestra en la Fig. 10, o pueden anularse mutuamente si dichos lados de mayor longitud de las dos secciones anulares correctivas 21 quedan en lados opuestos de la torre tubular 1, consiguiendo que la torre tubular 1 no modifique su inclinación, como se muestra en la Fig. 11.

Esta configuración de dos secciones anulares correctivas 21 consecutivas permite que las secciones anulares correctivas 21 sean fabricadas antes del ensamblado de la torre tubular 1, independientemente de si existe o no desviación o de si se ha iniciado o no la erección de la torre tubular 1, y que durante las operaciones de ensamblado de la torre tubular 1 se determine, mediante mediciones precisas de la inclinación real de la parte inferior de la torre

tubular 1 erigida hasta el nivel en el que se ha previsto la inclusión de las secciones anulares correctivas 21, en qué posición hay que colocar dichas secciones anulares correctivas 21, consiguiendo una corrección mayor, menor, o ninguna corrección, dependiendo de si se ha producido o no una desviación de la torre tubular 1 durante su erección.

Se entenderá que las diferentes partes que constituyen la invención descritas en una realización pueden ser libremente combinadas con las partes descritas en otras realizaciones distintas, aunque no se haya descrito dicha combinación de forma explícita, siempre que no exista un perjuicio en la combinación.