

Sistemas de instalación y O&M para torres eólicas de gran altura

Installation and O&M systems for high altitude wind towers

Luis Manuel Delgado Delgado^a, José Luis Pérez Gil^b, Manuel Biedma García^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Acciona Ingeniería. Ingeniero Senior Estructuras. lmdelgadode@acciona.com

^b Ingeniero Civil. Acciona Ingeniería. Ingeniero Senior Estructuras. jlperezgi@acciona.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Acciona Ingeniería. Jefe Departamento Estructuras Metálicas.

manuel.biedma.garcia@acciona.com

RESUMEN

El desarrollo tecnológico de los aerogeneradores ha experimentado un avance significativo en los últimos años, lo que ha hecho necesario la construcción de torres eólicas cada vez más altas en la búsqueda de un régimen de viento más laminar. En la actualidad, se emplean grúas comerciales de grandes dimensiones tanto para la instalación como para O&M (operación y mantenimiento), lo que implica un alto coste económico, de tiempo y un reto estructural para torres superiores a 160 m de altura. En la actualidad, se están planteando nuevos sistemas que permitirán alcanzar mayores alturas de instalación optimizando tiempos y costes asociados tanto en fase de instalación como en O&M (operación y mantenimiento).

ABSTRACT

The technological development of wind turbines has undergone significant progress in recent years, which has made it necessary to build higher and higher wind towers in the search for a more laminar wind regime. Currently, large commercial cranes are used for both installation and O&M (operation and maintenance), which implies a high economic cost, time and structural challenge for towers taller than 160 m. Currently, new systems are being considered that would allow reaching greater installation heights, optimizing time and associated costs both in the installation phase and in O&M (operation and maintenance).

PALABRAS CLAVE: aerogeneradores, grúas, torres eólicas, sistemas constructivos.

KEYWORDS: wind turbines, cranes, wind towers, construction systems

1. Avance tecnológico de los aerogeneradores en los últimos años

El avance tecnológico de los aerogeneradores ha sido significativo en los últimos años. Las turbinas actuales pueden alcanzar alturas superiores a 260 metros, con palas de más de 100 metros de longitud.

Su potencia también ha aumentado, mientras que en la década de los 2000 las

turbinas rondaban los 1-2 MW, en la actualidad es común ver aerogeneradores terrestres de hasta 6 MW y marinos que pueden llegar a superar los 15 MW.

La potencia se define como la energía por unidad de tiempo.

$$P = \frac{E}{t}$$

La energía, en este caso cinética producida por el viento que actúa sobre las palas del aerogenerador se define en función de la masa del aire en movimiento y de la velocidad del viento.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

La masa de aire en movimiento se puede expresar como la masa por unidad de tiempo en función de la densidad del aire, el área de exposición y la velocidad del viento.

$$\frac{m}{t} = \rho \cdot A \cdot v \cdot t$$

Por tanto, la potencia se puede expresar en función de la densidad del aire, el área de exposición y la velocidad del viento.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Se obtiene que la potencia y por tanto la energía aprovechable del viento que pasa por una turbina es proporcional a la velocidad de viento al cubo. Esta relación cúbica es fundamental en el diseño de turbinas eólicas, ya que un pequeño aumento en la velocidad implica un aumento significativo en la energía generada.

Otros factores que influyen de forma directa en el aumento de la potencia además de la velocidad del viento son la longitud de las palas, la eficiencia del generador y la altura de las torres.

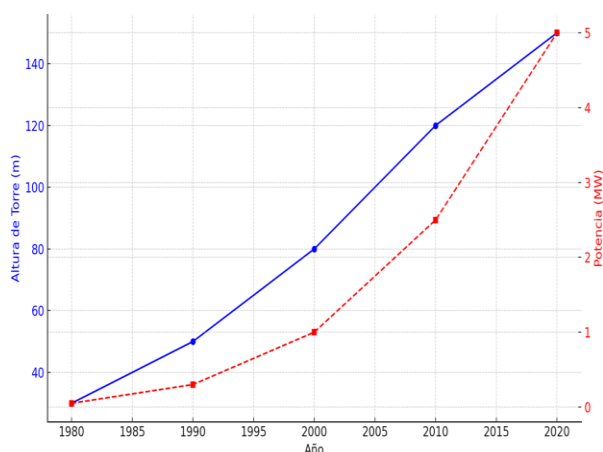


Figura 1. Evolución histórica de Altura de Torre y Potencia (1980-2020)

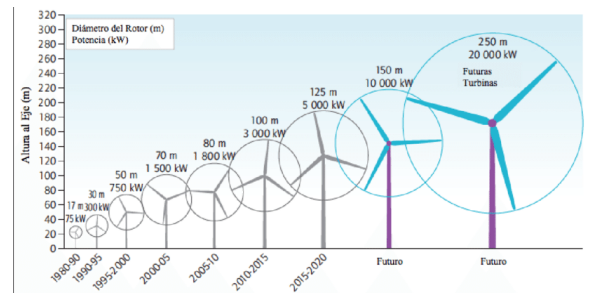


Figura 2. Evolución histórica de Altura de Torre y Potencia (1980-2020)

En las figuras 1 y 2 se puede apreciar la evolución tanto de la potencia instalada como de la altura de las torres eólicas. Se busca cada vez más un viento más laminar, menos alterado por las rugosidades del terreno.

Este aumento de tamaño en las torres repercute en cada uno de los componentes a instalar para la construcción del aerogenerador, lo que hace necesario el empleo de grúas convencionales que, además de tener un coste horario muy elevado, conllevan un proceso lento de instalación y necesitan una gran superficie en el terreno, por lo que no son operativas para las operaciones de mantenimiento.

Teniendo en cuenta que la vida útil de una torre eólica ronda los 25 años y estimando que será necesario el reemplazo de más de dos componentes durante la misma, y que éste se debe de poder realizar en un máximo de 3 - 4 días, se hacen necesarios nuevos métodos de instalación y mantenimiento más capaces a la vez que eficientes.



Figura 3. Liebherr-lr-11000

2. Tipología estructural de torre necesaria para alcanzar grandes alturas

Para alcanzar 200 metros de altura en una torre eólica, la tipología más adecuada sería una torre híbrida (hormigón + acero) o una torre de hormigón. Estas opciones permiten combinar rigidez, resistencia y viabilidad económica a grandes alturas.

La torre híbrida combina una base de hormigón pretensado en la parte inferior donde se requiere mayor rigidez y estabilidad, y secciones de acero más ligeras en la parte superior realizando así un diseño más eficiente. Si el emplazamiento y los costes lo permiten, las torres de hormigón también son una opción viable por su alta rigidez estructural y durabilidad.

La elección final dependerá de factores específicos como:

- Las condiciones del terreno.
- Costes de transporte y montaje.
- Capacidad de carga del aerogenerador.

3. Sistemas constructivos y de O&M (operación y mantenimiento)

Hasta ahora, el montaje mediante grúas comerciales convencionales desde el terreno ha sido el procedimiento más utilizado. Sin embargo, a medida que aumenta la altura de instalación dicho procedimiento resulta menos competitivo.

Surgen, por tanto, nuevas propuestas que tratan de innovar respecto a los “sistemas tradicionales” tratando de dar solución a los nuevos retos que emergen con el aumento de altura de este tipo de torres.



Figura 4. Liebherr EC-B 125 Litronic

3.1 Sistemas que sirven tanto para instalación como para mantenimiento (O&M)

Son sistemas que permiten tanto la instalación de la torre por segmentos como la realización de labores posteriores de mantenimiento. Estos emplean el fuste de la torre eólica como soporte estructural, optimizando así la propia estructura de la grúa frente a los sistemas convencionales.

Consisten en grúas capaces de trepar por el fuste de la torre eólica y que permiten realizar el ensamblaje de la torre por tramos conforme se eleva la grúa, realizando el montaje del resto de componentes una vez finalizado el ensamblaje del mástil de la torre eólica.

Estas grúas utilizan métodos de elevación mediante raíles, sistemas hidráulicos o sistemas de poleas que permiten desplazar la grúa por el mástil de la torre. En ocasiones, se requieren modificaciones en el diseño del mástil de la propia torre eólica para que se adapte a las

características particulares de este tipo de sistemas. La estabilidad lateral para operar por lo general se consigue mediante sistemas de abrazos al mástil de la torre eólica.

Uno de los de mayor capacidad es el desarrollado por Lagerwey denominado Climbing Crane LCC140 capaz de izar 140 t, consiste en un mástil de sección tubular que dispone de una pluma abatible que permite ir realizando el montaje de los diferentes segmentos de torre [1]. Para desplazarse por el fuste se emplea un mecanismo hidráulico que permite realizar el movimiento entre puntos definidos previamente en la propia torre eólica.



Figura 5. Climbing Crane LCC140

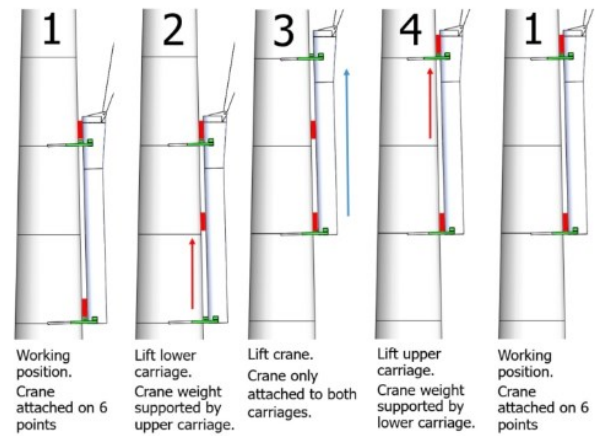


Figura 6. Climbing Crane LCC140

Una vez realizado el montaje de la torre se finaliza la instalación con el ensamblaje del resto de componentes.

En este sentido también se puede destacar el sistema patentado por HWS para torres de hormigón, el cual utiliza un mástil similar al de una grúa torre al uso en celosía que se desplaza mediante un mecanismo de rails, gatos y pasadores siendo capaz de izar una carga de hasta 30t [2].

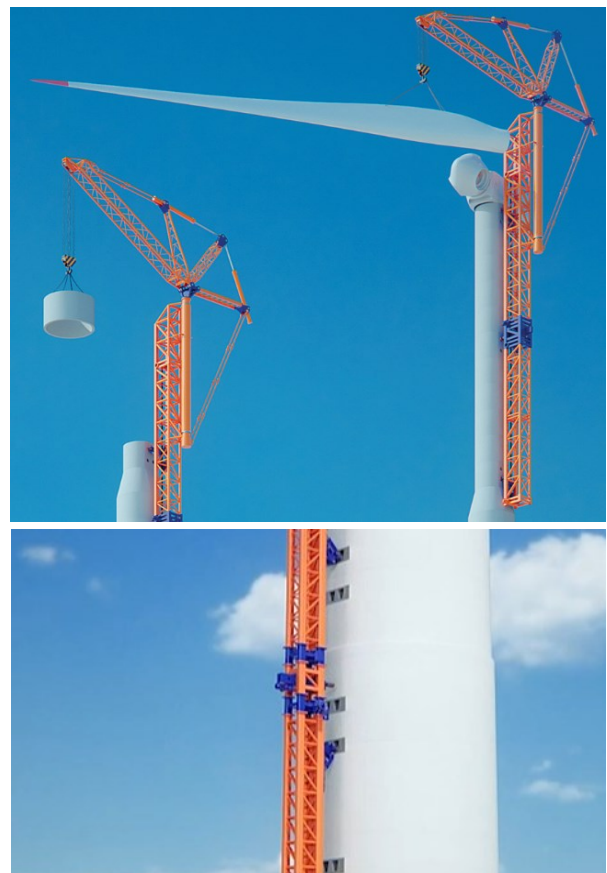


Figura 7. HWS AirCrane

Las torres de hormigón deben disponer de puntos de conexión definidos previamente en el mástil de la torre a efectos de poder realizar la maniobra de elevación y descenso de la grúa.

Recientemente Liftra ha desarrollado su modelo LT1500; que permite erigir aerogeneradores hasta una altura de 250 m basándose en un método de autoelevación utilizando un contenedor de 40pies como estación de lanzamiento de la grúa [3].

El funcionamiento propuesto para el sistema de autoelevación consiste en izar un soporte metálico con la propia grúa hasta el siguiente nivel de elevación. Posteriormente, se rota la pluma 180° sobre sí misma y se inclina hacia abajo mediante los cilindros hidráulicos de la pluma hasta que el extremo de esta apoya sobre los cables que acometen al contenedor. Una vez estabilizada la grúa se suelta el abraze lateral que actúa sobre el mástil de la torre y se eleva la grúa hasta la siguiente posición donde se encuentra dispuesto el soporte metálico.



Figura 8. Liftra Crane LT1500



Figura 9. Liftra Crane LT1500

El mástil de la torre debe disponer de puntos de conexión que en este caso se corresponden con los niveles desde los que opera la grúa. Una vez realizada la instalación de todos los componentes del aerogenerador, se lleva a cabo la operación de descenso de la grúa y para finalizar se realiza la operación de descenso del soporte metálico utilizado para el izado de la grúa empleando para ello un sistema auxiliar instalado sobre el aerogenerador.

Finalmente, cabe nombrar las Koala Lifter, con un método de elevación muy similar al primer caso analizado y que son capaces de izar cargas desde 29 t para la KL-N35 y hasta 75 t para la KL-Gorilla [4].

Para desplazarse por el fuste emplea un mecanismo hidráulico con doble bastidor que, junto a un sistema de abrazaderas automático que permite llevar las abrazaderas alrededor del mismo y realizar el movimiento sin necesidad de actuar sobre la torre eólica.



Figura 10. Koala lifter

El izado de los diferentes segmentos de la torre, así como de sus componentes se realiza mediante una pluma extensible. La grúa se plantea compacta y se transporta en camión, realizando el volteo directamente sobre el primer tramo de torre ya instalado.



Figura 11. Koala lifter



Figura 12. Sistema Push-up Nabrawind

3.2 Sistemas que sirven exclusivamente para la instalación de la torre

Son sistemas orientados exclusivamente a optimizar los tiempos y costes de instalación, y que no sirven para las labores posteriores de mantenimiento. Requieren de una adaptación de la estructura de la torre al método de montaje.

Utilizan mecanismos de gatos y/o cables para hacer crecer la torre en altura desde la cota del terreno. La torre debe llevar preinstalados todos los componentes incluido el hub y las palas, de forma que, una vez alcanzada la altura requerida, no son necesarias más operaciones.

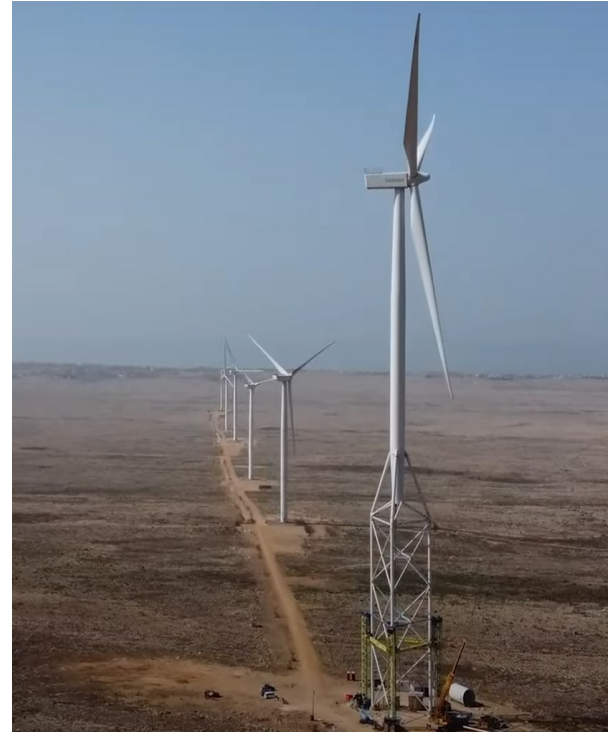


Figura 13. Sistema Push-up Nabrawind

Entre ellos, cabe resaltar el sistema push-up desarrollado por Nabrawind, que está limitado a torres metálicas con estructura inferior tipo celosía y que, en la actualidad, pueden alcanzar los 160 m de altura. Permite realizar el izado de toda la torre eólica con el objetivo de ir alargando la estructura mediante la implementación de tramos de celosía, aumentando su altura hasta el nivel deseado [5].



Figura 14. Sistema Telescopado Esteyco.

Otro sistema que cabe destacar en esta tipología es el telescopado de Esteyco, utilizado para fustes de hormigón en torres prefabricadas o fabricadas in situ. La torre y la turbina se montan a baja altura y luego se elevan con gatos de carga pesada hasta los 200 m y más. Todas las operaciones de montaje se realizarán a una altura máxima de 45 m, en lugar de 160, 180 o incluso 200 m. Todos los trabajos conjuntos pueden realizarse desde una única plataforma en el primer nivel de unión.

Se implementa un tramo de acero bajo nacelle que permite optimizar la altura de los telescopajes de hormigón dando la longitud necesaria para la pala.

Es una posible opción para torres por encima de los 200 m, y es muy competitiva a partir de los 170 m en condiciones específicas, como, por ejemplo, en parques eólicos con poca cantidad de torres que no pagan los costes de movilización y desmovilización, emplazamientos en zonas forestales o en condiciones de aislamiento como las islas. [6].

3.3 Sistemas que sirven exclusivamente para O&M (Operación y mantenimiento)

Estos son más ligeros y de menores dimensiones, se utilizan para el reemplazo de componentes de turbinas en operación.



Figura 15. Sistema Liftra LT1200

Cabe resaltar el Liftra LT1200, que consiste en una grúa que se acopla mediante una base específica a la nacelle y se autoiza a partir de ésta, siendo capaz de reemplazar componentes de hasta 78 t a alturas de hasta 170 m pero con un alcance limitado de 7 m [7].

Se transporta en un contenedor de 40 pies y su alimentación puede ser por batería con la opción de ser enchufable logrando realizar la operación en un tiempo promedio de 4-6 días desde la parada de la turbina hasta su puesta en marcha.

Dispone de una matriz de compatibilidad que incluye a los diferentes fabricantes, esto permite conocer que elementos de cada turbina son actualmente instalables con la grúa, cuales están en desarrollo y cuales podrían llegar a desarrollarse en el futuro.



Figura 16. Sistema Liftra LT1200

4. Retos de futuro

Según el desarrollo de las torres eólicas en las últimas décadas, el factor clave en el diseño radica en el aumento de la potencia. Con el objetivo de aumentar dicho factor se detectan una serie de necesidades clave en el diseño de las nuevas turbinas:

- La necesidad de construir torres cada vez más altas buscando aumentar las velocidades medias de viento y evitando las turbulencias que se generan cerca de la superficie.
- El aumento del tamaño de las palas lo que implica una mayor superficie de exposición frente al viento, alcanzando así mayores velocidades.
- Mayor eficiencia de los nuevos generadores.

Las torres híbridas se aventajan por disponer de un diseño más ligero y menores tiempos de instalación en comparación con las torres de hormigón.

Se hacen necesarios nuevos sistemas constructivos más eficaces, y capaces de optimizar los tiempos de instalación y O&M (operación y mantenimiento). Según las diferentes propuestas analizadas, considerar la propia estructura de la torre eólica como soporte para estos nuevos equipos parece ser lo más adecuado. Optimizando así su estructura y los tiempos empleados durante su propio ensamblaje y desensamblaje.

El empleo de grúas convencionales más económicas en combinación con estos nuevos sistemas puede ser una alternativa interesante permitiendo elevar la torre eólica hasta un determinado nivel y empleando estos nuevos sistemas para lograr el montaje de los niveles más altos así como el resto de componentes.

5. Conclusiones

Los sistemas existentes aunque funcionales, enfrentan limitaciones significativas a medida que la altura de las torres eólicas y la capacidad de los aerogeneradores aumentan. Los nuevos sistemas en desarrollo, como las grúas autoescalables con control remoto y las torres prefabricadas, ofrecen soluciones más eficientes, sostenibles, seguras y rentables. Implementar estas tecnologías puede transformar el sector eólico, permitiendo una mayor escalabilidad, y un menor impacto ambiental en proyectos futuros.

Referencias

- [1] <https://www.lagerwey.com/climbing-crane/>
- [2] <http://www.hwstowers.com/aircrane/>
- [3] <https://www.liftra.dk/products/lt1500-installation-crane-es>
- [4] <https://koalalifter.com/>
- [5] <https://www.nabrawind.com/nabralift/>
- [6] <https://www.esteyco.com/proyectos-esteyco/tecnologias-propias/torres-eolicas-telescopicas/>
- [7] <https://www.liftra.com/products/lt1200-self-hoisting-crane-es.html>