

Encofrados y medios auxiliares para la ejecución de edificios de gran altura



Antonio Reyes Valverde

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Director técnico de PERI, S.A.U.



Abel Ercilla Lecea

Ingeniero industrial.
Jefe técnico ULMA Construcción

Resumen

Este artículo pasa revista a las aplicaciones específicas desarrolladas para la ejecución de Edificios de Gran Altura, en el ámbito de los encofrados, andamios y medios auxiliares de construcción.

De este modo, se examinan los encofrados deslizantes, autotrepantes, encofrados para forjados, sistemas de protección de fachada, etc. y como se han ido utilizando estos sistemas en las distintas obras realizadas en España durante las dos últimas décadas.

Palabras clave

Mesas encofrantes, protección de fachadas, encofrado, autotrepante, edificios gran altura, medios auxiliares

Abstract

The article offers a review of specific applications developed for the construction of tall buildings, with respect to formwork, falsework, scaffolding and auxiliary building structures.

The article discusses sliding and climbing formwork, slab falsework, facade protection systems, etc., and examines the use of these systems on different building works carried out in Spain over the last two decades.

Keywords

Formwork tables, facade protection, formwork, self-climbing formwork, tall buildings, auxiliary structures

En la primera década del nuevo milenio, la construcción, primero de Torre Agbar en Barcelona y, posteriormente, de las Cuatro Torres de Madrid, acapararon las primeras páginas de la prensa nacional. España había entrado en la competición: ¡Altius! ¡Citius!

Y para ello había que subirse al carro de unas tecnologías que, si bien se venían utilizando por el mundo desde varias décadas atrás, en España eran poco conocidas.

Si pensamos en un Edificio de Gran Altura (en adelante EGA) como una obra lineal en altura, en la que los distintos oficios trabajan simultáneamente, unos por debajo de los otros en distintas fases de la construcción del edificio, de modo que, mientras unos equipos ejecutan los núcleos de hormigón en lo más alto de la construcción, varias plantas más abajo otros equipos se afanan en la ejecución de los forjados; por detrás, otros se ocupan de instalar zancas de escalera y un poco más abajo ya se está trabajando en el cerramiento de las fachadas... Y todos ellos disputándose el bien más preciado y escaso que se convierte en camino crítico del proceso: la grúa.

Más alto, más rápido... minimizando el uso de grúa, llegando incluso a prescindir de ella en algunas de los procesos de la construcción, pero sin sacrificar el objetivo principal: construir una planta completa de estructura por semana.

Se requiere, por tanto, disponer de unos medios auxiliares de obra que nos permitan alcanzar estos objetivos.

1. Encofrado de paramentos verticales

Independientemente de la solución estructural elegida en el proyecto, en la construcción de edificios de gran altura resulta casi obligado tener que resolver la ejecución de paramentos verticales de hormigón, ya sea en los núcleos que alojan las

cajas de ascensores y escaleras, en las fachadas, o en ambos como fue el caso de Torre Agbar.

Aunque años atrás era frecuente la ejecución de los paramentos utilizando encofrados deslizantes, técnica utilizada, por ejemplo, en los núcleos verticales de las Torres Puerta de Europa en Madrid, en la actualidad, la práctica totalidad de los EGA se ejecutan empleando encofrados autotrepantes, que ostentan en la actualidad el récord de altura, con los 828 m del Burj Khalifa, construido entre 2004 y 2010 en Dubái.

Los sistemas de encofrados deslizantes requieren un hormigonado continuo en el tiempo, 24 horas al día, siete días a la semana, en las que se simultanean los trabajos de encofrado, colocación de elementos embebidos, ferralla, etc.

Los encofrados deslizantes son de escasa altura, en el entorno de un metro, y son permanentemente izados, mediante cilindros hidráulicos, a velocidad prácticamente constante entre 10 y 20 cm por hora.

Los rendimientos alcanzados por los encofrados deslizantes son prácticamente imbatibles siempre que el acabado no sea un condicionante y las secciones a ejecutar no presenten cambios representativos de geometría.

Los encofrados autotrepantes son una evolución de los encofrados trepantes convencionales. El movimiento ascensional de los módulos de trepa, conjunto de consolas, plataformas de trabajo y paneles encofrantes, se realiza a lo largo de un sistema de carriles, fijados al propio paramento de hormigón mediante cilindros hidráulicos incorporados en el sistema, con lo que se libera de una manera significativa tiempo de grúa, pudiendo, además, operar en condiciones de viento relativamente desfavorables, aspecto muy frecuente a grandes alturas.

El condicionante de no poder usar la grúa y la necesidad de trabajar bajo condiciones adversas al viento han hecho que las aplicaciones exclusivas de los encofrados autotrepantes sean los EGA y los grandes pilonos de puentes atirantados y pilas de viaductos de gran altura, como es el caso del viaducto de Montabliz en la Autovía de la Meseta, el viaducto sobre el Barranco de Tenoya en la circunvalación de las Palmas de Gran Canaria, el Puente de La Pepa en el Nuevo Acceso a Cádiz y, fuera de nuestras fronteras, el espectacular Viaducto de Millau.

Existen básicamente tres configuraciones de autotrepas: regular, plataformas y horcas.



Fig. 1. Construcción del edificio Burj Khalifa



Fig. 2. Ejecución de uno de los núcleos de Puerta de Europa con encofrado deslizante

El sistema regular es el más sencillo y se puede aplicar, prácticamente, con cualquier tipología de muro de hormigón aunque con mayores exigencias de espacio que los otros dos.

El sistema plataforma es el indicado para la ejecución de las caras interiores de los núcleos, donde el limitado espacio impide la aplicación de un sistema Regular y se requiere un gran movimiento de paneles con un reducido número de maniobras. Este sistema permite, si fuese necesario, el izado simultáneo de los encofrados interiores y exteriores del núcleo en ejecución.

El sistema horca, (dada su semejanza con el siniestro dispositivo), está pensado para el izado simultáneo de los encofrados de las dos caras de un muro o cuando la disponibilidad de espacio es pequeña.

Es frecuente que los tres sistemas coexistan en la ejecución de un EGA, sobre todo el regular y el plataforma que suelen ser la combinación estándar para la ejecución de núcleos.

Cuando se pretende la ejecución simultánea de alzados y losas, también conocida como construcción monolítica, la



Fig. 3. Sistema Regular

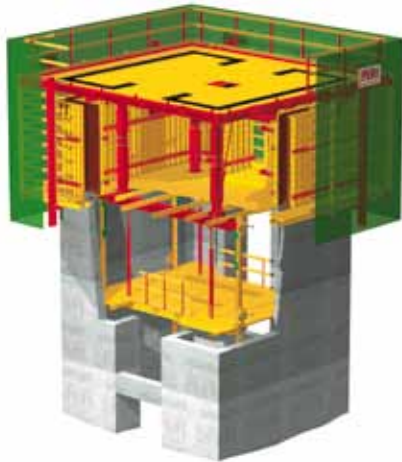


Fig. 4. Sistema Plataforma.
Ejecución de huecos interiores

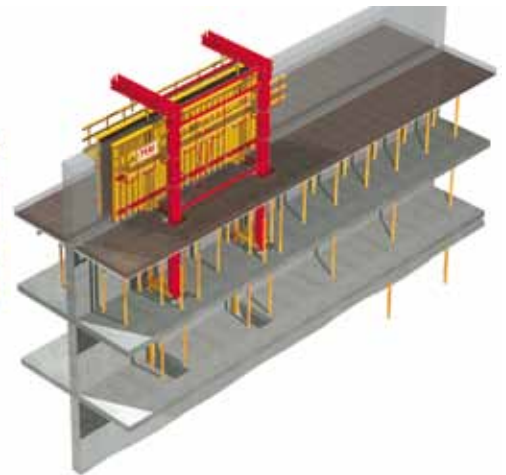


Fig. 5. Sistema Horca.
Ejecución monolítica de muros y forjados

solución idónea es el sistema horca o el plataforma con los encofrados exteriores suspendidos, como fue el caso de Torre Espacio. Al estar los encofrados suspendidos, no interfieren en la colocación de la ferralla de las losas ni en el hormigonado de las mismas. No obstante, debe tenerse en cuenta, que los puentes de los que cuelgan los encofrados cruzan sobre los muros a hormigonar, limitando las dimensiones de las jaulas prefabricadas de ferralla y no debemos olvidar que

estas deben ser lo más grandes posible para incrementar el rendimiento y minimizar la utilización de grúa.

En Torre Espacio se duplicaron los perfiles de cuelgue de los encofrados de modo que cada paño de encofrado tenía cuatro puntos de cuelgue, dos en los planos de los carriles de trepa, que se utilizaban durante las operaciones de izado y que, una vez finalizada la maniobra de trepa se abatían, quedando el



Fig. 6. Ejecución de Torre Cristal con los núcleos en avance respecto a los forjados. Combinación de sistemas Regular y Plataformas



Fig. 7. Ejecución monolítica de forjados y Núcleos en Torre Espacio. Sistema Plataforma



Fig. 8. Ejecución de Torre Bankia con dos núcleos en avance respecto a los forjados. Sistema Horca en el exterior



Fig. 9. Ejecución de Torre PwC con los núcleos en avance respecto a los forjados. Combinación de sistemas Regular y Plataformas

pañó encofrante suspendido de otros dos cuelgues, situados en los extremos del panel de encofrado, consiguiéndose así espacio suficiente para prácticamente duplicar las dimensiones de las jaulas de ferralla.

La ejecución de los EGA requieren la instalación de un brazo distribuidor de hormigón que vaya ascendiendo planta a planta con el edificio... Sí, pero sin usar la grúa.

Entre las múltiples aplicaciones de los encofrados autotrepantes, quizá la más espectacular sea la de haberse convertido

en el medio de transporte de los distribuidores de hormigón. El sistema más frecuentemente empleado para estos fines es el plataforma y, en ocasiones, el horca.

Los encofrados autotrepantes permiten llevar colgando varios niveles de plataformas para realizar distintos trabajos de acabado en los paramentos, e incluso, en Torre Cristal, en el nivel inferior de plataformas de los huecos interiores, se instaló un sistema de polipastos que permitía la instalación de las escaleras prefabricadas del edificio varias plantas más abajo. Esta solución de polipastos también se utilizó en Torre



Fig. 12. Distribuidor de hormigón en Torre Agbar. Fig.13. Sistema de polipastos instalados en las plataformas autotrepantes de Torre Cristal. Fig. 14. Distribuidor de hormigón en las Torres Fira Barcelona

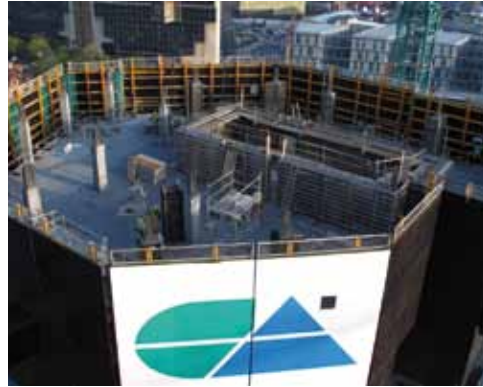


Fig. 15. Sistema de protección perimetral para las Torres Garellano en Bilbao. Fig. 16. Detalle de la protección perimetral en las Torres Garellano. Fig. 17. Sistema de protección perimetral en Torre PwC



Fig. 18. Torre Agbar

Fig. 19. Negativos metálicos de Torre Agbar

Fig. 20. Confección de los negativos de poliestireno para las Torres de Hércules

Fig. 21. Torres de Hércules

Isla Cartuja para la colocación de la estructura metálica de los forjados interiores del núcleo.

Actualmente, se están desarrollando sistemas de autotrepa ligeros, que si bien, su baja capacidad de carga, en comparación con las convencionales, las hace más limitadas en su uso, pueden ser una alternativa interesante para determinadas aplicaciones, como es el caso de las pantallas de protección de fachada. Estas pantallas de protección cubren la totalidad del perímetro exterior del edificio en tres plantas de altura: la del forjado en ejecución y dos por debajo. De este modo, se consigue una protección integral frente a caída al vacío de personas y objetos, así como una protección frente al viento de los propios operarios. Sistemas de este

tipo se han utilizado en la mayoría de las obras realizadas en España y en el mundo.

La ejecución de huecos de puertas y ventanas no presenta gran diferencia con los de cualquier construcción convencional, ahora bien, si pensamos en fachadas tan complejas como las de Torre Agbar o Torres de Hércules, donde el volumen de huecos es incluso superior al volumen de hormigón, con unas exigencias exquisitas de acabado, se hace necesario pensar en técnicas menos convencionales.

En el caso de Torre Agbar se emplearon encofrados metálicos perdidos que se iban insertando, en sus correspondientes posiciones, en las jaulas de ferralla durante su prefabricación.

En la fachada de las Torres de Hércules puede leerse la leyenda 'Non plus ultra'. Para conseguir una fachada conformada por gigantescas letras de hormigón, se dispusieron entre las dos caras de los encofrados, moldes de poliestireno expandido de alta densidad, estando recubiertas las caras en contacto con el hormigón, por una lámina rígida de PVC de 2 mm. Tras el desencofrado el poliestireno se eliminaba con motosierra.

2. Encofrado de forjados

En el caso de que los forjados del EGA se ejecuten con hormigón *in situ*, en principio se podría utilizar cualquiera de los sistemas de encofrado existentes en el mercado, no obstante y atendiendo a la necesidad de minimizar el empleo de la grúa, la tipología de encofrado más recomendable en este tipo de construcciones es, siempre que la geometría lo permita, la de mesas.

Cuanto más grande sea la mesa, más se reducen las operaciones de nivelación, traslación e izado de las mismas. En la ejecución de Torre Cartuja se necesitaban solamente 28 mesas para encofrar una planta completa.

La condición necesaria para el empleo de mesas es que las plantas a ejecutar sean repetitivas y la disposición de pilares permita efectuar el movimiento de las mesas dentro de la planta, para poder desplazarlas hacia el exterior del edificio,

para su izado a la planta superior. La traslación de las mesas se consigue bien porque la propia mesa lleve incorporada ruedas o cualquier otro medio de traslación, o bien mediante carros externos a la mesa, diseñados a propósito para este fin.

El izado de las mesas a la planta superior generalmente se realiza con la grúa.

Cuando la geometría de los sucesivos forjados o la densidad de pilares imposibilitan el empleo de mesas, la solución óptima son los modernos encofrados modulares en los que tanto los bastidores de los paneles como los puntales, de alta capacidad de carga, están fabricados en aluminio, siendo la superficie encofrante de contrachapado fenólico.

La ligereza de estos sistemas permite realizar manualmente todas las operaciones de encofrado y desencofrado, así como su movimiento y acopio en palés, dentro de la planta.

La sencillez de su manejo permite alcanzar rendimientos elevados, teniendo la ventaja adicional de que su diseño permite recuperar los paneles de encofrado sin necesidad de retirar los puntales, facilitando las operaciones de reapuntado o clareado permitiendo reducir el *stock* de material en obra.

Finalmente, otra ventaja fundamental de este tipo de encofrados es que pueden ser izados de una a otra planta



Fig. 22. Mesa de grandes dimensiones utilizada en Torre Isla Cartuja. Fig. 23. Extracción de una mesa en Torre Isla Cartuja. Fig. 24. Torres Fira Barcelona. Combinación de mesas perimetrales y encofrado modular de aluminio

sin necesidad de usar grúa, un cabrestante o medio de elevación similar, instalado en el forjado superior puede ser suficiente para izar los palés contenedores de los paneles y puntales.

Aunque, probablemente y sin menoscabo de los sistemas señalados anteriormente, la ejecución más espectacular de los forjados de un EGA en España pudo ser la del edificio de acogida y congresos del Bilbao Exhibition Center (BEC).

Tras ejecutar con un sistema autotrepante los cien metros de altura del núcleo de la torre del edificio de acogida y congresos, se construyó sobre él un emparrillado de vigas pretensadas de 4.48 m de canto, con una superficie equivalente a la de una planta, 25.8 x 29.40 m². Este emparrillado era conocido como el "Hat". Posteriormente se ejecutaron los 9 forjados del edificio en orden descendente, quedando los forjados colgados, mediante cables, del Hat. Finalmente se tesaban e inyectaban los cables.

Para llevar a cabo esta ejecución, se diseñó una cimbra de estructura metálica, con un peso aproximado de 325 Tn y una superficie ligeramente superior a la de los forjados de la torre. Esta cimbra se ancló en la coronación del núcleo de la torre sirviendo en un primer momento de encofrado de fondo de las vigas del Hat y dio apoyo a los encofrados laterales de las mismas.



Fig. 25. BEC. Montajes de los encofrados de las vigas del HAT, con la cimbra posicionada en coronación de la torre



Fig. 26. BEC. Cimbra posicionada para el hormigonado del 6º forjado

Una vez ejecutado el Hat y adquirida la resistencia necesaria, la cimbra se descolgaba, mediante cuatro cilindros hidráulicos similares a los empleados en los tesados, situados en la parte superior del propio Hat, hasta la posición del forjado inmediatamente inferior al Hat, se anclaba nuevamente al núcleo, en anclajes perdidos ejecutados al efecto durante el hormigonado del mismo. La cimbra se había convertido así en el encofrado de fondo del forjado. Tras ocho repeticiones de esta maniobra, se completaron los nueve forjados de la torre.

3. Otros medios auxiliares

Aprovechando elementos estandarizados de los propios sistemas de encofrados, los fabricantes de estos han desarrollado un importante número de elementos auxiliares para la ejecución de los EGA, tales como plataformas voladas fuera de la línea de fachada que permiten acopiar materiales para que queden accesibles para la grúa o para un cabrestante ubicado en otra plataforma similar unas plantas más arriba.

Otras instalaciones imprescindibles en un EGA, que puede instalarse fácilmente aprovechando, por ejemplo, cualquiera de las plataformas de las autotrepas interiores de los núcleos, son los sanitarios, evitando así el constante trasiego de los operarios hacia la superficie y la consiguiente pérdida de rendimiento.



Fig. 27. Izado de una mesa de forjado mediante polipasto instalado en una plataforma volada



Fig. 28. Torre de ascensores en Torre Cristal. Fig. 29. Detalle de la Torre de ascensores de Torre Cristal
Fig. 30. Torres de ascensores en Torre Iberdrola

Pero sin duda, uno de los medios auxiliares más espectaculares, desarrollados para este tipo de obras, son las torres que alojan los ascensores y montacargas.

Estas torres son estructuras metálicas que van creciendo, adosadas al EGA, a su mismo ritmo y con su misma modulación de plantas. Su finalidad es servir de carrileras para los ascensores y montacargas y al mismo tiempo, generar las superficies necesarias de desembarco y acceso a las distintas plantas del EGA.

En Torre Cristal se instaló una de estas torres con capacidad para cuatro ascensores y un montacargas.

Nuevamente se consiguió un importante ahorro de horas de grúa ya que todo aquello que cabía en el montacargas no precisaba de grúa para su elevación, como por ejemplo los grandes paneles del muro cortina.

Una solución idéntica fue adoptada también en Torre Iberdrola.

Actualmente se está ejecutando en Madrid la nueva sede del BBVA y aunque su edificio emblemático, popularmente conocido como 'El Euro' en clara alusión tanto a su forma como a su propiedad, quizá esté en los límites de lo que pueda considerarse como EGA, merece la pena reseñar que,



Fig. 31. Nueva sede del BBVA. Muro exterior ejecutado con trepa convencional

aunque el núcleo ha sido ejecutado con encofrados auto-trepantes, los constantes cambios de inclinación del muro exterior, tongada tras tongada, han obligado a ejecutar estos muros exteriores con encofrados trepantes convencionales izados mediante la grúa. **ROP**