

Soluciones con acero activo en la remodelación integral de las Torres Colón (Madrid)

Posttensioned solutions for the total retrofitting of Torres Colón skyscraper (Madrid)

Sierra Ruiz Rabadán^a, Fernando Martínez Pérez-Beato^b y Damián Yerone Neustadt^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DYWIDAG. Responsable Postesado España. sierra.ruiz@dywidag.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DYWIDAG. Director técnico. Fernando.martinez@dywidag.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DYWIDAG. Responsable Obras. damian.yerone@dywidag.com

RESUMEN

La remodelación de las Torres Colón en el centro de Madrid supone un hito para la ingeniería. El edificio colgado más emblemático de España ha sido objeto de una remodelación integral en la que detalles estructurales con acero activo aportan soluciones innovadoras para este gran reto. El acero activo está presente tanto en la cimentación de los núcleos permitiendo aumentar significativamente su resistencia, como anclando elementos esenciales para la ejecución como son las dos grúas torre, además de servir de elemento auxiliar para situaciones provisionales como apeo de pilares de grandes dimensiones y de manera crucial reforzando los tirantes de fachada de una manera estética y funcional.

ABSTRACT

The retrofitting of the Torres Colón in the centre of Madrid is a milestone for engineering. The most emblematic hanging building in Spain has undergone a comprehensive refurbishment in which structural details with posttension steel provide innovative solutions for this great challenge. Post-tensioning systems are present both in the foundations of the cores, allowing them to significantly increase their resistance, and anchoring essential elements for the execution such as the two tower cranes, as well as serving as an auxiliary element for provisional situations such as shoring large pillars and crucially reinforcing the façade stays in an aesthetic and functional way.

PALABRAS CLAVE: acero activo, barras alto límite elástico, rehabilitación, refuerzo.

KEYWORDS: post-tension steel, post-tensioning bars, repair and strengthening

1. Introducción

Los dos rascacielos de Torres Colón se finalizaron a mediados de los años 70 siendo el edificio de oficinas más alto de Madrid en ese momento.

Su ubicación en la intersección entre el Paseo de la Castellana y la calle Génova, hace más aún si cabe significativo este edificio y, por otro lado, trascendental el plantear su

rehabilitación con la mínima afección al tráfico y el tránsito del corazón de la ciudad.

Con estas premisas, el proyecto se desarrolla en varias fases y con los medios técnicos más innovadores, entre los que destaca el acero activo y la adecuación de sistemas tradicionales para el reto que presenta este proyecto singular.

Se describen a continuación cuatro intervenciones con acero activo realizadas por Dywidag en distintas fases de la obra.

2. Anclaje grúas torre

El inicio de las obras está marcado por la implantación de los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los trabajos. En cualquier obra de edificación, es primordial la ubicación de las grúas torre que faciliten el movimiento de cargas en el transcurso de la obra. En este caso, estas dos grúas se ubican dentro de cada una de las torres, por lo que el anclaje que garantice su correcta fijación es primordial y muy diferente a la habitual fijación en zonas con mayor espacio en planta.



Figura 1. Vista general del edificio con las dos grúas torre instaladas.

Las grúas han estado instaladas durante más de dos años, por lo que además de la correcta instalación de las barras de alto límite elástico Dywidag de diámetros 26.5 y 32mm, es preciso cuidar con detalle su protección. La ejecución del acero activo en este caso se materializa mediante barras verticales que

atraviesan la losa y horizontales que se anclan al núcleo de cada una de las torres.



Figura 2. Detalles anclaje vertical superior e inferior

El tesado se ejecuta con equipos compactos de gran precisión para garantizar la carga en la vida útil y adaptarse a los estrictos requerimientos geométricos.

El proceso de tesado de tendones cortos se realiza en varias fases, con una comprobación final que garantice la carga de cada una de las 48 barras verticales y 36 barras horizontales que componen el anclaje de cada una de las grúas. El objeto de este proceso iterativo es la disminución de las pérdidas instantáneas que en tendones cortos pueden significar un alto porcentaje de la carga aplicada. El proceso, por tanto, consta de los siguientes pasos:

1. Ajuste inicial y medida de sobrelongitud de barra
2. Tesado de cada una de las barras al 50% de la carga final y ajuste de tuerca.
3. Tesado de cada una de las barras al 100% de la carga final y ajuste de tuerca
4. Comprobación final de cada anclaje.

Tras la verificación del tesado y validación de la operación, el siguiente paso aún tratándose de anclajes provisionales es la protección de la totalidad del anclaje de barra. En este sentido hay dos soluciones:

- a) Las barras horizontales quedan inyectadas con lechada de cemento con una solución adherente.
- b) Las barras verticales disponen de la longitud libre protegida con cintas grasas y se colocan caperuzas con

gel/grasa en cada uno de los extremos de modo que la solución está protegida y resulta retesable y sustituible.

3. Apeo provisional pilares

En la remodelación de este rascacielos fue preciso realizar el apoyo provisional de alguno de sus pilares. Esta maniobra resulta de significativa complejidad por las dimensiones de estos pilares y su sección con caras curvas. El diseño de la estructura metálica quedaba anclada al pilar existente en dos direcciones mediante barras Dywidag de 40mm tesadas a carga máxima.

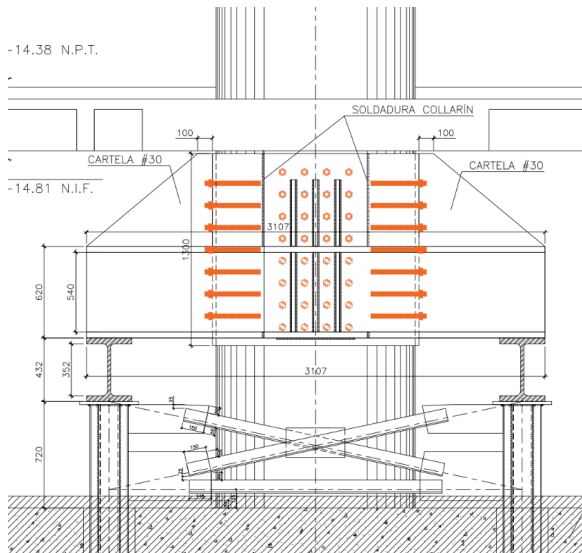


Figura 3. Detalle estructura apeo pilar ascensores

Al tratarse de barras cortas, resultaba primordial el control de cargas puesto que las pérdidas instantáneas suponían un alto porcentaje de la carga de tesado y era preciso garantizar una carga mínima para la correcta transmisión de esfuerzos en la estructura auxiliar.

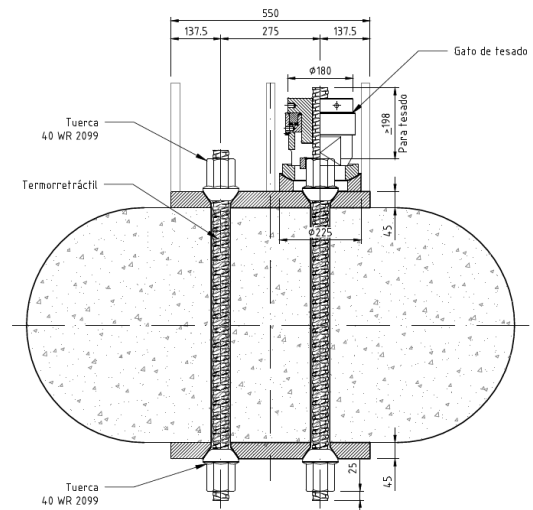


Figura 4. Esquema sección colocación gato de tesado

Los gatos a emplear son planos de carrera corta, con un puente en rótula biselado especialmente diseñado para encajar entre las cartelas de la estructura metálica. Además, el proceso de tesado en varias fases con comprobaciones intermedias y finales garantizó la carga de proyecto. Por último, se instalaron caperuzas para inyectar todos los anclajes con lechada homologada acorde a credencial DCOR (*Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido*).



Figura 5. Vista barras tesadas

4. Refuerzo cimentación de los núcleos

La cimentación original y el núcleo de ambas torres se refuerza mediante tendones multicordón adherentes formando una trama en tres dimensiones respetando los condicionantes establecidos en la Evaluación Técnica del Sistema ETAs 13/0815. El acero activo en este caso se divide en 3 zonas:

4.1 Postesado multicordón adherente en zapatas de los núcleos.

El refuerzo de la cimentación existente de los núcleos para aumentar su capacidad se ejecuta mediante la ejecución de micropilotes, un recrecido de hormigón hasta alcanzar en planta aprox. 17x17m y su posterior cosido mediante tendones de 15 y 27 cordones adherentes de 0.62”.

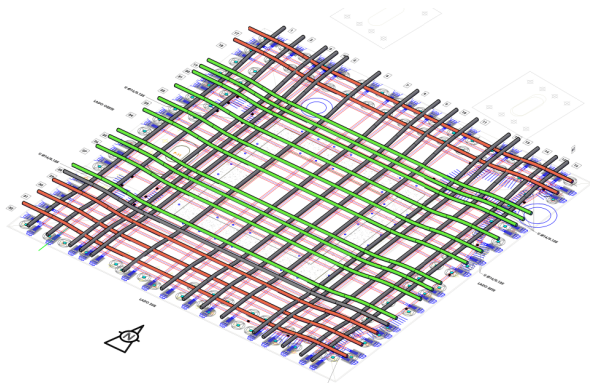


Figura 6. Detalle trama tendones cimentación

El trazado de cada tendón se estudia de manera detallada analizando interferencias con otros elementos de la cimentación existente y teniendo en cuenta la disposición de anclajes pasivos embebidos en las zonas sin acceso que coinciden con las medianeras de ambas torres.

La inclinación de los anclajes superiores está condicionada por la posición del gato en el momento del tesado y la distancia entre los ejes de cada tendón por las distancias mínimas recogidas en la citada ETAs 13/0815.

La primera operación a ejecutar es la de enfilado de los tendones prestando especial atención a la instalación de los anclajes embebidos que tras el hormigonado no son accesibles.



Figura 7. Tesado anclajes cimentación

En segundo lugar, el proceso de tesado se realizó con objeto de optimizar la transmisión de la carga de tesado a la nueva cimentación. Para ello, en cada una de las dos capas de tendones, el tesado se comienza desde tendones centrales hacia el exterior de la trama de manera compensada.

Por último, la inyección de los tendones se realiza con la lechada homologada acorde a credencial DCOR.

4.2 Postesado multicordón adherente vertical en los núcleos

Al igual que la cimentación, la nueva configuración de Torres Colón exigía el aumento de la capacidad de sus núcleos. Con este objetivo se aumenta el espesor de los mismos mediante un recrecido de hormigón que se une a la estructura existente en dos direcciones.

El recrecido se realiza en las dos caras del núcleo, y es justo en esta zona donde se disponen anclajes de 6 cordones adherentes verticales con un anclaje pasivo embebido en cota inferior.

Estos tendones de una longitud aproximada de 14m y 17m se premontaron en el almacén de Dywidag para facilitar su instalación.

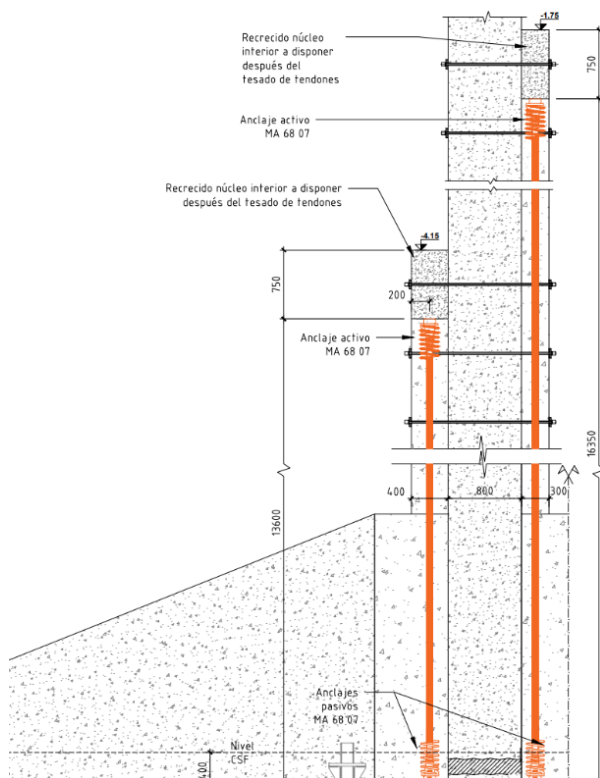


Figura 8. Sección anclajes verticales núcleos

A medida que se aumenta la cota del encofrado y hormigonado del recrecido del núcleo, se van posicionando los tendones verticales. En este tipo de operaciones es primordial señalar e identificar cada uno de los tendones, de manera que en cualquier momento sea posible verificar su posición y la ubicación de las purgas a través de las cuales se realizará la inyección de lechada de cemento.

4.3 Postesado barras alto límite elástico cosido transversal núcleos

La tercera familia de acero activo en cimentación y núcleos corresponde a barras de diámetro 36mm tesadas e inyectadas con lechada de cemento. Suponen un total de 280 anclajes para los núcleos de las dos torres.

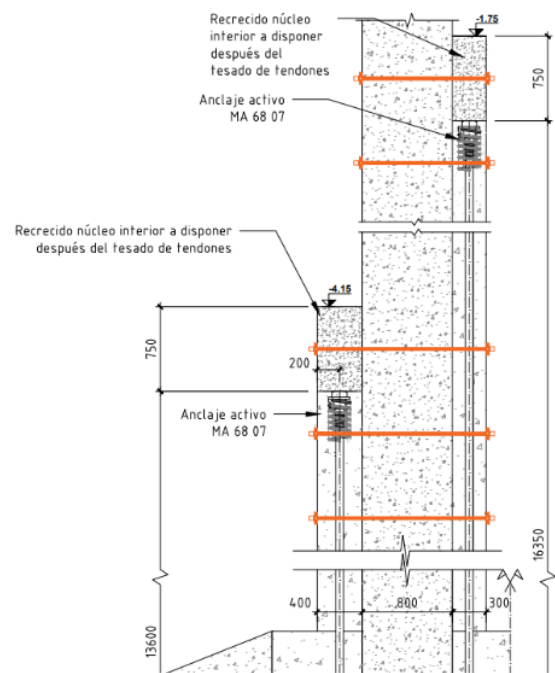


Figura 9. Sección horizontal con barra Dywidag 36WR en núcleos

En la siguiente imagen el esquema de instalación de este tipo de barras:

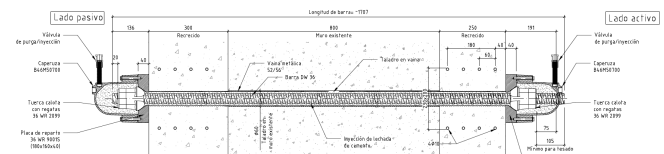


Figura 10. Detalle anclaje adherente barra Dywidag 36WR en núcleos

Sobre cada uno de los taladros a ejecutar en los núcleos, se dispone una vaina metálica corrugada que da continuidad a la zona del recrecido. El hormigonado se realiza con la barra instalada, como buena práctica para garantizar la posición de la barra. Esta solución de anclaje de barra adherente queda recogida en la Evaluación Técnica del Sistema ETAs 05/0123 para soluciones permanentes.

Al igual que en las aplicaciones de este tipo de barras como anclaje de las grúas torre y para apeo de pilares, el tesado se realiza en varias fases para disminuir las pérdidas instantáneas y garantizar la carga final de cada anclaje.

5. Tirantes en fachada

La última partida de acero activo que completa el refuerzo en fachada es la más singular por los estrictos requerimientos técnicos y estéticos a los que añadir las restricciones de espacio para su instalación.

Cada una de las Torres Colón disponen de 18 tirantes en fachada ejecutados en hormigón y traccionados desde su construcción por la configuración de edificio colgado. La remodelación integral de las torres exigía aumentar la capacidad de estos tirantes mediante parejas de 3 cordones de 0.62" enfundados y encerados por tirante de casi 70m de longitud. Para su ejecución se dispone de una pieza metálica en forma de U para los anclajes activos inferiores y un terminal superior en forma de horquilla que completa cada pareja de tirantes de 3x0.62" con tecnología de tirante DYNA Grip® y añadiendo protección ignífuga.

La pieza metálica en forma de U debía tener unas características geométricas que permitiera la transmisión efectiva del esfuerzo desde los nuevos tirantes a los tirantes primitivos de hormigón. Por su importancia estructural y su afección a la estética de la fachada, se realizó un mock-up con objeto de visualizar y contrastar estructuralmente su adecuación antes de la toma de decisión final de esta pieza singular.

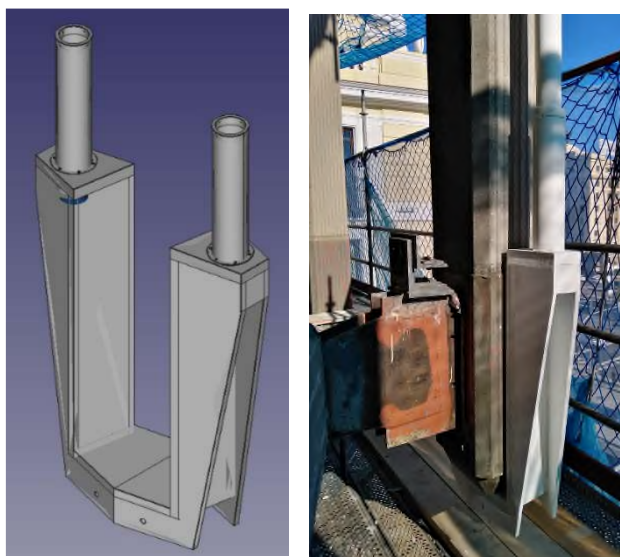


Figura 11. Detalle mock-up pieza metálica

La tecnología de tirantes está tradicionalmente enfocada a la construcción civil de puentes atirantados de grandes luces. El catálogo de DYWIDAG dispone de tirantes desde 4 y hasta 127 cordones, por lo que en primer lugar fue necesaria la adaptación del sistema tradicional a un tirante de fachada con únicamente 3 cordones y distintos terminales en cada uno de los extremos.

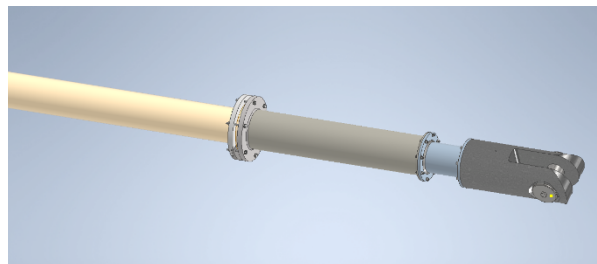


Figura 12. Diseño anclaje superior tipo Clevis

La segunda y difícil premisa a demostrar de estos nuevos tirantes fue la resistencia al fuego REI-120. En este caso fue preciso la realización de dos ensayos en laboratorios acreditados de los tirantes de proyecto.

5.1 Ensayos resistencia al fuego

El primer ensayo a 608°C del elemento resistente principal, es decir, el tirante de 3 cordones con protección ignífuga, se instala sin ser tesado y se controla la temperatura durante todo el ensayo. El horno sigue el patrón de temperatura marcada por la curva de fuego exterior nº3 de EN 13501-1_2019 y se mide la temperatura en distintos puntos a lo largo del tendón mediante la disposición de 16 termopares situados entre los cordones. Al finalizar este ensayo se obtiene la curva de temperatura en los cordones frente al tiempo de duración del mismo. El criterio de aceptación que se cumplió en este caso es que en 3 secciones no se excediera de los 300° a los 120 minutos.

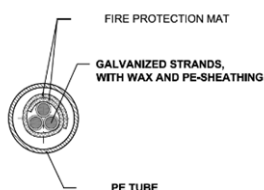


Figura 13. Detalle protección ignífuga tirantes con mantas enrolladas

El segundo ensayo a 300°C se realizó acorde a lo estipulado en PTI 7ª Edición (2018) sobre un cordón tesado a 0.45 GUTS (45% de la carga nominal de rotura del cordón) con el conjunto cordón+cuña+anclaje y con una temperatura de 300°C mantenida al menos 120 minutos. Además, se realizaron ensayos adicionales con distintos patrones de carga por encima de los 300°C y con el cordón tesado a la misma carga:

- Ensayo 2.1: 300°C durante 120min
- Ensayo 2.2: 300°C durante 90min + 400°C del minuto 90 al 120.
- Ensayo 2.3: 300°C durante 60min + 400°C del minuto 60 al 120.
- Ensayo 2.4: 300°C durante 70min + 400°C del minuto 70 al 100 + 430°C del minuto 100 al 120.

En todos los casos no se observa rotura ni deslizamiento del conjunto. Es considerado aceptado al resistir la carga aplicada durante los 120 minutos sin fallo en los componentes del sistema.

La combinación de ambos ensayos muestra, si el sistema compuesto por cordón, cuña, bloque de anclaje y protección ignífuga, tiene la resistencia estructural requerida. Por tanto, se da validez al sistema de protección ignífuga para REI-120 garantizando la capacidad

portante, la integridad del sistema y el correcto aislamiento del innovador diseño de los tirantes.

5.2 Prefabricación

La segunda e importante premisa para la instalación de los tirantes son las restricciones de espacio. Los tirantes han de ser instalados sin afección al tráfico y al tránsito peatonal en la confluencia de dos de las calles más transitadas de la capital. Por ello, la propuesta de Dywidag fue la prefabricación de cada uno de los tirantes en taller para ser desenrollados y colocados en su posición antes de ser tesados.



Figura 14. Imagen tirantes prefabricados

Este método innovador en la instalación de tirantes de longitudes tan elevadas requirió de un pormenorizado estudio de los radios de curvatura admitidos. Si bien un único cordón podría admitir radios de curvatura de 1.5m, el tirante en este caso no solamente estaba compuesto por los 3 cordones de acero activo. El conjunto acero, con la protección ignífuga en dos capas más la protección exterior con vaina de PE debía poder enrollarse para ser transportado e instalado, y una vez tesado y en su posición definitiva no presentar ningún tipo

de variación geométrica debida al proceso de premontaje. Tras diversas pruebas en taller, se optó por esta solución con devanadoras especiales para su uso en esta aplicación. Por último, hay que destacar que la prefabricación en taller es sinónimo de garantía, ya que permite además, un estricto control en la colocación del sistema de protección frente al fuego tanto en la longitud libre del tirante como en las transiciones a la zona de anclajes.

5.3 Instalación y tesado

El izado de los tirantes a su posición definitiva desde los carretes verticales se realiza con ayuda de cabrestantes y poleas, controlando la velocidad de izado. Una vez el anclaje pasivo formado por una horquilla o clevis queda embulonado en su posición final, se coloca el anclaje activo inferior y se tesa con gato unitario. El tesado se realiza de modo compensado entre los distintos anclajes.

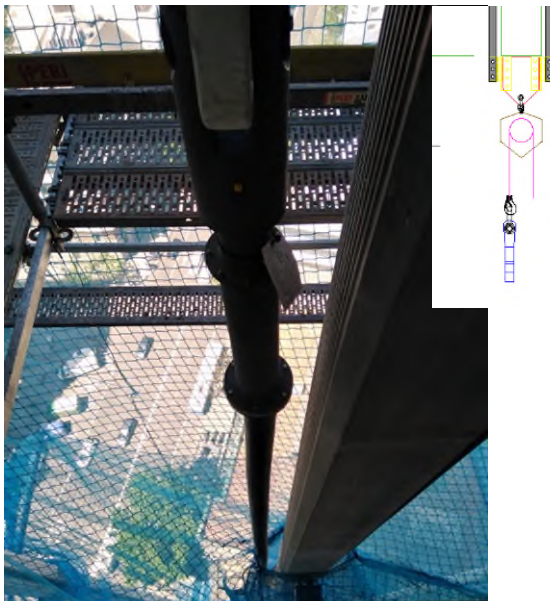


Figura 15. Imagen anclaje superior tras izado

Tras el tesado de los tirantes y su validación por el equipo técnico, se realiza la protección definitiva del anclaje activo.

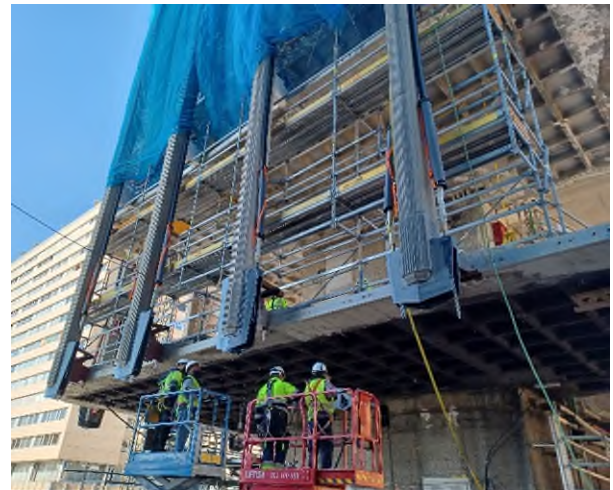


Figura 16. Imagen anclaje inferior activo de los tirantes

6. Conclusión

La remodelación de Torres Colón supone una inversión para mejorar y adaptar a nuevos usos una estructura de más de 50 años. En este tipo de trabajos, resulta primordial el análisis del escenario real para adaptar las nuevas tecnologías de la construcción y conseguir de este modo innovaciones singulares como es el caso de la tecnología de postesado.



Figura 17. Vista general una de las fachadas en obra con los tirantes instalados

Agradecimientos

A DRAGADOS y principalmente a Rodrigo Rincón por apostar por la calidad de los trabajos y confiar en DYWIDAG para su ejecución en Torres Colón.

Al gran equipo de profesionales que ha hecho posible esta icónica remodelación: Calter, Fhecor y Luis Vidal Arquitectos.