

Medios auxiliares y aspectos constructivos de las obras exteriores y de ampliación de las Torres de Colón en Madrid.

Auxiliary Means and Construction Aspects of the Exterior Works and Expansion of the Torres de Colón in Madrid.

Juan Luis Bellod^a, Fabiola Pierantoni^b, Mercedes Madrid^c, Rodrigo A Rincón^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CESMA Ingenieros. Director General. cesma@cesmaing.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Dirección Técnica. fpierantonisi@dragados.com.

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos / Prof ETS ICCyP UPM. / Jefe Servicio Estructuras Edificación
DRAGADOS. Dirección Técnica. mmadridr@dragados.com.

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Delegación de Madrid.
rarinconb@dragados.com.

RESUMEN

Las actuaciones realizadas en las Torres de Colón incluyeron principalmente la realización de 4 nuevas plantas de remonta más la cubierta, la construcción de un nuevo núcleo de comunicación vertical, el recalce de las cimentaciones existentes, la construcción de vestíbulos colgados entre Torres, el refuerzo de los tirantes existentes y la disposición de una nueva envolvente del conjunto. Todas estas actividades requirieron de una serie de Medios Auxiliares singulares y adaptados a las limitaciones de espacio de una obra situada en el centro de una gran ciudad, así como a la singularidad de la estructura existente, con 21 plantas tipo colgadas de las vigas postesadas de cubierta.

ABSTRACT

The actions carried out in the Colón Towers included an increase in 4 new floors plus the roof, the construction of a new vertical communication core, the underpinning of the existing foundations, the construction of hanging hallways between Towers, the reinforcement of the existing braces, in addition to other interventions and the provision of a new façade for the complex. All these activities required a series of unique Auxiliary Means adapted to the space limitations of a site located in the center of a large city, as well as to the uniqueness of the existing structure, with 21 typical floors hanging from the post-tensioned roof beams.

PALABRAS CLAVE: recalce con micropilotes, grúas en altura, apeos sucesivos, izado, demoliciones.

KEYWORDS: underpinning with micropiles, roof cranes, consecutive shoring, hoisted, demolitions.

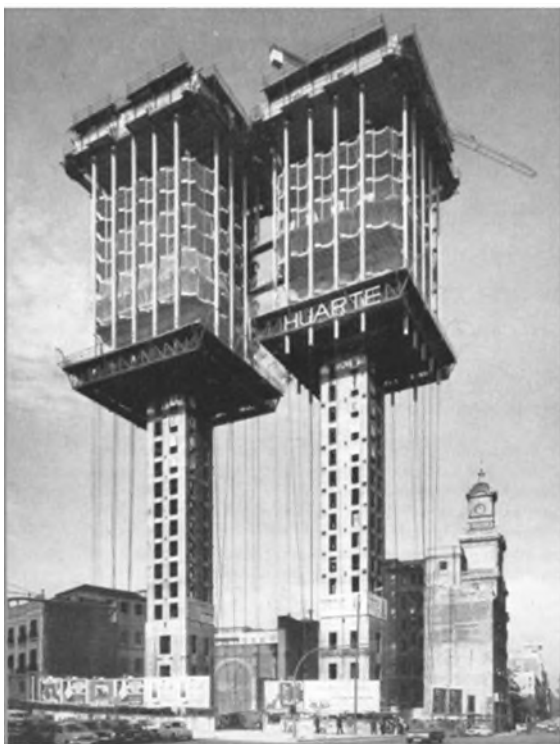
1. Descripción general.

La reforma integral de las emblemáticas Torres de Colón de Madrid incluía el recrecido de 5 forjados nuevos de remonta, la construcción de un nuevo núcleo de comunicación vertical, el

recalce de las cimentaciones existentes, la construcción de nuevas pasarelas de comunicación entre las torres, y otra serie de actuaciones de refuerzo. Todas estas actividades

requerían de unos medios auxiliares singulares y adaptados a las limitaciones de espacio de una obra en el centro de una gran ciudad.

Al condicionante principal de la localización de la obra se unía la singularidad de la estructura original, que en su día fue muy novedosa, al tratarse de dos torres de 80m de altura, con sus plantas colgadas de sendas vigas postesadas dispuestas para tal fin en la cubierta.



**Figura 1. Procedimiento constructivo descendente
Torres originales (1967)**

Para acometer las actuaciones de ampliación de las Torres fue necesario estudiar a fondo el procedimiento constructivo original. En 1967 dio comienzo la construcción del Proyecto del arquitecto Antonio Lamela y los ingenieros Leonardo Fernández Troyano, Javier Manterola y Carlos Fernández Casado. Se construyeron en primer lugar las pantallas continuas de contención y las seis plantas de sótanos comunes a ambas torres, para luego elevar los núcleos de comunicación vertical de cada una de las torres. Sobre cada uno de los núcleos se ejecutaron las vigas postesadas en voladizo de las que se fueron colgando las plantas tipo desde la Pl 25ª hasta la Pl 4ª. Los tirantes no eran tirantes traccionados, sino que

eran activos y trabajaban postesados, comprimiendo el recubrimiento de hormigón contra las vigas de cubierta

Durante la vida en servicio de las Torres, se produjeron diversas remodelaciones y actuaciones, destacando el icónico “enchufe” que pretendía ocultar una gran estructura metálica de la que colgaban unas escaleras de evacuación que fue necesario ejecutar para cumplir con las nuevas Normativas de Incendios.

Todos los aspectos anteriores condicionan los distintos Medios Auxiliares y Procedimientos Constructivos empleados para abordar las obras recién terminadas. Desde los trabajos en un sótano -6, la imposibilidad de ocupar espacio exterior para grúas y acopios, hasta la necesidad de dejar varias plantas sucesivas apoyadas en apuntalamientos para generar los apoyos del nuevo núcleo de comunicación vertical.

2. Implantación de grúas en la cubierta existente.

La ejecución de los trabajos en ambas Torres exigía el empleo de dos grúas, que debieron colocarse en las cubiertas de éstas ante la imposibilidad de ocupar las aceras durante el plazo de obra. Tal como se ve en Figura 2, para el montaje de las mismas se requería de una grúa de gran tonelaje, que en este caso sí ocupó temporalmente la calle Génova.



Figura 2. Montaje de grúa sobre torres originales

El procedimiento completo obligó a varios estudios previos. Por una parte, se analizó si el peso de la grúa móvil en circulación afectaba a alguna infraestructura en su recorrido hasta su posición temporal en la calle. Una vez en su posición, debía estudiarse la posible afección de los apoyos (carga máxima por pata 1160 kN) a la bóveda de Metro de la línea 4 situada a unos 6 metros, concluyéndose que las tensiones en los elementos de la bóveda eran admisibles.

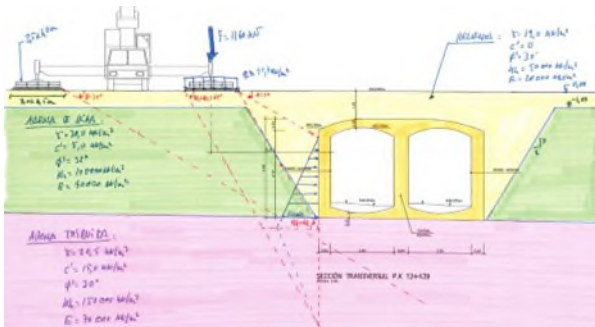


Figura 3. Estudio de cargas sobre túnel de metro

Desde la calle, cada grúa torre se elevó y se situó sobre unos bastidores formados por vigas metálicas armadas de 1 m de canto que se apoyaban sobre las vigas de cubierta con canto variable de entre 3 y 5 m, y se estabilizaron lateralmente mediante barras pretensadas de alta resistencia ancladas en los laterales inferiores de las vigas para evitar afectar a los postesados de las mismas (Figura 4). El bastidor constó de vigas en las dos direcciones para garantizar la transmisión de los esfuerzos de la grúa trabajando en todas las posiciones posibles con 360° de giro. Las grúas tenían una altura bajo gancho de hasta 42 m y transmitían al bastidor un momento flector de hasta 1815 kNm.

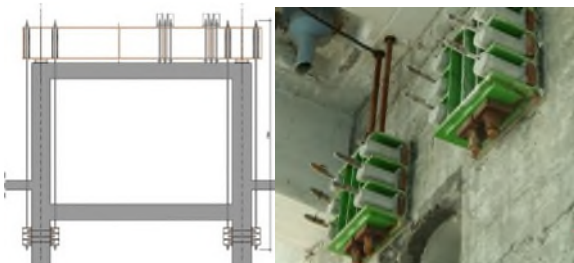


Figura 4. Anclaje de bancada para grúa a las vigas de cubierta

Las grúas quedaron replanteadas coincidiendo con los núcleos de comunicación vertical existente en cada torre, de manera que cuando se llegó a la fase de elevación de las plantas de remonta, estas dejaban a la grúa dentro de la prolongación en estructura metálica de los núcleos. Por esta razón, los bastidores se replantearon dejando el espacio suficiente para los arranques de la estructura de prolongación de los núcleos.

Una vez instaladas las grúas se realizó un seguimiento topográfico de los movimientos de estas analizándose tanto los desplazamientos máximos como las vibraciones transmitidas a la estructura. El comportamiento del conjunto grúa-estructura se vio modificado al eliminarse las estructuras de escaleras de evacuación, y posteriormente al irse conectando las torres mediante los vestíbulos colgados.



Figura 5. Maniobra de posicionamiento de la grúa sobre bastidor de cubierta y vista general de ambas grúas.

3. Recalce de la cimentación.

Las nuevas plantas de remonta y el nuevo núcleo de comunicación vertical implicaban un incremento de esfuerzos importantes en las cimentaciones. Existía también un problema de reacción árido-álcali en los cimientos, por lo que el recalce de la cimentación era imprescindible para solucionar ambos problemas.

La cimentación de cada una de las torres se recalzó mediante un encepado de 17x17m con canto variable de 1.4 a 3 m y 120 micropilotes de 17.5m de longitud. Este gran encepado se

conectó con el cimiento existente mediante cables de postesado para garantizar así la transmisión de cargas.

La ejecución en plazo de estos recalces obligó a trabajar simultáneamente a varios equipos y maquinarias en un recinto cerrado en un sexto sótano. Los problemas principales fueron, por un lado, la necesidad de instalación de un sistema de extracción de humos y por otro lado el acceso desde la calle de las máquinas por unas rampas con ancho limitado y en ocasiones invadidas parcialmente por apuntalamientos necesarios para otros tajos que avanzaban simultáneamente.

Entre los 120 micropilotes había que encajar los 62 tendones de postesado dispuestos en ambas direcciones y ambas caras (Figura 6), así como también los armados pasivos superiores e inferiores, y una densidad importante de refuerzos en las cabezas de anclaje[1]. En obra, una vez ejecutados los micropilotes se reajustaron las posiciones de tendones y barras corrugadas para permitir el correcto hormigonado y vibrado. La cara superior del encepado es inclinada, por lo que los tendones superiores siguen esta forma y obligaron a un refuerzo específico en las cabezas para evitar que

las presiones del bulbo de anclaje provocasen el desprendimiento del recubrimiento. El canto máximo del encepado de 3 m no dejaba prácticamente espacio con el forjado superior, dificultando aún más las tareas de colocación de los armados y tendones

Además de los núcleos también se recalzaron con micropilotes las cimentaciones de los pilares que se recrecían para soportar el nuevo núcleo de comunicación vertical. En estos casos se apeaba el pilar para poder realizar el recrecido de hormigón, así como el recalce.

La ejecución de todos los recalces se compatibilizó con otros trabajos de recrecidos de pilares, vigas de emparrillados, etc. La gran complejidad de los trabajos de recalce hizo necesario que se estudiase la viabilidad de que en caso necesario se pudiera avanzar con el montaje de remonta y vestíbulos colgados antes de completar los recalces. El estudio realizado concluyó que la tensión máxima arrojada al terreno por la cimentación de las Torres con remonta, vestíbulos y viento, pero sin sobrecargas, no superaba la tensión máxima del terreno de 12.8 kg/cm^2 , aunque debía controlarse el efecto de los posibles giros y sus efectos en las grúas de cubierta.

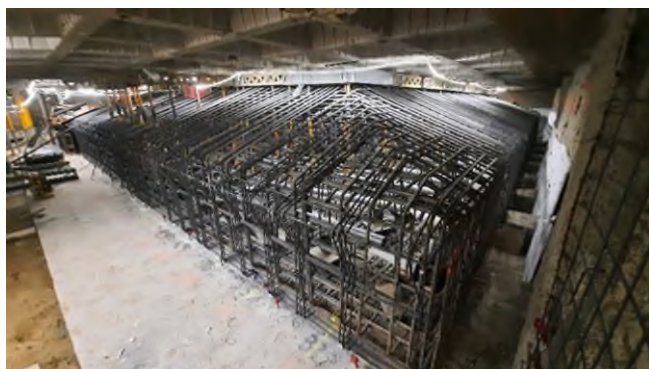


Figura 6. Vista del encepado de recalce de los núcleos existentes antes y después del hormigonado.

4. Nuevo núcleo de comunicación vertical y refuerzo de los núcleos existentes

El nuevo núcleo de comunicación vertical arranca de un entramado de vigas de hasta 4 m de canto situadas en sótano -1, las cuales quedan soportadas por una serie de pilares previamente recalzados y recrecidos. Para la ejecución de este entramado se apeó provisionalmente todo el perímetro del forjado que debía apoyarse en el nuevo núcleo, y posteriormente se demolieron los forjados de Sótano -1 y Planta Baja en toda la huella de las vigas de apeo. La ejecución del recrecido de los pilares que soportan el entramado de vigas obligó también a apear los forjados circundantes a cada uno de ellos.

Durante toda la operación de construcción de las grandes vigas de arranque del nuevo núcleo y la ejecución de los recrecidos de los pilares soporte, los forjados quedaron sustentados por un apuntalamiento provisional (Figuras 7 y 8) que se prolongó el número de plantas suficientes para garantizar que los forjados inferiores fuesen capaces de soportar el reparto de cargas. La gran dificultad que presentó esta etapa fue la necesidad de ir adaptando la disposición de los puntales a diversas necesidades puntuales de obra: paso de maquinaria por zonas ya apuntaladas, necesidad de refuerzo de puntales por incremento de cargas de construcción en un momento determinado, interferencias con otras tareas, etc.



Figura 7. Apuntalamiento para recrecido de pilares.

Las plantas 1ª, 2ª y 3ª son comunes a las dos torres y están resueltas mediante vigas o cerchas metálicas que soportan forjados de chapa colaborante. Estas plantas también fueron apuntaladas para poder cortar la estructura en la huella del nuevo núcleo y posteriormente darle apoyo sobre éste. Todo este apuntalamiento superior acaba descargando sobre los apuntalamientos inferiores. Cualquier cambio en los apuntalamientos de un nivel, debido a las necesidades de obra anteriormente indicadas, obligaba a revisar la repercusión en los demás niveles de apuntalamiento superiores o inferiores.



Figura 8. Perímetro apuntalado en la huella del nuevo núcleo.

Se emplearon puntales fuertes que, para elementos ya hormigonados, soportaban cargas de uso de 73 y 90 kN para alturas de 3 y 3.5 m. Ir a puntales ordinarios con capacidades menores hubiera obligado a un número de puntales incompatibles con los trabajos simultáneos a realizar en cada una de las plantas. Estas cargas de uso elevadas exigieron que en todas las plantas los puntales se dispusieran apoyados en vigas de reparto en base y cabeza para evitar el punzonamiento de la capa de compresión de los forjados reticulares de bajo-rasante, o del forjado de chapa colaborante en sobre-rasante.

El emparrillado de vigas de arranque del núcleo estaba proyectado para un hormigón HA-60 y, dado que su canto era de más de 3 m, se hormigonó en tres tongadas horizontales[3].

Se realizó un estudio de aprovechamiento de las vigas que concluyó que podían descimbrarse a los 3 días del hormigonado de la 2ª tongada siempre que se reforzara la conexión de los recrecidos de pilares, ya que éstos no estaban completos en toda la altura hasta cimentación.

Una vez el nuevo núcleo recibía ya los forjados S-1 a Pl 3ª, éste se ejecutaba a partir de estas plantas mediante un encofrado trepante hasta alcanzar la altura de la última planta de remonta.

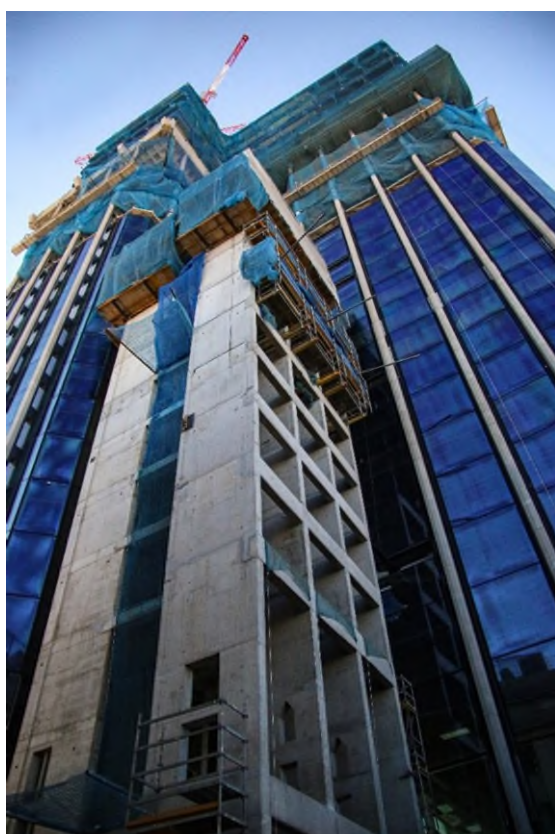


Figura 9. Vista del encofrado trepante del nuevo núcleo.

La conexión de este nuevo núcleo a los forjados existentes de ambas torres fue otra de las operaciones que requirieron algunas adaptaciones en obra. Los codales de conexión transmiten cargas considerables, rondando las 40 t, que requerían disponer unas platabandas de refuerzo ancladas que repartían las cargas entre varios nervios del forjado reticular. El taladro de nervios armados existentes es una tarea sumamente lenta ya que requiere ser ejecutada con mucho cuidado para no afectar a las

armaduras existentes y, por otra parte, obliga a realizar plantillas para las platabandas una vez ejecutados los taladros. Teniendo en cuenta que estos refuerzos se debían disponer entre las plantas 4ª y 24ª de ambas torres, en obra se decidió realizar una solución específica para cada planta ajustando el número de taladros en cada caso y priorizar la reducción del número total de taladros frente a una solución tipo generalizada con más taladros. Se descartó una solución de refuerzos adheridos con resina tras realizarse en obra ensayos de adherencia ya que, a pesar de obtenerse resultados aceptables, hubiera sido necesario acometer ensayos complementarios en las distintas zonas, y realizar unos procedimientos de aplicación para garantizar el correcto funcionamiento, lo que implicaba un plazo aún mayor que el de ejecución de los taladros.

Los núcleos existentes se reforzaron desde cimentación hasta el Sótano -1 con un recrecido interior y otro exterior. Estos recrecidos llevaban un refuerzo mediante postesado vertical, y se conectaban a los núcleos mediante barras pasivas pasantes repartidas en toda la superficie de contacto, y que en las zonas de anclajes de los cables verticales pasaban a ser conectores activos. Las cabezas de anclaje pasivas del refuerzo vertical se quedaban embebidas en la base de los grandes encepados del recalce, por lo que durante el avance de los recrecidos y su conexión, las vainas dentro del encepado debían mantenerse limpias y libres de humedad para evitar deteriorar los cables. Los núcleos existentes llevaban ya en la zona a reforzar un postesado horizontal a modo de zunchado que hizo muy compleja la operación de taladrar para dejar las barras pasantes de conexión sin afectar a ningún postesado existente. Con la ayuda de los planos *as built* del postesado original y la ejecución de una serie de rozas de comprobación se consiguió reducir en gran medida el riesgo de afección a los cables existentes. Como reto adicional en la ejecución del refuerzo de los núcleos estaba el hecho de que el progreso de las

plantas de remonta quedaba condicionado por el tesado de los tendones verticales, por lo que un retraso en el tesado de alguno de éstos hizo necesario un estudio de viabilidad del avance de la remonta.

5. Ejecución de las plantas de remonta

La remonta de ambas torres, ahora conectadas por los vestíbulos, son parte fundamental de la nueva imagen de las Torres de Colón. Estas cinco nuevas plantas, cuatro útiles más una planta de cubierta empleada para instalaciones, quedaban resueltas en Proyecto con una estructura metálica de 4 pilares arrancando de los núcleos existentes, vigas principales, correas, forjados de chapa colaborante y arriostramientos horizontales mediante cruces de San Andrés. Con el fin de simplificar la solución constructiva, se propuso conectar el forjado de chapa colaborante a las vigas metálicas consiguiéndose así un comportamiento mixto de éstas y una mayor rigidez horizontal del conjunto, lo que permitió reducir los arriostramientos en plano. La solución mixta tenía el inconveniente de la incorporación de conectores vigas-forjado, pero a cambio se reducía el peso de las vigas y el número total de elementos a ensamblar, lo que facilitaba los procedimientos de montaje en altura.



Figura 10. Estructura metálica de remonta

Los equipos de montaje del taller de estructura metálica debían apoyarse en el forjado reticular de la planta 25ª existente. Para ello se dispuso una zona con chapones de reparto de 25 mm sobre arena y adicionalmente se reapuntaló

toda la planta dos niveles por debajo, para conseguir que las cargas de los equipos se repartieran en tres niveles de forjados reticulares. Los pilares venían de taller con el nudo de unión a viga soldado, de manera que en obra se atornillaban los tramos de pilar entre sí, y las vigas principales a la espera de viga. Fue necesario disponer de estructuras de arriostramiento provisional muy potentes para cumplir con las tolerancias necesarias y garantizar el correcto ensamblaje de los elementos. Para ello se colocaron sistemas de puntales provisionales horizontales entre vigas que debían resistir cargas de compresión o tracción.

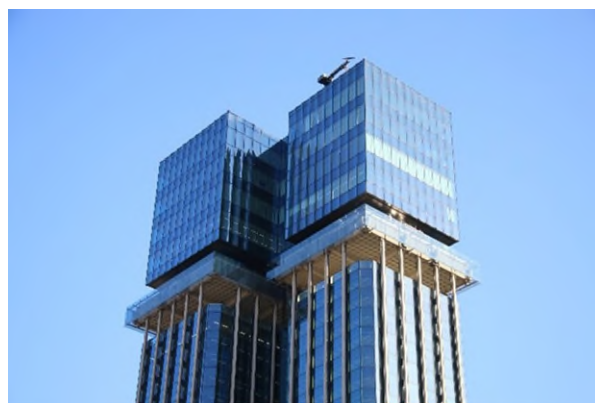


Figura 11. Plantas de remonta terminadas

6. Izado de los vestíbulos colgados entre torres.

La maniobra de izado se describe con más detalle en la ponencia del IX Congreso ACHE titulada *Ampliación de Torres Colón. Una remonta por un enchufe y unos vestíbulos colgados*. [2]. Para no repetir información, se destacan aquí únicamente los aspectos más relevantes relacionados con los medios auxiliares.

En concreto, cabe destacar que se dispuso un sistema de izado con gatos y cables instalados en la planta 26ª de la remonta. Asimismo, el forjado se hormigonaba sobre un sistema de carros con carriles dispuesto sobre la planta 3ª, que se utilizaba para trasladar el forjado ya hormigonado hasta la posición de izado.

Asimismo, las cargas de construcción de los vestíbulos y su traslado por carriles hicieron necesario un apuntalamiento de la planta 3ª, que coincidía con las fases finales de los apuntalamientos de los forjados inferiores para la ejecución del nuevo núcleo, por lo que se reestudian los repartos de cargas y se refuerzan los apuntalamientos necesarios. Cada nivel de vestíbulo colgado ya hormigonado pesaba unas 14 t.

7. Demolición de planta 5ª colgada.

La planta 5ª era la segunda planta colgada y fue demolida para dejar un espacio con doble altura. Al tratarse de una planta colgada los aspectos que debieron estudiarse antes de acometer la demolición fueron: elección de maquinaria ligera con mínima transmisión de vibraciones, orden de desconexión de los tirantes de cuelgue, apeo sobre la planta 4ª también colgada, así como el acortamiento de los tirantes al reducir su carga. Todas las plantas colgadas son forjados reticulares de canto 20+5 que tienen un apoyo en el núcleo central de hormigón y el otro en los tirantes dispuestos en el perímetro exterior.

Se realizó un análisis de la planta 4ª con los apeos de la planta 5ª, y reapuntalada sobre la planta 3ª, que permitió verificar que el cortante máximo en los puntos de cuelgue en los tirantes ($V_d = 128.9 \text{ KN}$) era resistido tanto por el recrecido de hormigón en dichas zonas como por las chapas verticales que transmiten las cargas a los tirantes. Igualmente se realizó una comprobación de los estados de flexión y deformación del forjado reticular de la planta 4ª con las cargas de los apeos de la planta en demolición, y de los efectos locales de los apoyos de los apeos.

Se programó la desconexión secuencial del forjado a los tirantes, de manera que una vez desconectado un tirante el siguiente era el simétrico opuesto. El apoyo del forjado de planta 4ª en los apeos inferiores estaba en constante supervisión ya que el mínimo

acortamiento de los tirantes al desconectarse la planta 5ª producía el efecto de levantar el borde del forjado y de despegue en algunos puntos, lo que se corregía de manera inmediata con cuñas. La planta 4ª se protegió con chapones para evitar ser dañada por los trabajos de demolición, pero también para evitar el apoyo directo de los apeos de planta 5ª en la capa de compresión.



Figura 12. Demolición de planta 5ª colgada

8. Refuerzo de tirantes de cuelgue de plantas

El Proyecto planteaba el refuerzo de los tirantes que reciben los bordes de las plantas tipo existentes. Los tirantes son postesados y por tanto llevan además de los cables de acero un recubrimiento de hormigón que queda comprimido. El refuerzo era necesario ya que en las inspecciones realizadas se detectaron algunos puntos con falta de inyección e incluso una leve

fisuración en el hormigón comprimido de éstos. Cada tirante existente se reforzó con dos nuevos tendones de 3 cordones cada uno. Dichos elementos, de 65 m de longitud, se trajeron a obra ya prefabricados con su vaina de polietileno y su aislamiento ignífugo para evitar así las operaciones en obra.

Los dos nuevos tendones se dispusieron a ambos lados de los existentes y quedaron colgados mediante un bulón a unas orejetas soldadas a unos chapones de 40mm a modo de “percha” que envuelven las vigas perimetrales de cubierta de casi 3m de canto. Previamente a la disposición de las “perchas” fue necesario realizar labores de saneado, reparación, protección anticarbonatación y regularización de superficies, para posteriormente garantizar mediante mortero el perfecto contacto de las platabandas de las perchas con las superficies de hormigón. De igual manera, en el extremo inferior se trató la superficie de hormigón de los tendones existentes con mortero, para garantizar el contacto completo de una cabeza metálica a modo de U contra la que se tesaban los dos tendones nuevos. Cada tirante nuevo se tesó con una fuerza de 384 kN siguiendo un orden secuencial estipulado en Proyecto.

9- Conclusiones.

La complejidad de esta obra hizo fundamental un empleo de medios auxiliares muy singulares que requirieron de un desarrollo de ingeniería durante todo el período de ejecución. Por otra parte, los condicionantes de falta de espacio, y la necesidad de compatibilizar tajos distintos hicieron necesario un estudio muy detallado de estados provisionales en que varias plantas sucesivas se apoyaban en apuntalamientos, que se adaptaban casi diariamente a las necesidades de obra.



Figura 13. Detalle de conexión de tendones de refuerzo de tirantes.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer en primer lugar a todo el Equipo de Obra de DRAGADOS , así como a CALTER (autores de Proyecto) y a Hugo Corres Peiretti por su constante colaboración con la Asistencia Técnica de la Obra. De igual manera destacamos la colaboración de Retineo y Dywidag por sus aportaciones y apoyo.

Referencias

- [1] PTI Postensioning Manual (7ª edición). Post-Tensioning Institute (2006)
- [2] Ampliación de Torres Colón. Una remonta por un enchufe y unos vestíbulos colgados. J. Bellod, D. Sanz y M. Madrid . Ponencia congreso ACHE (2025).
- [3] Código Estructural. Volumen 1 Capítulo 11. Comisión Permanente del Hormigón y Comisión Interministerial Permanente de Estructuras de Acero, Madrid 2021