

Los forjados postesados del edificio Caleido (Madrid)

Post-tensioned slabs in Caleido tower (Madrid)

Sergio del Olmo López^a, Nuria Fernández Vázquez^b, Pablo Vílchez Motino^c,

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dpto. Técnico. Freyssinet S.A.U.

^bIngeniero Industrial. Directora Área Nueva Construcción. Freyssinet S.A.U.

^cIngeniero Industrial. Director. Técnico. Freyssinet S.A.U.

RESUMEN

El edificio Caleido es el último de los rascacielos construidos en la zona conocida como CTBA (Cuatro Torres Business Area) de la ciudad de Madrid. La estructura horizontal del edificio, tanto de la parte bajo rasante (Basamento) como del sobre rasante (Torre) ha sido resuelta mayoritariamente con losas macizas postesadas de diferentes cantos. Freyssinet ha estado a cargo de la ejecución de los trabajos de postesado. La necesidad de instalar la enorme cantidad de anclajes y acero activo de la estructura en un calendario de obra muy estricto hizo necesario optimizar las tareas y aplicar técnicas de prefabricación de tendones.

ABSTRACT

Caleido building is the last of the skyscrapers to be built in the area known as CTBA (Cuatro Torres Business Area) in the city of Madrid. The slabs of the building, both below ground level (Basamento) and above ground level (Tower) has mostly been solved with post-tensioned concrete flat floors with different slab thickness. Freyssinet has been in charge of the execution of post-tensioning works. The need to install a huge amount of anchorages and strand steel in a very strict work schedule made it necessary to optimize tasks and apply tendon prefabrication techniques.

PALABRAS CLAVE: losa postesada, rascacielos, prefabricación, vaina plástica

KEYWORDS: post-tensioned slab, skyscraper, prefabrication, plastic duct

1. Descripción de la estructura postesada

El Proyecto de Ejecución de Edificio de Equipamiento Singular y Aparcamiento en la Parcela P5, O-ES/P5, O-P5/ORG se ha materializado en lo que se conoce popularmente como Torre Caleido o Quinta Torre, por su localización junto a las cuatro torres del CTBA (Cuatro Torres Business Area). Se trata de una edificación singular compuesta por dos grandes volúmenes: el basamento, que comprende sótanos y planta baja, y la torre de 160 m de altura que emerge del interior del basamento y da nombre al conjunto.

1.1 Basamento

Los 8 sótanos y planta baja del edificio tienen unas dimensiones aproximadas de 280x100 m. El edificio se levantó sobre los restos de una anterior construcción, por lo que no fue hasta el sótano 4 cuando nos encontramos con el primer forjado de losa postesada (ver Figura 1). El canto de losa varía entre 40 y 45 cm, en función de las cargas muertas y sobrecargas de cada zona.



Las luces entre pilares son de 7 m en una dirección, y 7m – 14 m en la otra. El pretensado previsto en proyecto era principalmente unidireccional, disponiéndose en bandas próximas a los pilares en la dirección corta de la planta (Este-Oeste), donde la luz entre pilares alcanzaba los 14 m. Como orden de magnitud, y a pesar de la enorme casuística de tendones y geometrías, se puede decir que una banda tipo de postesado estaba compuesta por 8 tendones (4 a cada lado del pilar), conformando un total de unos 40 cordones de 0,62” (150 mm²).

Por razones de previsión de usos, los tendones se localizaron en franjas de ancho limitado a ambos lados de los pilares, donde no se permitiría realizar huecos a posteriori y por tanto no existiría riesgo de un futuro corte de cables (ver Figura 2).



No obstante, en la zona Oeste del sótano 1, concretamente en el tramo final de los tendones, aparecen unos huecos en línea de pilares, junto con un desplazamiento en horizontal del último pilar de cada eje (el tramo que llega y el que continúa no coincidían), como se muestra en la Figura 3, que obligaron a abandonar localmente el ancho prefijado para los tendones. En estas zonas fue obligado realizar un desvío en planta de los tendones para salvar tanto el hueco como la llegada y arranque del pilar desplazado, pues la densidad de armaduras impedía atravesarlos con la vaina.



La proximidad de estos tramos a las estructuras existentes añadió en algún caso una dificultad adicional (ver Figura 4) consistente en tener que realizar la transición en planta con el mínimo desarrollo posible para no exceder los límites de anchura prefijados para la banda de tendones, y a la vez no emplear radios de curvado (combinando ambas curvaturas, la de alzado y la de planta) que fueran inferiores al mínimo admitido por la vaina.



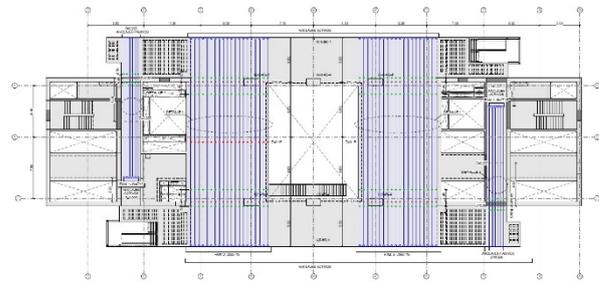
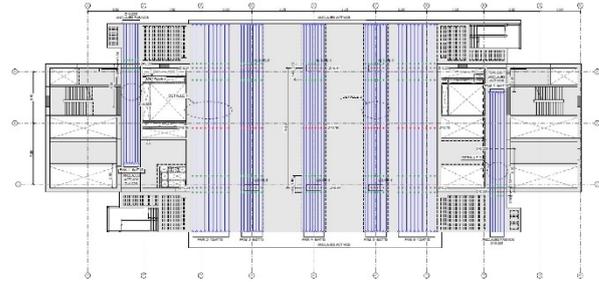
La longitud de los tendones de basamento llegaba en algún caso hasta los 89.43 m, no siendo posible realizar un tesado desde ambos extremos por encontrarse uno de ellos en contacto con la estructura existente, y por tanto careciendo de accesibilidad.

1.2 Torre

La planta de la torre tiene una longitud de 66.36 m y una anchura variable entre 15.9 m y 25.9 m. De las 35 plantas sobre rasante que tiene la torre, 32 llevaron postesado, de las cuales 25 se distribuían entre 4 modelos de planta tipo, quedando las 7 restantes como plantas singulares. No obstante, geoméricamente existían 2 tipologías básicas de planta de torre: losa sin huecos con vigas descolgadas entre pilares y losa de menor espesor entre las anteriores; y losa de canto constante con un gran hueco rectangular en el centro.

Salvo contadas excepciones, la dirección de los tendones era Norte-Sur, es decir, según el lado corto de la planta. En función de las dos grandes

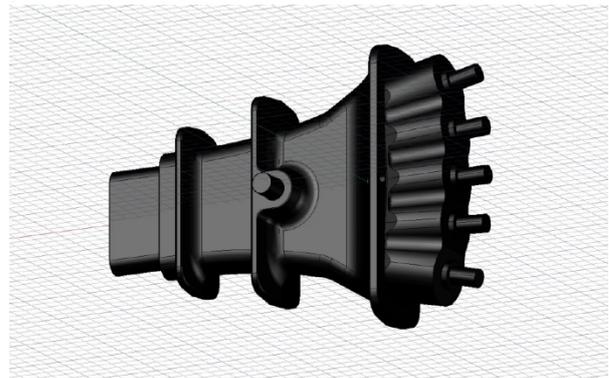
tipologías de planta de torre comentadas anteriormente, en unos forjados los tendones se dispusieron agrupados en línea de pilares (principalmente en las bandas de losa con descuelgue o vigas, con un número variable de cordones de 0,62" entre 32 y 50), y en otros se distribuyeron de manera uniforme (ver disposiciones de tendones en Figuras 5 y 6).



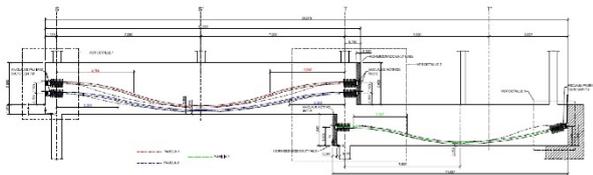
2. Tecnología de pretensado instalada

El pretensado se resolvió casi exclusivamente con tendones adherentes de 4 y 5 cordones de 150 mm² de sección unitaria que se alojaban en vainas corrugadas planas de material plástico.

La gama de anclajes de Freyssinet que fue utilizada es la tipo B (ver Figura 7), especialmente concebida para elementos de poco canto [1].



La excepción la representan las dos vigas de apeo de pilares de la zona 4 del sótano 2, donde se instalaron tendones con vainas circulares y anclajes de gama C (ver Figura 8).



Se recuerda que los tendones más largos del basamento superaban los 89 m de longitud, y en algún caso no era posible tesar desde ambos extremos por interferencia con la estructura existente. Una de las ventajas de haber empleado vaina plástica es que presenta menor fricción que la vaina metálica, por lo que, por la reducción de pérdidas instantáneas por rozamiento que conlleva, resultaba muy atractiva en tendones largos.

Por otro lado, la vaina plástica también presenta una ventaja en términos de durabilidad, ya que no es susceptible de sufrir corrosión como las vainas metálicas.

3. Prefabricación de tendones

El alcance de los trabajos llevados a cabo por Freyssinet comprendió el suministro, colocación, enfilado, tesado e inyección de los tendones.

En esta obra, como en otras de este tipo, se optó por la prefabricación de tendones por varios motivos:

- Los trabajos de postesado tenían que integrarse en un plan de obra muy estricto donde cualquier desvío del tiempo previsto en el calendario iba a repercutir sobre el resto de tareas, es decir, toda tarea era camino crítico.
- Prefabricar por adelantado sirvió para “rellenar” los tiempos en los que no había prevista actividad en el tajo, y también para “consumir” los retrasos

en el inicio de actividad no previstos, que se debieran a desvíos sobre la programación, ajenos a los trabajos de pretensado.

- Hubo que trabajar en un espacio reducido (unos 16 m de ancho en las plantas más estrechas de la torre, ver Figura 9), donde se simultaneaban los trabajos de pretensado con otras actividades, por lo que no era razonable ni posible ocupar espacio con bobina de acero, bobina de vaina, enfiladora.



Figura 9. Trabajo en planta de torre.

- Tampoco habría sido razonable situar estos equipos en una planta, y enfilarse varias plantas superiores desde ella, por las interferencias con trepas y plataformas, porque podría provocar demoras en otras actividades por razones de seguridad, y porque en cualquier caso habría que a ver ido desplazando esta maquinaria a plantas superiores cada cierto tiempo.
- La prefabricación minimizó el tiempo de grúa que había de destinarse a trabajos de pretensado, pues se redujo al tiempo consumido en izar un haz de tendones ya premontados, tarea que resultaba más fácil de integrar en su horario que si además tuviera que subirse el resto de maquinaria.

Cuando además existe una geometría regular o longitud de tendones que se repite mucho, como

fue el caso de la torre, la productividad de la prefabricación se maximiza.

En esta obra se prefabricaron los tendones de hasta 26 m. Esto supuso la totalidad de los tendones de las plantas de la torre.

Los tendones se enfilaban en vaina en una pequeña zona reservada a nivel de rasante donde también eran acopiados junto con las bobinas de acero activo, vaina y la enfiladora (ver Figura 10).



Figura 10. Vista general de la zona de prefabricación.

Una vez recibida la orden, los tendones eran elevados con grúas (ver Figura 11) hasta la planta en construcción donde tenían que ser instalados, para colocarlos sobre los pates que definían su trazado, y conectarlos a los anclajes, que habían sido previamente fijados a las tabicas conforme a las posiciones indicadas en planos de proyecto (ver Figura 12).

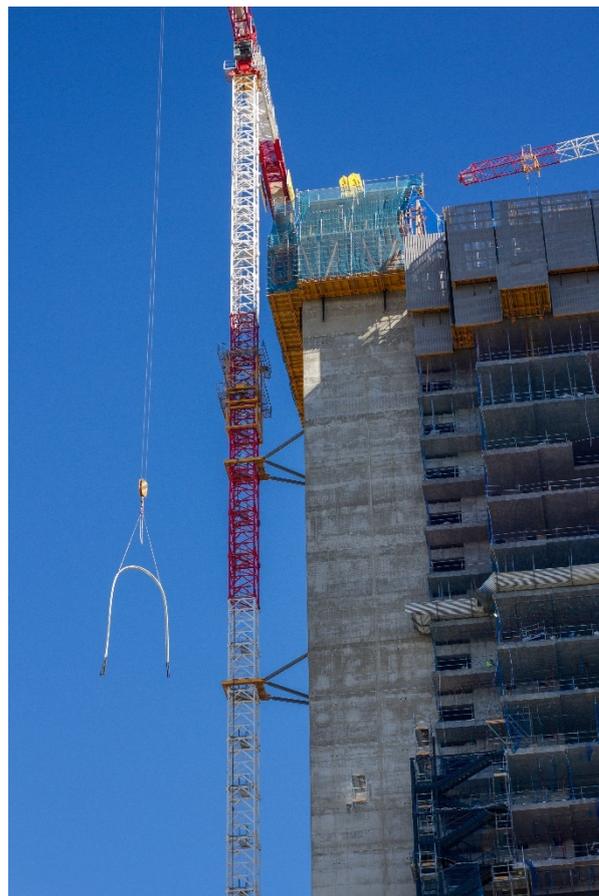


Figura 11. Izado de un haz de tendones prefabricados.

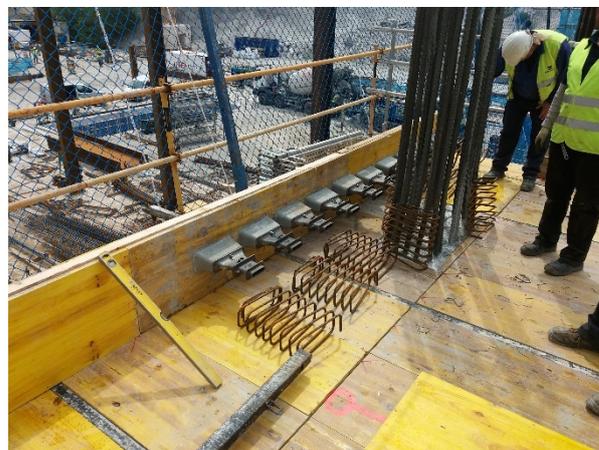


Figura 12. Anclajes prefijados a tabica de encofrado.

4. Cifras más importantes

En la ejecución de los forjados postesados del edificio Caleido se instaló un total de 3640 tendones (1978 en el basamento y 1662 en la torre).

Esto supone que se enfilaron cerca de 550 t de cordón de acero activo de 0,62" Y1860S7 (330 t

en basamento y 220 t en torre), alojado en unos 105 km de vaina plana corrugada de plástico (ver Figura 13).



Figura 13. Acopio de vaina plástica.

En la inyección con lechada, puesto que se trataba de tendones adherentes, se emplearon casi 173 t de cemento.

Los ritmos de prefabricación alcanzaron los 50-60 tendones por jornada de trabajo, registrándose mensualmente producciones de hasta 50 t de acero enfilado.

El ciclo de construcción completa de una planta de torre se llevaba a cabo en un plazo de 8-9 días. La planta se iba montando y hormigonando por zonas, por lo que las tareas de montaje y tesado a cargo de Freyssinet tampoco se realizaban de una sola vez para todos los tendones de una planta. Haciendo el cómputo total del tiempo invertido, 1 de esos 8-9 días se consumía en el montaje de los tendones, y otro en el tesado (con 2 equipos).

Referencias

[1] European Technical Assessment ETA 06/0226, Cerema, EOTA, 2018.