

Proceso constructivo del núcleo de ascensores en Torres Colón al IX Congreso de ACHE de Granda.

Construction process of the elevator core in Colón Towers

Julián Fernández Rejas^a, Jesús Álvarez Fernández^b, Juan Carlos Arroyo Portero^c,
Susana González García^d

^a Arquitecto Técnico. Ingeniero de la Edificación. Área de Asistencia en Obra CALTER ingeniería SL

^b Arquitecto Técnico. Ingeniero de la Edificación y PMP. Área de Asistencia en Obra CALTER ingeniería SL

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Colegiado N.º: 10.498. Dr. Arquitectura, Decano EPS Universidad Nebrija. Presidente de CALTER ingeniería SL

^d Arquitecta. Coordinadora BIM estructuras CALTER ingeniería SL

RESUMEN

En la reforma de las Torres Colón, edificio con protección de la estructura original, se plantea la ejecución de un núcleo de ascensores exterior a las propias torres. Este núcleo de ascensores se resuelve con pantallas de hormigón armado como un tercer apoyo del conjunto edificatorio, con una colaboración estructural decisiva para absorber los esfuerzos debidos al viento.

Tanto la conexión de esta nueva estructura con la estructura existente de las torres como la necesidad de generar este núcleo naciendo en planta -1 en lugar de planta -6 (cimentación) ha necesitado de unas soluciones estructurales estudiadas ad hoc.

ABSTRACT

In the renovation of the Torres Colón, a building with protection of the original structure, the construction of an elevator core outside the towers themselves was proposed. This elevator core is resolved with reinforced concrete screens as a third support for the building complex, with a decisive structural collaboration to absorb the stresses due to the wind.

Both the connection of this new structure with the existing structure of the towers and the need to generate this core starting on floor -1 instead of floor -6 (foundation) has required structural solutions studied ad hoc.

PALABRAS CLAVE: Torres Colón, refuerzo, cimentación, apeo, pantallas, micropilotes.

KEYWORDS: Colon towers, reinforcement, foundation, shoring, screens, micropiles.

1. Introducción

El proyecto de reforma del edificio Torres Colón, situado en Madrid, consiste en una ampliación de las plantas de las torres en altura, la conexión de plantas de cada nivel de las torres y la construcción de un nuevo núcleo de ascensores configurado como una nueva torre conectada a las originales.

En la ejecución del nuevo núcleo de ascensores se han tenido que observar varios condicionantes ajenos al diseño estructural. Uno de estos condicionantes es que no se puede invadir las plantas de sótano, destinadas a plazas de aparcamiento. Esto implica que la nueva construcción no pudo nacer desde cimentación, sino que queda suspendida desde planta -1.

Desde la cota de cimentación (cota -18,50) hasta el arranque del núcleo de ascensores (cota -4,15) se ha procedido al refuerzo de los 5 pilares que lo soportan y su cimentación correspondiente.

La cota de coronación de la estructura del núcleo de ascensores es +110,95 m.

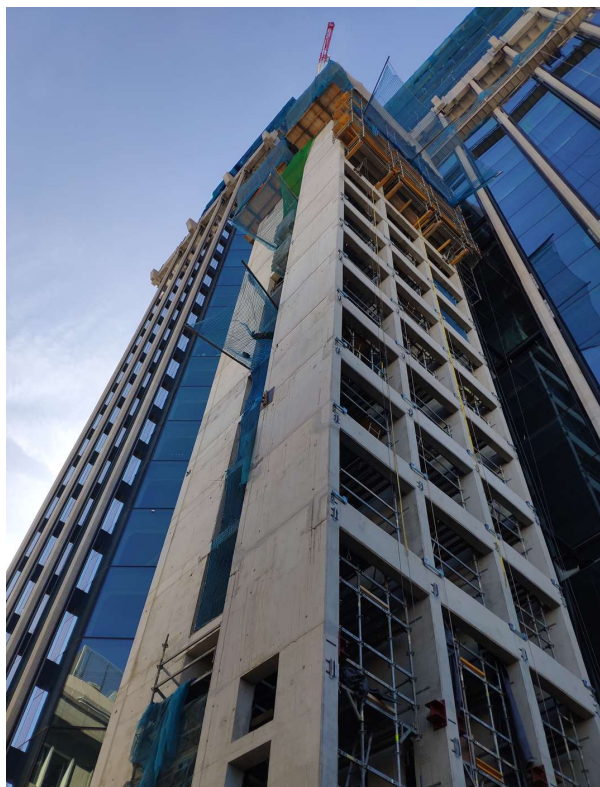


Figura 1: Núcleo de ascensores en ejecución

2. Dimensionamiento del nuevo núcleo

A continuación se presenta un ejemplo del análisis de los esfuerzos para el dimensionado de las pantallas del edificio de ascensores:

Se ha utilizado el programa de cálculo SOFISTIK para modelar el conjunto del edificio, integrando las nuevas estructuras con las existentes.

Se comprueban las pantallas de cada orientación con los vientos dominantes de la zona.

Se obtienen los esfuerzos en la combinación pésima en ELU, viento C1 170° y axiles mínimos (carga permanente minorada por 0,80) produce los siguientes esfuerzos producto

de integrar los esfuerzos por metro de membrana más placa, que han sido los elementos utilizados para modelizar estas pantallas:

Máximo axil en pantallas Oeste:

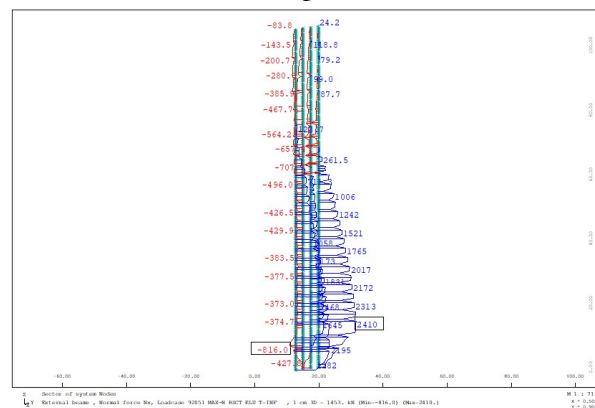


Figura 2: Diagrama de esfuerzos axiles máximos en pantallas oeste

Mínimo axil en pantallas Oeste (signo negativo indica compresión):

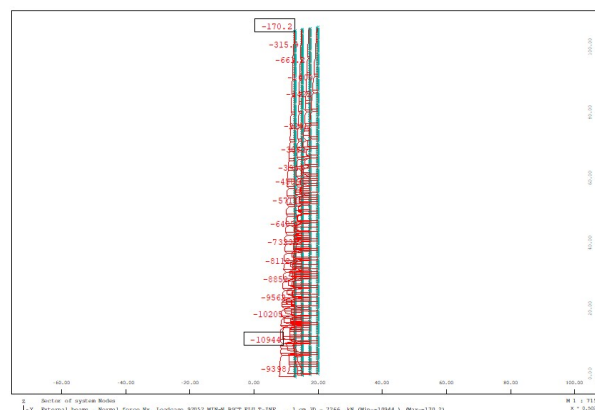


Figura 3: Diagrama de esfuerzos axiles mínimos en pantallas oeste

Por otro lado, se procede al dimensionamiento de las vigas sobre las que se eleva en nuevo núcleo de ascensores.

El diseño de las vigas de emparrillado se realiza en base a la distribución de esfuerzos principales de membrana obtenidos del modelo general.

Se distinguen 3 tipos de vigas pantallas:

- Vigas pantalla continuación de las pantallas del edificio de ascensores
- Vigas pantalla N-S que conectan las anteriores con las vigas principales E-O
- Vigas pantalla E-O, que transmiten las cargas a los pilares recrecidos.

[illegible]

En el caso concreto de las pantallas, el viento es la acción variable determinante. Se consideran 4 hipótesis de viento como pésimas:

- Estas hipótesis se combinan con la carga permanente y la sobrecarga, con los siguientes combinaciones parciales:

- Favorable: 0.80
- Desfavorable: 1.35

- Favorable: 0
- Desfavorable: $1.5 \times 0.7 \times 0.8 = 0.84$

Esto obliga a reforzar los pilares originales desde cimentación hasta las nuevas vigas de arranque del núcleo. Esto supone reforzar 5 pilares, con el refuerzo

3. Proceso constructivo

- Ejecución de micropilotes taladrando la cimentación existente para soporte de los apeos.
- Apeo de pilares en sótano -6.
- Demolición de cimentaciones y demolición de arranque de pilares.
- Ejecución del resto de micropilotes y elaboración del encepado para generar una nueva cimentación.
- Apeo de forjados de sótanos.
- Demolición del contorno de los pilares para permitir el paso de los refuerzos de pilares.
- Apeo de los forjados de planta baja, 2ª y 3ª (el forjado de planta 1ª se ha eliminado por completo, según se ha previsto en proyecto).
- Refuerzo de pilares desde cimentación, nivel -6 hasta nivel -5.
- Generación de capitel para el apoyo del forjado del nivel -5 existente. (Los forjados se apoyan sobre capiteles de los pilares reforzados pero desolidarizados)

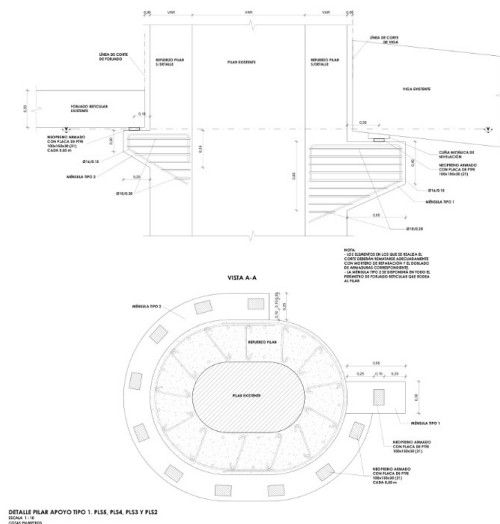


Figura 5: Alzado y planta pilar reforzado y apoyo de forjado

- Reconstrucción del forjado demolido alrededor de los pilares en el nivel -5
- Repetición de los procesos anteriores en cada nivel.
- Apeo de los forjados desde -1 a nivel 3º.
- Demolición de los forjados de sótano -1, planta baja, 2ª y 3ª para general el espacio necesario para el núcleo.
- Ejecución de vigas en nivel -1 para arranque de las pantallas de hormigón del nuevo núcleo.
- Ejecución de
- Ejecución de pantallas de hormigón con encofrado trepante.
- Ejecución de losas de hormigón en cada planta.

Este proceso constructivo descrito a grandes rasgos, en su concreción en obra se ha tenido que adaptar y reconsiderar, debido a los distintos condicionantes, con objeto de permitir optimizar los tiempos de ejecución, solapando distintas tareas.

3.1 Refuerzo de cimentación y apeo de pilares

La 3ª torre o núcleo de ascensores se proyecta sustentándose sobre 5 pilares existentes.

Las zapatas existentes de estos pilares (P7, P-8, P-9 y P-10) deben ser reforzadas ya que estos

pilares recogen todas las cargas absorbidas por el núcleo de ascensores, que a su vez obliga a recrecer dichos pilares.

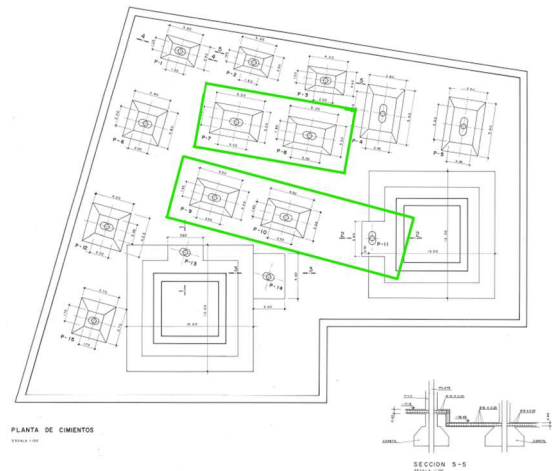


Figura 6: Plano de plana de cimentación original

Por tanto, se tiene que intervenir en estas zapatas y pilares reforzándoles para poder soportar la estructura de la nueva torre, formada por pantallas de hormigón de 115,10 m de altura.

Las zapatas de estos pilares se sustituyen por un encepado de micropilotes, sobre el que apoya cada pilar.

El proceso de este refuerzo de cimentación ha sido:

- Ejecución de micropilotes para apeo del pilar, atravesando la zapata existente.
- Ejecución del apeo del pilar.
- Demolición de la zapata existente.
- Ejecución del resto de los micropilotes.
- Ejecución del encepado.
- Conexión de pilar apeado y ejecución del refuerzo del pilar en nivel -6.



Figura 7: Pilar apeado. Zapata en proceso de demolición

De acuerdo con el esquema del proceso constructivo indicado, se procede a descubrir las zapatas afectas, previa demolición de la solera y replantear la situación de los micropilotes que se necesita ejecutar para construir los apeos calculados.

Una vez replanteados, se procede a perforar las zapatas en las zonas indicadas mediante brocas diamantadas. El diámetro de las perforaciones tiene que permitir el paso de los micropilotes previstos.

Teniendo en cuenta que al perforar las zapatas, se está afectando a la integridad de las mismas, pero no solo en superficie de apoyo sino, lo que es mas crítico, se cortan inevitablemente algunas armaduras de estas zapatas.

Por tanto, hay que limitar las perforaciones a las estrictamente necesarias para apea cada pilar.

Se da la circunstancia de que por la geometría de los apeos y las posibilidades de ejecución de las máquinas micropilotadoras, hay micropilotes que se tienen que llevar a cabo, aunque no formen parte de los necesarios para el apeo. De no hacerse así, posteriormente es inviable posicionar la máquina micropilotadora para realizar los trabajos de perforación.

Una vez ejecutados los mencionados micropilotes se procede al apeo de los pilares. Para el apeo de cada pilar se taladran horizontalmente los pilares y se instalan sendas placas en cada cara “plana” del pilar. Recordar

que los pilares en sección horizontal tienen una forma tipo “estadio”.

Las placas de apeo se interconectan con el pilara mediante barras roscadas de diámetro 40 mm y instaladas con un par de apriete determinado. Bajo estas placas se sitúan las HEM que hacen de puente para transmitir las cargas a los micropilotes de apeo.

3.1.1 Procedimiento de tesado de los anclajes con barra Dywidag 40

Dywidag Sistemas Constructivos recibió por parte de DRAGADOS la petición de suministrar y ejecutar el postesado de los anclajes con barra Dywidag 40 para el apeo de pilares en la Remodelación de las Torres Colón de Madrid. Según la homologación europea de Dywidag para el sistema de postesado de barra ETA - 05/0123 es necesario cumplir una serie de requisitos geométricos y unas características mínimas para que el tesado del anclaje se ejecute de forma satisfactoria.

Para la puesta en carga de anclajes de barra relativamente cortos (<1,00 m) es necesario considerar el elevado porcentaje de carga que supondrán las pérdidas por el ajuste tuerca-placa. Con objeto de disminuir sensiblemente estas pérdidas se plantea un tesado de la barra Dywidag en varias fases. Además de ello, será importante considerar la secuencia de tesado a seguir en cada uno de los 12 anclajes que componen cada apeo. Se detallan a continuación cada una de estas fases:

FASE 1 – Apriete manual de los anclajes
En primer lugar es preciso disponer los anclajes en los 12 taladros ejecutados y colocar todas las tuercas. En este momento se realiza un apriete manual con llave fija. Una vez finalizado este primer apriete será necesario realizar una comprobación de cada uno de los 12 anclajes puesto que el apriete de un anclaje influirá en el resto de anclajes.

FASE 2: Tesado mediante gato especial de tesado
Una vez colocados y con un apriete inicial todos los anclajes se procede al tesado

mediante gato con rótula especial para esta aplicación. Al igual que en el caso anterior y debido tanto al elevado porcentaje de carga que suponen las pérdidas así como a la influencia del tesado de un anclaje en los anclajes contiguos, el tesado se realiza en 3 fases:

- Fase 2.1: Se tesan los anclajes al 30% de la carga final -> 316,8 kN
- Fase 2.2: Se tesan los anclajes al 60% de la carga final -> 633,6 kN
- Fase 2.3: Se tesan los anclajes al 100% de la carga final->1056,0 kN

La secuencia a seguir comienza en las barras centrales para avanzar progresivamente a un lado y otro. De este modo en el parte de tesado el operario especialista debe ir reflejando el progreso en la puesta en carga de las barras.

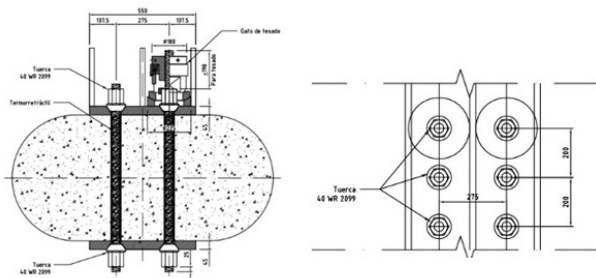


Figura 8: Detalle de tesado con gato especial

FASE 3: Comprobación del tesado.

Esta última fase se realizará de modo manual al comprobar que todas las tuercas están firmemente apretadas y no existe la posibilidad de aflojarlas. Para ello se posicionará el gato en el anclaje activo y se elevará la carga hasta los 1056kN. En este momento el operario comprobará que la tuerca no gira ni se moviliza, con lo que queda asegurada la carga descrita. En el caso de detectar alguna tuerca sin apriete, se realizará nuevamente el tesado siguiendo los pasos mostrados en la fase 2 de este procedimiento y tras su finalización se comprobarán nuevamente todos los anclajes.

3.1.2 Procedimiento montaje chapas y castilletes de apeos

- Limpieza

Eliminación de pintura plástica en el área afectada por las chapas de conexión entre pilar y castillete de apeo.

- Tratamiento superficie del pilar
Picado superficial de la cara del pilar en el área afectada por la chapa para conseguir planeidad y acabado rugoso. Limpieza de la zona, asegurando que no queda ningún árido suelto. Ejecución de encofrado perimetral para delimitar la aplicación del mortero Sika Monotop-412 S, el encofrado será retirado antes de presentar la chapa.
- Colocación de anillos
Colocación de anillos de espuma elastomérica (tipo armaflex) de 60 mm de diámetro interior y 10 mm de espesor que se colocan alrededor de todos los taladros.



Figura 9: Alzado de placa de conexión con numeración de los taladros/barras

- Aplicación de mortero
Aplicación de Sika Monotop-412 S de espesor 15 mm.
- Presentación de la chapa
Para ello, únicamente se colocarán las barras 1, 2, 11 y 12. Se apretará las tuercas

mínimamente hasta comprobar que rebosa el mortero levemente por los bordes. Se limpiará el mortero que haya podido rebosar por los taladros donde no se han colocado los anillos, limpiando hacia el exterior y asegurando que no queda ningún resto de mortero dentro. Previamente se certificará que el acabado de la chapa en contacto con el mortero será SA 2 1/2.

- Soldadura rigidizadores de chapa

Se realizará la soldadura de los rigidizadores a la chapa antes de su presentación, ya que las altas temperaturas que alcanza la chapa al realizar la soldadura podría afectar al mortero colocado. Previamente se realizará la presentación de la chapa y replanteo de los rigidizadores para evitar errores.

- Plan de tesado de las barras

No se realizará el tesado hasta que el mortero haya alcanzado una $f_{ck} \geq 30$ MPa. Según ficha técnica de Sika Monotop-412 S se alcanzan los 38 MPa a los 7 días, por lo que se realizará ensayos para comprobar a que día se podría conseguir los 30 MPa y acelerar el procedimiento.

Las barras se tesan siguiendo el procedimiento descrito en el punto 3.1.1 ” Procedimiento de tesado de los anclajes con barra Dywidag 40”

3.1.3 Control de asientos en los apeos de los pilares

Una vez ejecutados los apeos se procede a demoler las zapatas y por consiguiente, se demuele así mismo la parte inferior de los pilares. Cuando se produce la desconexión pilar-zapata es cuando los apeos entran completamente en funcionamiento.

Se procede a colocar dianas taquimétricas sobre los pilares para controlar los posibles asientos de los pilares en fase de desconexión y durante el resto de procesos que se tienen que llevar a cabo hasta finalizar el proceso de ejecución de micropilotes, encepado, conexión y refuerzo de cada pilar.

3.2 Refuerzo de pilares

Para la ejecución del refuerzo de cada pilar, previamente hay que demoler la zona circundante del forjado superior a fin de permitir instalar el armado de refuerzo y su posterior hormigonado.

El apoyo de los forjados de los sótanos sobre estos nuevos pilares reforzados se resuelve ejecutando ménsulas para desolidarizar la estructura portante del núcleo de ascensores de estos forjados.

El proceso de refuerzo de cimentación y posterior refuerzo de pilar, con la afección al forjado y la repetición del proceso en el siguiente nivel hace que el proceso se alargue y por tanto se hace necesario optimizarlo solapando actividades.

3.3 Cambio del sistema constructivo

Por necesidades de cumplimiento con la fecha de finalización y entrega final de la obra y con objeto de intervenir sobre el camino crítico de la planificación que permita cumplir los hitos, se procede a trabajar desde el nivel -1 hacia arriba antes de haber llegado con los pilares reforzados.

A la vez que se estaba ejecutando el refuerzo desde el nivel -6 hacia arriba, se ejecuta el refuerzo del nivel -2, dejando esperas hacia abajo. El motivo de proceder con este planteamiento fue la necesidad de permitir comenzar con la ejecución del encofrado y armado de las vigas portantes del núcleo de ascensores en planta -1.

3.4 Vigas de emparrillado de arranque de pantallas del núcleo de ascensores

Estas vigas, debido a las solicitudes que tienen que soportar, se han diseñado con un canto que ocupa toda la altura de la planta -1.

Además, como había que disponer de un hueco de paso en una de las vigas, se hace necesario, en este caso, descolgarla hacia la

planta -2, resolviendo con una gran viga de canto variable (figuras 10 y 11).

La complejidad de ejecución de estas vigas, debido al armado a disponer, hace necesario un estudio de detalle apoyados con la metodología BIM.

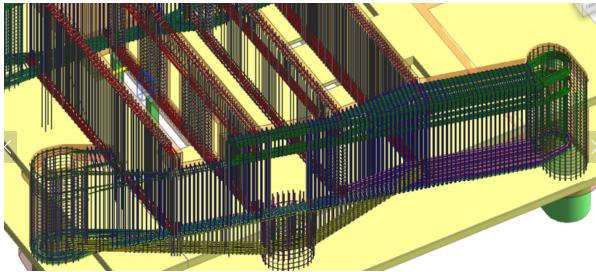


Figura 10: Viga de emparrillado sobre 3 pilares

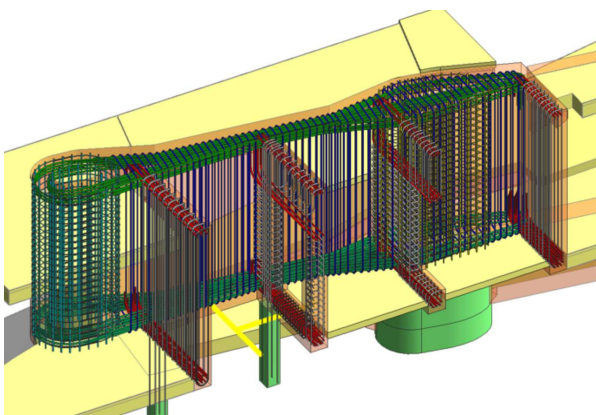


Figura 11: Viga de emparrillado sobre 2 pilares

3.4 Ejecución de pantallas de hormigón con encofrado trepante

Para la ejecución de las pantallas que conforman los huecos verticales de los ascensores, se utilizó el sistema de encofrado trepante.

Se planificó el hormigonado de las pantallas considerando 37 tongadas. Esta tarea formaba parte del camino crítico de obra y además tenía unos requerimientos de verticalidad muy estrictos para cumplir los requerimientos indicados por la empresa instaladora de los 7 ascensores que aloja el núcleo de ascensores.

Otro condicionante del proceso constructivo es la ejecución de las losas en cada nivel de desembarco de los ascensores, que

además arriostran las esbeltas pantallas de hormigón.

Al utilizar el sistema de encofrado trepante, el anclaje de este encofrado se hace sobre las pantallas inferiores ya hormigonadas, lo que impide ejecutar las losas de los niveles inmediatamente inferiores.

Tal y como se ha comentado anteriormente, esta estructura de hormigón constituye un tercer apoyo del edificio, pero por si mismo, es tan esbelto que necesita a su vez acodarse sobre la estructura existente de las torres.

La conexión entre el núcleo de ascensores y las torres existentes tiene dos efectos estructurales importantes, por un lado sirve arriostramiento horizontal de este núcleo y a su vez amplía el apoyo total del edificio, que funciona en conjunto como un elemento apoyado no solo en las cimentaciones de las torres originales sino que además se apoya en los pilares que sustentan el núcleo de ascensores.

Se han diseñado unos codales de tubos cilíndricos con articulaciones mediante orejetas y bulos, permitiendo para transmitir esfuerzos axiales, pero evitando que los esfuerzos cortantes o los esfuerzos debido a los momentos puedan afectar a los forjados.

La instalación de estos elementos han seguido una exhaustiva planificación para ir solidarizando las tres torres según crecía el nuevo núcleo en altura.

La transmisión de esfuerzos horizontales entre el núcleo de ascensores y los forjados existentes de las torres obliga al refuerzo de estos forjados para poder asumir estas nuevas solicitudes.

Mientras la ejecución de las pantallas de hormigón iba avanzando, por debajo se realizaban las losas de cada nivel y se colocaban los codales de arriostramiento.

Para el posterior anclaje de las guías de los ascensores y otros elementos como los paneles de fachada, a la vez que se colocaba el

armado de las pantallas, se hacía el replanteo e instalación de carriles tipo Halfen.

3.4.1. Compensación de cotas por asentamiento, retracción y fluencia

Dada la longitud de las pantallas, se realizó un estudio de deformación del hormigón por retracción, fluencia y el acortamiento debido al peso propio, cargas muertas y sobrecarga de uso. Este acortamiento se tuvo en cuenta para corregir los niveles de ejecución de cada tongada de hormigonado en obra.

El núcleo de ascensores, como es lógico, da acceso a las distintas plantas de torres, sin embargo, está separado de estas por una junta estructural. Esto supone varios retos:

- Los movimientos verticales del núcleo de ascensores, del borde de forjado de torre 2 y del vestíbulo, que a su vez está suspendido de las plantas superiores (plantas nuevas de remonta), tiene que compensarse para no impedir el tránsito entre los distintos elementos estructurales.

A modo de resumen:

- Torre 1 y torre 2 están apoyadas en la cimentación original.
- El núcleo de ascensores se erige sobre una nueva cimentación de encepados de micropilotes.
- Los vestíbulos entre torres están suspendidos desde las nuevas plantas que se añaden en la parte superior de las torres.
- Estos tres conjuntos están separados por juntas permitiendo el libre movimiento vertical de forma independiente.
- La confluencia de estas juntas coincide con el acceso desde cada planta hasta el núcleo de ascensores.

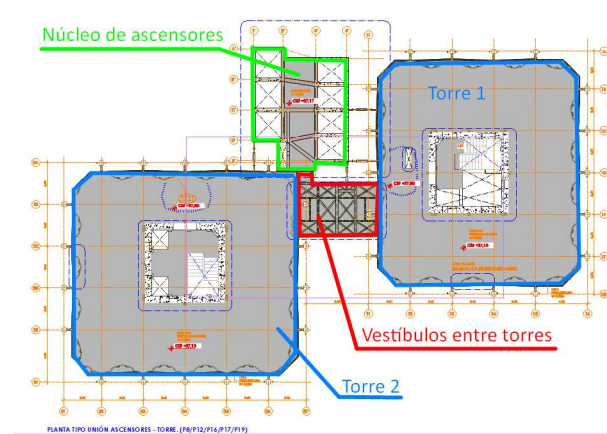


Figura 12: Esquema planta tipo

Por los motivos anteriormente enunciados, se tuvo en cuenta y se estudió las posibles variaciones del núcleo de ascensores y su relación con el forjado de torre 2 y con el vestíbulo correspondiente.

Paralelamente a los controles de niveles de cada tongada, se estaba controlando el asentamiento del núcleo de ascensores en cimentación.

Para el control del asentamiento del núcleo de ascensores se colocaron en planta baja unos puntos taquimétricos sobre las vigas del emparrillado y se iban controlando continuamente y después de hormigonar cada tongada para conocer su evolución y tomar las medidas correctoras necesarias.



Figura 13: Puntos de control de asentamiento del núcleo de ascensores

4. Normativa

A continuación, se cita la normativa tenida en cuenta durante la fase de proyecto para la ejecución de estos elementos:

- CTE DB SE AE *Código Técnico Edificación*.
- CTE DB SE SI *Código Técnico Edificación*.
- NCSE -02 *Norma de construcción sismo resistente*
- EN 1991-1-4. Eurocode 1: *Actions on structures- Part 1-4: General actions-Wind actions*
- CTE DB SE-C *Código Técnico Edificación*
- EN 1997-1. Eurocódigo 7: *Proyecto Geotécnico. Parte 1: Reglas Generales*
- *Guía para el proyecto y construcción de micropilotes en obras de carretera*
- *Hormigón*
- *Instrucción Hormigón EHE-08*
- EN 1992-1-1. Eurocódigo 2: *Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1.1: Reglas generales y reglas para edificios + Anejo Nacional*
- Código Modelo CEB-FIP 1990
- Código Modelo FIB 2010
- CTE DB SE EA *Código Técnico Edificación Documento Básico*
- En 1993-1-1_ Eurocódigo 3: *Proyecto de estructuras de acero. Parte 1.1: Reglas generales y reglas para edificios + Anejo Nacional*
- En 1993-1-1_ Eurocódigo 3: *Proyecto de estructuras de acero. Parte 1.5: Placas cargadas en su plano + Anejo Nacional*

5. Conclusiones

- La concepción del núcleo de ascensores de Torres Colón, como un tercer apoyo del conjunto edificatorio, ha sido fundamental para poder asegurar el funcionamiento estructural del conjunto puesto que al añadir las plantas de remonta los esfuerzos por vientos son

condicionantes y aumentan con la altura del edificio.

- El proceso constructivo previsto en fase de proyecto se puede ver modificado sustancialmente por necesidades de obra y planificación, como ha sido este caso.
- Los controles de ejecución llevados a cabo se han revelado imprescindibles para poder tomar las decisiones e implementar las medidas correctoras en tiempo y forma adecuada para conseguir los estándares de seguridad, calidad y plazos exigidos.

Referencias

- [1] “Estructura de las Torres de Colón”, por C. Fernandez Casado, J. Manterola y J. Fernández Troyano. Revista Informes de la Construcción n.293 de agosto-septiembre de 1977
- [2] Artículo sobre Estructura Torres de Colón, en el libro “Realizaciones españolas. Hormigón pretensado”, publicado por ATEP en 1974.
- [3] Recopilación de fotografías tomadas durante la ejecución de la obra, aportadas por la Ingeniería Fernández Casado.
- [4] Planos parciales proyecto original 1964
- [5] Planos parciales proyecto reforma 1990-1992
- [6] Planos parciales actuaciones 2008-2011