

Proceso constructivo del refuerzo del núcleo y su cimentación de las Torres Colón

Construction process of the core reinforcement and its foundation of the Colon Towers

Jesús Álvarez Fernández^a, Juan Carlos Arroyo Portero^b y Julián Fernández Rejas^c

^a Arquitecto Técnico. Ingeniero de la Edificación y PMP. Área de Asistencia en Obra CALTER ingeniería SL; ^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dr. Arquitectura Colegiado N.º: 10.498. Decano EPS Universidad Nebrija. Presidente de CALTER ingeniería SL.; ^c Arquitecto Técnico. Ingeniero de la Edificación. Área de Asistencia en Obra CALTER ingeniería SL.

RESUMEN

El objeto de este artículo va dirigido a desarrollar el proceso y los trabajos de refuerzo ejecutados en los elementos de cimentación y núcleos centrales del edificio de Torres Colón como premisa fundamental para garantizar la estabilidad de la nueva composición geométrica del edificio. Las actuaciones se realizan con las limitaciones propias de trabajar en espacios reducidos y las obligaciones de respeto, protección y no afección a los elementos estructurales originales. Esta actuación garantiza la seguridad y estabilidad estructural de un edificio emblemático de la ciudad de Madrid.

ABSTRACT

The purpose of this article is to develop the process and reinforcement work carried out on the foundation elements and central cores of the Torres Colón building as a fundamental premise to ensure the stability of the new geometric composition of the building. The actions are carried out with the inherent limitations of working in confined spaces and the obligations of respect, protection, and non-affectation to the original structural elements. This intervention guarantees the safety and structural stability of an emblematic building in the city of Madrid.

PALABRAS CLAVE: postesado, árido álcali, rigidez, gálibo, micropilote, cimentación

KEYWORDS: post-tensioning, alkali aggregate, stiffness, gauge, micropile, foundation.

1. Introducción.

La premisa fundamental en el diseño y desarrollo de proyectos de estructuras es asegurar la seguridad y estabilidad de las construcciones. Este principio rector implica una cuidadosa consideración de la resistencia de los materiales, las cargas que la estructura deberá soportar, las condiciones del terreno y el cumplimiento de las normativas vigentes. Además, es esencial integrar aspectos de sostenibilidad y eficiencia energética en el diseño, garantizando así que las estructuras no solo sean seguras y estables, sino

también respetuosas con el medio ambiente y eficientes en su uso de recursos.

En el caso de Torres Colón, la actuación pretendida es la de una rehabilitación del edificio existente con grado de protección parcial. La reestructuración global de un edificio precisaba pues de una evaluación detallada de los elementos existentes a fin de evaluar nuevas afecciones, la identificación de las áreas que requieren refuerzo y la implementación de soluciones que respeten las condiciones originales del edificio.

Este proceso de estudio previo, caracterización estructural, identificación de patologías preexistentes y definición de refuerzos fue realizado en cada uno de los elementos estructurales de Torres Colón, si bien el objeto de este artículo es el de desarrollar el proceso específico de refuerzo llevado a cabo en los núcleos de hormigón que sustentan las 2 torres y por ende la cimentación de las mismas, responsable de la transmisión de los nuevos esfuerzos al terreno.



Figura 1. Núcleos de hormigón en proceso de ejecución.

Durante el proceso de concepción, diseño y ejecución, la metodología BIM ha resultado fundamental a fin de conseguir mejoras en la precisión de ejecución, eficiencia y eficacia en la transmisión de información entre los distintos agentes intervinientes, permitiendo la anticipación a riesgos de ejecución y facilitando la recopilación de datos precisos para el mantenimiento y conservación de la estructura durante su vida útil.

Las interferencias en esta tipología de actuaciones son variadas, no solo intervienen las nuevas instalaciones proyectadas, sino que existen condicionantes de multitud de instalaciones y elementos existentes con imposibilidad de modificación y que interfieren de forma directa a la ejecución de los trabajos de refuerzo estructural.

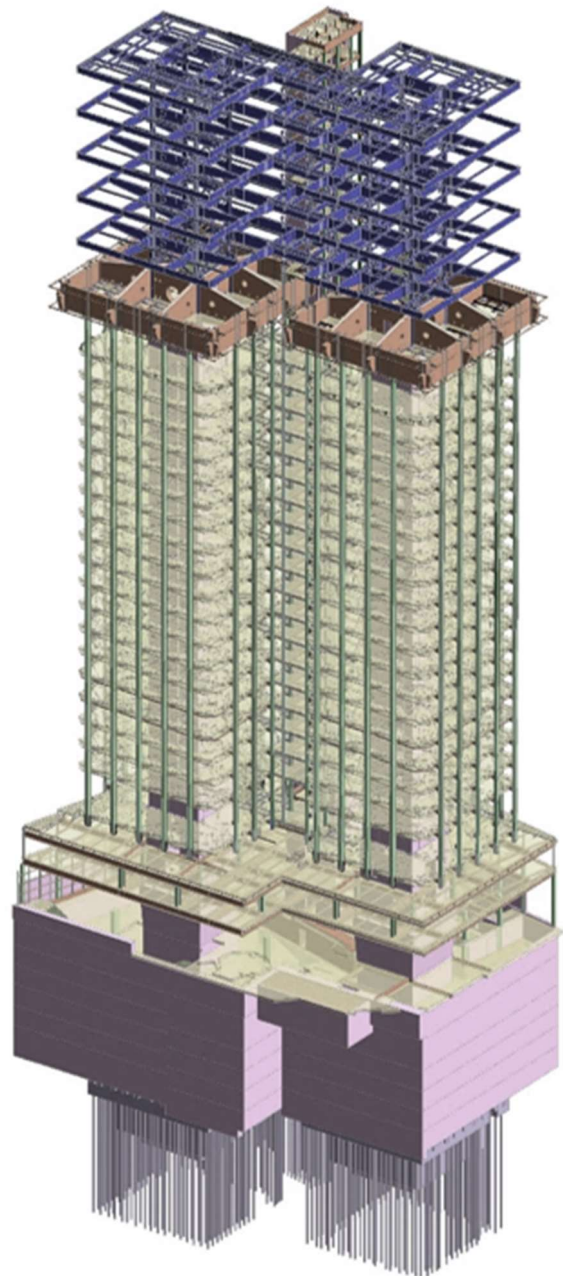


Figura 2. Modelado de estructura en REVIT.

Resulta preciso entender el funcionamiento original de la estructura para no proyectar un refuerzo que acabe siendo contraproducente para la estabilidad original bien porque modifique la transmisión de cargas originalmente proyectadas o bien porque genere nuevas tensiones para las que la estructura original no estaba diseñada, haciendo trabajar elementos proyectados en origen por encima de sus capacidades.

2. Proceso de refuerzos

Se pasa a detallar de forma separada la toma de decisiones en proyecto para diseñar los refuerzos de cimentación y de núcleo de torres, así como su proceso constructivo en fase de ejecución.

2.1 Cimentaciones de núcleos de torres.

El análisis previo desarrollado en este elemento estructural consistió en:

- Estudio geotécnico del terreno existente, con el fin de determinar la capacidad tensional del terreno para absorber las nuevas tensiones.
- Geometría de la cimentación existente. Ayuda a entender el funcionamiento en conjunto de la misma.
- Caracterización de materiales, identificando composición, capacidad y patologías existentes.

Como resultado de este análisis previo se pudo concluir la incapacidad de la cimentación existente para transmitir los nuevos esfuerzos al terreno de forma correcta precisándose una ampliación de superficie de reparto.

El origen de la mayor penalización es la acción del viento. La ejecución de la fachada de remonta, consistente en elevar 5 plantas por encima de las vigas de coronación existentes, supone un empuje de viento (análisis realizado mediante un Estudio de Túnel de Viento) que penaliza de forma crítica la cimentación existente.

Los resultados de la caracterización de la cimentación arrojaron la existencia de una patología de árido álcali.

En los ensayos realizados por el IETcc-CSIC se pudo contrastar que los áridos se encontraban fisurados paralelos a los paramentos libres de los elementos que forman la cimentación existente, esto es losa superior, inferior, muros del núcleo y cinturón pretensado. Además se constata la presencia de sales alrededor del árido.

La existencia de abundante agua en esa zona y especialmente la acumulación de la misma en el núcleo de la cimentación confinado por las losas horizontales parece ser el desencadenante de esta patología.

Todos estos condicionantes forman parte de las premisas consideradas en el diseño de la solución planteada.



Figura 3. Imagen afección por árido álcali.

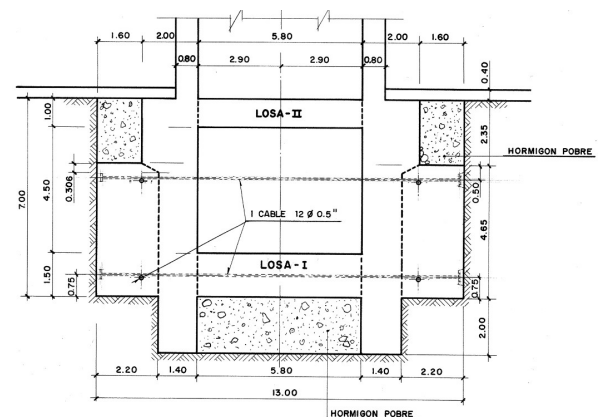


Figura 4. Esquema sección cimentación original

2.1.1. Proceso de ejecución de refuerzo de cimentación de las torres.

La solución de refuerzo planteada consistió, de forma resumida, en “abrazar” la zapata existente, recogiendo las cargas que bajan por el núcleo desde un nivel superior al que lo hace la actual

zapata y distribuyendo los mismos al terreno mediante la ejecución de micropilotes. Además se rellenará el hueco existente entre las losas superior e inferior de la cimentación existente.

La solución adoptada consiste en un encepado por encima del cinturón pretensado de la zapata existente, de canto variable, 1.350 m en el extremo de 2.950 m de poco antes de llegar a las paredes del núcleo existente, teniendo continuidad dicho encepado en la zona interior de los núcleos.

Este encepado se conecta a los muros del núcleo existentes mediante una serie de tendones de pretensado, tanto en la parte inferior (16 tendones de 27 cordones de 15.7mm de acero Y1860S7) y en la parte superior (controlando el vacío, 15 tendones de 15 cordones de 15.7mm, acero Y1860S7). Este pretensado asegura la continuidad estructural del encepado a través de las paredes del núcleo, incluyendo refuerzos.

El encepado se conecta a 120 micropilotes, de diámetro de perforación 225mm y armadura tubular 139.7x9mm, de una longitud total de 17.5 m, lechada de $f_{ck} = 45$ MPa e inyección repetitiva (IR).

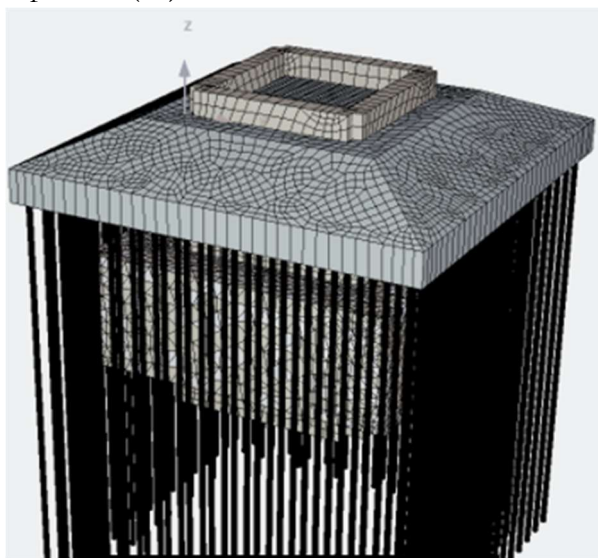


Figura 5. Modelo refuerzo micropilotado.

Para llevar a cabo estos trabajos secuenciaremos las siguientes actividades:

- Vaciado de tierras hasta una cota aproximada de 1,5m de profundidad

respecto cota superior de solera actual para implantación de micropilotadoras.

- Ejecución de micropilotaje con equipos y recursos específicos de bajo gálibo.
- Vaciado en una segunda fase hasta la cota inferior del cinturón de hormigón existente.
- Vertido de relleno de hormigón en masa hasta nivel de losa superior de zapata.
- Apeo de forjado planta -5 de forma perimetral al núcleo en previsión de corte necesario del mismo para la ubicación del refuerzo exterior de la zapata.
- Distribución armadura pasiva y activa de la zapata y del interior del núcleo.
- Ejecución de hormigonado mediante bombeo desde vía pública.
- Tesado de armadura activa tras fraguado de hormigón.
- Retirada de codales, puntales y encofrados provisionales y restitución de pavimento y forjado.

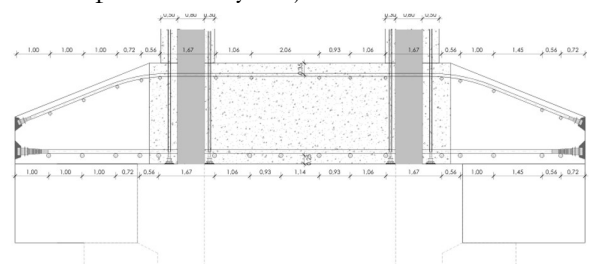


Figura 6. Esquema postesado refuerzo de zapata.

En todo el proceso enumerado con anterioridad destaca un condicionante fundamental que es el espacio reducido en el que se desarrollan estos trabajos, tanto para el tránsito y trasiego de materiales como el gálibo entre forjados.

Para llegar a la plataforma de trabajo, se precisa descender 6 sótanos con maquinaria pesada y trasiego de residuos pétreos resultado de los propios trabajos de vaciado y demolición, atravesando zonas donde se estaban ejecutando otros trabajos. En la propia planta -6 se desarrollaban de forma paralela trabajos de

demoliciones, refuerzos de cimentaciones de pilares, saneamiento, etc. con lo que la coordinación y planificación resultaron fundamentales para lograr los rendimientos previstos.

La cercanía de las actuaciones de vaciado a las pantallas de contención perimetrales cuyo empotramiento en inferior a la cota de vaciado a realizar precisan de un acodalamiento provisional hasta la ejecución de la losa definitiva de 40cm de canto, que además de servir de soporte de pavimentación del sótano ejercerá de elemento de coacción horizontal ante esfuerzos horizontales en la coronación de los pilotes.

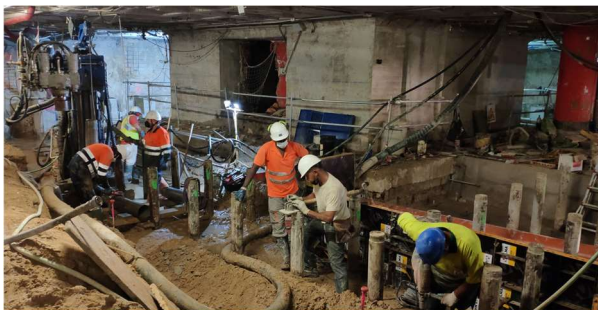


Figura 7. Fases de vaciado y micropilotado.



Figura 8. Fase de replanteo de armado

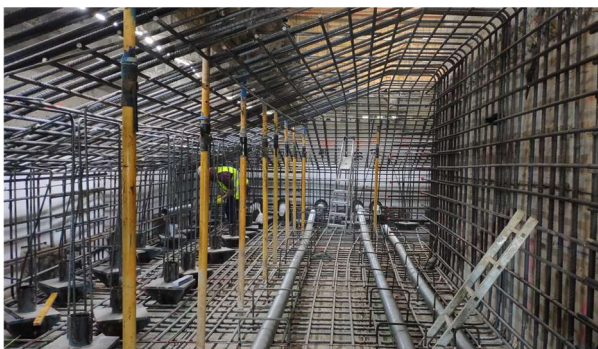


Figura 9. Fase de armado y disposición de armadura activa de cosido de refuerzo a antigua cimentación.



Figura 10. Fase de tesado y finalización.

2.1.2. Actuaciones en el interior de la zapata

Durante las obras con motivo de la rehabilitación integral de las Torres de Colón, se ha observado que los recintos de cimentación se encontraban sistemáticamente llenas de agua procedente del exterior que penetraban a través de algunas zonas de permeabilidad preferente en las correspondientes pantallas. Como quiera que dicha presencia de agua se ha manifestado indeseable para el comportamiento químico del hormigón, se ha optado por proceder a su relleno con hormigón, de manera que se impida el referido almacenamiento de agua en el futuro. La propuesta de intervención se fasea en los siguientes puntos:

- Eliminación de los restos de medios auxiliares de madera por métodos mecánicos
- Saneado y limpieza de toda la superficie de los paramentos de hormigón, mediante chorro de agua a presión.
- Cajado las zonas de coqueras mediante métodos mecánicos (martillo neumático de baja energía), en el caso de que el chorro de agua no haya sido capaz de sanear dichas zonas.
- Inyección de las fisuras/grietas que se hayan identificado que han actuado como vías de ingreso de agua
- Hormigonado del interior de la célula con hormigón autocompactante sin retracción con un escurrimiento en ensayo según UNE 83361 de, al menos,

clase AC-E3 de las definidas en el anejo 17 de la vigente Instrucción EHE-08.

- El hormigón será vertido con tubo Tremie embebido en la masa o, en su caso, con caída libre no superior a 1m.

2.2 Proceso de refuerzo de núcleos de torres.

El núcleo estructural de las Torres Colón presenta una geometría rectangular, con dimensiones aproximadas de 7 x 6,80 m y un espesor de hormigón armado de 60cm en su tramo superior de 69m de longitud que coincide con la altura de forjados suspendidos.

Su tramo inferior arranca en el nivel superior de cimentación con unas dimensiones de 740x730cm aproximadamente en su perímetro exterior y un espesor de muros de 80cm

El vertido de hormigón de este fuste se ejecutó por un proceso continuo de hormigonado, utilizando encofrados deslizantes para su avance y crecimiento.

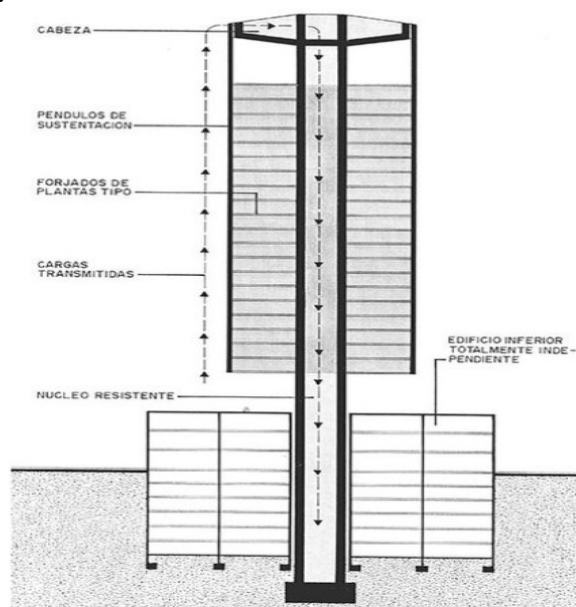


Figura 11. Esquema de recorrido de cargas.

Además, en los paramentos exteriores del tubo que conforma el núcleo, fueron instaladas placas metálicas en el hormigón, las cuales servirían como soporte para las sustentación, junto a los tirantes de fachada, de los forjados reticulares de

las plantas. Todo el conjunto atiende a un esquema de acciones similar al indicado en la imagen anterior.

De forma complementaria a la transmisión de cargas verticales, es el núcleo el responsable de mantener la verticalidad de las torres y limitar los desplazamientos horizontales en la cota superior de la edificación. Dada la esbeltez del edificio, la rigidez y estabilización a desplazamientos se busca mediante dos actuaciones:

La primera de ellas es la de aprovechar la nueva torre que albergará los ascensores de las nuevas torres. Se busca la conexión de las torres existentes y núcleo de ascensores, de manera que la acción del viento se reparta adecuadamente entre ellos. Esto es posible porque el nuevo núcleo de ascensores no añade superficie expuesta al viento, pero sí es un elemento que ayude a estabilizar las torres originales.

Sin embargo, las conexiones entre torres no deben producir un trasvase de carga gravitatoria a los forjados existentes, dado que las mismas acabarían sobrecargando los tirantes prefabricados originales, siendo esta una premisa a evitar en el proyecto. Esto obliga a realizar conexiones no activas a efectos gravitatorios, por lo que se emplea un sistema de puntal terminado en orejeta-bulón, capaz de transmitir las acciones horizontales necesarias para una distribución de la acción del viento, pero que no transmiten carga gravitatoria.

Además del apoyo en el núcleo de ascensores, se busca una mayor rigidez de los núcleos originales dotando de mayor sección a los mismos en las plantas de sótano. La altura de este refuerzo se encuentra limitada por la existencia de instalaciones inamovibles y la propia constitución del núcleo original que dispone de un cinturón añadido de postesado para sustentar forjados de plantas superiores.

Atendiendo a estas premisas el refuerzo ejecutado finalmente corresponde al incremento de sección en ambas torres por su interior en 30cm y por el perímetro exterior se aumentan 40 y 50 cm respectivamente en cada núcleo.

Ambos refuerzos se dimensionan para controlar su fisuración, tanto en servicio como en rotura, y por tanto limitar en la medida de lo posible las deformaciones horizontales.

El monolitismo del núcleo existente con los recrecidos se consigue mediante la disposición de armadura pasiva de cosido en toda la superficie reforzada, así como barras pretensadas distribuidas en la coronación del cinturón de refuerzo. Este armado pasivo y activo se concentra en la zona superior del recrecido para conseguir una entrada en carga de las zonas de recrecido inmediata. Este requerimiento es fundamental, dado que el monolitismo de la sección recrecida es necesario desde la cota de aparición de los recrecidos, para asegurar la rigidez completa y conseguir las limitaciones de desplazamientos necesarias en ELS.

En el resto de altura de recrecido la densidad del cosido se reduce considerablemente ($\Phi 10/0.50 \times 0.50$), pero se mantiene a efectos de no considerar únicamente la cohesión entre ambos hormigones, nuevo y existente, como la única fuente de absorción de rasante.

De forma paralela y, para poder garantizar la transición entre refuerzo de cimentación y núcleo de torres, el proyecto prevé la instalación en los recrecidos de hormigón un pretensado con tendones de 6 cordones, 8 por lado de recrecido exterior y 6 por lado interior. Este pretensado se dispone por dos motivos:

- Para garantizar una sección comprimida en servicio, en una altura de núcleo que de otra manera estaría fuertemente fisurada conduciendo a posibles aumentos de los desplazamientos horizontales en coronación.
- Para reducir efectos de segundo orden. Los núcleos, considerados exentos, tienen una esbeltez considerable:

En un cálculo de segundo orden como viga de los núcleos, se observa que el pretensado permite reducir los incrementos de esfuerzos por

segundo orden a un valor menor del 10% de los de primer orden, permitiendo por lo tanto desprestigiar dichos efectos de segundo orden

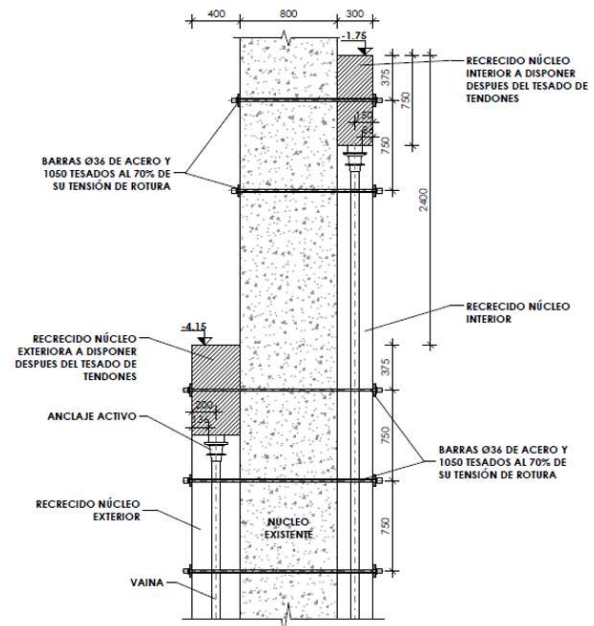


Figura 12. Sección refuerzo de muro en coronación.

La última actuación estructural proyectada en los núcleos la de cegar los huecos no concebidos como hueco de paso (se ha previsto la existencia de un único paso por planta). Este cierre es estructural, mediante conexión con armadura perforando las jambas y dinteles del núcleo existente y conectando el nuevo hormigón con el antiguo.

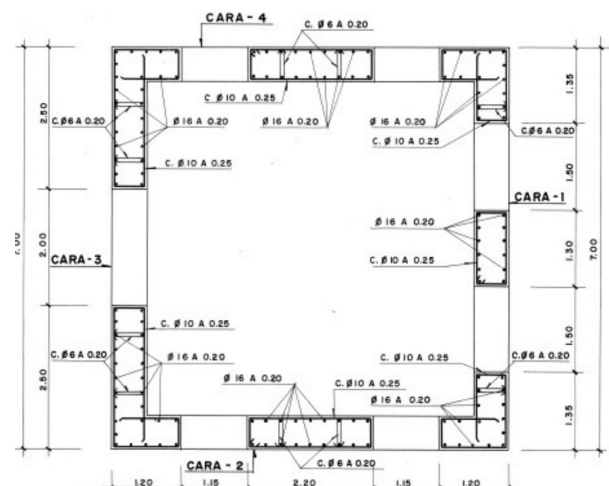


Figura 13. Esquema de disposición original de huecos en sección de núcleo.

El cierre de huecos está motivado para:

- Conferir más rigidez respecto a las acciones de viento al núcleo.
- Permitir incrementar la capacidad a cortante del núcleo, aumentando su canto útil.
- Aumentar la capacidad a flexocompresión del núcleo.

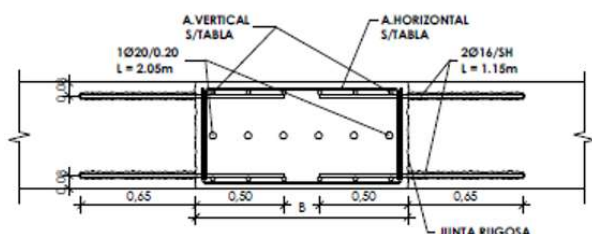


Figura 14. Sección de cegado de huecos.

El cierre se proyecta con hormigón HA-60, para minimizar los efectos de la retracción, mientras que el armado dispuesto ha de solaparse con armaduras que atraviesan los dinteles (verticales) y que anclan en el interior del núcleo existente (horizontales).

2.2.1. Proceso constructivo del refuerzo de núcleos.

La ejecución de las perforaciones y colocación de conectores pasivos y activos se realiza de forma previa en la totalidad de la superficie de los paramentos del núcleo instalando los medios auxiliares pertinentes.

Dado que el postesado vertical debe ser instalado antes del hormigonado del refuerzo de la zapata, se prevé la instalación de la distribución de vainas y armadura pasiva de forma previa a cualquier actuación y se perforan los forjados para la instalación de los tendones en toda su altura.

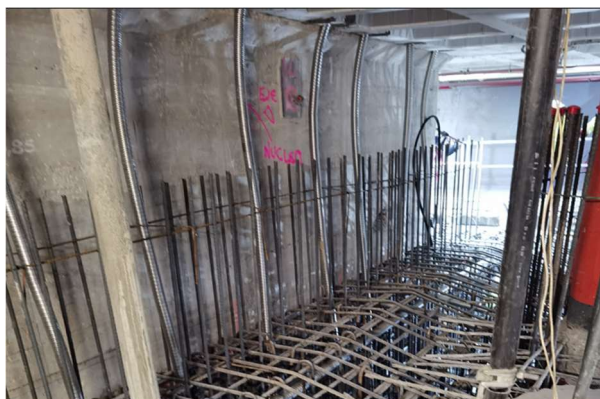


Figura 15. Fase de arranque de postesado vertical en refuerzo de muros desde cimentación.



Figura 16. Coronación de vainas y armado activo.

El incremento de espesor del núcleo debe ejecutarse de forma continua en toda su altura, lo que supone la previa demolición de los forjados que en origen se encontraban apoyados en el mismo, debiendo reconstruir el apoyo del forjado en la nueva posición que confiere la estructura. Esto supone:

- Apeo perimetral de los forjados afectados por el paso del refuerzo del núcleo y de forma previa a cualquier otra actuación. Este apeo se realiza de forma secuencial por plantas para evitar la ocupación de apeos en la totalidad de las plantas afectadas.
- Demolición de la franja perimetral de forjado reticular de sótanos previamente apeados con un ancho tal que permita alojar el nuevo refuerzo del núcleo, así como la ejecución del macizado perimetral del propio forjado para realizar el apoyo de forma adecuada.
- Suministro y colocación de armadura pasiva de los muros perimetrales que configuran los refuerzos.
- Encofrado por plantas desde niveles inferiores a superiores de los refuerzos proyectados dejando previstas las placas para sustentar posteriormente los apoyos de los forjados.

- Hormigonado mediante bombeo desde planta sobre rasante de los muros de hormigón que componen los refuerzos.
- Finalizados los hormigonados en toda su altura y adquirida la resistencia del hormigón tras un correcto fraguado se procede a tesar las barras horizontales de coronación y a postesar los tendones verticales.
- Restitución final de forjados en sentido descendente y desmontaje de apeos.



Figura 17. Fase previa de demolición de forjado.

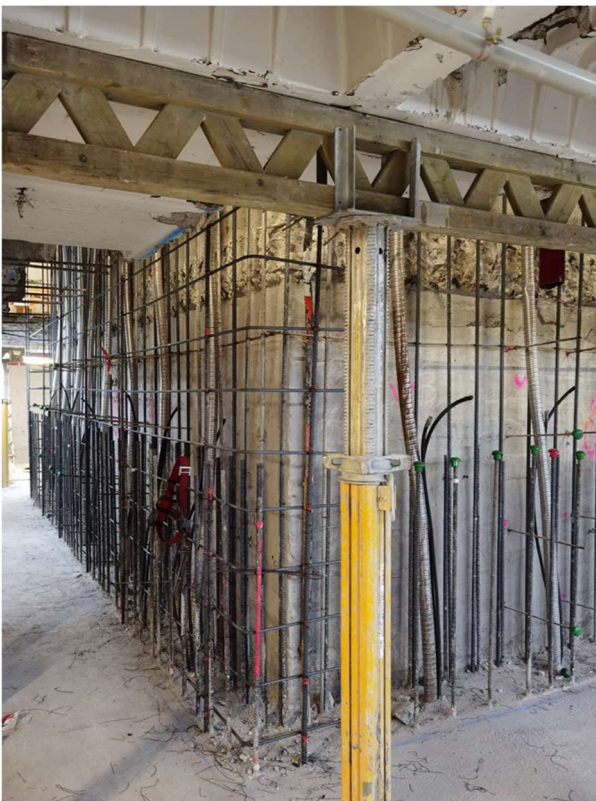


Figura 18. Fase de apeo y colocación de armado pasivo en refuerzo de núcleos.



Figura 19. Fase de encofrado de refuerzo de muro de núcleo.

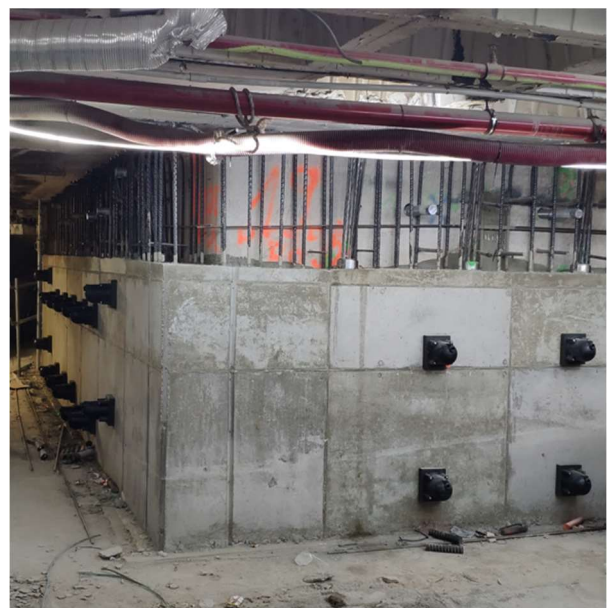


Figura 20. Fase de tesado de barras horizontales y de tendones verticales.

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

Desde el primer momento de la concepción, el proyecto de Torres Colón de Antonio Lamela ha debido adaptarse a las circunstancias, pasando de un uso originario de residencial vivienda colectiva a un uso final de oficinas. Así mismo, posteriores adaptaciones a normativa urbanística y sectorial han sido motivo de la adopción de

intervenciones de rehabilitación de mayor o menor calado.

El proyecto de refuerzo desarrollado en la estructura y cimentación ha sido diseñado de forma que el respeto al sistema de ejecución original, a los materiales y al concepto de las torres haya ido de la mano con las garantías de seguridad y estabilidad estructural que rige la normativa vigente.

El proyecto de Nuevas Torres Colón de Luis Vidal Arquitectos ha sido la última de estas actuaciones que, desde el respeto y no afección a los elementos motivo de protección urbanística, ha precisado de un proyecto de refuerzo estructural global y específico, no exento de complejidad, premisas y condicionantes y que desde CALTER ingeniería ha supuesto un reto en cuanto a diseño de proyecto y gestión en la ejecución.

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