

Torres Colón: Un icono estructural 1970-2020, y sus nuevos cincuenta años: 2020-2070

Torres Colón: A structural icon -1970-2020- and its new fifty years -2020-2070-

Juan Carlos Arroyo Portero^a, Jesús Álvarez Fernández^b, Luis Lozano Bodeguero^c,
Ignacio García Arbeteta^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CALTER ingeniería, jcarroyo@calter.es

^b Ingeniero de la edificación. CALTER ingeniería, jalvarez@calter.es

^c Arquitecto. CALTER ingeniería, llozano@calter.es

^d Arquitecto técnico. CALTER ingeniería, igarcia@calter.es

RESUMEN

La estructura de las Torres Colón es una idea original de la oficina CFC (Javier Manterola). Tras un breve relato de la historia y una descripción del proyecto original, se explican las decisiones estructurales de las Nuevas Torres Colón. En la elección de las soluciones se ha mantenido el máximo respeto por las torres colgadas, patrimonio madrileño. Revisar el estado de la estructura de forma intensiva para garantizar que las actuaciones fueran posibles; proponer refuerzos; elevar la construcción cinco alturas; construir un núcleo de escaleras que permitiera apoyarse en las dos torres existentes; todo ello ha sido un reto de proyecto y construcción que ha durado casi 8 años.

ABSTRACT

The structure of the Colon Towers is an original idea of the CFC office (Javier Manterola). After a brief account of the history and a description of the original project, the structural decisions of the New Colon Towers are explained. In the choice of solutions, the maximum respect for the hanging towers, Madrid's heritage, has been maintained. Reviewing the state of the structure intensively to ensure that the actions are possible; proposing reinforcements, raising the building five storeys, building a stair core that allows the two existing towers to lean against each other, all this has been a project and construction challenge that has lasted almost 8 years.

PALABRAS CLAVE: Manterola, estructura colgada, remonta, tirantes postesados, zapatas postesadas.

KEYWORDS: Manterola, hanging structure, building rise, post-tensioned ties, post-tensioned footings.

1. Historia de las Torres Colón hasta 1970

En el año 1891 se construyó, en la parcela que actualmente ocupan las Torres Colón, el Palacio de don Luis de Silva y Fernández de Córdoba

(Figura 1). Dicho palacio se mantuvo en pie hasta el año 1961 cuando una operación inmobiliaria propuso la construcción, en ese solar, de un edificio de viviendas.

El Palacio era un edificio de cierto valor histórico, pero muy parecido a otros muchos de la zona y por eso se concede su permiso de derribo.

El promotor, Osinalde, encarga al arquitecto Antonio Lamela el proyecto del nuevo edificio. Las viviendas se plantearon en dos Torres sobre rasante, más 6 sótanos destinados a aparcamiento.



Figura 1: Palacio de don Luis de Silva y Fernández de Córdoba.

Debido a la complicada geometría de la parcela y al número de plantas de sótano que necesitaban sus correspondientes rampas -para hacer el aparcamiento útil- se debía prescindir, en la medida de lo posible, de un gran número de pilares. Esta circunstancia hizo que los planteamientos estructurales de las Torres tuviesen como denominador común la exigencia de evitar los pilares en las plantas de sótano, lo cual obligó a generar un núcleo resistente y una estructura sobre rasante que transfiriera todas las cargas hacia dicho núcleo.

Las posibles soluciones con esta condición eran: construir una cimentación en planta primera y subir en construcción tradicional hasta la planta última o, la solución que finalmente se llevó a cabo que consistía en subir las cargas hasta la parte alta de la torres, que luego se recogían en unas vigas de coronación que trasladaban la carga por flexión al núcleo vertical. Esta estrategia estructural evidentemente necesita la construcción de tirantes en la torre.

En todo el proceso de decisión de la tipología estructural participa de forma activa el equipo de Carlos Fernández Casado, muy especialmente Javier Manterola, y son ellos los responsables de llevar a cabo el proyecto de construcción de la estructura de las Torres, que

se empiezan a construir, lógicamente, por los núcleos hasta la coronación. Posteriormente se ejecutan las vigas de coronación, se descuelgan los tirantes y se construyen en ritmo descendente los forjados de la torre.

Cuando los dos núcleos estaban terminados y, una buena parte de las vigas de coronación también, aparecieron los problemas de licencia que paralizaron la construcción de las Torres. Era la época en que Carlos Arias Navarro era alcalde de Madrid y Carrero Blanco estaba a punto de ser presidente del Gobierno, y entre ambos políticos se mantuvo una cierta tensión pues tenían opiniones diversas con respecto a la paralización de las Torres. Las Torres colgadas eran sin duda un símbolo de los comienzos de la modernización del país.

La razón fundamental de la paralización fue la discusión sobre la cota de coronación. La cota superior de las vigas superiores sobrepasaba los 100 m; sin embargo, la cota máxima habitable de las Torres estaba por debajo. En esos términos se mantuvo la discusión que terminó en pleito del promotor y el Ayuntamiento y que acabó dando la razón al promotor, Osinalde, que a cambio de la paralización durante 2 años de las obras, recibió en premio un suculento cambio de uso de vivienda a oficinas y un incremento de edificabilidad en las plantas sobre rasante y por debajo del primer forjado colgado.

Las Torres se venden a Rumasa y a los siete años, en 1983 son expropiadas. En 1986 las compra Herón y en 1995 Mutua Madrileña. Posteriormente, Mutua Madrileña explora la posibilidad de venderlas para uso hotelero, pero finalmente se decanta por mantener su propiedad y remodelarlas para uso de oficina.

2. Estructura de 1970

La estructura de las Torres de Colón es bien conocida. Es una estructura colgada con tirantes de hormigón postestado en el perímetro, que descargan en las vigas de coronación y, de ahí al núcleo central.

El núcleo central atraviesa todos los sótanos y se cimenta penetrando en el terreno unos 8 m, generando una superficie de cimentación de poco más de 50 m² por torre.

Contando con las 20 plantas de la torre, con una superficie algo inferior a 400 m², se puede deducir una tensión admisible bajo el núcleo de cada torre de unos 15 kp/cm². Por suerte el terreno en el arroyo Castellana y a esa profundidad es de sobra suficiente para resistir ese nivel de tensión.

Aunque la tipología estructural de las Torres de Colón se conoce bien, es quizá menos conocido, y no por eso menos interesante, el proceso constructivo, tanto la excavación de los sótanos, la cimentación de los núcleos y la corona de vigas superiores, el descuelgue de los cables de acero de los tirantes, el enhebrado de los tirantes de hormigón y la construcción sucesiva de las diferentes plantas de arriba a abajo.

La construcción comienza con la ejecución de las pantallas perimetrales de los sótanos. El proceso descendente de construcción necesita arriostrar dichas pantallas unas contra otras y para ello se generan en una planta sí y otra no forjados que transmiten la carga de empuje de las tierras. Debido a que hay unas placas de forjado que transmiten, por su rigidez, el empuje de las tierras a la pantalla enfrentada, estos forjados tienen diferente configuración que los forjados que se construyen después sin esa responsabilidad. El equipo de Manterola eligió un forjado reticular de geometría triangular por su mayor rigidez (Figura 2).



Figura 2: Forjado reticular de morfología triangular

De la misma forma que se bajan hasta el último sótano las pantallas perimetrales, también se bajan los futuros núcleos, los cuales se empotran unos 8 m en el terreno por debajo del último sótano. Cuando por el proceso constructivo se llega al sótano -6, se genera un recrido por debajo de esa planta para proceder al tesado horizontal de las cuatro paredes del núcleo que permitan su trabajo como cajón. (Figura 3).

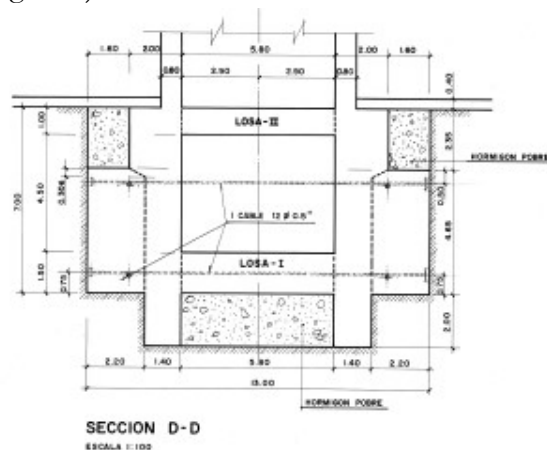


Figura 3: Cimentación del núcleo. Cortesía de CFC.

Además, tanto en la cota del sótano -6 como 5 m por debajo, se construyen dos grandes losas que generan, junto con las cuatro paredes del cajón, un recinto estanco que permite darle rigidez al núcleo enterrado.

El trepado del núcleo se convierte en una imagen icónica de Madrid en aquellos años. El núcleo es un elemento con muchos huecos y, al ver dos núcleos elevarse hasta los 100 m, los paseantes del Madrid de los años 70 se preguntaban: ¿cuál es el motivo de esa extraña construcción?; los más atrevidos e ingenuos llegaron a insinuar: ¡qué pisos tan pequeños y cuántas ventanas!. (Figura 4).



Figura 4: Vista interior y exterior de los núcleos

Cuando la construcción llega a la parte alta y han de ejecutarse las vigas postesadas de los hombros, el sistema de encofrado no tiene la suficiente rigidez como para recoger el peso de dichas vigas y se construye un encofrado que resista solamente la mitad de las vigas; la otra mitad se construye apoyándose en la primera, de forma que el sistema de encofrado resulta notablemente más económico.

El sistema de *hombros* de cada torre consiste en cuatro vigas apoyadas en los lados del núcleo. En los 8 extremos de dichas vigas se apoya una viga perimetral de la que descuelgan los tirantes de las Torres.

Las Torres tienen dos lados con 5 tirantes y dos lados con 4 tirantes. La torre Génova tiene

sus lados de 5 tirantes mirando a Génova, y la torre Castellana tiene sus lados de 5 tirantes mirando a Castellana, de forma que las Torres no son idénticas sino muy similares y giradas 90°.

El proceso constructivo de las plantas descolgadas y el tesado de los tirantes es realmente imaginativo. En cada posición de tirante, se dejan tantos cables como tramos de tirante de hormigón van a ser ejecutados. Aproximadamente cada tirante tiene 10 tramos, uno cada dos plantas y por lo tanto de cada situación de tirante se descuelgan 10 cables de diferentes longitudes, de tal forma que la primera familia de tirantes de hormigón, que es la más alta, se enhebra desde abajo hasta su posición definitiva arriba y se tesa el cable correspondiente a dicha altura. Una vez ejecutados los tirantes de la planta más alta se ejecuta el forjado de dicha planta, y este proceso va descendiendo hasta la planta más baja construyendo plantas cada dos y la planta entre ambas dos se ejecuta de forma convencional cimbrada sobre la planta inferior.

La rigidez frente al viento viene determinada fundamentalmente por la rigidez del núcleo, pero los tirantes ayudan en ese trabajo. Cuando la torre flexa por el viento, los tirantes de la zona convexa se estiran y los de la zona cóncava se comprimen generando un esfuerzo flector contrario, mejorando la rigidez frente al viento. Este efecto se tuvo en cuenta en los cálculos de proyecto y no era despreciable.

3. Intervención de los años 90

En los años 90, debido a la necesidad de construir una escalera de evacuación exterior a las dos Torres por motivos de protección contra incendios, y también debido a que la fachada original podía ser mejorada en términos de soleamiento y aclimatación, se procedió a una reforma parcial pero importante.

La fachada se suplementó con una nueva piel que incrementó la carga sobre los tirantes de forma considerable.

Por otro lado, la escalera de emergencia no se podía apoyar sobre los rajados existentes para no sobrecargar los tirantes. Esta condición obligó a colgar el vestíbulo mediante una superestructura metálica apoyándose en la cabeza de los núcleos de las dos Torres. Como la cercha metálica necesaria estropeaba la estética de las Torres, se construyó un adorno que las tapaba y que se convirtió por su color turquesa y su curiosa forma en una imagen del Madrid de estos últimos años, el famoso enchufe.

Los tirantes en su proceso constructivo fueron comprimidos a una compresión algo superior a la tracción exterior debida a las cargas de los forjados, de forma que en cualquier momento de la historia de la torre los tirantes conservan su compresión: el hormigón de los tirantes está comprimido y las juntas entre los tirantes prefabricados también. Sin embargo, el incremento de tracción provocado por el aumento de la carga debida a la nueva fachada puso alguno de los tirantes al borde de la descompresión y esta circunstancia, para el nuevo proyecto de las Torres Colón, es el hecho que ha promovido la decisión de retesar de nuevo todos los tirantes.

4. Revisión de la estructura existente

Cuando CALTER recibe el encargo por parte de la arquitectura LVA, la propuesta de la nueva arquitectura exigía la construcción de una remonta de 5 placas de forjado por encima de la actual coronación. Los criterios edificatorios fundamentales en los que se basa la propuesta del arquitecto son: que no se pueden utilizar más metros cuadrados que los actuales y que no se puede sobrepasar la cota máxima actual del enchufe, por lo tanto hay un hueco edificatorio entre la corona de vigas de la estructura original y la cota máxima admisible de la construcción.

El proyecto de arquitectura y estructura, que ha durado casi 5 años, ha tenido multitud de idas y venidas que han respondido a un trabajo colaborativo entre la arquitectura y la estructura

que ha permitido que la propuesta esté totalmente integrada. Su proyecto se ha regido por dos asuntos fundamentales: por un lado, la capacidad de generar una nueva ocupación en las Torres y, por otro, desde el punto de vista de la estructura, el respeto absoluto del legado estructural que el nuevo proyecto recibe del proyecto de Carlos Fernández Casado.

Este queda representado de forma fundamental por el nombre de la tipología estructural utilizada: *estructura colgada*. Dicha estructura colgada se materializa fundamentalmente en los tirantes y las vigas de los hombros superiores que descargan sobre un núcleo que no forma parte sustancial de la estructura colgada puesto que hace muchas otras funciones lógicas de un edificio alto.

Para afrontar los trabajos sobre una estructura existente y en este caso, con la responsabilidad de respetar las icónicas Torres Colón, la ingeniería (Calter) está obligada a conocer de la forma más profunda posible el estado de la estructura que recibe heredada.

La revisión estructural y geotécnica fue realmente extensiva, no al cien por cien pero, en los elementos más importantes y responsables, tuvo una intensidad realmente importante.

Se comprobó la capacidad geotécnica del terreno corroborando lo que sin duda expresaban los 50 años de vida de la torres, la alta capacidad portante del terreno

Se hizo una inspección muy intensiva del estado de los tirantes, que era el asunto que más preocupaba. Sin embargo, la operación de evaluación realizada con mucha dedicación y experiencia por parte de RETINEO nos trasladó a todos la seguridad de que los tirantes están en un perfecto estado, no habiéndose detectado ninguna patología en los centenares de sondeos que se realizaron.

La resistencia del hormigón de los núcleos y de los forjados, el estado de los postesados de las vigas de coronación, en definitiva, toda la estructura de las Torres Colón estaba en una

situación muy favorable para seguir viviendo sin ninguna duda otros 50 años más.

Pero, en los cajones de cimentación de ambos núcleos, en el recinto estanco generado por las cuatro paredes y las dos losas, se detectó agua. Los cajones estaban anegados con más de 100 m³ de agua almacenados en estos 50 años, provenientes del subterráneo arroyo Castellana.

Además, en las paredes de los cajones y en las losas horizontales que generaron el recinto, se detectaron algunas patologías del hormigón que debían ser subsanadas. El Instituto Torroja realizó los ensayos de caracterización de las patologías encontradas y se dictaron una serie de medidas que paralizaron la patología, la estabilizaron y permiten asegurar sin duda que la cimentación de la torre tiene una nueva vida.

Es el momento de decir que si no hubiese habido una inspección extensiva o no se hubiesen acometido las obras de reforma de las Torres Colón, la patología podría haber desembocado en algún mal mayor.

Aunque el estado de los tirantes era impecable, y debido a los análisis de la historia de cargas de los tirantes, se detectaron ciertas carencias de tensión en algunos de los tirantes. Eso significaba que la compresión de los tirantes, que garantizaba el tesado de los años 70 y que generaba un resguardo de compresiones frente a las acciones exteriores, en algunos tirantes podía casi haberse perdido, lo que ponía en duda la eficacia en servicio de dichos tirantes, no su rotura, pero sí su elongabilidad, que habría sido una circunstancia bastante molesta para la horizontalidad de los forjados.

Por eso, y porque justo en el momento en que estaba proyectándose la rehabilitación de las Torres para una nueva vida útil ocurrió el accidente del puente de Génova, con una tipología de tirantes muy parecida, y con unos problemas claros de mantenimiento que llevaron al colapso del puente. Para garantizar las nuevas compresiones, estando tranquilos porque el estado de los tirantes de las dos torres era impecable, se recomendó a la propiedad generar

una compresión añadida que garantizase que los cables seguirían comprimidos en su siguiente vida útil (Figura 5).

5. Estructura para otros 50 años 2020-2070.

El objetivo del proyecto de las nuevas Torres Colón ha sido, fundamentalmente, la construcción de una remonta en ambas Torres. Después de muchas discusiones Propiedad-Arquitecto-Patrimonio, se decide ejecutar una remonta idéntica en ambas Torres, manteniendo la imagen gemelar y separando claramente la imagen de la remonta de las Torres originales, para mantener el espíritu de las Torres colgadas y también diferenciando su fachada de forma que de nuevo se mantenga la diferencia entre las Torres originales y la remonta superior.



Figura 5: Anclaje inferior de los nuevos postesados

La consecuencia de hacer una remonta de 4 alturas -aunque son 4 alturas, equivalen casi a 6 plantas porque tienen mucha altura libre- por encima de las 20 alturas de la torre original genera un reto mayúsculo, aminorado porque el estado estructural de las Torres era inmejorable.

En números gordos, se puede decir que el incremento de axil provocado en los núcleos debido al incremento de forjados de la remonta, no superaba el 20% del axil original. Sin embargo, por estar la remonta tan alta, el incremento de flexión por viento que se producía en los núcleos era del orden del doble del flector existente sin la remonta. Este reto era insalvable, ni siquiera reforzando muchísimo los dos núcleos existentes. Esta imposibilidad, unida a la necesidad arquitectónica de liberar el espacio construido habitable de la forma más óptima posible, llevaron a la conclusión de que la construcción del núcleo de ascensores en un elemento vertical externo, y al norte de las dos torres, permitiría por un lado liberar espacio en ambas Torres y, por otro, permitía generar lo que podemos denominar como la tercera pata del sistema frente a viento. La estructura conjunta de las dos Torres, más el núcleo de ascensores, generaban un sistema de 3 patas que permitía resolver los esfuerzos de viento no por flexión propia de los dos núcleos de las dos Torres sino como un sistema tri apoyado.

Esta decisión arquitectónico estructural es la que hace viable el proyecto de las nuevas Torres Colón.

Las actuaciones fundamentales sobre las Torres Colón para generar las nuevas Torres Colón son tres: la construcción de la remonta, la construcción del núcleo vertical que recoge los ascensores y los refuerzos necesarios de la estructura existente que permiten construir dichas nuevas estructuras.

5.1 Remonta

El proyecto de remonta es conceptualmente muy sencillo de evaluar, pues se trata de apoyarse, por supuesto, solamente en el núcleo de la torre y elevar sobre ella los 5 nuevos forjados.

La discusión tipológica que decide la solución final es realmente convencional pues se evalúan los tres posibles sistemas para construir la remonta.

Un sistema que, partiendo del núcleo conforma cada planta volada sobre éste

Un sistema que, partiendo del núcleo genera en la primera planta elevada un sistema volado que recoge las otras cuatro.

Y, por último, un sistema que clonarse la estructura de las Torres Colón, es decir, generando una corona de vigas voladas sobre el núcleo en la parte alta de la estructura, de la cual colgasen los forjados inferiores.

Por razones de economía, facilidad constructiva y para evitar la semejanza tipológica de la remonta con las Torres originales, se eligió como solución final y óptima la ejecución de cada planta volada sobre el núcleo, con una estructura metálica tanto el núcleo como en cada una de las plantas. (Figura 6).

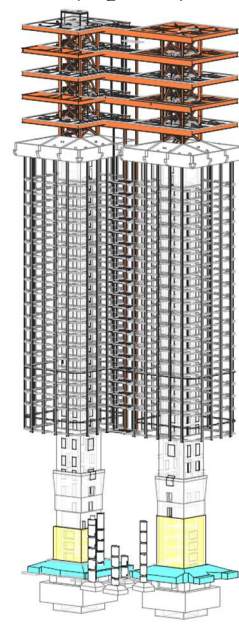


Figura 6: Modelo SOFISTIK de las torres con remonta.

5.2 Nuevo núcleo de ascensores

El núcleo de ascensores es la tercera pata del sistema que permite resistir el viento de forma asumible.

El núcleo de ascensores debe tener una cierta rigidez, comparable a la de los núcleos de las dos Torres como para que participe del proceso resistente frente a viento.

El núcleo de ascensores debe estar unido de una forma singular a las Torres existentes,

puesto que dicha unión debe facilitar la transferencia de las cargas de viento hacia este núcleo, pero también debe evitar cargar en vertical las Torres, por lo que se genera un detalle especial.

El asunto más complejo para resolver en el núcleo es que, como ya pasó cuando se construyeron en los años 70 las torres, bajar el núcleo hasta la cimentación supone inutilizar de forma completa el uso del aparcamiento - cuestión indiscutible para poder hacer la operación inmobiliaria-. Por tanto, el núcleo no puede bajar hasta cimentación.

Este reto generó la necesidad de construir en el sótano -1 un emparrillado de vigas de canto flotantes (Figuras 7 y 8) que recogiendo por arriba la geometría del núcleo de ascensores traslade la carga a los pilares existentes del aparcamiento. Por supuesto, se han tenido que reforzar tanto los pilares como su cimentación.

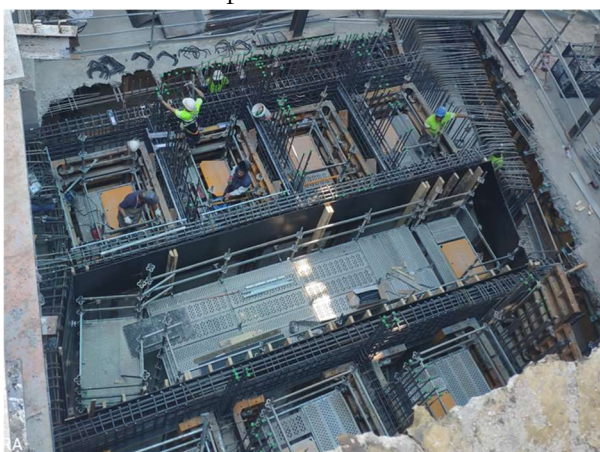


Figura 7: emparrillado de vigas de cimentación del núcleo de ascensores

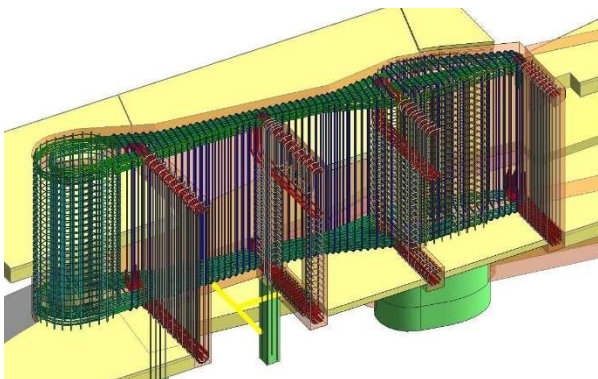


Figura 8: Detalle del armado del emparrillado de vigas

5.2 Refuerzos de la estructura y la cimentación

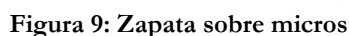
Aunque los esfuerzos de viento con la existencia del tercer núcleo se ven bastante disminuidos en los núcleos existentes, ha sido necesario reforzar estos últimos, especialmente bajo rasante

El refuerzo ha consistido en un incremento del espesor que se ha armado y se ha postesado en vertical para garantizar que la sección transversal del núcleo frente a los esfuerzos horizontales no fisura.

Con los nuevos esfuerzos de viento (obtenidos del túnel de viento realizado por la empresa Wacker) y las exigencias de flecha frente a viento en la planta más elevada, se hacía necesario el control de las secciones fisuradas en el arranque del núcleo para no penalizar la flecha con la inercia fisurada. La compresión vertical utilizada ha permitido garantizar la inercia bruta a efectos de cálculo de flecha.

Como hemos dicho antes, el incremento de carga no era grande pero se hacía necesario un refuerzo de la cimentación que garantizase el cumplimiento de los estados límite del terreno. Para ello, la ingeniería geotécnica de CALTER liderada por Fernando Rodríguez Ballesteros, adoptó, como mejor solución, la mejora del suelo a través de una inyección de jetgrouting..

En fase de construcción finalmente, y después de muchos análisis técnicos y económicos con los ingenieros de la constructora (CESMA) y los asesores técnicos de la promotora (FHECOR), por diversos motivos se propuso una solución de micropilotaje. Ambas soluciones aumentaban lógicamente la superficie de apoyo del edificio en el terreno teniendo que materializar una zapata envolvente del núcleo que debía ser vinculada a éste con postesado horizontal y que se apoyaba finalmente en el sistema de micropilotes (Figura 9).



Helena Sánchez

[4] Fernández Casado, C.; Manterrola, J.; fernandz Troyano, L. (1977) *Estructura de las Torres Colón, Madrid, España.*, Informes de la construcción, 30 (293).