

El sistema constructivo “Top Down”: Ejecución de un edificio residencial plurifamiliar con parking robotizado sito en calle Fco de Ricci 13 de Madrid

The “Top Down” construction system: execution of a multi-family residential building with robotic parking at 13 Fco de Ricci Street in Madrid

Flavia Proverbio^a, Juan Rey-Rey^b, Jacinto Ruiz Carmona^c y Antonio Manuel Bueno Bleda^d

^a Ingeniero Civil. Máster Estructuras de Edificación. Mecanismo Ingeniería. Jefe de Equipo. flavia.proverbio@mecanismo.es

^b Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mecanismo Ingeniería/Universidad de A Coruña. Director/Profesor Asociado. juan.rey@mecanismo.es

^c Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mecanismo Ingeniería/Universidad Politécnica de Madrid. Director Técnico/Profesor Asociado. jacinto.ruiz@mecanismo.es

^d Arquitecto. Máster Estructuras de Edificación. Mecanismo Ingeniería. Jefe de Equipo. antonio.bueno@mecanismo.es

RESUMEN

Para la construcción de un edificio residencial sito en el barrio madrileño de Chamberí se opta por utilizar el sistema constructivo “Top Down”, también conocido como ascendente-descendente. Se trata de un edificio entre medianeras de 29 viviendas distribuidas en siete niveles sobre rasante y cubierta plana y dos forjados de sótano intermedios donde se instala un aparcamiento robotizado. La técnica constructiva elegida permite desarrollar, en paralelo, la estructura por encima y por debajo del nivel del terreno, lo cual conlleva a una optimización de plazos y costes, además de una menor afeción a los edificios medianeros colindantes, secuenciar el vaciado de la parcela y optimizar el dimensionado de las contenciones.

ABSTRACT

The “Top Down” construction system is chosen for the execution of the residential building located in Chamberí centric Madrid neighbourhood. It is 29 apartments building between party walls in seven floors, plain roof and two intermediate floor levels underground where a robotic parking is installed. The special construction technique chosen allows build, in contemporary, the structure above and under ground level, optimizing deadlines and costs, as well as less impact of the adjacent party buildings, sequencing the emptying of the plot and optimizing containments dimensions.

PALABRAS CLAVE: ascendente-descendente, hormigón, pilotes, micropilotes, parking robotizado

KEYWORDS: top down system, concrete, piles, micropilotes, robotic parking

1. Descripción del proyecto

Se trata de un edificio entre medianeras de 29 viviendas construido por la promotora del

Grupo Aligrupo, Alibuilding, y cuya estructura ha sido diseñada por Mecanismo Ingeniería.

La parcela tiene una longitud de fachada de unos 22 m y una profundidad máxima de unos 34 m; sobre ella existía otro edificio que se demuele por completo antes del comienzo de los trabajos.



Figura 1. Vista renderizada de la fachada de edificio.

La nueva edificación consta de planta baja más seis niveles sobre rasante, cubierta plana y tres sótanos bajo rasante donde se instala un aparcamiento robotizado en cinco niveles según se muestra en la siguiente imagen.

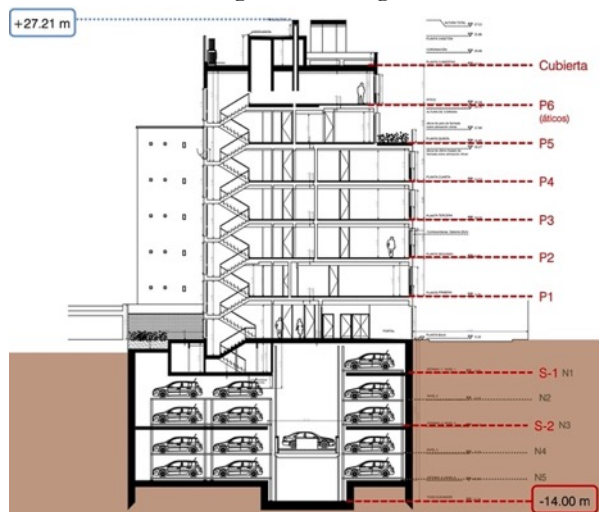


Figura 2. Sección del edificio transversal a la fachada e indicación de niveles.

La losa de cimentación se dispone en dos niveles debido a la existencia del foso del ascensor de coches del aparcamiento robotizado.

El esquema estructural general adoptado para el edificio corresponde a pórticos de hormigón, con pilares de hormigón armado de clase resistente C35/45 y vigas y losas macizas

de hormigón armado de clase resistente C25/30 desde cimentación hasta la cubierta.

Los forjados de losa maciza son de distintos cantos, de entre 20 y 40 cm, habiendo vigas de canto importante (hasta 150 cm) en la planta segunda que puentean pilares apeados en la zona de entrada al parking y del elevador de coches. También existen pilares apeados en los niveles superiores: los apeos se resuelven o bien con vigas de cambio de nivel (con canto aproximadamente de 40 cm), o con losas de mayor canto y con refuerzos.



Figura 3. Fotografía de obra: vista de la fachada principal con los tres primeros forjados y la zona de entrada al aparcamiento con su doble altura y las vigas de canto para el apeo de los pilares de los niveles superiores. 18.08.21.

2. Proceso constructivo con método ascendente-descendente

Tras haber barajado diferentes alternativas, se plantea utilizar el método ascendente-descendente para la construcción de los elementos de contención y cimentación y para la estructura del edificio en general.

La metodología ascendente-descendente se emplea en obras en las que la duración de la obra es un factor determinante o en la que el sistema constructivo lo permite y se aprovecha ese sistema para simultanear la construcción sobre rasante y bajo rasante [1,2]. Básicamente, consiste en construir inicialmente la contención perimetral y pilares de soporte de la estructura

con pilotes/micropilotes, luego se excava y se hormigona el forjado directamente sobre el terreno, repitiendo este proceso en cada nivel de sótano; se completa así la estructura bajo la superficie (descendente), mientras la estructura superior (ascendente) puede comenzar a construirse en forma independiente apoyándose en los soportes ejecutados. El proceso constructivo de “Top Down” (Up Down) comenzó a ser utilizado para la construcción de líneas de metro en los lugares en los que se necesitaba poner en marcha las vías a nivel de rasante casi al mismo tiempo que se construían las estructuras bajo rasante; posteriormente su uso se extendió a edificación, dadas las ventajas que proporcionaba [3].

En particular, en el presente proyecto se propone el siguiente método constructivo:

1. Realizar la estructura de contención de tierras con pantallas discontinuas de pilotes de diámetro de 45 cm y 55 cm, en hormigón armado C25/30. La cota de coronación de los pilotes varía según las cotas del terreno a contener en los distintos laterales y la cota de terreno en la parcela una vez demolido el edificio existente.
2. Realizar, desde la cota superior de trabajo, una serie de micropilotes de diámetro 35 cm necesarios tanto para la fase de obra como para la fase final de proyecto y ubicarlos en correspondencia de la posición definitiva de los pilares según proyecto, para que puedan quedarse embebidos dentro de estos últimos. Será especialmente importante asegurar la verticalidad de dichos micropilotes por tratarse de elementos que, como se ha indicado, van a quedar embebidos en los futuros pilares de hormigón armado.
3. En fase de obra, proporcionar dos niveles intermedios de acodalamiento a los micropilotes; los arriostramientos metálicos

podrán retirarse tras el vertido de hormigón de los pilares, cuando se procederá a recortar los perfiles que sobresalgan del perímetro de los soportes.

4. Tras haber alcanzado el nivel del sótano -3, a la cota -12,10 m, realizar una cimentación mixta con losa de cimentación de 30 cm de canto y micropilotes bajo los soportes; la transición en correspondencia de los micropilotes se realizará con encepado de 80 cm de canto. Completar la estructura de este nivel con el hormigonado de las vigas de canto que proporcionan el correcto acodalamiento de las pantallas en la zona del foso.
5. Excavar la zona del foso del parking y ejecutar los micropilotes de diámetro 20 cm necesarios para recoger las cargas de las bandejas de coches y proporcionar una rigidez en cimentación análoga a la del resto del edificio. La losa de cimentación de esta zona tendrá canto 40 cm.
6. Hormigonar las vigas de salto de nivel entre losas de cimentación mediante gunitado, debido a las dificultades de poder realizar esta operación con vertido convencional. Finalizar la estructura bajo rasante.

Así, el método prevé la ejecución, en primer lugar, de las pantallas perimetrales (pantallas discontinuas de pilotes), que sirven para acotar el recinto subterráneo de la edificación y que actúan a modo de contención; a continuación, se ejecutan los micropilotes en correspondencia a la ubicación de los soportes de la estructura final. Se excava hasta la cota inferior de la primera losa y se hormigonan las vigas y losa directamente sobre el terreno, repitiendo este proceso en cada nivel de sótano, excavando y hormigonando contra terreno. Una vez realizada esta fase, se construye los demás elementos de la cimentación, calculados para

soportar el edificio completo en su estado final de cargas. La cimentación, en su estado final, tendrá un comportamiento mixto, existiendo tanto micropilotes como una losa de

cimentación conectando todos los encepados y formando un plano arriostrante.

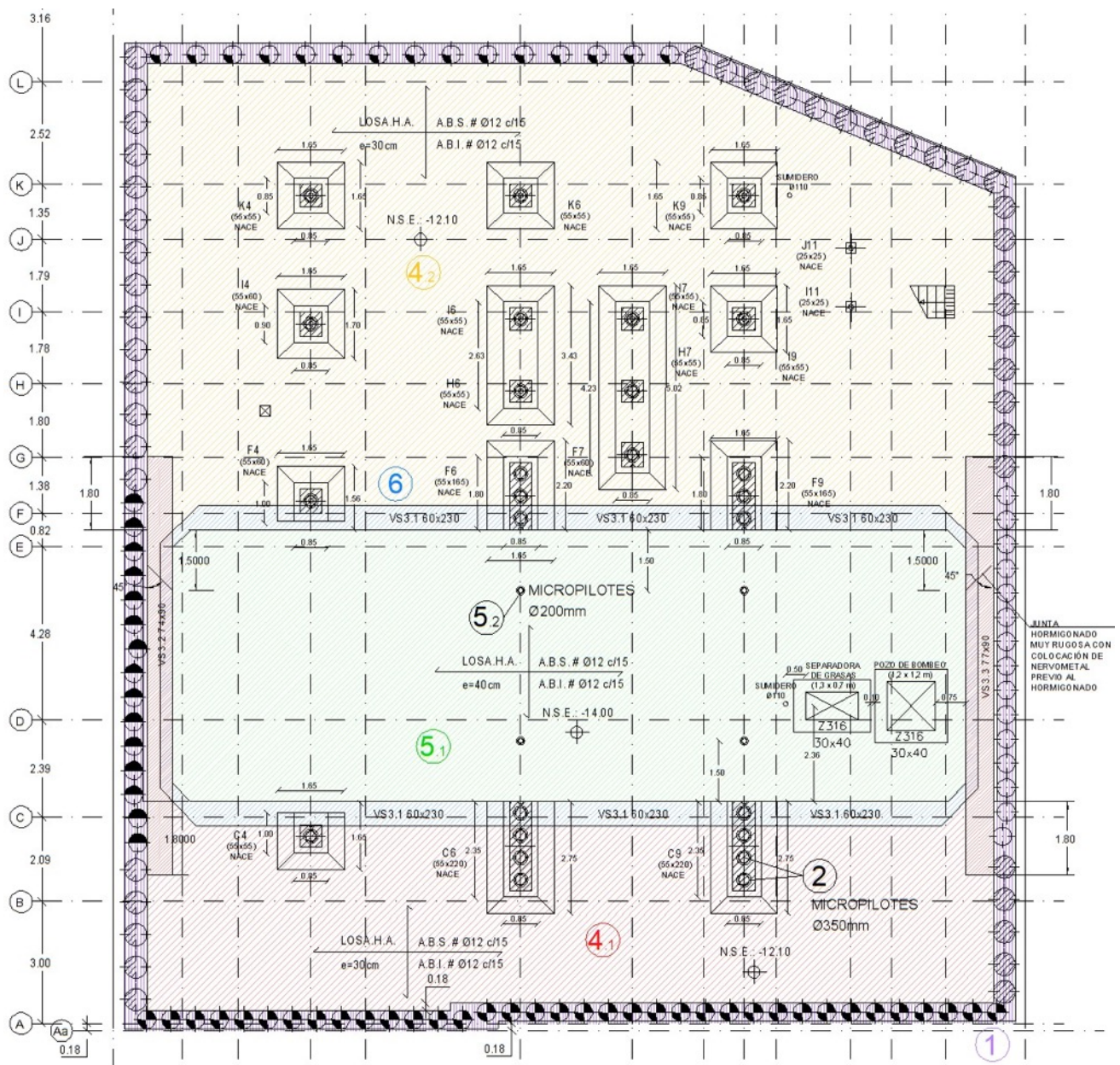


Figura 4. Planta de cimentación, nivel 5, cota -12.10 m. Geometría encepados micropilotes en losa de cimentación e indicación de fases constructivas.

2.1 Ventajas del método ascendente-descendente

La realización de la estructura según un método ascendente-descendente conlleva, al menos en este proyecto de forma específica, una serie de ventajas.

Entre ellas, una potencial menor afección a los edificios colindantes dado que todas las excavaciones se realizan una vez ejecutados los forjados superiores, que actúan como plano de arriostramiento.

Desde el punto de vista de la afección “psicológica” a vecinos, con este procedimiento, en ningún momento de la obra se manifiesta el vaciado de la parcela con su profundidad final de

12 m, dado que se construyen los forjados intermedios según se va descendiendo, hasta alcanzar la cota de la cimentación.

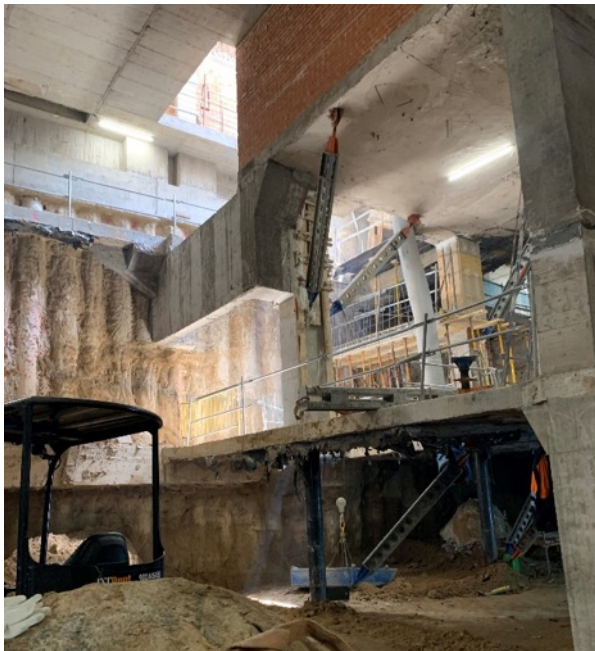


Figura 5. Fotografía de obra: vista del montacarga y sistema de evacuación de tierras y escombros.
18.05.22.

Con respecto a las pantallas perimetrales, no se hace necesario prever acodalamientos provisionales, dado que los propios forjados sirven de arriostramiento: las pantallas de pilotes se construyen sin pasar por una fase inicial de longitud libre igual al vaciado inicial de la parcela, por lo cual se pueden optimizar.

Además, se obtiene una optimización de plazos pudiéndose empezar a arrancar con la estructura sobre rasante antes de terminar en su totalidad la construcción de la estructura bajo rasante. A este respecto, los últimos elementos en ejecutarse fueron justamente los encepados definitivos del edificio, debido a que el proceso de excavación pudo llevarse a cabo con rendimientos cada vez inferiores conforme se iban alcanzando profundidades cada vez mayores y se terminó la estructura sobre rasante antes que los encepados.

3. Peculiaridades del proyecto y ejecución de obra

3.1 Contención de tierras con pantalla discontinua de pilotes

3.1.1. Dimensionado de la estructura de contención

Las contenciones se dimensionan con pantalla discontinua de pilotes de 45 cm de diámetro en la fachada principal y en la parte trasera del edificio, y de 55 cm de diámetro en las medianerías, menos en el ámbito del foso del robot del aparcamiento, donde por limitaciones de espacio se hace necesario ajustar el dimensionado para que los pilotes funcionen correctamente con un diámetro de 45 cm.

La coronación de los pilotes se sitúa a la cota de acera en la fachada principal, y a la cota -1,2 m en los laterales de la parcela, realizándose estos pilotes desde una plataforma de trabajo a la cota -2,1 m. En el fondo de la parcela, donde ya existen dos sótanos y los edificios medianeros también tiene dos sótanos, la coronación de los pilotes se sitúa a la cota -3,6 m, coincidiendo esta cota con la plataforma de trabajo para la perforación de los pilotes.

El pie de la pantalla está a la cota entre -16,00 y -18,50 m.

No hace falta prever niveles de acodalamiento provisionales, al utilizar el método ascendente-descendente y ya que se realizarán las dos losas de los forjados de sótano intermedios antes de realizar el vaciado hasta la cota de la cimentación.

3.1.2. Ejecución de ménsulas para la transición de cargas excéntricas entre los pilares sobre rasante y la pantalla de pilotes

Existen zonas donde los pilares del edificio se apoyan en la coronación de los pilotes de contención: con la longitud definida de los pilotes, la carga admisible a capacidad portante de estos es suficiente para resistir los esfuerzos verticales. Sin embargo, en los lados de las medianeras, existe un desfase entre la alineación

de los muros de contención y el muro perimetral de los niveles sobre rasantes, por lo que se prevé la realización de ménsulas para transferir las cargas de los pilares de los ejes 1 y 14.

Dichos elementos permiten absorber un retranqueo máximo de los pilares de unos 90 cm. El ancho de las ménsulas es, en todos los casos, de 1 metro, espacio en el cual se colocan barras de armadura de refuerzo que se doblan en la losa de planta baja y se hormigonarán junto a ella.



Figura 6. Fotografía de obra: vista de la pantalla de pilotes discontinua de la medianería y zona trasera.

Se aprecia la viga de coronación de la pantalla de pilotes y las ménsulas de transferencia de cargas en la medianería del edificio con el armado de refuerzo a hormigonar dentro de la losa maciza del forjado de planta baja. 24.02.21.

3.2 Micropilotes de diámetro 35 cm

3.2.1. Detalles especiales de micropilotes embebidos en pilares de hormigón armado

Los micropilotes de diámetro 350 mm se quedarán, en una fase posterior de la construcción, embebidos dentro de los soportes en hormigón armado, tal y como se muestra en las siguiente imagen. En ella se muestra como se hormigona un pilar con 4 micropilotes embebidos. Situaciones similares se plantean en el caso de pilares con uno o tres micropilotes embebidos.

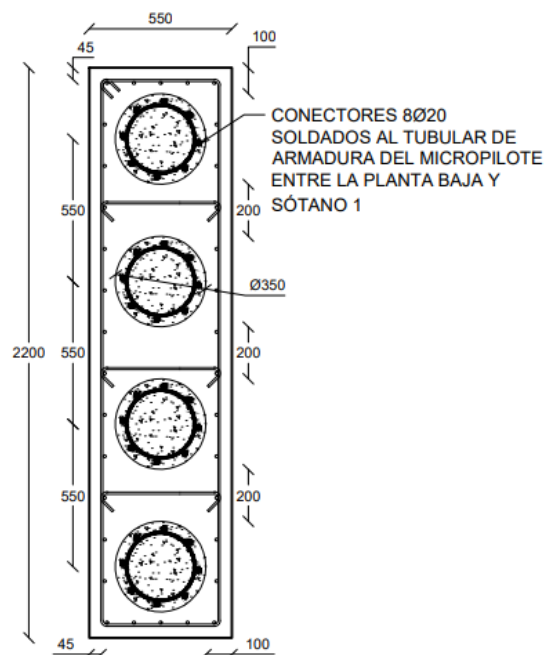


Figura 7. Solución de armado para pilares que contienen 4 micropilotes, dimensiones de pilares 55x220 cm.

La longitud de los micropilotes será la adecuada para cimentar el edificio en el estado final de construcción, considerando todas las cargas existentes. Una vez alcanzada la cota de la cimentación se realizarán los encepados y se ejecutará la losa de cimentación.

La realización de los micropilotes en la posición definitiva de los soportes permite no tener que cortar a posteriori ningún micropilote porque los que se ejecuten previamente se quedan embebidos dentro del soporte en hormigón armado y, por lo tanto, se puede optimizar el uso de estos.

Por otra parte, la solución tiene la desventaja que se ha tenido que considerar, en la fase de diseño, un espacio libre entre bandejas de coches a eje de pilares mayor con respecto a las dimensiones estrictas que podían haber pedido los pilares de hormigón en el caso que no englobasen los micropilotes en su interior.



Figura 8. Fotografía de obra: vista de la pantalla de pilotes discontinua, de la viga de coronación, de las ménsulas de transferencia de cargas en la medianería del edificio con el armado de refuerzo a hormigonar dentro de la losa maciza del forjado de planta baja. En la zona central de la fotografía vista de los micropilotes de 35 cm de diámetro ubicados donde se ejecutarán los pilares definitivos del edificio en H.A. Se aprecia también el hormigonado de la mitad trasera de la losa de sótano -1 contra el terreno. 24.03.21.

3.2.2. Detalles para la transferencia de cargas de los pilares sobre rasante a los micropilotes de diámetro 35 cm embebidos en los pilares de hormigón armado de bajo rasante

Finalmente se decide ejecutar primero el forjado de planta sótano -1 hormigonándolo sobre el terreno (inicialmente se había planteado ejecutar primero el forjado de planta baja realizando el correspondiente encofrado): los micropilotes de diámetro 350 mm se realizan por lo tanto desde la cota de este primer forjado bajo rasante y el último tramo, enroscado, termina a una cota intermedia entre este y el forjado de planta baja. Aunque la transición entre micropilotes y pilares de hormigón estaba pensada, inicialmente, en el nivel de la planta baja, durante la obra se decide cambiar este planteamiento de cara a simplificar la ejecución del detalle de transición entre pilar bajo rasante y pilar sobre rasante.

Se opta, por lo tanto, por dejar los micropilotes con una longitud de aproximadamente 180 cm desde la losa del forjado de sótano -1, realizando la transferencia de carga en este tramo entre planta baja y primer sótano. Esto permite simplificar la ejecución de

los armados a nivel de la losa de planta baja donde hay cruce de los armados bases y de refuerzo de la losa, el armado de punzonamiento y los armados de pilares, sobre todo teniendo en cuenta el cambio de geometría, dimensiones y armados entre pilares de hormigón armado por encima y por debajo de la losa maciza de planta baja. Se vea el detalle de la figura 9 en la siguiente página.

3.2.3. Arriostramientos temporales de micropilotes de diámetro 35 cm durante la ejecución de la obra

Como puede apreciarse en la figura 2, entre las losas macizas de los forjados bajo rasante queda una altura libre de unos 460 cm (en esta altura irán dos plantas de bandejas de coches del parking robotizado), por lo que se hace necesario prever unos niveles de arriostramientos intermedios provisionales de los micropilotes durante las fases de obra de cara a garantizar la estabilidad de estos elementos durante la excavación hasta el siguiente nivel de forjado inferior y hasta que no estén hormigonados los pilares.

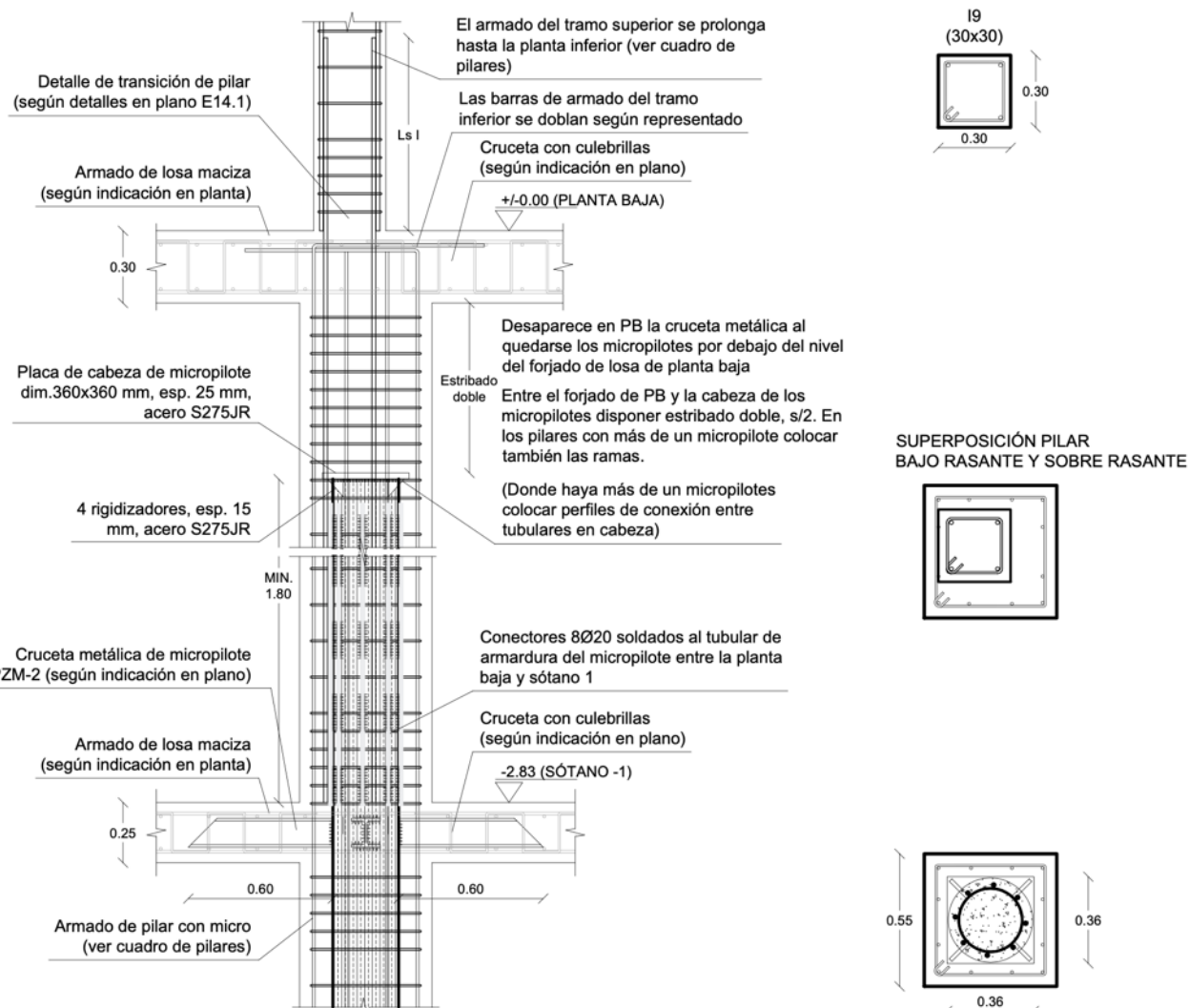


Figura 9. Alzado tipo de la transición de pilares bajo rasante (con micropilotes) y sobre rasante (en hormigón armado)



Figura 10. Fotografía de obra: vista de bajo rasante. Excavación hasta nivel 3 (sótano -2), arriostramientos provisionales de micropilotes de 35 cm y hormigonado del tramo superior de los pilares de H.A. 19.01.22.

Las fases que se ejecutan en obra son las representadas en los siguientes esquemas.

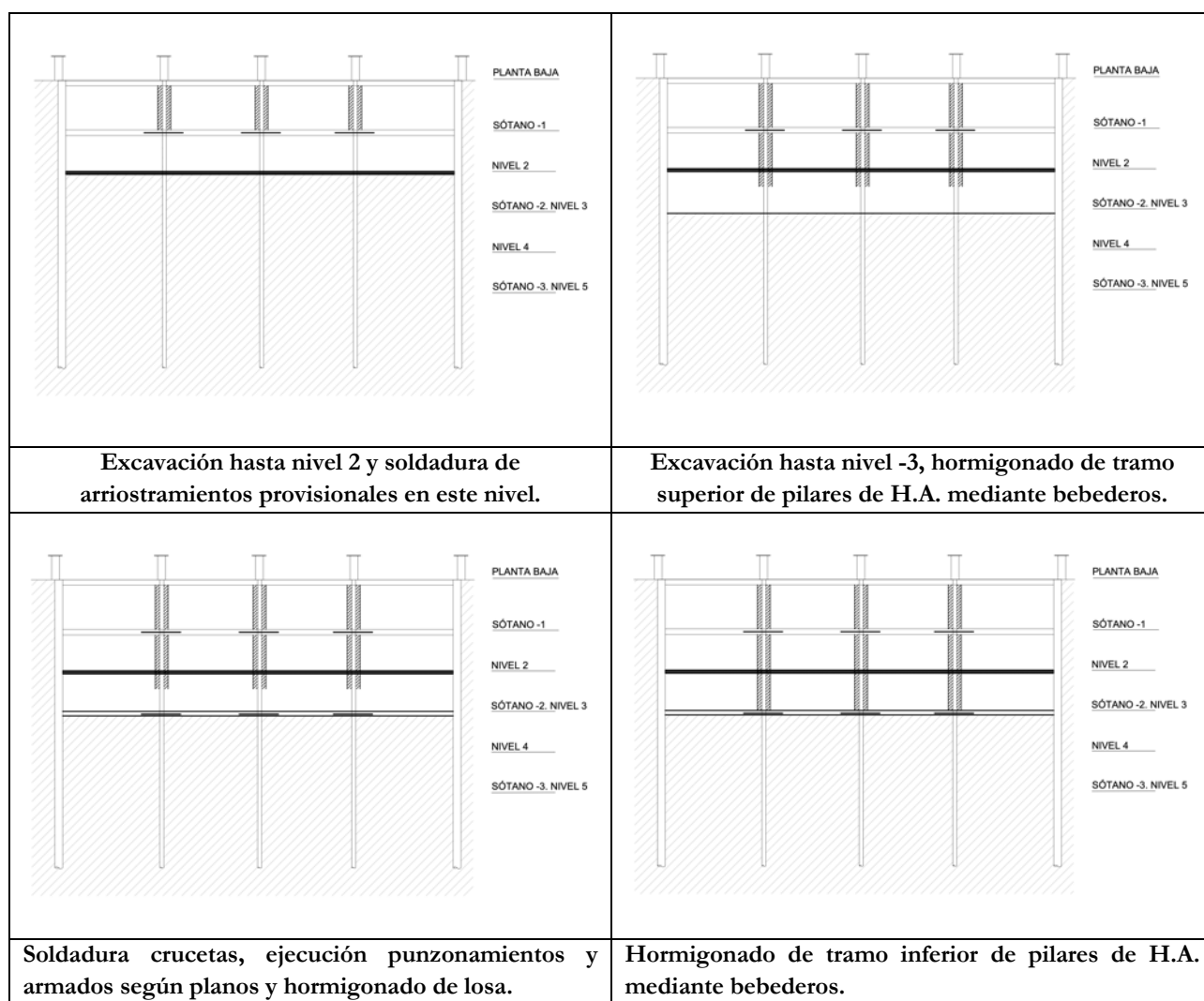


Figura 11. Esquemas con proceso constructivo. Estas mismas fases se repiten hasta alcanzar y ejecutar también el siguiente nivel.

A continuación, se muestran algunas fotografías de la ejecución:

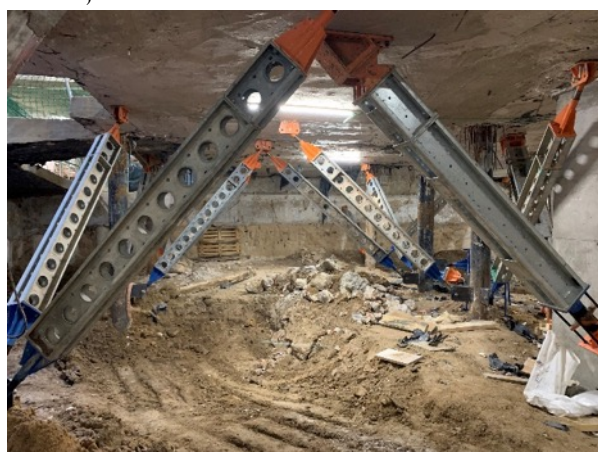


Figura 12. Fotografía de obra: excavación de bajo rasante hasta nivel 2 y arriostramientos provisionales de Inceye. 17.11.21.



Figura 13. Fotografía de obra: ejecución de bajo rasante completa a excepción del hormigonado de las vigas de salto de nivel entre losas de cimentación mediante gunitado (ver esquema Figura 4). 16.11.22.

4. Conclusiones

En la presente ponencia se ponen de manifiesto las ventajas que la metodología ascendente-descendente tiene en la ejecución de obras en entornos urbanos.

El ahorro en tiempo de ejecución y reducción de costes de medios de contención auxiliares son factores a tener en cuenta para implementar esta metodología de construcción.

En particular, el proyecto analizado presentaba varias singularidades, tales como los soportes provisionales que coincidían con los definitivos o previsión de una metodología que asegurara los estándares de verticalidad requeridos en la ejecución de un aparcamiento robotizado. La ubicación dentro de un entorno urbano y entre medianeras también fue en reto tanto de diseño como de ejecución.

Referencias

- [1] Meral Ç., Temel, B. A., & Başaga, H. B. (2024). Choosing the Right Construction Method: A Comparative Study of Cost and Timeline for Top-Down and Bottom-Up Approaches. *Buildings*, 14(8), 2381. <https://doi.org/10.3390/buildings14082381>
- [2] Medina, Mediana, C. Martinez, Calzon. J. (2005). Rehabilitación del Palacio de Deportes de la Comunidad de Madrid. *Hormigón Y Acero*, 56(238). Recuperado a partir de <https://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/article/view/140>
- [3] Paek, J.H.; Ock, J.H. Innovative building construction technique: Modified up/down method. *J. Constr. Eng. Manag.* 1996, 122, 141–146.