REHABILITACIÓN Y RECALCE DE UN EDIFICIO EN MADRID

JOSÉ POLO NARRO
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. U.P.M.
SITE, S.A.

1. INTRODUCCIÓN.

Uno de los campos de aplicación de los micropilotes es la rehabilitación de edificios en entorno urbano, debido a varios factores diferenciadores de otras técnicas:

. Capacidad para acceder a los emplazamientos con maquinaria de dimensiones reducidas, incluso para ejecutar unidades de elevada capacidad de carga.

· Constituyen elementos portantes de reducido diámetro, que reducen al mínimo la ocupación del espacio útil para la arquitectura.

· Se ejecutan con maquinaria capaz de atravesar capas de terreno de todo tipo.

2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL INMUEBLE.

El edificio objeto de actuación se encuentra en el paseo de la Castellana de Madrid, esquina con la calle María de Molina. El acceso principal estaba ubicado en el paseo de la Castellana, y el acceso al sótano de aparcamiento por la parte trasera a través de un vial de servicio a éste y otros edificios.

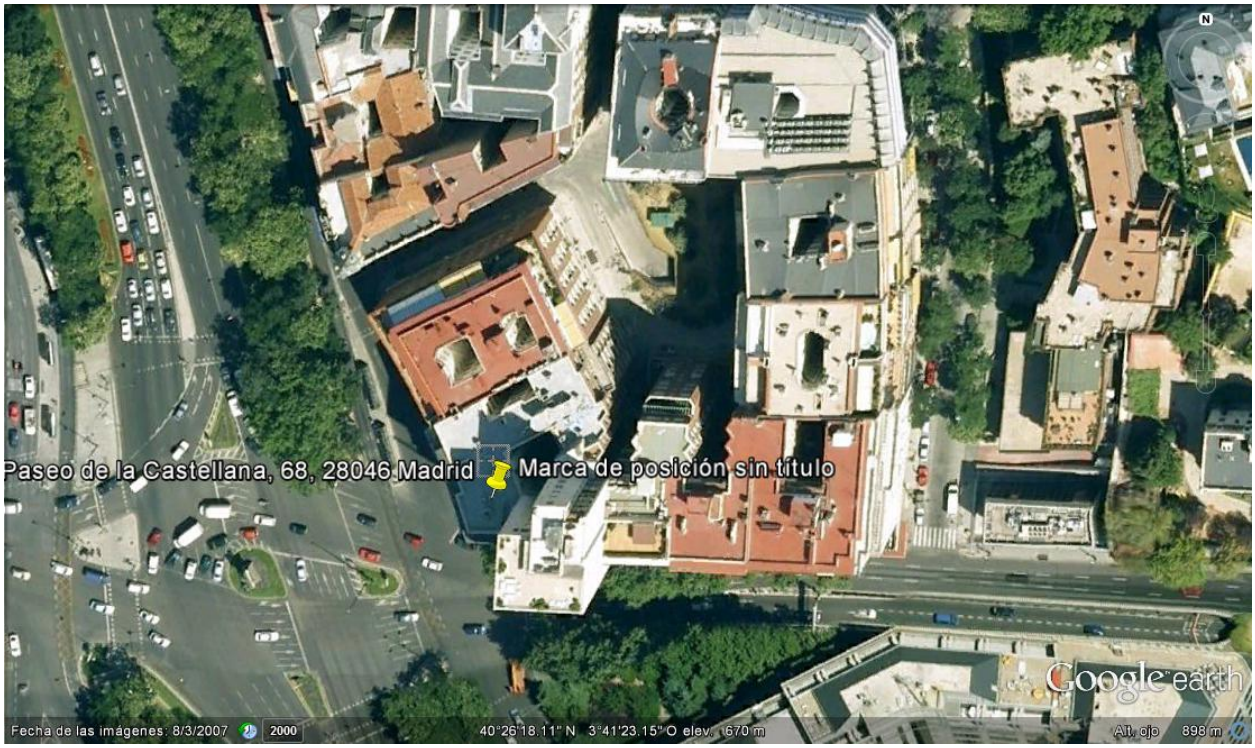


Fig.1

Fig.2

Se trataba de un edificio formado por un nivel de sótano destinado a aparcamiento, una planta baja y ocho plantas en altura, con estructura de hormigón armado con luces de 4-5 m. y cimentado con zapatas.

3. OBJETO DE LA OBRA.

El objeto fundamental de la obra, además de remodelar la arquitectura interior de las viviendas, era dotar al edificio de cinco plantas más de sótano en las que ubicar un aparcamiento robotizado.

Para ello se preveía realizar una excavación hasta la cota -16 aproximadamente, desde la -2,4 de la rasante del sótano de aparcamiento existente, es decir, unos 13,6 m., y hasta la -18,5 aproximadamente en el foso de ubicación del elevador.

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.

El estudio geotécnico fue elaborado por la empresa CGG. En el mismo se describen los siguientes niveles:

· Nivel geotécnico 1: *Rellenos y suelos de baja compacidad*. Se trata de materiales de granulometría areno limosa que corresponden a suelos y rellenos superficiales, en un espesor reducido, entre 0,4 y 3,4 m. Se obtienen valores $N_{20DPSH}<10$

· Nivel geotécnico 2: *Suelos arenosos de baja plasticidad de compacidad media-alta*. Se trata de arena de miga, suelos arenosos de granulometría gruesa y compacidad relativamente elevada, y aparecían en un pequeño espesor, 0,4 a 1,6 m. Se obtienen valores $10<N_{20DPSH}<30$.

· Nivel geotécnico 3: *Suelos arenosos de granulometría gruesa de baja plasticidad de compacidad muy elevada (Sustrato terciario)*. Se obtienen valores N_{20DPSH}>30. Se diferenció un subnivel, 3b, de compacidad análoga pero de granulometría más arcillosa.

Propiedades geotécnicas	**Nivel 1**	**Nivel 2**	**Nivel 3a**	**Nivel 3b**
Densidad aparente	1,7 Tn/m^3	1,8 Tn/m^3	1,8 Tn/m^3	1,8 Tn/m^3
Densidad saturación	2,1 Tn/m^3	2,1 Tn/m^3	2,2 Tn/m^3	2,2 Tn/m^3
Ángulo de rozamiento interno	30º	30º	35º	35º
Cohesión	0 Tn/m^2	1 Tn/m^2	2 Tn/m^2	3 Tn/m^2
Módulo de deformación	25-85 Tn/m^2	120-330 Tn/m^2	330-1200 Tn/m^2	330-1200 Tn/m^2

Igualmente, el informe geotécnico advertía que debía tenerse en cuenta la presencia del nivel freático por encima de la cota de máxima excavación, pues en los sondeos realizados se había detectado aquel en torno a la cota -11 m.

Sondeo	**Cota inicio**	**Cota nivel freático mayo 2004**	**Cota nivel freático abril 2005**
1	-2,4	-11,3	-13,9
2	-2,4	-11,2	-14,0

Además decía que se habían detectado pequeños acuíferos colgados a partir de 2 m. de profundidad (cota -4,4 m.) en el sondeo 2 y de los 5,6 m. de profundidad (cota -8,0 m.) en el sondeo 1, si bien con caudales prácticamente despreciables. Respecto a los niveles de agua detectados a la cota -14 m., los relacionaba con acuíferos colgados relacionados con niveles más arenosos, indicando que a partir de la cota -15,4 m. no se detectaba nivel de agua alguno, si bien sospechaban que el acuífero cortado a la cota -14 m. presentaba caudales importantes.

5. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ACTUACIÓN.

Los trabajos se acometieron desde el sótano de garaje existente, que no ocupaba toda la planta del edificio, y al que se accedía por la rampa de acceso de vehículos.

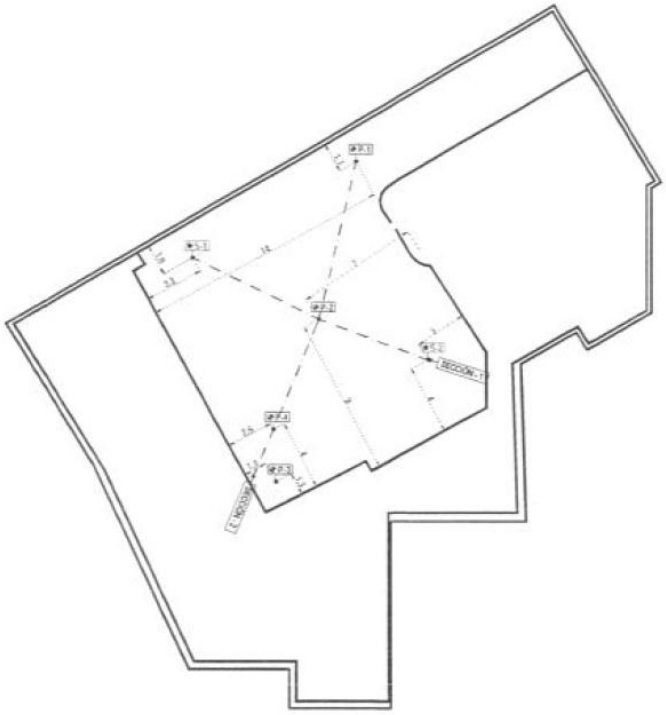


Fig.3

En ese recinto se ubicó a su vez la planta rectangular de unos 23x15 m. aproximadamente cuyo contorno delimitarían los micropilotes.

Fig.4

El gálibo en el recinto superaba ligeramente los 3,5 m. de altura.

6. TRATAMIENTO.

El tratamiento consistió básicamente en la ejecución de:

· Pantallas perimetrales de micropilotes. Tendrían una doble función:

- Contención del terreno.
- Recalce de los pilares medianeros, trasladando su carga al terreno por debajo de la cota de máxima excavación.

Fig.5

· Micropilotes interiores. Su función sería el recalce de los pilares interiores para apeo provisional del edificio, formando torretas metálicas al arriostrar unos con otros según el proceso de excavación, hasta llegar al fondo de ésta. Una vez realizada la zapata y la estructura definitiva la parte aérea de los micropilotes desaparece.

Fig.6

La cota de la plataforma de trabajo para el micropilotaje se situó aproximadamente en la -3 m., después de demoler la solera del aparcamiento existente, encachado, etc.

· Pantallas de micropilotes.

Se realizaron cuatro pantallas de micropilotes según otras tantas alineaciones:

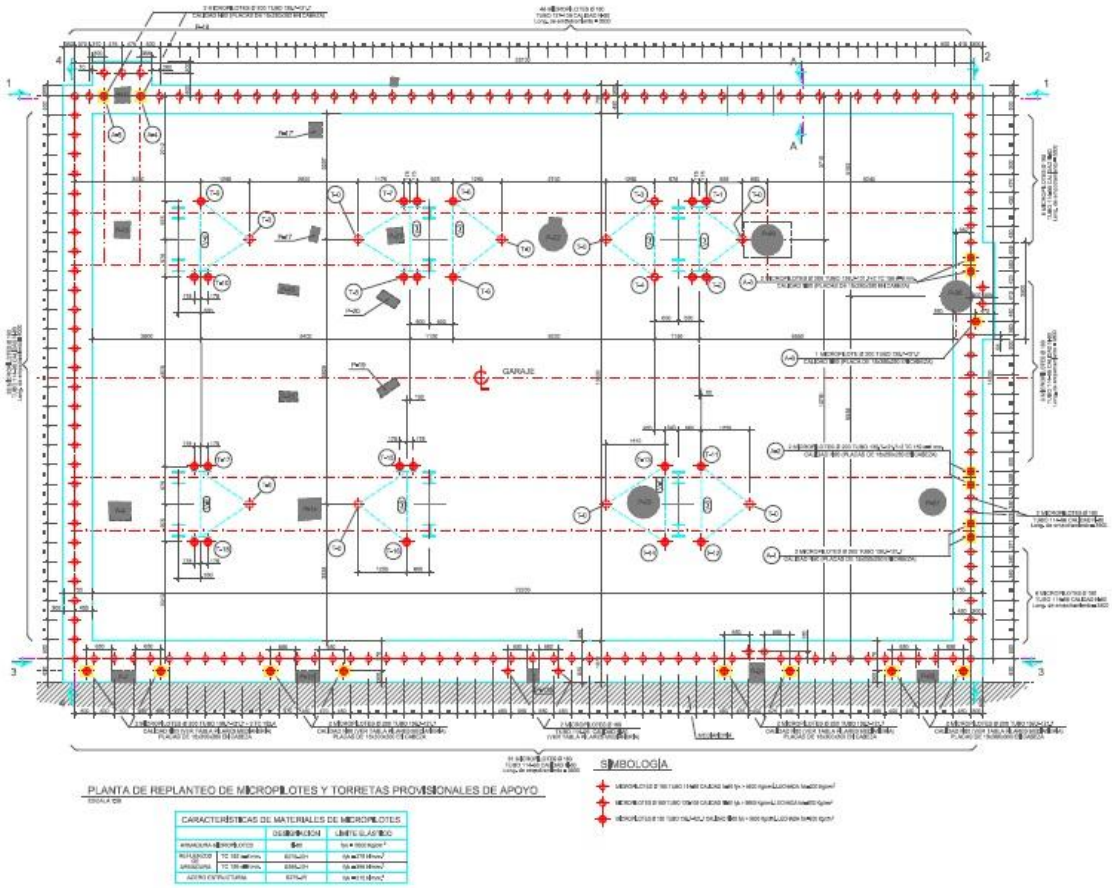


Fig.7

Alineación 1-1: Micropilote ϕ180 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 127/9 mm. de acero N80, con espaciamiento entre ejes de 0,5 m., de 16,33 m. de profundidad; y micropilotes ϕ200 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 139,7/9 mm. de acero N80, de 21,33 m. de profundidad que recogían carga de algún pilar medianero.

Alineación 2-2: Micropilote ϕ180 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 114/9 mm. de acero N80, con espaciamientos entre ejes de 0,35 a 0,5 m., de 16,33-18,83 m. de profundidad; y micropilotes ϕ200 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 139,7/9 mm. de acero N80, de 17,83 a 25,33 m. de profundidad, que recogían carga de pilares medianeros.

Alineación 3-3: Micropilote ϕ180 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 114/9 mm. de acero N80, con espaciamientos entre ejes de 0,45 a 0,5 m., de 16,33 m. de profundidad; y micropilotes ϕ200 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 139,7/9 mm. de acero N80, de 19,83 a 21,83 m. de profundidad, que recogían carga de pilares medianeros.

Alineación 4-4: Micropilote ϕ180 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 114/9 mm. de acero N80, con espaciamiento entre ejes de 0,5 m., de 16,33 m. de profundidad; y micropilote ϕ200 mm. equipado con armadura tubular ϕ/e 139,7/9 mm. de acero N80, de 19,33 m. de profundidad, que recogían carga de pilares medianeros.

Ante las advertencias respecto a los niveles freáticos reflejadas en el informe geotécnico, el proyecto contempló la ejecución de las pantallas de micropilotes con tubo-manguito para inyección repetitiva y selectiva (IRS) entre las cotas -12 y -18 m. en previsión de mejora de los posibles niveles arenosos saturados mediante inyección de lechadas de cemento, previa confirmación de niveles freáticos en obra.

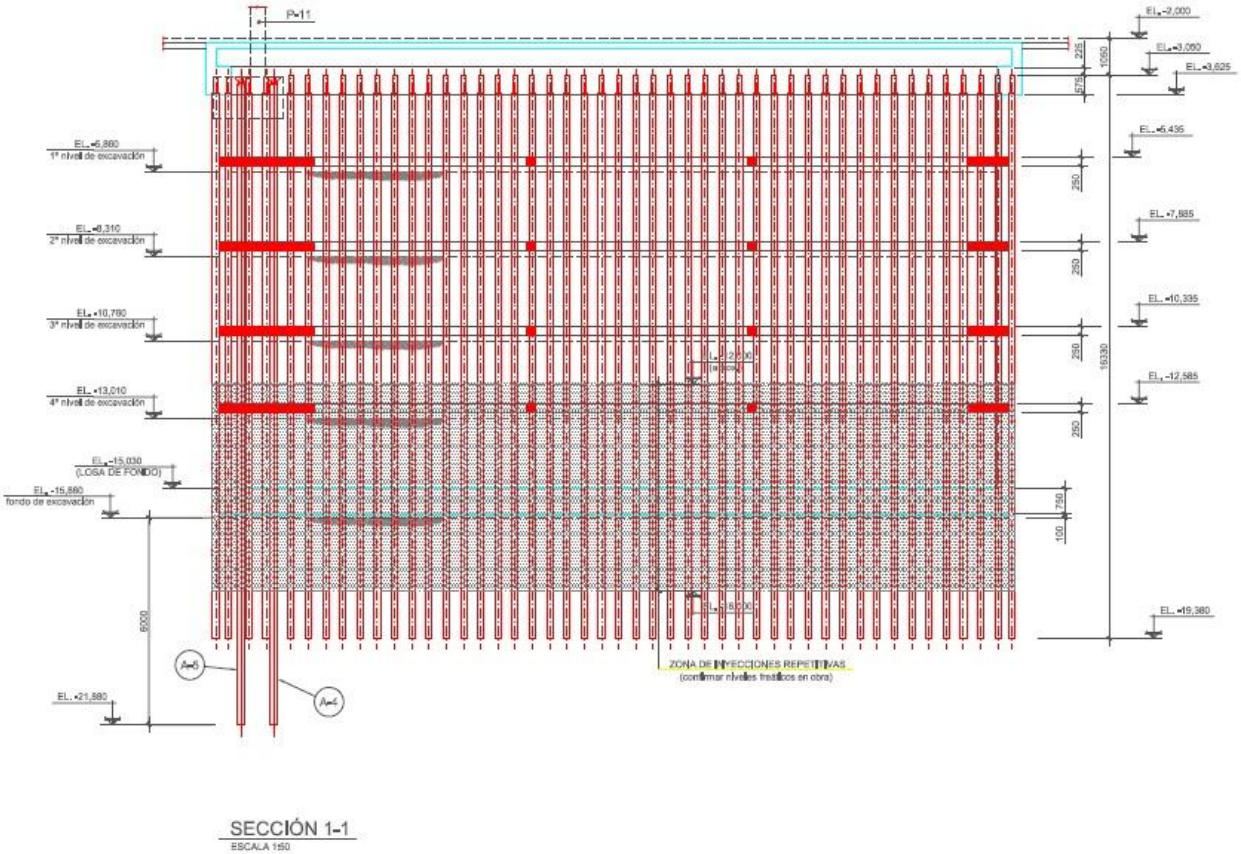


Fig.8

Sin embargo, por experiencias anteriores en zonas próximas con sospechas parecidas descartadas posteriormente en obra, y dado que el nivel geotécnico 3 tenía elevadas compacidad y componente arcillosa, y teniendo en cuenta que la inyección de lechadas de cemento en arenas tosquizas y toscos arenosos no suele tener éxito en cuanto a impermeablización pues supone una inyección de fracuración y no de impregnación, se decidió realizar dos perforaciones en el interior del recinto de 16,5 m. de profundidad (cota -18,9 m.) y dejarlas abiertas varios días para comprobar niveles freáticos, estabilidad de la perforación y su evolución en el corto plazo, así como comenzar ejecutando los micropilotes de las pantallas sin tubos-manguito de forma alterna, uno sí, uno no, para ver también el comportamiento del terreno durante la perforación y especialmente las cuantías de inyección.

Las perforaciones del interior permanecieron estables durante 3-4 días, tanto en cuanto al nivel freático, como en cuanto a la estabilidad de las paredes, que no se derrumbaron, midiéndose la misma longitud que fue perforada. En cuanto a los micropilotes *primarios* de las pantallas, no se observó incidencia alguna durante la perforación, salvo pequeñas humedades y algún ligero aporte de agua en los contactos más arcillosos, sin que fuera necesario el empleo de tuberías de revestimiento, y no se observaron desviaciones en la inyección de lechada de cemento IU respecto a 1,5 veces el volumen teórico.

Por ello, se consideró innecesaria la disposición de válvulas para inyección IRS en la armadura de los micropilotes secundarios. Tanto la ejecución de los micropilotes como la excavación posterior no tuvieron problemas de estabilidad. Se puede observar el terreno entre micropilotes en las siguientes fotografías.

Fig.9

Fig.10

Fig.11. Cortesía de C. San Martín

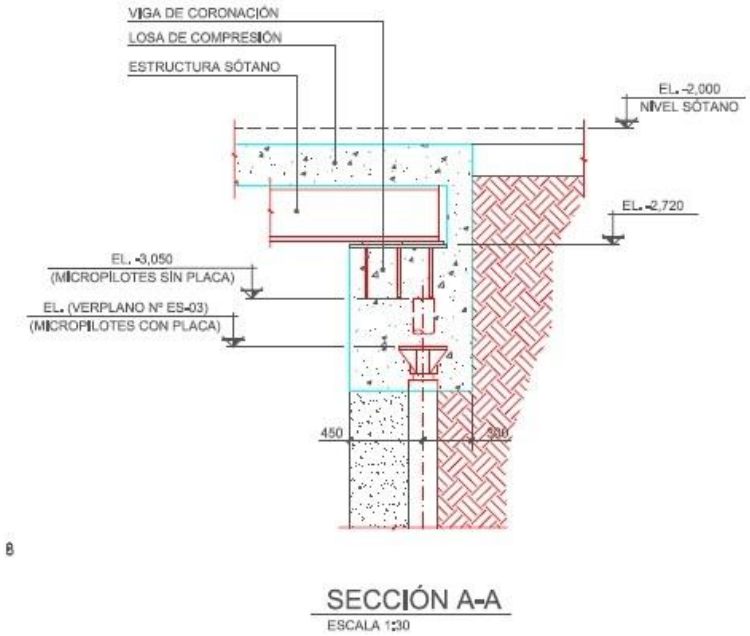


Fig.12

· Micropilotes interiores.

La carga de los pilares interiores se recogió mediante micropilotes dispuestos conformando seis grupos que serían transformados, mediante arriostramiento entre ellos con perfiles metálicos UPN, según el avance de la excavación, en torretas alineadas de tres en tres según dos ejes, sobre las cuales descansaban las cuatro vigas principales sobre las que se habían repartido mediante estructura metálica las cargas de los pilares interiores a nivel del sótano existente. Los micropilotes T-0 no soportaban carga, de hecho no llegaban a las vigas, sino que su misión era únicamente de radio de giro, como reacción.

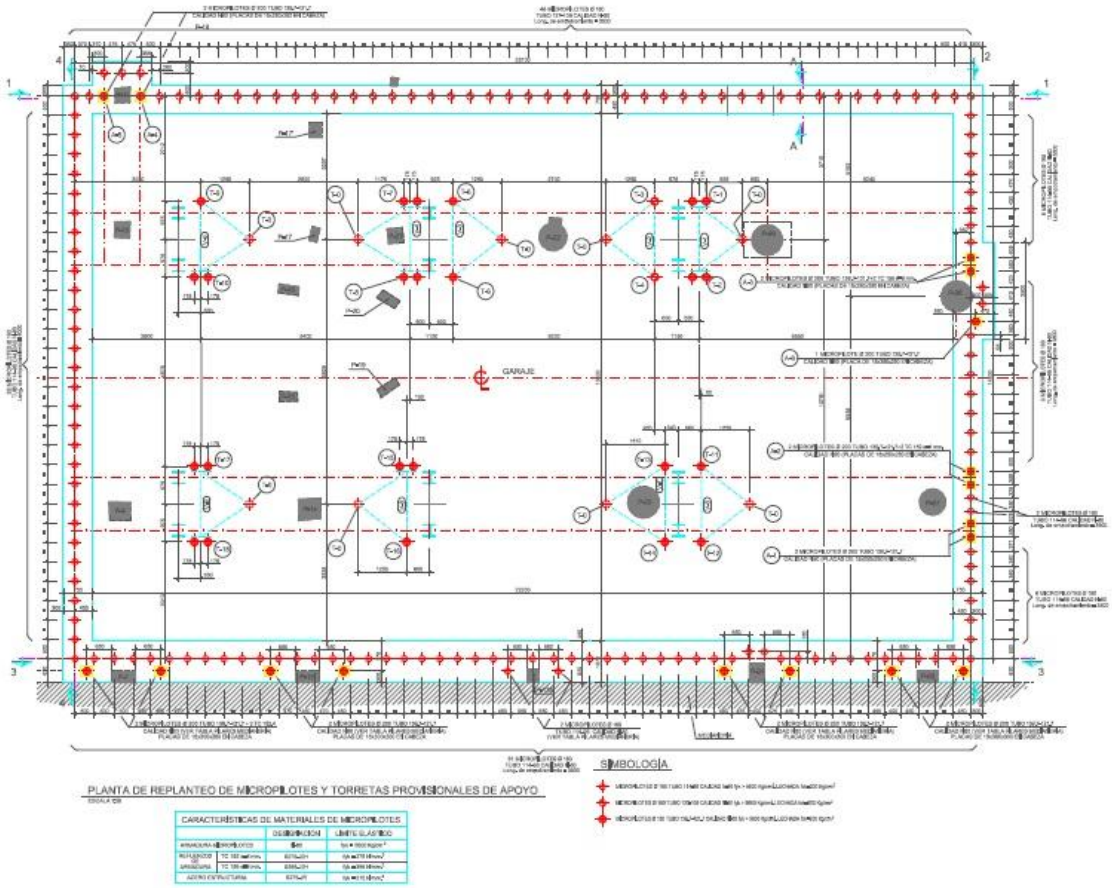


Fig.13

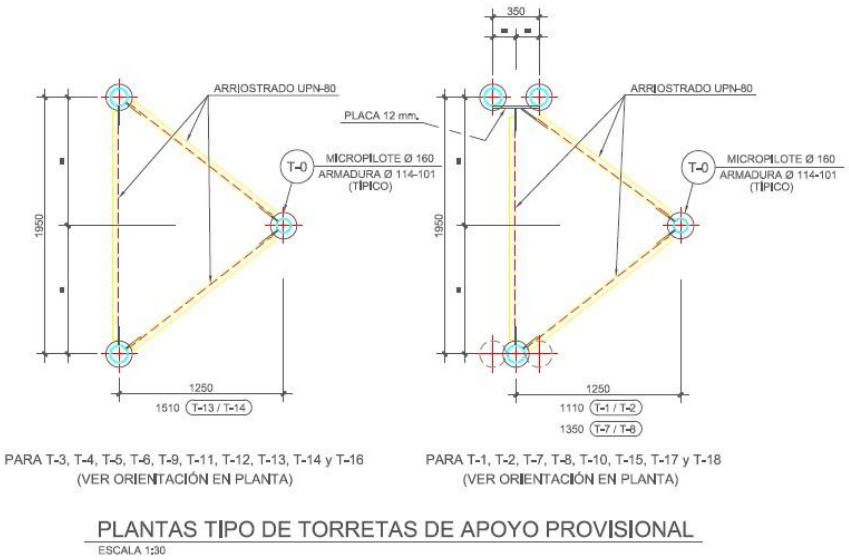

ARRIOSTRADO UPN-80
PLACA 12 mm.
T-0
MICROPILOTE Ø 160
ARMADURA Ø 114-101
(TÍPICO)
1950
1250
1510 T-13 / T-14
350
1110 T-1 / T-2
1350 T-7 / T-8
PARA T-3, T-4, T-5, T-6, T-9, T-11, T-12, T-13, T-14 y T-16
(VER ORIENTACIÓN EN PLANTA)
PARA T-1, T-2, T-7, T-8, T-10, T-15, T-17 y T-18
(VER ORIENTACIÓN EN PLANTA)
PLANTAS TIPO DE TORRETAS DE APOYO PROVISIONAL
ESCALA 1:30

Fig.14

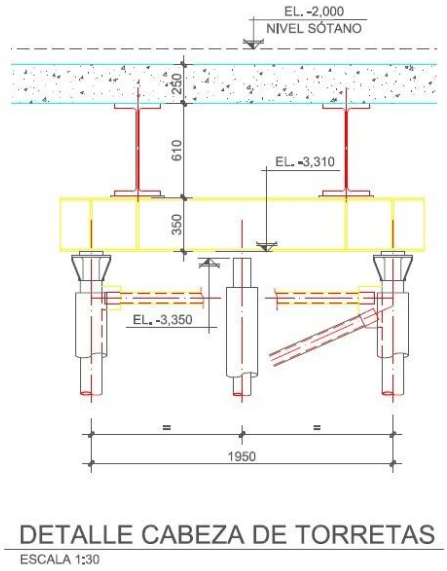

EL. -2,000
NIVEL SÓTANO
250
610
350
EL. -3,310
EL. -3,350
1950
DETALLE CABEZA DE TORRETAS
ESCALA 1:30

Fig.15

Fig.16

Fig.17

Fig.18

7. EXIGENCIAS DE EJECUCIÓN.

· Continuidad estructural.

Teniendo en cuenta los esfuerzos a soportar por los micropilotes en esta obra, fundamentamente flexocompresión y cortante en los de pantallas, y compresión con posibilidad de pandeo en los de apeo provisional, era necesario que las armaduras garantizaran la continuidad estructural. Este era un factor extraordinariamente importante dado que los micropilotes tendrían una gran longitud en algunos casos, y obligatoriamente formados por tramos cortos de armaduras debido al reducido gálibo disponible. Para ello se emplearon exclusivamente uniones roscadas entre tramos del tipo macho-macho con manguito exterior.

· Verticalidad.

En las pantallas se debe siempre a lo limitado del espacio interior útil para la arquitectura, y en los micropilotes de apeo para minimizar el riesgo de pandeo.

· Cuantía de armaduras.

El dimensionamiento de las torretas llevo a conformar unas armaduras de micropilotes reforzadas mediante adoso de perfiles tubulares ϕ/e 152/4 mm. y ϕ/e 159/8 mm. sobre una armadura base ϕ/e 139,7/9 mm., para disminuir las deformaciones verticales. Ello originó un peso unitario de hasta 59 kg/m., que al unir tramos hasta conseguir los 25-26 m. de longitud de micropilote y contabilizando los manguitos de unión, se obtenían pesos de hasta 1.700 kg. , que superaban la capacidad de los cabrestantes de las perforadoras. Ello originó grandes dificultades a la hora de introducir las armaduras en las perforaciones a partir de una determinada longitud.

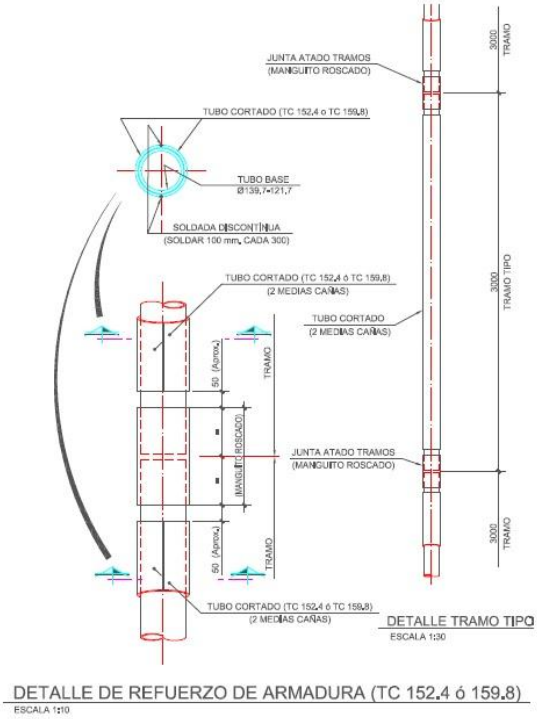


Fig.19

Fig.20

8. EQUIPOS EMPLEADOS.

Se emplearon perforadoras hidráulicas de gálibo reducido de mástil tramificable para aprovechar en lo posible el máximo gálibo disponible

Fig.21

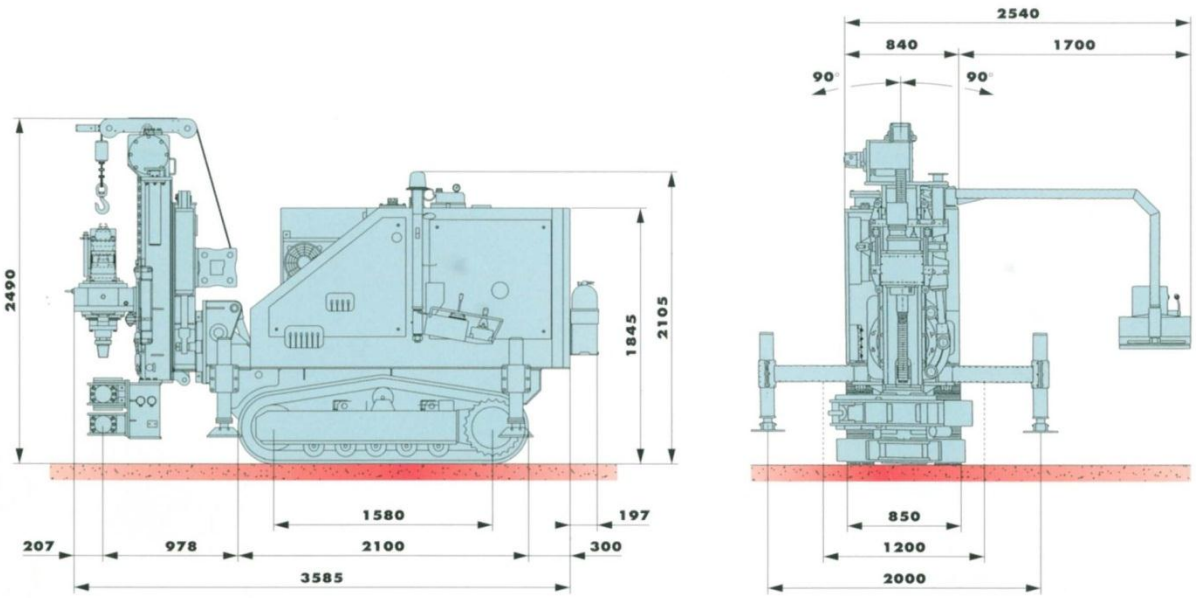


Fig.22

Fig.23

9. PROCESO DE EJECUCIÓN.

Tras la ejecución del micropilotaje, tanto de pantallas perimetrales y sus vigas cadena de coronación, como de micropilotes interiores para apeo provisional, el refuerzo de los pilares entre planta baja y sótano existente y conexión mediante estructura metálica para transmisión de carga a los dos pares de vigas principales, la secuencia de fases de ejecución fueron las que se esquematizan en la siguiente figura y fotografías siguientes y que se resumen a continuación.

· Apoyo de las vigas principales sobre los micropilotes y ejecución de la losa del sótano existente.

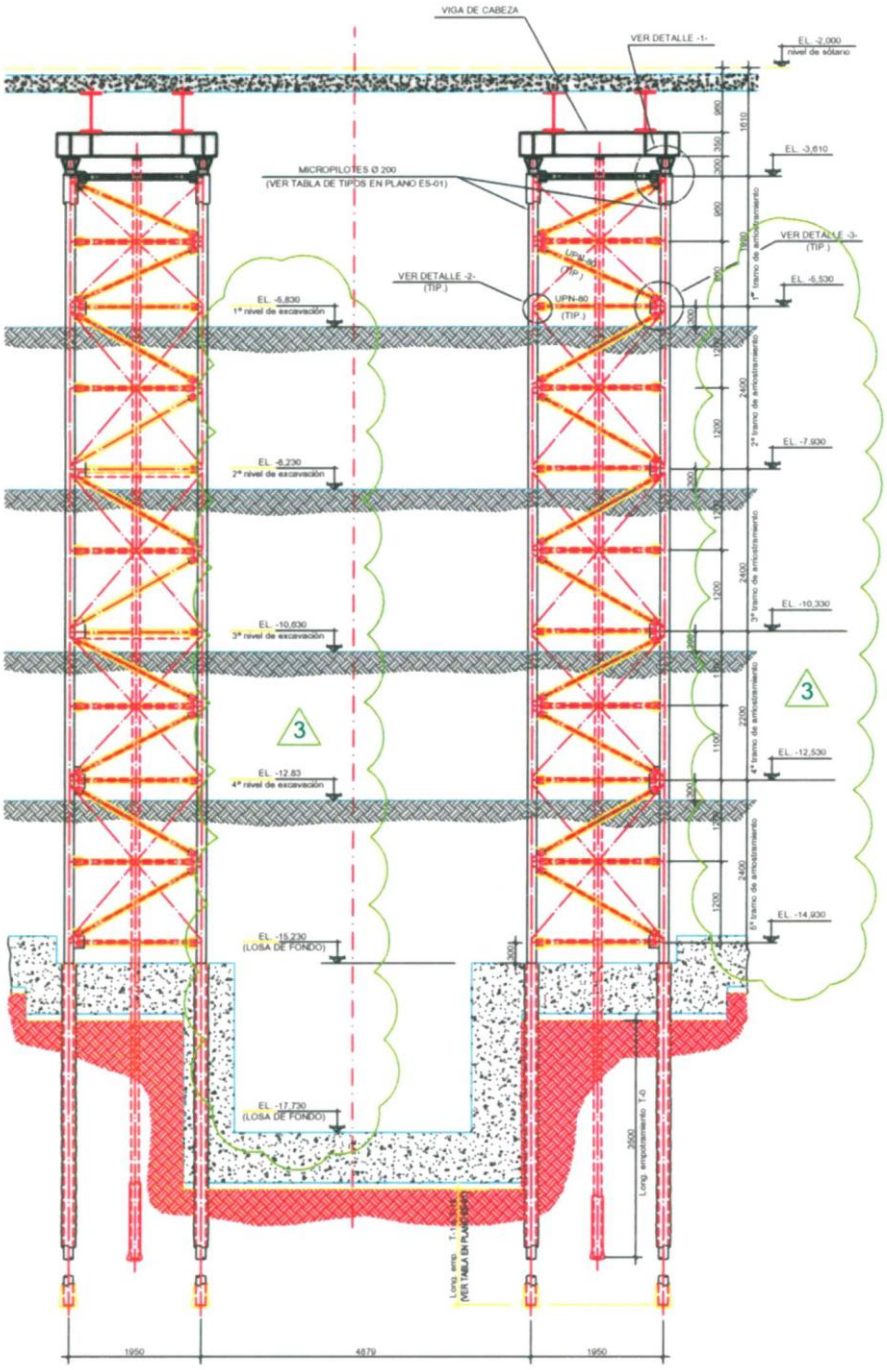
· Excavación al siguiente nivel, arriostrando los micropilotes con perfiles UPN y prolongando la estructura metálica hacia abajo.

· Arriostramiento de las pantallas de micropilotes mediante anillo de hormigón y conexión con la estructura.

· Repetición de las fases anteriores hasta el último sótano.

· Ejecución del foso y de la cimentación definitiva de la estructura interior.

La excavación se realizaba mediante miniexcavadoras, contenedor y polipasto.



SECCIÓN A-A (FASES DE CONSTRUCCIÓN)

Fig.24

Fig.25. Cortesía de C. San Martín

Fig.26. Cortesía de C. San Martín

Fig.27. Cortesía de C. San Martín

10. MEDICIONES Y RENDIMIENTOS.

En el cuadro siguiente se resumen las mediciones ejecutadas.

ARMADURA	114,3/6,5	114,3/9	127/9	139,7/9	**TOTAL**
Nº UDS.	9	107	50	41	**207**
MEDICIÓN (m.)	147	1815	827	926	**3.715**

Los trabajos se desarrollaron con dos equipos entre el 10/03/2006 y el 23/06/2006.

11. FICHA DE LA OBRA Y AGRADECIMIENTOS.

Propiedad: PROCOM-MARTINSA
Proyecto: RAFAEL DE LA-HOZ ARQUITECTOS
Ingeniería de proyecto: BOMA CONSULTORES DE ESTRUCTURAS
Contratista principal: CONSTRUCCIONES SAN MARTÍN, S.A.
Ingeniería de la obra bajo rasante: CONSTRUCCIONES SAN MARTÍN, S.A.

Agradecemos la colaboración de la propiedad por permitir mostrar la aplicación de los micropilotes en esta obra de rehabilitación, y muy especialmente a CONSTRUCCIONES SAN MARTÍN, en primer lugar, por contar con SITE para la ejecución de esta y muchas otras de este tipo, y suministrar información de obra, un dossier fotográfico, planos de detalles constructivos, etc., esenciales para mostrar la obra realizada. Igualmente agradecemos a los equipos de obra de C. SAN MARTÍN y SITE la coordinación y sintonía mantenidas durante la ejecución de la obra, que fueron fundamentales para superar las numerosas adversidades surgidas, dada lo reducido del espacio disponible, accesos, etc., y la acumulación de equipos y actividades que fueron simultaneándose según avanzaban los trabajos.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

· *Ejecución de paraguas de micropilotes para túneles. Túnel de El Fabar (Asturias)*. Tomás Murillo Pérez. Jornada sobre obras de interés geotécnico ejecutadas por los constructores españoles. 20ª Sesión. 7 de junio de 2000.
· *Ensayos sobre sistemas de unión de armaduras tubulares en los micropilotes*. Pilar Bermejo del Rey. Jornadas Técnicas Semsig-Aetess. 3ª Sesión. Micropilotes. Madrid, 2003.
· *Estudio experimental sobre el comportamiento estructural de uniones de micropilotes*. Fundación Agustín de Betancourt. Julio 2009. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. UPM.
http://www.aetess.com/publicaciones/estudios.php