

CONSTRUCCIÓN DEL "PALAU NOU" EN LA RAMBLA DE BARCELONA CON 11 SOTANOS DE APARCAMIENTO ROBOTIZADO

Manuel Lloréns Alcón.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Proyectos de Entrecanales y Tavora, S.A.

*Profesor asociado de la Cátedra de Ingeniería del Terreno
de la E.T.S.C.C.P. de Madrid.*

RESUMEN

Para la Sociedad Promotora Banri se ha construido en la céntrica Rambla de Las Flores de Barcelona un edificio con once sótanos, nueve de ellos situados bajo el nivel freático. La presencia de capas permeables situadas al nivel de la máxima excavación y la alternancia de capas de arcillas, margas, areniscas y estratos de conglomerados muy duros, ha dificultado las obras de ejecución de las pantallas perimetrales que han alcanzado profundidades máximas de 48 metros.

El edificio subterráneo ha sido construido mediante el "sistema descendente" apoyando los forjados en pilares-pilotes previamente ejecutados, con extracción de tierras bajo los forjados recién hormigonados.

este artículo describe las principales características de la obra ejecutada.

ABSTRACT

Of the eleven basement floor the palau-Nou building in the centre of Barcelona, nine are below subsurface level.

Permeable layers at the deepest level of excavation and alternate seams of clay, loam, sands and very hard conglomerates created problems in the construction of the outer walls which reached depths of up to 48 m.

A descending system of construction used pre-cast pillars to support the levels, the soil being extracted from below the cement floors.

1. INTRODUCCIÓN

Para la Sociedad Promotora BANRI, S.A., se construyó entre los años 1990 a 1992 el edificio "Palau Nou de La Rambla" en la céntrica Rambla de las Flores (Rambla de Sant Josep 88 a 94), en el que se destinó el uso de diez de sus once sótanos a la explotación de un *Parking Robotizado*, con entrega automática de vehículos a nivel del segundo sótano.

Este Parking ha sido el primero de estas características en España y uno de los más avanzados en el mundo dentro de los de su tipo.

Por encima de la rasante el edificio consta de seis plantas, en el marco de un proyecto que apuesta por la recuperación del casco antiguo, y destinado a oficinas, apartamentos, restaurantes, galerías comerciales y zonas de recreo.

El Proyecto corresponde a los siguientes estudios de arquitectura, asociados para el desarrollo del mismo: Josep María Martorell, Oriol Bohigas, David MaCkay, Jordil Frontons, Joan Margarit, y Carles Buxade.

El Contratista General de las obras fue *Entrecanales y Tavora*, S.A. y el Subcontratista de pantallas y pilotes *Fondedile*, S.A.

Dadas las características de la obra (excavación de los sótanos hasta la cota -29 m) y la presencia en la zona de un nivel freático elevado se realizaron en distintas campañas un total de 10 sondeos que alcanzaron una profundidad de 45 a 55 metros, con extracción de testigos y ensayos de permeabilidad *in situ*, lo que, dado lo reducido del solar, permitió tener una idea bastante aproximada de la configuración geotécnica de los terrenos, a la hora de definir el proyecto de cimentación y sótanos, íntimamente ligados con el proceso constructivo.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA SUBTERRÁNEA

El solar, ubicado entre la Rambla de Sant Josep y la c/ Cardenal Casañas, tiene una planta en forma de trapecio rectangular con bases de 34 y 18 m. y altura de 54 m. aproximadamente.

En el resto del perímetro no limitado por las calles citadas, los muros medianeros corresponden a edificios antiguos de 6 ó 7 plantas en mal estado de conservación, lo que obligó a extremar las medidas de precaución durante la ejecución de los muros guías. Una pantalla perimetral con-

tornea el recinto del edificio alcanzando una profundidad máxima de unos 48 metros para empujarse en los terrenos impermeables profundos.

La cota máxima alcanzada por las excavaciones (cota inferior de la losa de solera) fue la -29 m., estando el nivel freático situado entre las cotas -8 a -9 metros.

Todos los forjados de los sótanos están constituidos por losas macizas de hormigón apoyadas en las pantallas y en las alineaciones de pilares-pilotes construidos antes de la ejecución de los forjados. Estos pilotes alcanzan también las margas y estratos de roca profundos y sirvieron de anclaje a la losa de cimentación para la carga no compensada (en las fases provisionales) debida a la subpresión.

En la ejecución del edificio se siguió, pues, el sistema descendente, lo que permitió contar con la máxima garantía de los propios forjados de hormigón como puntales de las pantallas frente a los empujes de agua y tierra exteriores al edificio.

3. GEOTECNIA

La sección adjunta nos muestra un corte geotécnico de los terrenos afectados por las excavaciones.

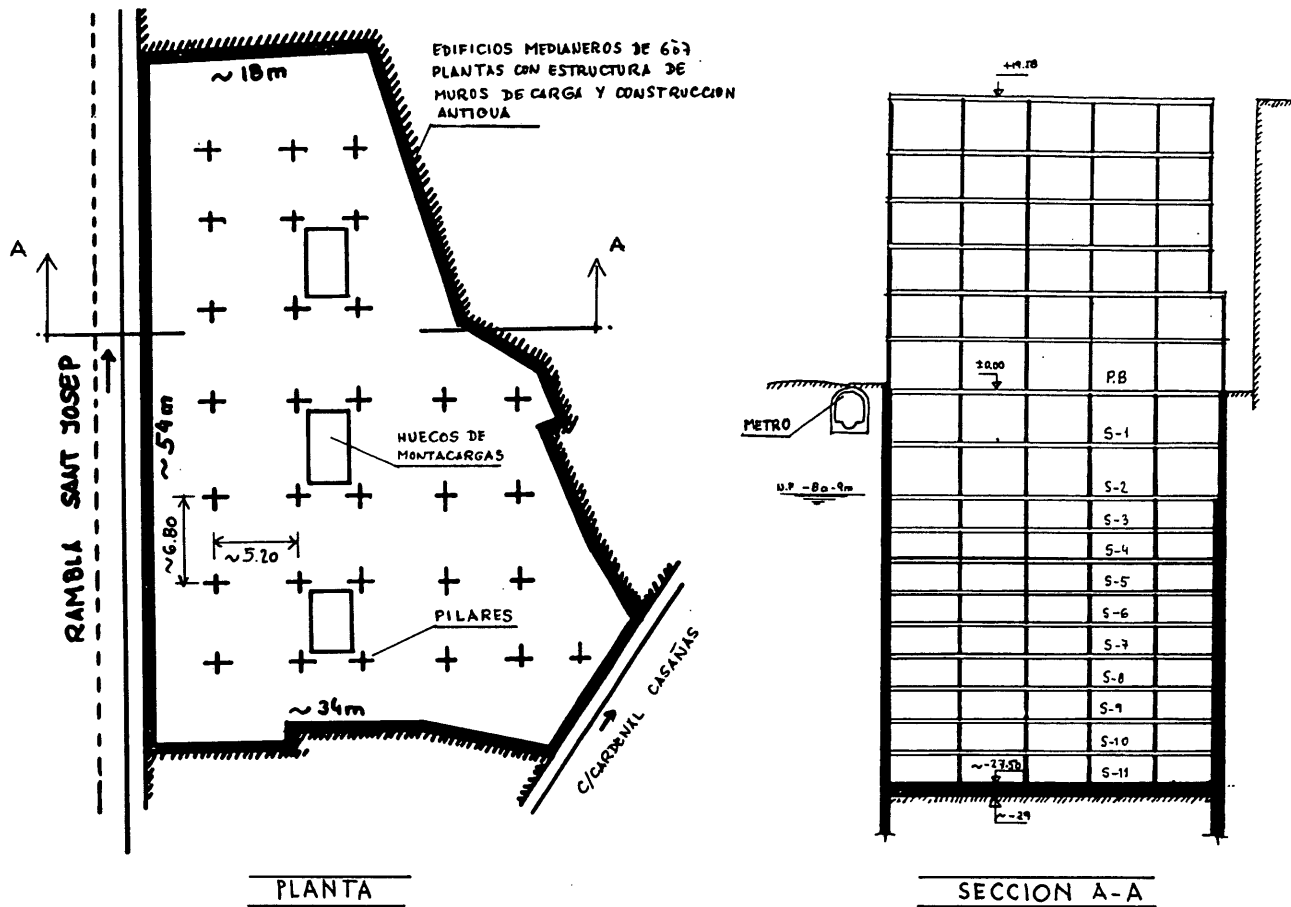
Como resumen podemos decir que hasta la cota -25 aparecen las típicas arcillas rojizas con intercalaciones de estratos de gravillas, arenas y limos, que constituyen un buen material tanto desde el punto de vista resistente como desde el de la facilidad de excavación.

A la cota -25 aparece un estrato de margas de espesor variable, muy duras, coronado en todo el solar por una capa de conglomerado de 30 a 50 cm., extraordinariamente duro.

Desde la -29 a -34 hasta la -40 a -44 existe un estrato de arenas limosas muy densas (Nspt = Rechazo) en las que existe un acuífero cautivo entre los dos estratos impermeables que las confinan.

Intercaladas en estas arenas aparecen capas de conglomerado y areniscas muy duras. Especialmente significativo es el estrato de conglomerado de la cota -38, que aparece de forma casi continua en todo el solar, y que es el que ha presentado mayor espesor y dificultad para ser atravesado con las pantallas y pilotes.

Desde esta cota -38 al segundo estrato de margas las arenas van transformándose en un material mucho más impermeable de tipo limo arcillo-



so pero que presenta permeabilidad errática sobre todo horizontal.

A la cota -40 a -44 aparece un segundo estrato de marga dura coronado también por un estrato casi continuo de conglomerado muy duro.

El espesor de esta capa de marga detectado con los sondeos, situa el fondo de la misma entre las cotas -47 a -52 m.

Los sondeos que perforaron en seco todo el estrato, evidenciaron otro estrato de arenas con un acuífero a presión por debajo de esta cota.

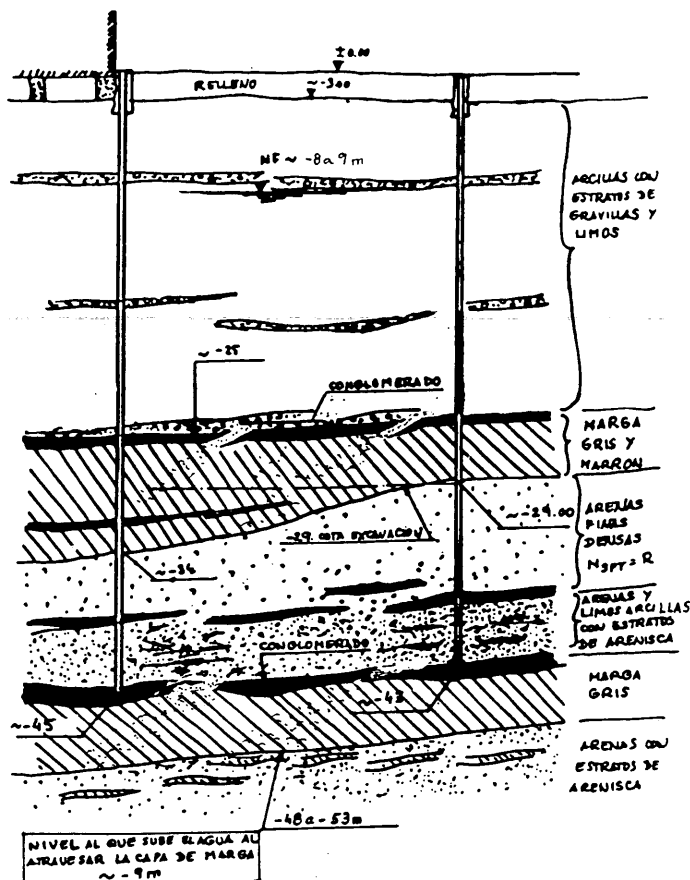
Resulta interesante destacar el hecho de que los datos geotécnicos señalados han sido suministrados no solo por los sondeos previos (10 sondeos) a la ejecución de los trabajos, sino, además, por los registros de los partes de los pilotes y pantallas, con lo que puede considerarse exhaustivo el estudio realizado al solar.

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

Las fases principales de la ejecución de la obra pueden resumirse en las siguientes:

- ▼ **1. Fase:** Construcción de los muros guía y recalce y consolidación de las fachadas medianeras.
- ▼ **2. Fase:** Ejecución del recinto de pantallas y cierre estanco del fondo y el contorno del vaso.
- ▼ **3. Fase:** Construcción de los pilares-pilotes y de los pozos de bombeo y de control de la presión del agua del interior del recinto.
- ▼ **4. Fase:** Viga de coronación, construcción descendente de forjados, revestido con hormigón de los pilares metálicos, excavación con agotamiento.

Planta y
Sección A-A.



Sección A-A:
Geotecnia.

- ▼ **5. Fase:** Última fase de excavación. Construcción de la solera estanca resistente a subpresión con adaptación del proceso constructivo a la posible entrada de agua al interior del recinto.
- ▼ **6. Fase:** Construcción del edificio por encima de la cota cero.

5. CARACTERÍSTICAS SINGULARES DE LA OBRA SUBTERRÁNEA

La gran profundidad de los sótanos excavados junto a una serie de características desfavorables desde el punto de vista geotécnico (nivel freático elevado, estratos permeables al nivel de la última excavación, capas de roca dura a distintas profundidades, etc.) hicieron de la obra una construcción singular tanto desde el punto de vista del diseño como desde el de la ejecución de los trabajos.

En principio podemos clasificar estas "dificultades" relacionándolas con los siguientes aspectos:

CARACTERÍSTICAS SINGULARES DE LA EJECUCIÓN

- ▼ **Condiciones del solar.**
Ubicación en el centro de la ciudad. Accesos difíciles. Poco espacio de maniobra para las máquinas.
- ▼ **Estado de las medianerías.**
Recalce de los edificios durante la ejecución de los muros guía. Consolidación de las medianerías.
- ▼ **Exigencias funcionales del proyecto.**
Limitación de la tolerancia en la verticalidad de pantallas y espesores de éstas. Plazo reducido de ejecución.
- ▼ **Muros guía.**
Gran altura de los mismos (3 m) para mejorar la verticalidad de las pantallas.
- ▼ **Geotecnia.**
Tipos de terreno. Permeabilidad. Presión de agua.
- ▼ **Pantallas.**
Tipos de máquinas, verticalidad, producción, estanqueidad lateral y de fondo. Juntas. Vaso estanco. Capas de roca.
- ▼ **Pilares-pilotes.**
Perforación de pilotes. Medios auxiliares. Colocación de elementos metálicos de gran longitud. Grúa auxiliar. Aplomado de pilares. Medidas para evitar el pandeo.
- ▼ **Excavación descendente.**
Procedimiento general de excavación. Agotamiento previo. Control de filtraciones. Medios auxiliares. Elevación y transporte de tierras.
- ▼ **Ejecución de los forjados.**
Encofrados descendentes. Conexión de losas y pilares. Revestido de hormigón de pilares.
- ▼ **Ejecución de la losa de solera.**
Control previo de filtraciones y comportamiento de pantallas. Precauciones al atravesar las capas impermeables. Agotamiento en las arenas.

CARACTERÍSTICAS SINGULARES DEL DISEÑO

- ▼ **Empujes laterales.**
Cálculo de los empujes de tierras y de agua. Armado de las pantallas. Mejora de su resistencia a flexión por carga vertical.

▼ Comprobación de los forjados a compresión.

Estudio de pilares a pando.

▼ Estabilidad del fondo de las excavaciones durante la ejecución de los trabajos.

Agotamientos. "Sangrado" de las capas permeables inferiores.

▼ Estudio de la flotación del edificio.

Fases provisionales a excavación máxima. Hipótesis de losa construida y plena subpresión sin edificio elevado.

Fase definitiva con edificio terminado.

máquina capaz de garantizar tan óptimos resultados.

No obstante el pequeño espacio disponible y la gran cantidad de medios auxiliares que precisan las hidrofresas para su funcionamiento actuaban como contrapunto a la hora de decidirse por la máquina más adecuada.

Finalmente problemas de disponibilidad de la hidrofresa obligaron a desechar su utilización y se tuvo que acudir a las máquinas convencionales de cucharas con cables, que se encontraban así con un difícil reto que superar.

Por una parte la producción exigida obligaba a disponer de 2 ó 3 máquinas trabajando a la vez, con objeto de igualar el rendimiento de la hidrofresa, con la dificultad ya comentada del pequeño espacio disponible.

Por otra parte la presencia de estratos de roca dura a diferentes profundidades y espesores hacían dudar de la capacidad de las cucharas normales

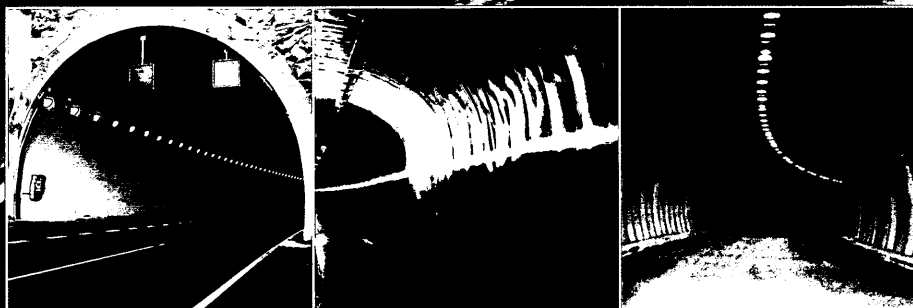
6. MEDIOS UTILIZADOS EN LA EJECUCIÓN DE LAS PANTALLAS Y PILOTES

La tolerancia exigida para la verticalidad de las pantallas (5 ‰) y la gran profundidad de estas apuntaban sin duda a la hidrofresa como la única



TUNELSEC

SISTEMA INTEGRAL DE IMPERMEABILIZACIÓN VISTA DE TÚNELES



TUNELSEC es el sistema integral de impermeabilización de túneles y obras subterráneas, desarrollado por **BETTOR, S.A.** tras varios años de investigación y colaboración con ingenieros y profesionales altamente cualificados en proyectos y realización de túneles, minas y todo tipo de

obras subterráneas.

Las características especiales del sistema, su estética, flexibilidad de adaptación a superficies irregulares, facilidad de colocación y autoextinguibilidad hace aconsejable su utilización sobre todo, en aplicaciones a cara vista.



PRODUCTOS QUÍMICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Bettor, S.A. - 08184 PALAU DE PLEGAMANS (Barcelona)
Tel. (93) 654 84 63 - Fax (93) 654 84 63

MADRID (91) 7339116 - SEVILLA (95) 4250037 - MÁLAGA (952) 401284 - GRANADA (958) 202240 - ZARAGOZA (976) 525922
BILBAO (94) 4452007 VALLADOLID (983) 226603 - VIGO (986) 293353 - VALENCIA (96) 9517819 - GIJÓN (98) 5346484

Les agradecería me remitieren información sobre el sistema integral de impermeabilización vista, TUNELSEC.

Sr/a..... Empresa..... Cargo..... Dirección..... Población..... Código Postal..... Tel.....

BETTOR, S.A. Bettor 13-15, E 08184 PALAU DE PLEGAMANS (BCN)

para poder alcanzar los 45 ó 50 m. con un rendimiento adecuado.

Además las exigencias de verticalidad -cinco veces más estrictas que lo permitido por las Normas- hacia dudar aún más de su conveniencia como medio de excavación de las pantallas.

Finalmente, la necesidad de garantizar unas juntas estancas entre módulos de pantallas, planteaba unas exigencias de gatos extractores de los tubos junta que añadía dificultades especiales, todo ello en contra del rendimiento necesario por cuestiones de plazo.

Para superar todas estas dificultades se organizaron los trabajos con los siguientes medios:

▼ 1 GRUA LINK BELT 408

Sobre orugas, de 65 ton. con 21 m. de pluma, motor diesel de 285 CV, tiro máximo directo al cable 16 ton.

▼ 1 GRUA LINK BELT 108 HD.

Sobre orugas, de 40 ton. con 24 m. de pluma, motor diesel de 250 CV., tiro máximo directo al cable de 13 ton.

▼ 2 GRUAS LINK BELT 108 B.

Sobre orugas de 40 ton. con 21 m. de pluma, motor diesel de 250 CV, tiro máximo directo al cable de 10,5 ton.

▼ 1 GRUA AUXILIAR P&H.

Hidráulica, sobre orugas, de 55 ton. con 28 m. de pluma, tiro máximo directo al cable de 12 ton.

▼ 4 CUCHARAS MECANICAS.

Para pantalla, tipo CASAGRANDE, de 9,5 ton. de peso, 9 m. de altura, 2,50 m. de apertura.

▼ 1 EQUIPO DE ROTACION SOILMEC.

Con un par de 21000 Kgm.

▼ 1 EQUIPO DE ROTACION

ICAP-FONDEDILE GDZ.

Con un par de 15600 Kgm.

▼ 1 DESARENADOR SOILMEC.

Para lodos, de una capacidad de 49 m3/hora.

▼ 2 MEZCLADORAS TIPO

ICAP-FONDEDILE.

Para lodos, con motor eléctrico de 25 CV.

▼ 3 BOMBAS FLYGHT.

Con motor eléctrico de 7 CV.

▼ 2 EQUIPO HIDRAULICO.

Para extracción de tubos de junta con una capacidad de extracción de 200 ton. cada uno, accionados por una centralita hidráulica con motor diesel de 85 CV.

▼ Útiles de perforación para equipo de rotación de diámetros 1500 mm. y 1800 mm.

▼ Útiles de hormigonado con tubo tremie de 220 mm. de diámetro, con juntas herméticas entre tramos.

▼ Depósitos de lodos bentoníticos, con una capacidad total de 200 m3.

▼ 2 Trépanos circulares de diámetro adecuados a la perforación de pantallas y pilotes.

▼ 2 Trépanos rectangulares.

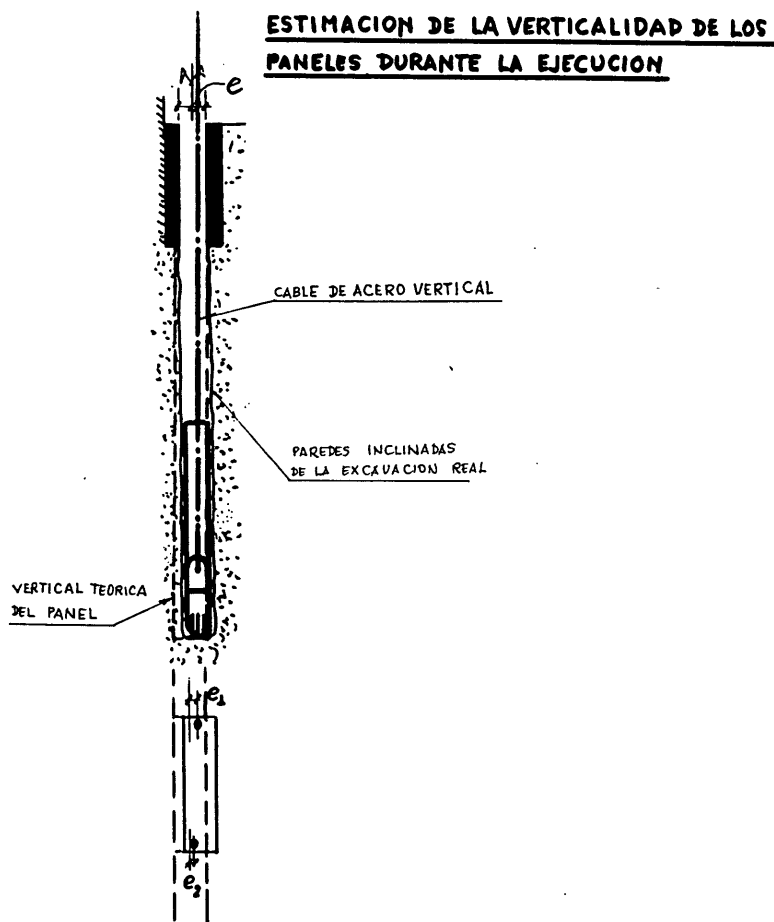
▼ 1 Grúa Torre auxiliar de 50 m. de alcance y 15 Tn. a 15 m.

▼ 1 Equipo complementario.

El rendimiento medio alcanzado en la ejecución de pantallas y pilotes ha sido:

▼ Para las pantallas:

8 m. de perímetro perforados y hormigonado a la semana, con longitudes entre 40 a 45 m.



100 ml. de tubo de juntas para pantalla en piezas empalmadas de 12,50 m. de longitud.

▼ Para los pilotes:

Perforación con L=43 m. y diámetro 1800, 1 día.

Hormigonado, aplomado del pilar L = 31 m, incluido relleno inerte, 1 día.

7. VERTICALIDAD DE LAS PANTALLAS

Al no contar con la hidrofresa para la ejecución de las pantallas, que controla y corrige la verticalidad de las mismas a medida que progresa la excavación, se planteaba un difícil problema para garantizar los estrictos límites de tolerancia exigidos.

Como primeras medidas se actuó de la siguiente forma:

▼ Construcción de unos muros guía de 3 m. de altura, de paredes perfectamente verticales para "guiar" lo mejor posible las fases iniciales de la excavación.

▼ Utilización de unas cucharas especiales muy pesadas, de 7 a 10 ton. y 9 m. de altura, para prolongar el efecto de guiado lo más posible.

▼ Reducción del espesor de la pantalla de 85 a 65 cm. reforzando el armado de las mismas, con objeto de contar con un mayor margen de desviación.

Además de esto, se precisaba un sistema que permitiera controlar durante las excavaciones las desviaciones y corregirlas, o al menos su tendencia, en la medida de lo posible, todo ello afectando lo menos posible al rendimiento de la perforación de los paneles.

Tras diversas pruebas se desechó la utilización de los sistemas a base de inclinómetros y cámaras de T.V. y se acudió a un sistema de sencilla medición que, a pesar de lo simple y poco preciso que pueda parecer, funcionó lo suficientemente bien para detectar desviaciones y poder actuar sobre las cucharas para corregirlas.

Para poder realizar las mediciones de verticalidad se procedía de la siguiente forma:

Cada 7 u 8 metros de excavación se enganaba en la cuchara, en el eje de la misma, y en ambos extremos, en una orejetas perfectamente replanteadas, unos cables de acero con los que se bajaba hasta la profundidad de excavación. Después se verticalizaban ambos cables con ayu-

da de un taquímetro y manteniéndolos lo más tensos posible, desde la cota de los muretes guía hasta unos 4 metros por encima.

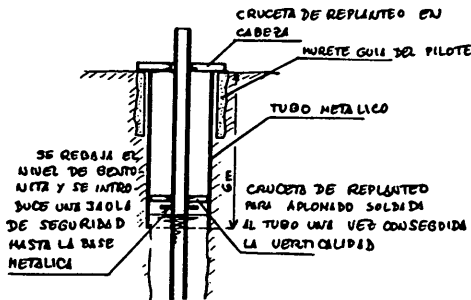
Una vez conseguida esta verticalización se replanteaba la posición del cable -es decir, en teoría la de la cuchara- con relación al eje de simetría de los muros guías, por lo que se podía estimar su desviación en ambos extremos y el giro de la misma.

Para corregir las desviaciones se actuaba modificando con chapas el borde de la cuchara del lado a rebajar o, en los casos más complicados, introduciendo un tubo perfectamente guiado para "cajear" la zona de terreno que invadía la excavación.

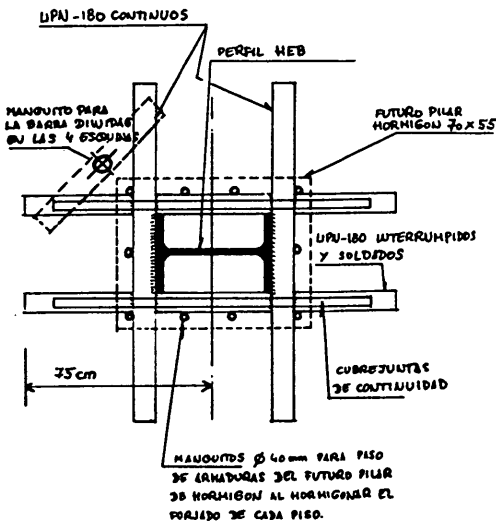
Las desviaciones máximas estimadas durante la ejecución de las pantallas fueron del orden de los 12 cm. en los 30 m. primeros de excavación.

**Construcción de
Muros guía y
Bataches de
recalce.**

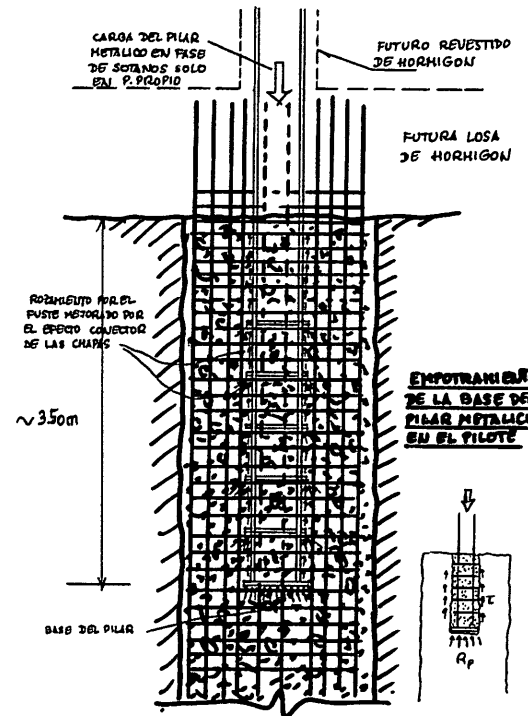




APLOMADO DEL PILAR EN CABEZA



EMPOTRAMIENTO DE LA BASE DEL PILAR METÁLICO EN EL PILOTE



8. CONSTRUCCIÓN DE LOS PILARES-PILOTES

Los elementos verticales de la estructura de los sótanos están constituidos por pilares metálicos HEB de 31 m. de longitud con su parte inferior embebida en el hormigón de pilotes "in situ" de 1800 mm. de diámetro.

El proceso constructivo es el siguiente:

▼ Ejecución de la perforación de los pilotes desde una plataforma de trabajo a nivel del primer sótano.

Para ello se construía un antepozo de hormigón a modo de muros guía para el perfecto replanteo de los ejes de los pilotes.

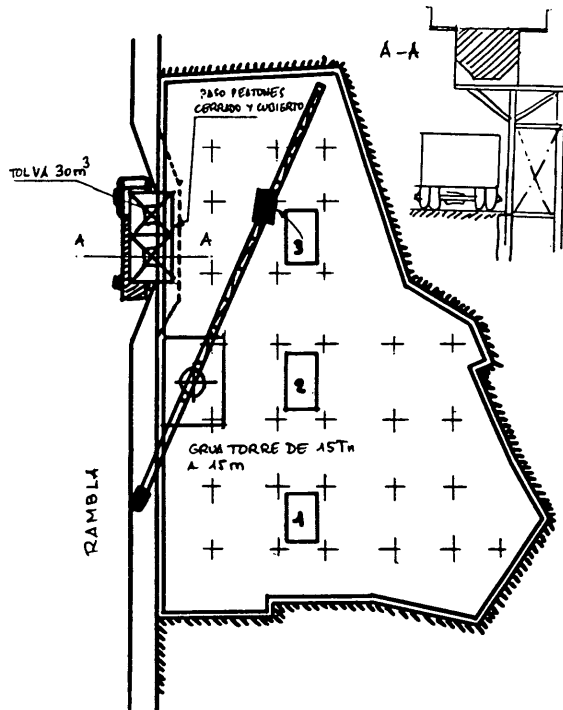
Una vez perforados a rotación, con el auxilio de lodos tixotrópicos y el uso del trépano en los estratos de roca, se disponía una camisa metálica

recuperable de 6 m. de longitud que servía de base para el aplomado y replanteo de los pilares metálicos de 31 m. de longitud, referidos a dicha entubación con una cruceta en cabeza y otra a 5 m. de la coronación con la misión de garantizar la inmovilidad del perfil durante las operaciones de hormigonado.

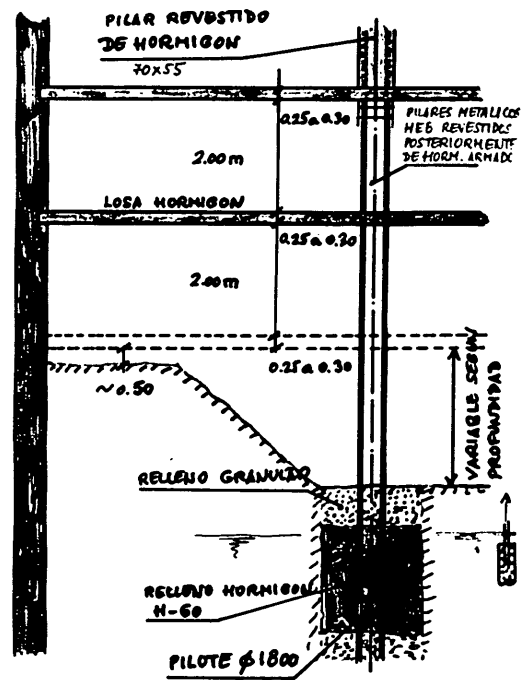
En el pie del pilar metálico se dispusieron las placas y conectores necesarios para transmitir la carga del perfil al elemento de hormigón.

Desde la cota superior del hormigón del pilote (unos 2 metros por encima de la cota de máxima excavación) hasta la superficie del terreno se relleno el espacio dejado por la excavación con grava que garantizase la estabilidad lateral del pilar durante las fases provisionales del descenso de la excavación.

Dada la gran profundidad a alcanzar por ésta y las fuertes cargas que los 10 forjados de los sótanos transmitían con su peso propio a los pilares,



EVACUACION DE TIERRAS



PROCESO DE EXCAVACION

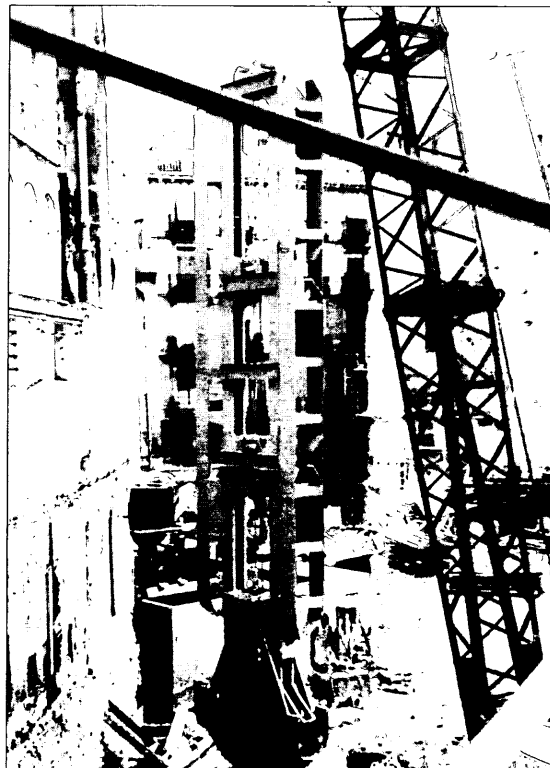
se decidió disponer además unos tapones de hormigón de baja resistencia, fácilmente excavable, a las profundidades convenientes para que alternados entre las capas de gravilla proporcionaran una seguridad adicional frente al posible pandeo de los pilares.

Durante el descenso de la excavación se soldaban las crucetas de conexión con los forjados que servían además para recibir, mediante barras Diwidag, las cargas del encofrado colgado y peso propio del forjado inmediatamente inferior.

9. EXCAVACIÓN DE LOS SOTANOS

Una vez construido el forjado de un cierto nivel se procedía a excavar por debajo del encofrado colgado con el auxilio de palas excavadoras que transportaban el material a contenedores situados en la vertical de los 3 huecos de montacargas que dispone el edificio.

Una grúa de gran capacidad elevaba los contenedores y vertía el material a una tolva de carga de camiones situada en la periferia del solar.



Construcción de las pantallas con cucharas de gran altura para garantizar la verticalidad.

Durante este proceso se solicitaba a las pantallas a sus máximos esfuerzos de flexión y los forjados inmediatamente superiores recibían también las máximas compresiones generadas por el empuje de las tierras y el agua del exterior del recinto.

En el esquema adjunto se indican las envolventes de esfuerzos considerada para el armado de las pantallas y la comprobación de los forjados.

El nivel de agua en el interior del recinto se llevaba siempre controlado unos 2 m. por debajo del máximo nivel de excavación mediante el oportuno bombeo de forma continua.

10. ESTANQUEIDAD Y ESTABILIDAD DE LOS SÓTANOS FRENTE A LA PRESIÓN DE AGUA

▼ a) Criterios seguidos en el diseño.

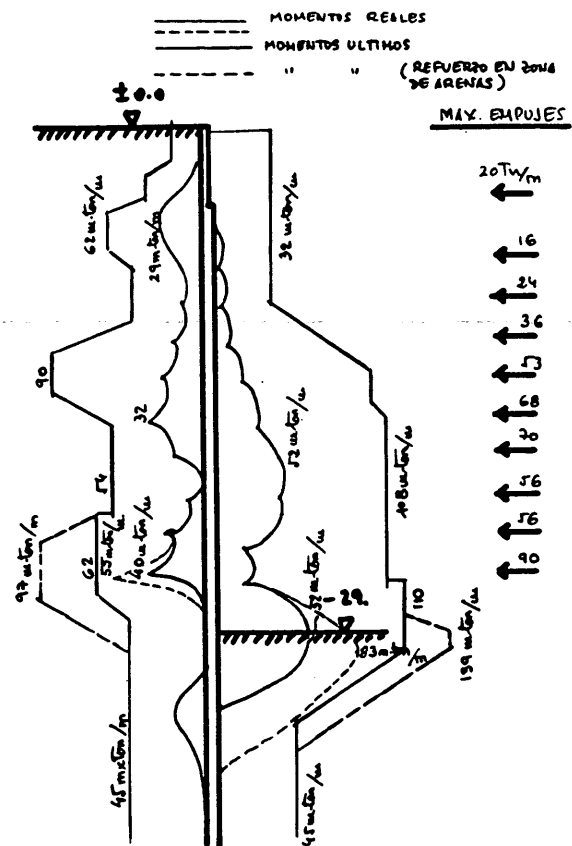
Adaptándose a las condiciones geotécnicas del solar se trató de garantizar la estanqueidad funcional de los sótanos creando un recinto estanco a base de profundizar las pantallas hasta empotrarlas en los estratos impermeables de margas y conglomerados que aparecen a partir de la cota -42 m. Este estrato impermeable se extiende según los sondeos hasta las cotas -47 a -52 en donde vuelven a aparecer las arenas y areniscas cementadas, firmes pero permeables. Los sondeos que atravesaron el estrato impermeable, entubados hasta el comienzo de la marga y perforados en seco en la misma, evidenciaron que volvía a subir el nivel de agua hasta la cota -9 m. una vez se alcanzaba el nivel de arenas de la -47. A este estrato impermeable profundo, coronado por una capa de conglomerado muy duro hacia la cota -42, se confió la estanqueidad del fondo del recinto.

Lateralmente el buen comportamiento de las juntas entre pantallas será el responsable de la hermeticidad del recinto frente a la entrada de agua.

Cumplidos los dos objetivos anteriores bastaría con ir retirando el agua del interior del recinto durante -o previamente a- las fases de excavación y, al menos durante las fases constructivas, no se deberían tener excesivos problemas para dominar el agua.

Aún con este supuesto de estanqueidad resulta imprescindible comprobar la estabilidad del fondo y paredes laterales del recinto frente a las

EMPUJES Y MOMENTOS EN LA PANTALLA.



presiones exteriores del agua, con la máxima excavación, así como mantener controladas las presiones de agua de las capas cautivas permeables (entre la -30 y la -38) para evitar la rotura de los estratos impermeables superiores por exceso de presión de agua en los infrayacentes.

Por otra parte y como medida de seguridad hay que considerar que puedan producirse durante la construcción entradas de agua tanto por el lateral como por el fondo que obliguen a establecer un sistema de bombeo más o menos importante, complementario al sistema general de agotamiento con pozos, establecido desde la superficie, antes del comienzo de las excavaciones.

Finalmente se supuso que una vez construida la losa de solera y conectada con los pilares y pilotes, actúa sobre ella la subpresión hidrostática en su totalidad nada más cortado el agotamiento provisional.

Este supuesto impuso a los pilotes esfuerzos de tracción importantes al no estar compensada la

subpresión con la carga transmitida por los pilares en esta fase constructiva.

En definitiva, la estabilidad mecánica del recinto impermeable frente a las presiones de agua, se ha considerado bajo los siguientes aspectos:

▼ a) Estabilidad del fondo con máxima excavación y recinto impermeable: (sin solera)

Se rebaja el nivel freático dentro del recinto hasta el fondo de la excavación.

Presión de agua no equilibrada: $q = 39,3 - 19 = 20,3 \text{ ton/m}^2$.

Peso de tierras sumergidas: $p_1 = 19,1,1 = 20,9 \text{ ton/m}^2$

Peso propio de los sótanos: $p_2 = 8 \text{ ton/m}^2$

} 28,9 Tn/m²

$$p_1 + p_2 > q \quad F \sim 1,42$$

▼ b) Anclaje de la solera con la subpresión total para el peso propio de los sótanos y fondo permeable.

Para evaluar la máxima tracción que aparece en los pilotes se supone que se produce la subpresión total sobre la solera nada más construida ésta y antes de continuar con la construcción del resto del edificio, es decir, actuando solo como carga del edificio el peso propio de los forjados de los sótanos.

De esta forma los pilotes actuarán como anclajes tratando de "levantar" el "paquete" de terreno confinado entre ellos.

Presión de agua: $q = 20,3 \text{ tn/m}^2$.

Peso propio solera: $p_1 = 1,5,2,5 = 3,75 \text{ tn/m}^2$

Peso propio sótanos: $p_2 >> 8 \text{ tn/m}^2$

Peso propio pilotes: $p_3 >> 1,5 \text{ tn/m}^2$
(sumergido)

} 13,25 tn/m².

Tracción de pilote transmitida al terreno.

$$T = (20,30 - 13,25) \cdot 35 \text{ m}^2 = 240 \text{ Tn.}$$

(Área de influencia)

Tensión media de adherencia por fuste:

$$\tau = \frac{240 \text{ Tn}}{\pi \cdot 1,8 \cdot 14} = 3 \text{ Tn / m}^2$$

Colocación en un
pilote del pilar
de 30 m.

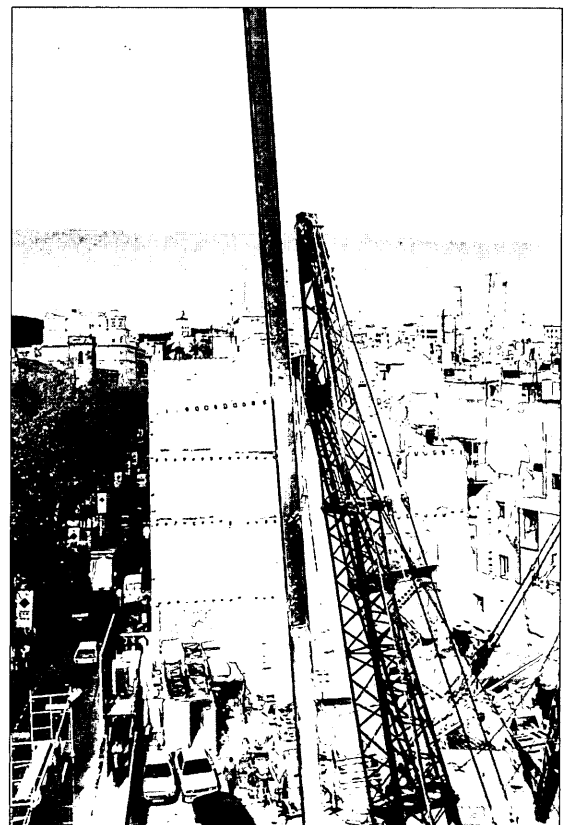
▼ c) Reducción de la presión de agua en los estratos infrayacentes durante las fases intermedias de excavación.

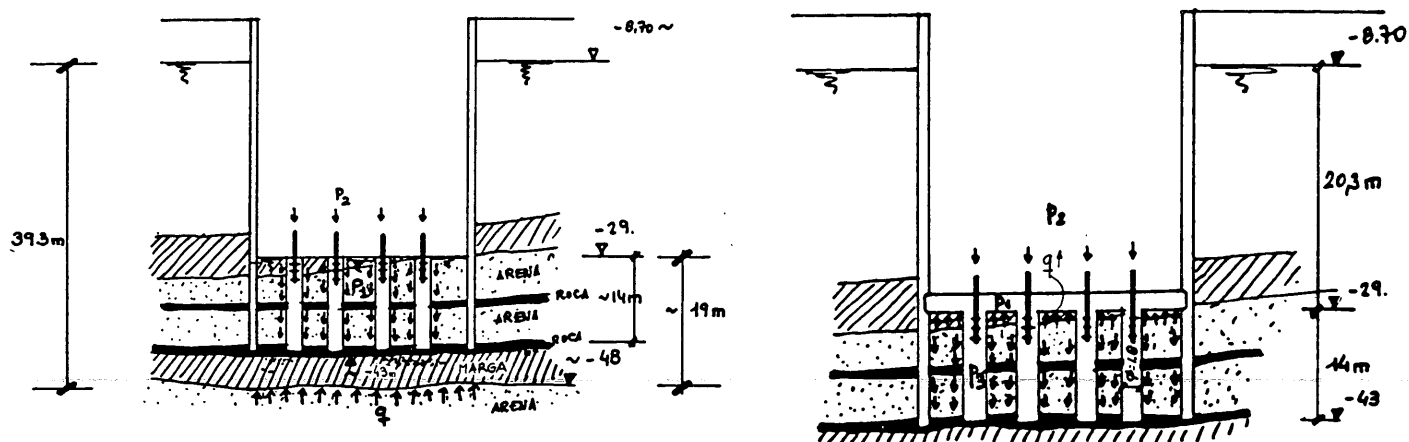
Antes del comienzo de las excavaciones se ejecutaron una serie de pozos filtrantes perforados hasta las capas impermeables profundas que conectaron por tanto todas las capas permeables incluidas dentro del recinto.

Una primera prueba de la estanqueidad del vaso se obtuvo analizando la recuperación del nivel de los pozos tras varias fases de agotamiento. En teoría si el vaso fuera perfectamente impermeable se podría conservar el nivel freático por debajo de la cota -29 una vez abatido hasta esa cota.

La necesidad de reducir la presión de las capas permeables cautivas durante el descenso de la excavación se imponía en los casos en los que la cobertura de tierras impermeables por encima era insuficiente para compensar con su peso propio la sobrepresión del agua.

De otra forma, si los citados estratos permeables hubieran estado conectados por el fondo con un acuífero que podía aportar caudal y presión suficientes -hecho del que nunca se puede estar seguro- podrían haber producido una rotura del fon-





do de forma brusca que hiciese peligrar, o al menos perturbar, el proceso constructivo.

▼ d) Comportamiento real del recinto.

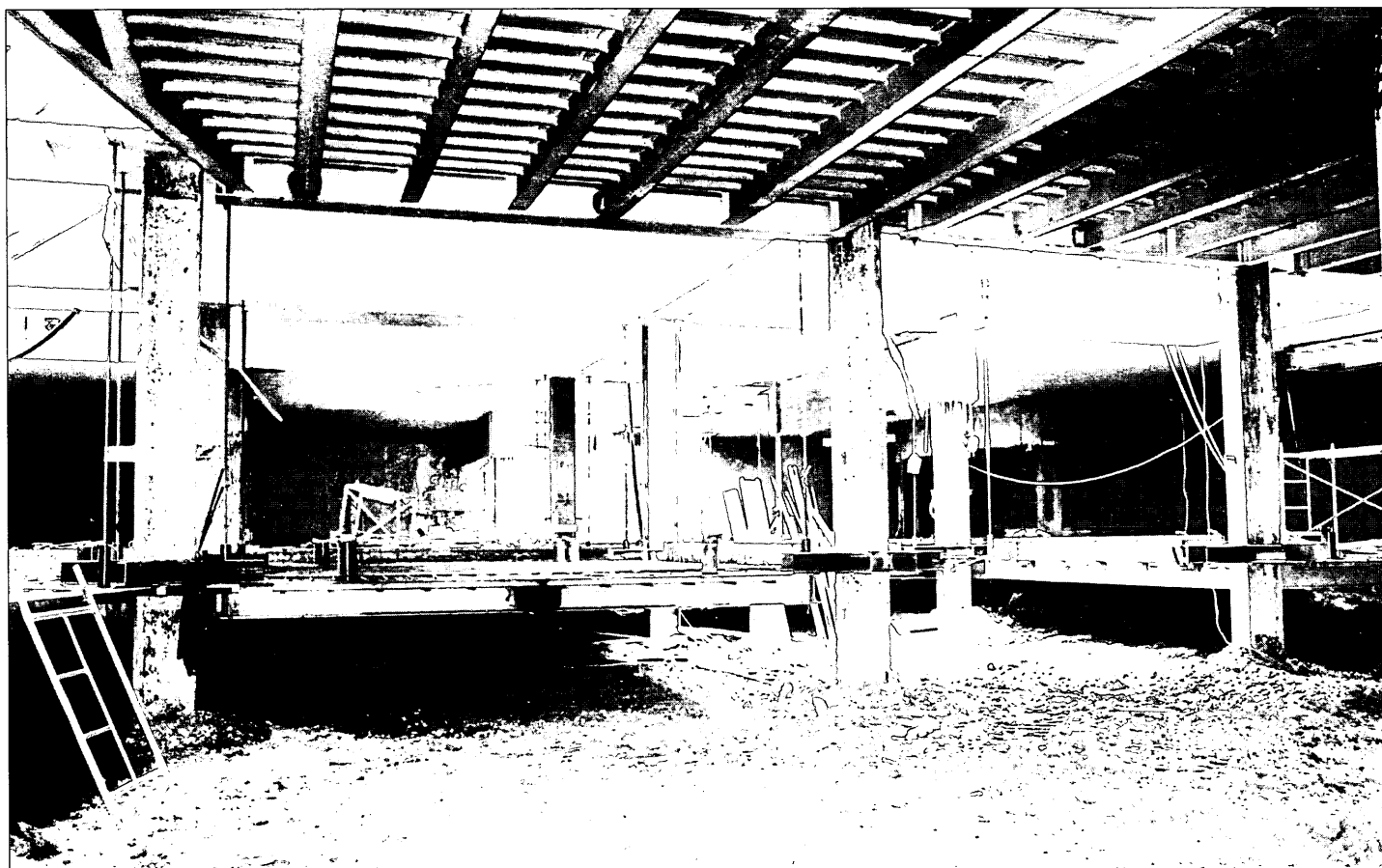
Detalle de cuelgue de encofrados con barras Dywidag.

Durante la construcción se comprobó que el fondo del recinto no era estanco debido a la no

continuidad de los estratos impermeables profundos.

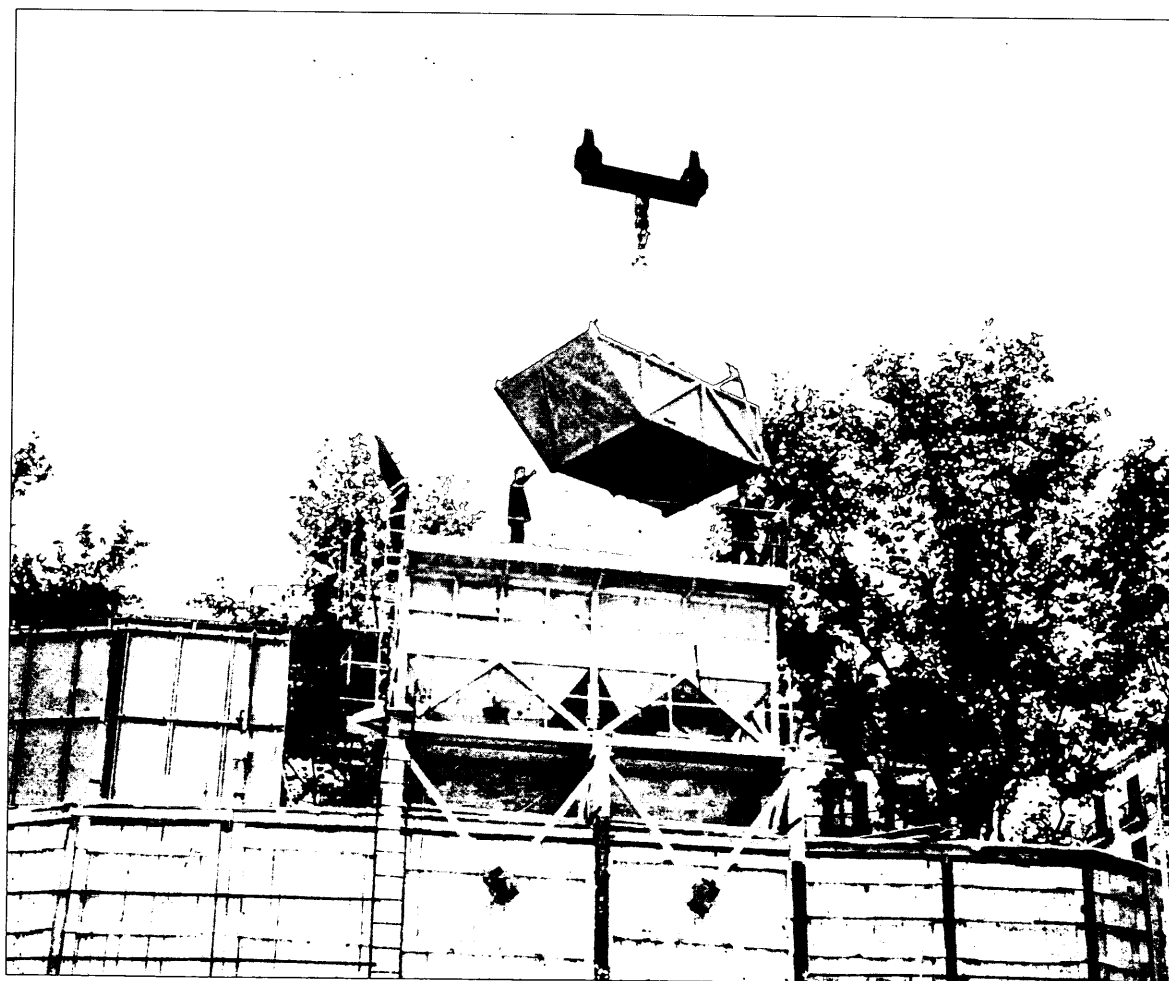
Los caudales de agotamiento fueron moderados y se mantuvieron bastante constantes durante toda la excavación.

El mantenimiento del N.F. en el interior del recinto, varios metros por debajo de la cota del te-





Excavación bajo el forjado.



Transporte de tierras hasta la tolva.

**Última fase
de excavación.**



rreno y el carácter consistente del mismo permitió realizar la excavación en seco con un rendimiento acomodado a la ejecución de los forjados.

Una vez hormigonada la losa de fondo de 1,20 a 1,50 m. de espesor, se mantuvo el agotamiento en funcionamiento hasta alcanzar las cargas del edificio previstas. Una vez cortadas las bombas se

alcanzó debajo de la losa la presión del agua correspondiente a la altura piezométrica en brevísimo tiempo, buena prueba de la conexión por el fondo con el acuífero general de la zona.

En cuanto al comportamiento de las juntas entre pantallas, realizados con tubos extraídos con gatos hidráulicos, puede decirse que no presentaron ningún problema hasta el sótano 9°. A partir de este, algunas de las juntas, especialmente las de ángulos agudos u obtusos, tuvieron que ser tratadas posteriormente desde el interior del recinto con sellados a base de resinas y morteros hidrófugos.

También debieron ser tratados en los últimos sótanos alguna roza de apoyo del forjado en las pantallas (un punto débil para la entrada del agua) y alguna zona de encuentro de la losa de solera y la pantalla.

La pequeña aportación de agua hacia el interior del recinto se recoge a partir del 9° sótano con un sistema de canalillos perimetrales que se envían a un foso situado en la losa de solera, del que es bombeado automáticamente cuando el agua alcanza un cierto nivel. ●

**Pozo y bomba en
fase de excavación.**

