

Contención y cimentación para el proyecto Torre Cajasol (Sevilla)

OSCAR RIVAS MARCOS (*) y LUIS GONZÁLEZ LÓPEZ (**)

RESUMEN La **cimentación** y **contención** para la excavación en el Proyecto Torre Cajasol ha supuesto un importante reto para el Grupo Terratest dentro de la ejecución de grandes proyectos de cimentaciones especiales, puesto que se trata, sin lugar a dudas, de uno de los más **grandes proyectos** de edificación realizados en España en los últimos años, en cuanto a magnitud y singularidad.

El proyecto comprende la ejecución de la contención del terreno para formación de sótanos y la cimentación interior tanto de la torre como del resto de la edificación (centro comercial).

La obra presenta una gran complejidad técnica debido a la geometría, a la **geología** y al ajustado plazo de ejecución y en ella se utilizaron las últimas tecnologías dentro del campo de las **cimentaciones especiales** en combinación con otras más tradicionales que en este caso suponían un reto equivalente debido a la magnitud de la obra.

Finalmente la obra fue ejecutada con éxito y con cumplimiento de los plazos gracias a una eficiente aplicación de las técnicas y una organizada coordinación de los diferentes equipos de trabajo.

FOUNDATION AND RETAINING WALLS IN TORRE CAJASOL PROJECT, SEVILLE

ABSTRACT *Retaining wall and foundation for the Cajasol Tower Project was an important challenge for the Terratest Group in the implementation of major projects of special foundations, as it is without doubt, one of the **largest building construction projects** carried out in Spain in recent years in terms of magnitude and singularity.*

The project involves implementing diaphragm wall for the formation of basements and deep foundations of the tower as much as the rest of the building (mall).

*The work presents a great technical complexity due to the geometry, **geology** and the tight deadline and it used the latest technologies in the field of **special foundations** in combination with more traditional technologies that in this case were an equivalent challenge due to the magnitude of the project.*

Finally the work was executed successfully and meeting deadlines through efficient application of techniques and an organized coordination of different teams.

Palabras clave: Cimentación, Contención, Grandes proyectos, Geología, Cimentaciones especiales.

Keywords: Retaining wall, Foundation, Largest building construction projects, Geology, Special foundations.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de Torre Cajasol consta de una torre de oficinas de 180 metros de altura, primer rascacielos de Sevilla, y un edificio de servicios. Está situado en la Isla de la Cartuja y el proyecto ha sido desarrollado por Ayesa en colaboración con el estudio estadounidense Pelli, Clarke & Pelli Architects, autor entre otros de las Torres Petronas de Kuala Lumpur en Malasia.

La superficie total construida del complejo es de más 213.000 m², incluyendo la torre de 180 m. de altura. La obra contratada consiste en un vaso estanco para la formación de cuatro niveles de sótano con una superficie en planta de 38.500 m². Dicho recinto es de planta prácticamente rectan-

gular, de 355 x 110 m, exceptuando su esquina sur-oeste donde existe un chaflán de unos 40 m.

En planta la torre tiene una superficie de 1.500 m² mientras que el resto de la superficie está ocupada por un centro comercial y zona ajardinada (Figura1).

La manzana donde se realiza la intervención es la denominada CT1 en el PERI ARI-DT-10, la cual está delimitada por las calles Camino de los Descubrimientos al este, Inca Garcilaso al oeste, Gonzalo Jiménez de Quesada al norte y López Pintado al sur. La manzana que recoge el proyecto tiene una superficie de 41.331 m² y tiene una topografía relativamente plana, pero dada su gran dimensión acaba obteniendo unas diferencias de cotas entre los extremos de 2,38 m aproximadamente.

La cota de trabajo y coronación de los muros pantalla de contención se sitúa a +8,00 m siendo la máxima cota de excavación (por debajo de losa de cimentación) según la solución inicial la -7,62 m. El nivel freático se sitúa entre las cotas +1,50 y +2,80 m.

(*) Departamento de Contratación y estudios. TERRATEST. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. E.Mail: oscar.rm@terratest.com

(**) Jefe de obra del Proyecto de Cimentación y Contención Torre Cajasol. TERRATEST. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. E.Mail: luis.gl@terratest.com



FIGURA 1. Detalle del Futuro Centro de Servicios Torre Cajasol.

2. SOLUCIÓN DE PROYECTO

La solución de proyecto está formada por muros pantalla de contención de 0,80 m y 1,0 m de espesor, y de profundidad variable entre los 27,00 y 36,00 metros. Sus 37 secciones de cálculo están, arriostradas mediante un número variable de en-

tre 6 a 9 niveles de anclajes al terreno de longitudes que van desde los 32 m hasta los 54 m en los niveles superiores. Estos anclajes son de 8 cables, tipo IR.

La cimentación de la torre se resuelve con 1 doble anillo elíptico de pantalla continua de 0,80 m de espesor y una pro-



FIGURA 2. Ubicación de la parcela donde se ha de construir el vaso estanco.

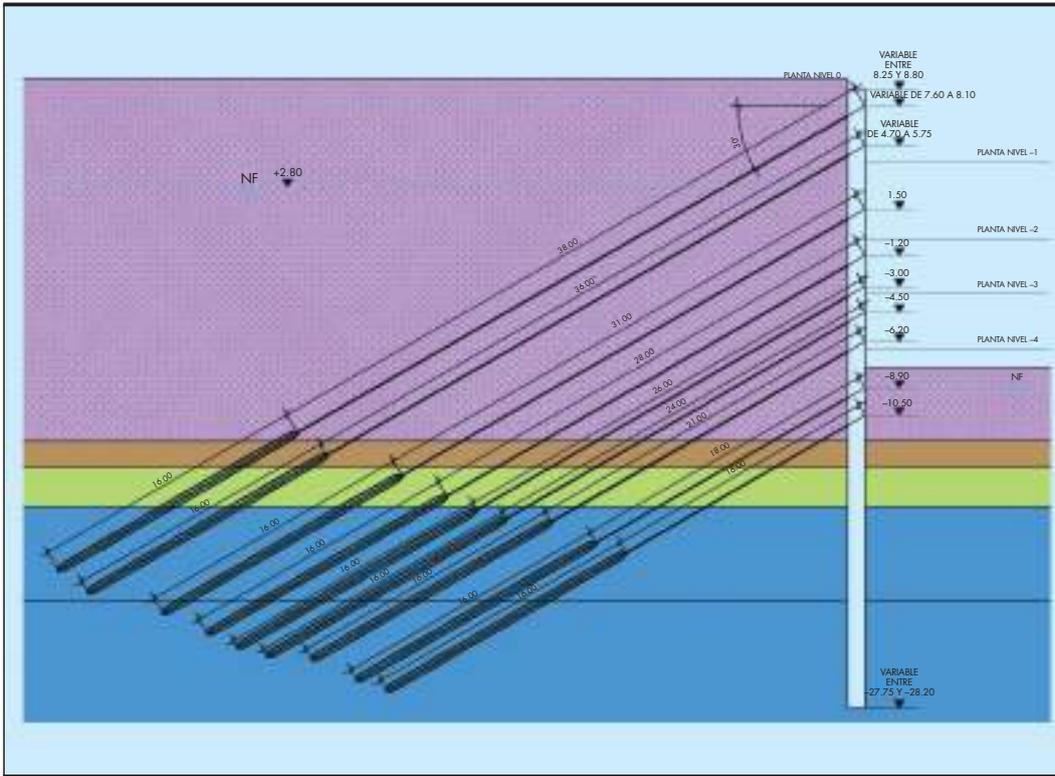


FIGURA 3. Detalle de la sección con mayor número de niveles de anclajes por sobreexcavación en la zona de la Corta de Triana.

fundidad de excavación desde la cota $-7,72$ m hasta la cota $-48,72$ m en la zona de Torre. El resto del solar tiene una losa de $1,00$ m de espesor.

En la zona de la Corta de Triana (antigua vaguada que fue rellenada para la creación de plataforma horizontal, esto se realizó durante los trabajos de construcción de la Expo '92) es nece-

sario hacer una sobre-excavación de 30.516 m^3 y posterior relleno seleccionado como mejora del terreno. Para hacer esta sobre-excavación son necesarias las filas 8ª y 9ª de arriostramiento.

Para el rebajamiento del nivel freático se definen una serie de 10 pozos de hormigón de $1,00$ m de diámetro empotrándose $2,00$ m en el estrato de gravas.

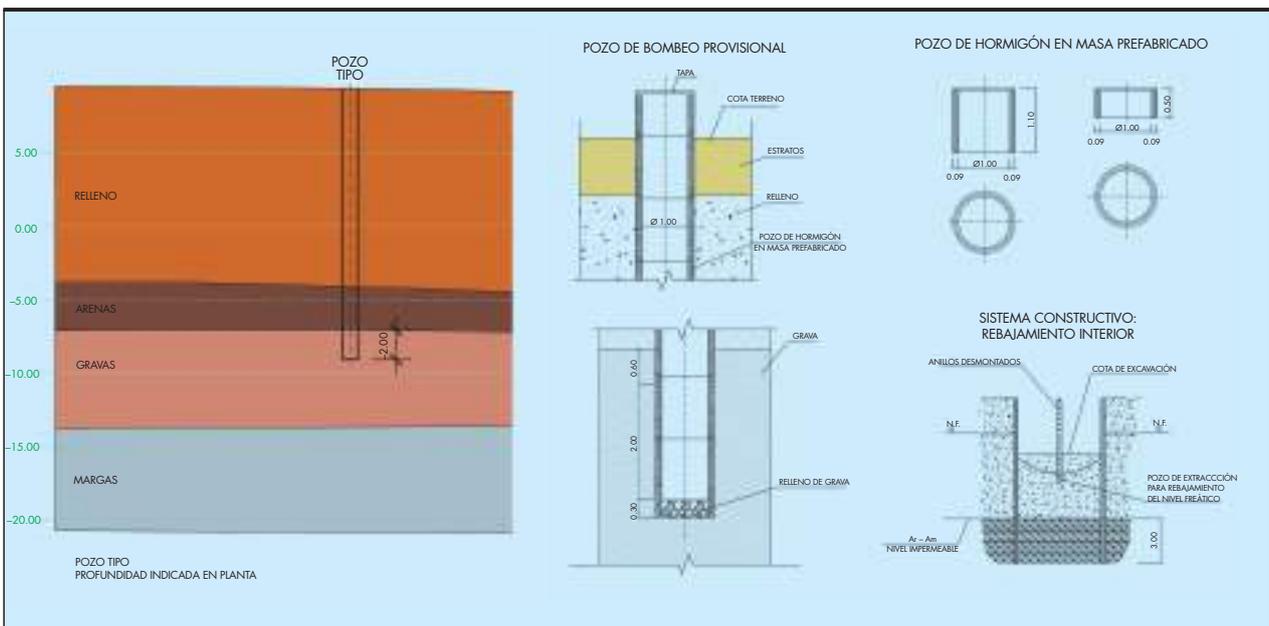


FIGURA 4. Detalle de pozos de proyecto.

Nivel geotécnico	Descripción	$\gamma_{\text{humeda}}^{(1)}$ (Tn/m ³)*	$\gamma_{\text{sumergida}}^{(2)}$ (Tn/m ³)	$C^{****(3)}$ (Tn/m ²)	$\Phi^{(4)}$	$Kh_{(5)}$ (Tn/m ³)
1	Relleno Antrópico	1.80	0.8	0.2	18	150
2	Arcillas limosas	2.0	1.0	0.2	18	150
3	Relleno en cauce	1.80	0.8	0.2	18	150
4	Arenas limosas	2.1	1.1	0.5	30	550
3	Gravas	2.2	1.20	0	35	2700
4	Margas azules	2	1	2 a 6	22	1000 a 5000

TABLA 1. Valores geotécnicos de los estratos.

3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA E HIDROGEOLÓGICA

Según los sondeos realizados el subsuelo se divide en los siguientes niveles geológico-geotécnicos:

- Nivel 1. Rellenos Antrópicos recientes, con una potencia que oscila entre 2,5 m y 8,5 m según se encuentre dentro o fuera de la zona de la antigua Corta de Triana, respectivamente. Están formados mayoritariamente por unas arenas amarillentas con bastantes fragmentos areniscos y proporciones variables de arcilla. Presentan una densidad floja-muy floja.
- Nivel 2. Rellenos antrópicos pertenecientes al relleno realizado en la corta de Triana. Su espesor máximo está entorno a 21 m. Están formados por unas arcillas areno-limosas de tonalidades parduzcas y grisáceas, y con una cantidad importante de restos cerámicos. Presentan generalmente una consistencia moderadamente firme.
- Nivel 3. Arcillas limosas marrones y grisáceas. Sólo se observan en la zona fuera del antiguo cauce, entre una cota de

3.8 m hasta unos 15 m, aproximadamente. Presentan algunas intercalaciones de lentes limo-arenosas. Generalmente tienen una consistencia blanda moderadamente firme.

- Nivel 4. Arenas limosas marrones, desde profundidades entorno a 15 m hasta unos 18.5 m, en la zona fuera de la corta, mientras que dentro del antiguo cauce presentan espesores entre 1.5-2.0 m, subyaciendo al nivel 2. Se observa una proporción creciente de la fracción grava a medida que se profundiza. Cabe destacar que este nivel no es continuo lateralmente a lo largo de la parcela, no llegando a aparecer en la zona Norte de la parcela (Antiguo Pabellón de los Descubrimientos).
- Nivel 5. Gravas y bolos heterométricos con bastante arena y tonalidades marrones. Aparecen de forma general entre una cota de 18 m hasta unos 24.5 m, a excepción de la zona Norte de la parcela (Pabellón de los Descubrimientos), donde se presenta a partir de unos 12 m. La densidad de estos materiales es muy elevada registrándose rechazo en los S.P.T's.

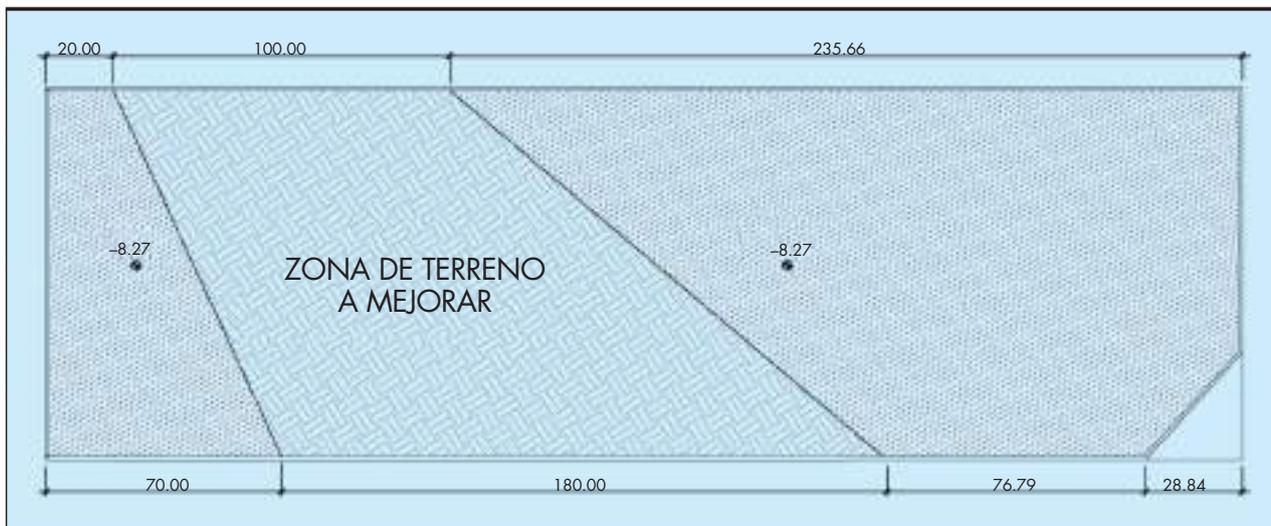
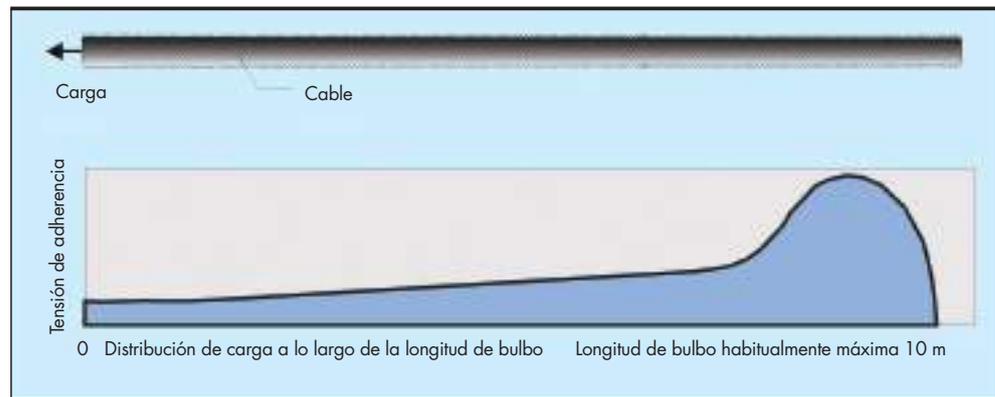


FIGURA 5. Zona de terreno a mejorar en zona de corta.

FIGURA 6. Distribución de tensiones de adherencia a lo largo de la longitud fija de un anclaje convencional/tradicional.



– Nivel 6. Margas azules. Aparecen a partir de una cota de unos 24.5 m de profundidad. Están formadas por unas arcillas margosas de tonalidades grises azuladas. Presentan una consistencia creciente en profundidad, siendo de forma general duras e impermeables.

El nivel freático obtenido de las medidas de campo, está en torno a la cota absoluta de +1,50, si bien en los cálculos se ha tomado el valor de +2,80 m.

Los valores geotécnicos asignados a cada nivel son los que se aprecian en la Tabla 1.

La baja capacidad en la zona de máxima profundidad del relleno de la corta hace necesario el vaciado y posterior relleno en la diagonal noreste-sureste de la parcela (Figura 2).

4. SOLUCIÓN FINALMENTE EJECUTADA

En colaboración con la Ingeniería responsable del proyecto (Ayesa), se han introducido una serie de adaptaciones y modificaciones sobre el proyecto inicial para tratar de conseguir la adaptación del mismo a las situaciones que iban apareciendo durante la ejecución y a una optimización económica y de plazo:

– Adaptación de la geometría de la solución de muros pantalla

Se propone una optimización de la medición en pantallas de contención que se debe a cambios de plataformas de trabajo, y al cambio en el sistema de cimentación interior sustituyendo la sobreexcavación en la zona de la Corta y su posterior relleno, por un sistema de cimentación profunda con pilotes prefabricados.

– Adaptación de la distribución de paneles del muro pantalla

Cambio de bataches de 4,00 a 5,00 metros adecuado a los recursos de ejecución del Grupo Terratest, lo que permite una redistribución de los anclajes y una mejora de rendimiento.

La cuidadosa preparación y tratamiento de los lodos tixotrópicos es imprescindible para poder garantizar una correcta ejecución de los muros pantalla y una adecuada calidad del producto terminado. Con este supuesto se aumenta el tamaño del panel para disminuir en un 20% el número de paneles y por tanto el número de juntas.

– Adaptación de la solución de arriostramiento

Manteniendo el diseño del arriostramiento tal y como figuraba definido en el proyecto, se propone la ejecución de anclajes de varios bulbos como alternativa a los anclajes tipo IR previstos inicialmente. El comportamiento de este sistema de anclajes se fundamenta en la teoría del factor de eficiencia del bulbo.

Teniendo en cuenta el nivel de carga que es necesario que desarrolle el arriostramiento para equilibrar la pantalla, y considerando las características del terreno existente, se propone la ejecución de anclajes de varios bulbos como sistema de arriostramiento. La adopción de este sistema se fundamenta en la eficacia y seguridad que aporta este tipo de anclajes.

Con la nueva distribución de los paneles tipo del muro pantalla y con las cargas horizontales características para cada nivel de arriostramiento, se procede a diseñar los anclajes, teniendo en cuenta el perfil geotécnico de cada una de las zonas de la parcela.

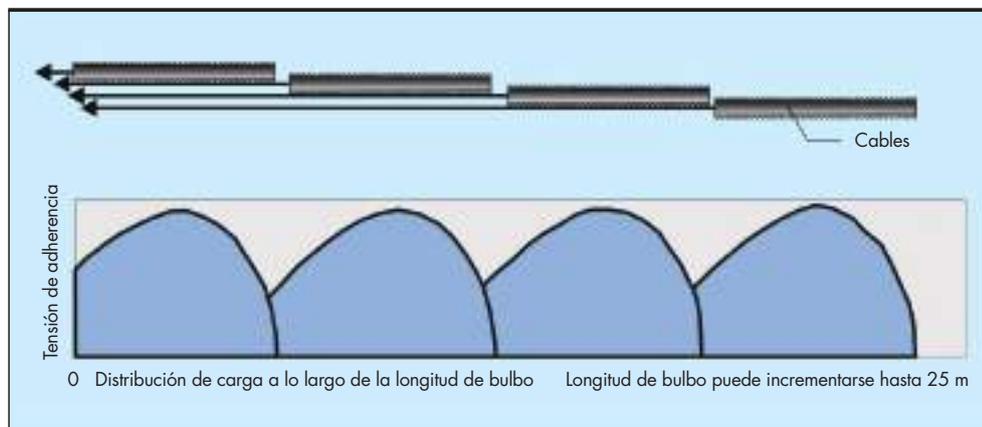


FIGURA 7. Distribución de tensiones de adherencia a lo largo de la longitud fija de cada unidad en un anclaje de bulbo múltiple.



FIGURA 8. Pruebas de anclaje multibulbo en la zona sur.

En base a los resultados de los ensayos de investigación realizados por Terratest Cimentaciones S.L. en el emplazamiento de la obra se adoptan, a efectos del cálculo, unos rangos de valores de adherencia última de los anclajes.

La carga total con la que se alcanzó el desplazamiento máximo por fluencia en el anclaje de tres bulbos fue 153 ton, es decir soportó un 62% mas que el convencional de un solo

bulbo, el que soportó una carga de 96 ton, antes de alcanzar el desplazamiento máximo por fluencia. Este comportamiento se explica por la alta eficiencia de este tipo de anclajes de varios bulbos, y este comportamiento es el explicado en la teoría de eficiencia.

Además de los 12 ensayos de investigación de adherencia última de anclajes, en la zona A, indicada en la figura anterior, se realizó un estudio comparativo adicional consistente en la ejecución de sendas pruebas de carga sobre dos anclajes con características similares, uno tipo multibulbo y otro convencional. Ambos anclajes contaban con el mismo número de cables, diferenciándose en la composición de la longitud del bulbo. La longitud del bulbo del anclaje convencional era de 7,5 m., mientras que en el anclaje de varios bulbos esta longitud se consiguió mediante tres bulbos de 2,5 m. El objeto de este ensayo comparativo era verificar la capacidad real de los dos sistemas de anclajes, comparando su eficiencia, expresada a través del factor de eficiencia.

Los ensayos realizados confirmaron el fenómeno de eficiencia de los anclajes. El concepto de factor de eficiencia (feff), tiene en cuenta la eficacia de un anclaje para movilizar el valor último de la adherencia (τ_{ult}) en la interfase lechada-suelo, y se define a través de la siguiente expresión:

$$f_{eff} = \frac{\text{Area A}}{\text{Area bajo línea } \tau_{ult}}$$

FIGURA 9. Zonas en las que se realizan los ensayos para determinar la adherencia última de los anclajes.

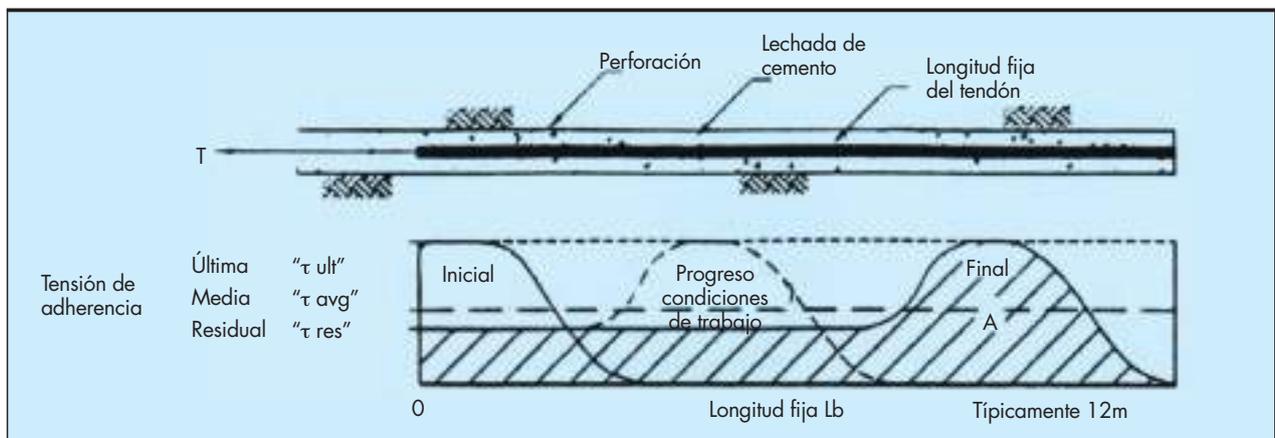
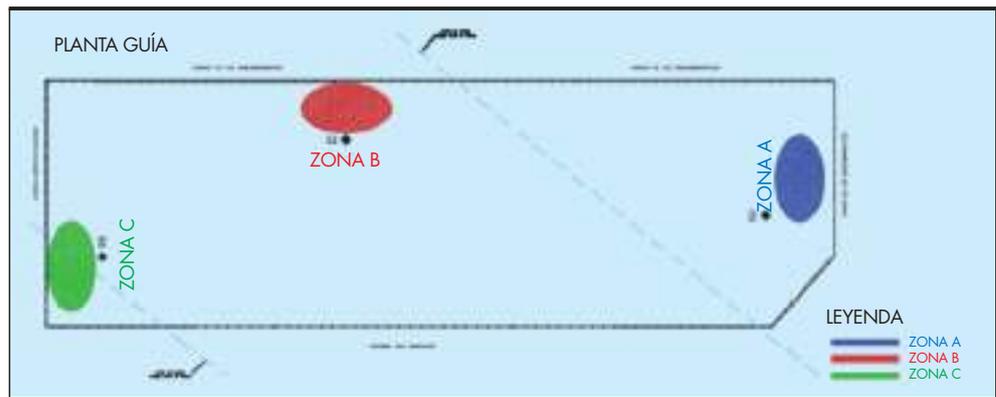


FIGURA 10. La carga última de la longitud fija del anclaje es igual al área debajo de la curva A, siendo la máxima posible el área total bajo la línea de τ_{ult} .

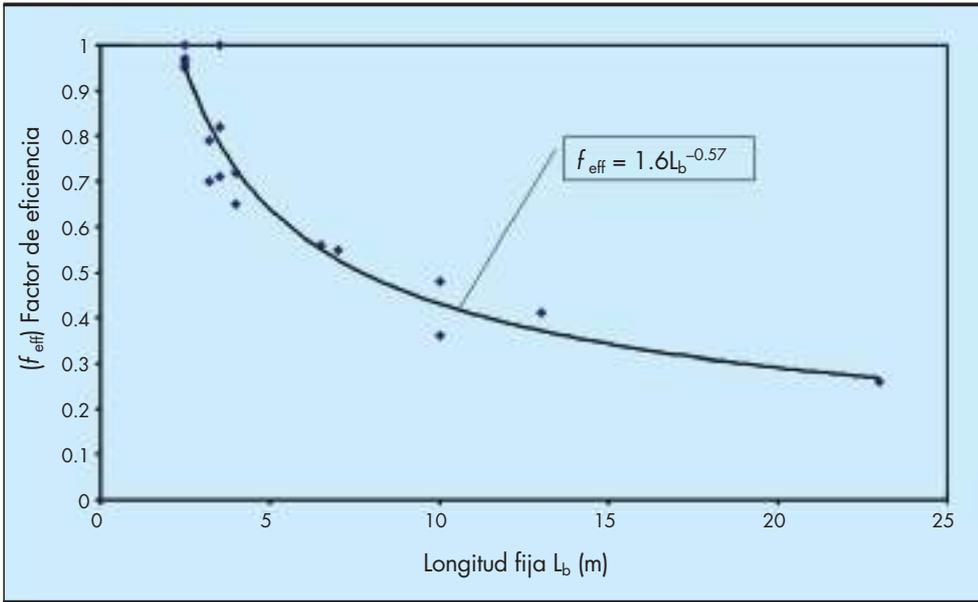


FIGURA 11. Curva de eficiencia del bulbo de anclaje.

La expresión que cuantifica la reducción de la eficiencia de un anclaje al aumentar su longitud del bulbo se define de la siguiente manera:

$$f_{eff} = 1.6 L_b^{-0.57}$$

siendo L_b la longitud fija o de bulbo de cada unidad de anclaje.

La mejora de la eficiencia de los bulbos permite soportar mayores cargas. Con la nueva solución se pasa de una medición inicial de anclajes de 76.777,00 ml a 52.666 ml. Para las esquinas se opta por la solución de arriostramiento mediante celosías metálicas. Sin cambiar las hipótesis de cálculo del diseño original se reduce la perforación de anclajes en un 32%.



FIGURA 12. Detalle de Pasatubos.

– Utilización de pasatubos en los puntos de perforación de anclajes

Es práctica habitual la perforación de los muros pantalla mediante widia o con el mismo carro de perforación para la eje-

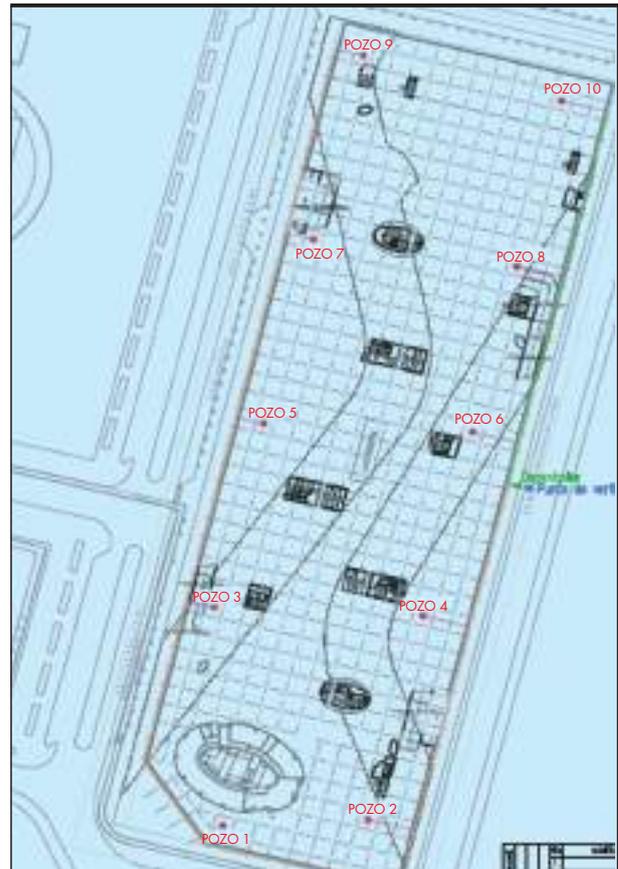


FIGURA 13. Esquema de drenaje.



FIGURA 14. Distribución en planta de los pilotes.

cucción de los anclajes. En este caso se colocaron pasatubos en las armaduras de los muros pantalla teniendo en cuenta la futura distribución de los anclajes así como la cota de los mismos. El resultado es evitar el corte del armado de la pantalla con lo que se mantiene la capacidad de la sección calculada.

- *Utilización de Preventer en los puntos de perforación de anclajes*

Para evitar el arrastre de finos en la perforación de los anclajes se utiliza la mencionada pieza que funciona como obturador.

- *Cambio de pozos de hormigón por pozos metálicos*

Manteniendo el número de pozos se sustituye el método de ejecución. Se aumenta la profundidad de los mismos con mayor empotramiento en la capa de gravas y se deja dos metros de tubo ciego. Esta solución aseguró un óptimo rebajamiento del nivel freático (Figura 13).

- *Modificación de la cimentación interior (Zona de Palcos). Pilote Prefabricado*

Como se ha comentado anteriormente estaba prevista la sobreexcavación en la zona de la Corta y su posterior relleno y compactado antes de ejecutar la losa de cimentación. En este proceso de excavación es necesario ejecutar filas adicionales de anclaje por debajo del nivel de máxima excavación general.

Aparte del hecho de que a la cota a la que se deben ejecutar dichos anclajes supone una altura de columna de agua elevada que dificulta la ejecución de los mismos, se suma el factor determinante de tiempo de ejecución de estas unidades que retrasan el proceso constructivo. Es también importante destacar la dificultad de la excavación debido a la profundidad, mala capacidad del estrato que supone la necesidad de creación de caminos.

Por ello se propone el sistema alternativo de cimentación interior mediante pilotes prefabricados que permite eliminar la sustitución en la zona de la corta redundando en la optimización de la solución de contención como se ha comentado anteriormente y en una importante mejora de plazo y económica.

La solución está formada por encepados de grupos de 3 a 6 pilotes de profundidades medias de 12 a 14 metros, alcanzando el pilote el rechazo en la marga. Los pilotes son cuadrados de 35 x 35 cm y de 40 x 40 cm.

5. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos de ejecución de los 915 ml de murete guía comenzaron en abril de 2009. Los muros pantalla se llevaron a

cabo con 3 equipos de excavación y equipos auxiliares, entre ellos una grúa de 120 ton para levantar armaduras de hasta 60,00 metros y 25 toneladas de peso.

Los 26.600 m² muro pantalla de contención se ejecutaron en 92 días. En la fase de mayor producción con dobles turnos de trabajo se llegaron a alcanzar rendimientos de 2.500 m² por semana.

En agosto del mismo año comenzaron los trabajos de ejecución de anclajes. Inicialmente con un equipo a los que se



FIGURA 15. Izado de armadura de pantalla de 36 x 5,50 metros con un peso de 29,5 ton. Durante la ejecución de los trabajos se utilizó una grúa de gran tonelaje para el izado de las jaulas. Las armaduras de esquina eran montadas e izadas solidariamente (forma de L).



FIGURA 16. Vista general de la obra durante la ejecución de los muro pantalla.



FIGURA 17. Ejecución de anclajes de varios bulbos. Destacan tres factores de dificultad en su ejecución:

1. Longitud de ejecución (hasta 54,00 ml).
2. Carga de nivel freático (9 metros en la fila inferior).
3. Dificultades de movimiento por baja capacidad de las plataformas, terreno arcilloso, año lluvioso.



FIGURA 18. Ejecución del doble anillo de pantallas para cimentación de la torre. Factores de dificultad:

1. Profundidad de 42 metros con junta hasta final de la excavación
2. Meses de medias de precipitación superiores a las medias de los últimos 20 años que dificultaron movimientos y suministros.

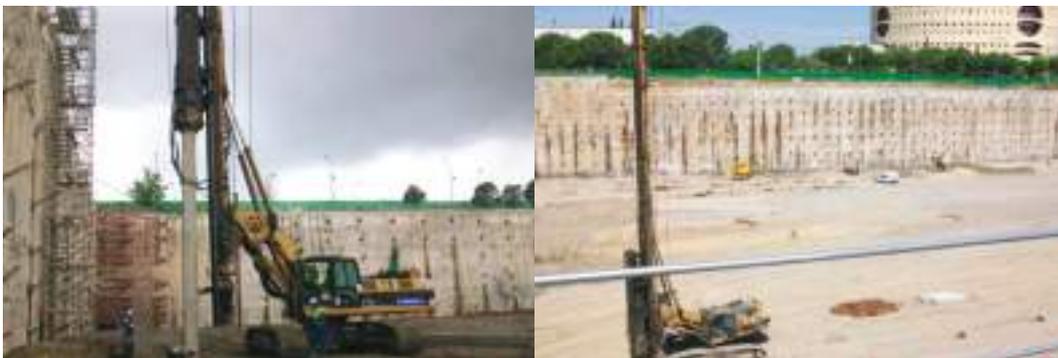


FIGURA 19. Ejecución de los trabajos de hinca.

OBRA TORRE PUERTO TRIANA					
FASE DE LA OBRA	FECHA INICIO	FECHA FINAL	DIAS LABOR. EJEC.	CANTIDAD	RENDIMIENTO
M2. EJECUCIÓN MURO PANTALLA PERÍMETRO	22/04/2009	28/08/2009	92 días	26.611,28	289,25 m ² /día
KG. ACERO MURO PANTALLA				3.705.153,97	40.273,41
M3. HORMIGÓN MURO PANTALLA				25.891,36	281,43
ML. EJECUCIÓN ANCLAJES MULTIBULBOS	03/08/2009	17/05/2010	185 días	51.556,00	278,68 ml./día
KG. ACERO ANCLAJES				431.613,30	2.333,04
TD. LECHADA DE CEMENTO				2.195,00	11,86
ML. EJECUCIÓN ANCLAJES MULTIB. ZONA RAMPA	27/09/2010	29/10/2010	23 días	798,00	34,7 ml./día
KG. ACERO ANCLAJES				6.347,07	275,96
TD. LECHADA DE CEMENTO				39,00	1,70
M2. EJECUCIÓN MURO PANTALLA TORRE	27/01/2010	29/03/2010	43 días	8.118,11	188,79 m ² /día
KG. ACERO MURO PANTALLA TORRE				359.902,99	8.369,84
M3. HORMIGÓN MURO PANTALLA TORRE				7.014,05	163,12
ML. PILOTES PREFABRICADOS 1ª FASE	23/04/2010	28/07/2010	74 días	18.438,60	249,17 ml./día
ML. PILOTES T-350				583,40	7,88
ML. PILOTES T-400				17.855,20	241,29
ML. PILOTES PREFABRICADOS 2ª FASE (ZONA RAMPA)	10/11/2010	21/12/2010	27 días	4.339,70	160,73 ml./día
ML. PILOTES T-350				268,40	9,94
ML. PILOTES T-400				4.071,30	150,79
ML. PILOTES PREFABRICADOS 3ª FASE (ZONA TORRE)	14/03/2011	08/04/2011	20 días	3.432,00	171,6 ml./día
ML. PILOTES T-350				410,70	20,54
ML. PILOTES T-400				3.021,30	151,07

TABLA 2. Mediciones ejecutadas. Medias de producción.

irían sumando hasta cinco para alcanzar rendimientos de hasta 3.100 ml por semana. Debe destacarse la longitud de los anclajes. Los trabajos de los 7 niveles de anclaje (51.556 ml que no incluyen los anclajes de la rampa) terminaron en 185 días.

En enero de 2011, comenzó la cimentación de la torre mediante el doble anillo de pantalla continua de 0,80 m. de espesor a una profundidad de excavación de 42,00 metros. Ejecutados los trabajos con 2 máquinas a doble turno, los 8.118 m² finalizaron en un plazo de 43 días lo que supone una media de 190 m²/día.

En abril de 2010 comenzaron los trabajos de hincas (fase de Palcos a falta de rampa y alrededores de Torre). En 74 días se hincaron 18.438 ml para una media de 250 ml/día.

Las fases pendientes de finalización de anclajes de rampa y pilotes de hincas se ejecutaron entre los meses de noviembre de 2010 a marzo de 2011 adaptándose a los tiempos de la obra.

En la Tabla 2 se aprecia el resumen de las diferentes unidades ejecutadas así como las medias alcanzadas.



FIGURA 20. Vista general del pilotaje de zona palcos una vez descabezados los pilotes.



FIGURA 21. Vista general una vez ejecutados y entregados los trabajos de cimentación



FIGURA 22. Vista de la excavación en vaciado.

6. CONCLUSIONES

En abril de 2009 comenzaron los trabajos de contención y cimentación que finalizaron en marzo de 2011. Empresas del Grupo Terratest han realizado esta obra de gran envergadura y complejidad técnica con los recursos más avanzados que existen para la adecuada ejecución de este tipo de construcciones y con los últimos y más eficientes sistemas en la ejecución de anclajes al terreno. Se han cumplido todos los requerimientos de calidad del proyecto y con una optimización económica y de plazo muy importante.

Las mediciones generales de la obra ejecutada son las siguientes:

- Muros pantalla de contención en espesor 0,80/1,00m: 27.000 m².
- Longitud total de anclajes al terreno ejecutados: 54.000 m.l.

- Acero Y 1860 S7 en cables trenzados para anclajes: 438 T.
- Movimiento de tierras: Excavación para vaciado interior: 600.000 m³.
- Muros pantalla de cimentación de torre (0,80 m): 8.600 m².
- Hormigón HA-30 en losa de fondo y encepados: 17.100 m³.
- Acero B-500-S en muros pantalla, losas y encepados: 6.000 T.
- Pilotes prefabricados tipo TERRA T-350 / T-400: 24.800 m.l.

7. BIBLIOGRAFÍA

Reformado del Proyecto básico y de ejecución de movimiento de tierras y recinto de pantallas (Fase previa de proyecto Centro Puerto Triana), Tomo I.

DIRECCIÓNDirector: **Mariano Navas Gutiérrez**Calle de Alfonso XII, 3
28014 MADRID

- Telf.: 913 357 500
- Télex: 45022 CEDEX E
- Fax: 915 280 354

SECRETARÍASecretario: **Manuel Echeverría Martínez****RELACIONES EXTERNAS Y ACTIVIDADES COMERCIALES**Jefe: **Miguel González Portal**

Telf.: 913 357 490 • Fax: 913 357 538

CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTASDirector: **José María Grassa Garrido**Calle Antonio López, 81 • 28026 MADRID
Telf.: 913 357 700 • Fax: 913 357 622**CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS**Director: **Federico Estrada Lorenzo**Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3 • 28005 MADRID
Telf.: 913 357 900 • Fax: 913 357 922**CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE**Director: **Antonio Sánchez Trujillano**Autovía de Colmenar Viejo, km 18,2
28049 El Goloso (MADRID)
Telf.: 913 357 800 • Fax: 913 357 822**CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS**Director: **Alberto Compte Anguela**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 200 • Fax: 913 357 249**LABORATORIO CENTRAL DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES**Director: **Rafael Astudillo Pastor**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 400 • Fax: 913 357 422**LABORATORIO DE GEOTECNIA**Director: **Fernando Pardo de Santayana Carrillo**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 300 • Fax: 913 357 322**LABORATORIO DE INTEROPERABILIDAD
FERROVIARIA**Director: **Jaime Tamarit Rodríguez**Calle Julián Camarillo, 30 • 28037 MADRID
Telf.: 913 357 150 • Fax: 913 357 197**CENTRO DE ESTUDIOS HISTÓRICOS DE
OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (CEHOPU)**Calle de Zurbano, 7 • 28010 MADRID
Telf.: 913 489 800 • Fax: 913 489 816