



**ifc**

CIMENTACIONES ESPECIALES

# ARTÍCULOS

# Columnas de mortero con desplazamiento

**Juan José ROSAS ALAGUERO**

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
IFC CIMENTACIONES ESPECIALES, S.A.

## 1. Introducción

La tecnología de las columnas de desplazamiento se engloba dentro de las técnicas de mejora del terreno, teniendo todas ellas como fin último modificar el funcionamiento tensodeformacional de un material geotécnico preexistente de forma que su comportamiento sea compatible con los requerimientos de la estructura a soportar. Las columnas de mortero ejecutadas mediante desplazamiento consiguen este cambio en las características del material preexistente mediante un doble mecanismo: por un lado, el propio sistema de generación de la columna implica el desplazamiento del material situado donde se realiza dicha columna, material que se desplaza radialmente, con la consiguiente compactación del material perimetral a la columna; por otro lado, la inserción de un elemento estructural de características tensodeformacionales radicalmente diferentes al material preexistente hace que el conjunto terreno-columna tenga un comportamiento diferente al del material sin la presencia de dichas inclusiones.

Este doble mecanismo de mejora o, mejor dicho, de cambio de características tensodeformacionales del terreno no debe verse como independiente, debido a que la mejora conseguida en el terreno colindante a la columna es muy importante para poder conseguir un adecuado comportamiento del conjunto terreno-columna. El resultado final del tratamiento será la consecución de un conjunto terreno columnas con una mayor rigidez, resultado de combinar las rigideces de las columnas, el terreno compactado colindante a las columnas y el terreno preexistente. Así mismo, la inserción de unos elementos con una mayor resistencia al corte que la del terreno atravesado también dotará a dicho conjunto de una mayor capacidad de soportar esfuerzos de corte. Estos cambios en el comportamiento del material hacen que la tecnología aquí expuesta deba valorarse como solución para conseguir plataformas menos deformables, así como para aumentar el grado de estabilidad de taludes (véase Fig.1).

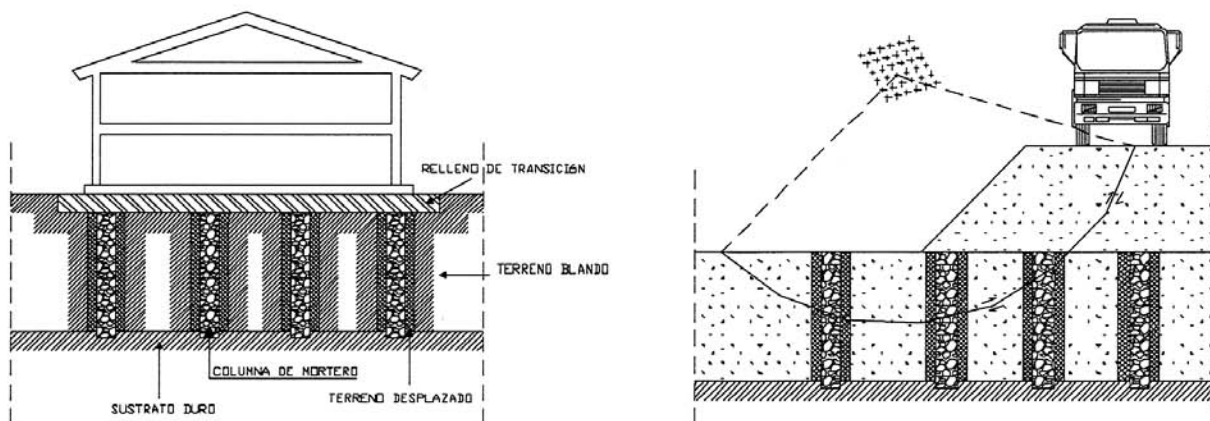


FIGURA 1

En la presente exposición se describirá la tecnología Omega para la realización de columnas de desplazamiento, tecnología esta con la que IFC ha resuelto diversas obras, tanto en su aplicación en forma de pilote como en forma de columna de mortero. En el presente texto, primero se hará una breve introducción a las metodologías de diseño y posteriormente se expondrán las características particulares del sistema Omega para la realización de columnas de desplazamiento, haciendo una breve descripción de una obra resuelta con dicha tecnología consistente en la mejora de una plataforma; finalmente, se expondrán los aspectos más importantes en el apartado de conclusiones.

## 2. Metodologías de diseño

La base teórica sobre la que se fundamenta el diseño de la mejora del comportamiento tenso-deformacional del terreno modificado con columnas de desplazamiento, es el estudio de la interacción entre el terreno preexistente, el terreno mejorado en la fase de ejecución de las columnas y las propias columnas, estos materiales se caracterizan por una diferencia de rigideces importante, lo cual genera una redistribución de las tensiones, así como la aparición de mecanismos tenso-deformacionales asociados a niveles de deformación inferiores a los propios de una carga unitaria vertical (Fig. 2).

Esta relación de rigideces entre las columnas de mortero y el terreno preexistente, la cual puede oscilar entre 500 y 10.000 para el caso de suelos duros y blandos, respectivamente, así como la gran capacidad de soportar esfuerzos tangentes y de compresión de cada una de las columnas, son las características diferenciadoras de la tecnología de mejora con columnas de mortero respecto a otras tecnologías aparentemente idénticas como son las columnas de grava o la vibroflotación, siendo esta tecnología, en muchos aspectos, similar a tecnologías de refuerzo del terreno como pudiera ser el claveteado para mejora de capacidad portante o la tierra armada.

En base a lo comentado anteriormente, las metodologías de diseño deberán poder modelar el comportamiento de un material compuesto por varios materiales de características radicalmente diferentes. La complejidad asociada a esta situación hace que las metodologías aplicadas oscilen, desde modelos muy simplistas basados en la estimación de los parámetros del nuevo material formado por el terreno preexistente y las columnas, hasta las modelizaciones más complejas basadas en elementos finitos tridimensionales donde se puede modelar tanto el comportamiento del terreno como el de las columnas de mortero, así como los mecanismos de interacción, pasando por metodologías como la de Priebe o la de Van Impe y De Beer, ambas heredadas de la tecnología de columnas de grava y adecuadamente adaptadas a la mayor rigidez de las columnas de mortero.

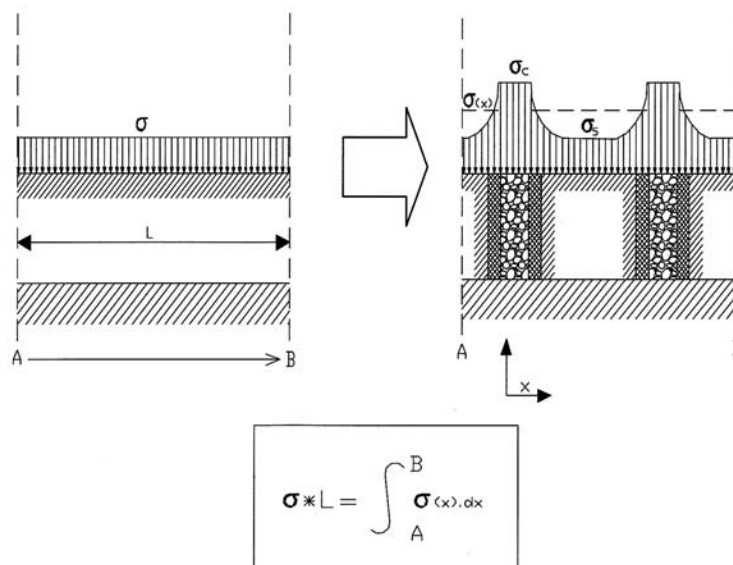


FIGURA 2

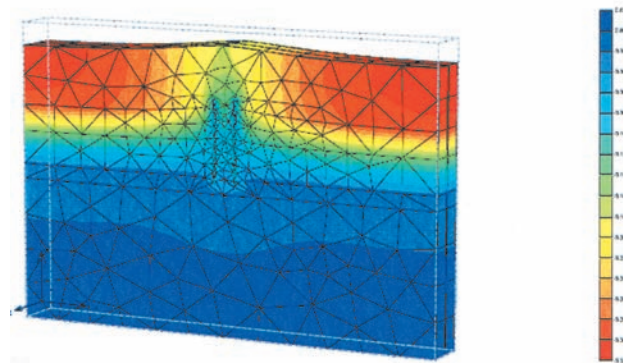


FIGURA 3

A modo de ejemplo ilustrativo, y utilizando la metodología de elementos finitos, en la figura siguiente (Fig. 3) se representa el efecto que genera la materialización de varias columnas de mortero en una capa de terreno preexistente, realizando posteriormente un terraplenado sobre éstas. En la figura se representan los asientos estimados, pudiéndose ver que éstos son prácticamente la mitad en la vertical de las columnas respecto a los asientos en la zona no tratada. Así mismo, en la siguiente figura (Fig. 4) se representan los puntos donde el modelo presenta plastificaciones, pudiéndose observar cómo las acumulaciones de tensiones se producen en la zona superior de las columnas y cómo parte de estos procesos de plastificación también se dan en el apoyo de las columnas.

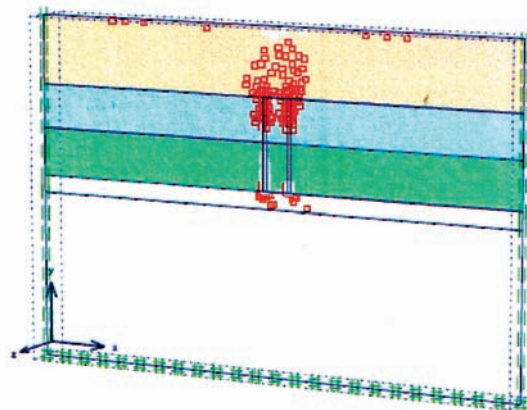


FIGURA 4

### 3. Sistema Omega

Desde el año 2002, varios equipos de IFC Cimentaciones Especiales, S.A., se adaptaron para la realización de la tipología de cimentación Omega. Esta decisión fue tomada con la finalidad de ofrecer al mercado español una tecnología que está dando muy buenos resultados en diversos países europeos (Fig. 7), ya que permite ofrecer pilotes de excelentes prestaciones resistentes con un coste muy ajustado, así como tratamientos de terreno que permiten generar plataformas más rígidas y resistentes frente a esfuerzos de corte.

La columna Omega se instala en el terreno sin vibraciones, produciendo un desplazamiento lateral del terreno. Su instalación se basa en el sistema de aplicación de par y empuje y extracción por par y tiro.

El profesor Van Impe, del Laboratorio de Mecánica del Suelo de la Universidad Ghent, de Bruselas, ha realizado un extenso programa de investigación diseñado para efectuar un fiel análisis del comportamiento de este sistema.



FIGURA 5

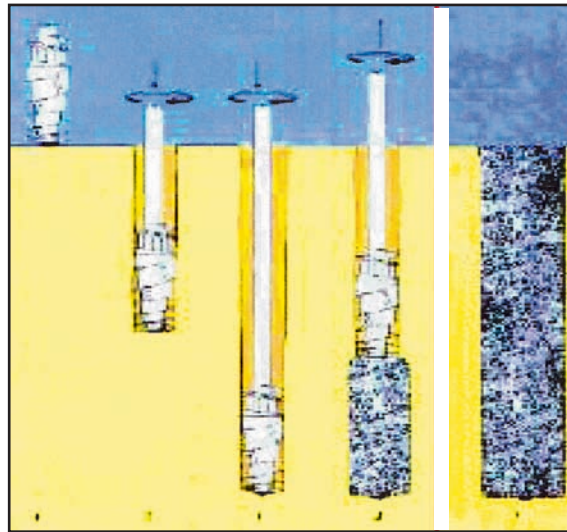
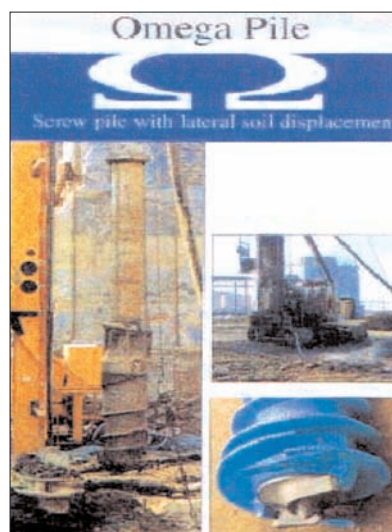


FIGURA 6

La «cabeza» Omega tiene un diámetro que se incrementa gradual y discontinuamente, al final de la cual se encuentra una hélice. Esto proporciona el diámetro nominal de la columna y asegura un efectivo desplazamiento del terreno. El paso de incremento de diámetro y la altura variable de montaje de la hélice han sido geotécnicamente optimizados (Fig. 5).

Varias campañas de ensayos con exhaustivos controles, incluyendo la instrumentación completa de la ejecución de pruebas de carga, ensayos de dilatación, etc., han sido efectuados. Las curvas de carga-asiento revelan un considerable incremento de resistencia al principio de las mismas (zona de fuste), mejorándose notablemente frente a los obtenidos con pilotes realizados con distintas técnicas. Esto confirma la muy buena interacción columna-terreno, resultando un alto valor de fuste y ratificando la idoneidad del sistema de desplazamiento en varios tipos de suelos. Por encima del diámetro máximo de la cabeza, unas hélices horizontales y la inclinación adecuada del ángulo superior producen un segundo desplazamiento del terreno durante la secuencia de extracción y la fase de hormigonado. Un azuche evita que el terreno o el agua entren en el tubo central durante el proceso de instalación.

El sistema de columnas de desplazamiento Omega se basa en una triple acción de mejora sobre el terreno a tratar. En la fase de descenso el terreno es desplazado lateralmente gracias al especial diseño de la cabeza de rotatoria, instalada en una maquinaria que permita transmitir un alto par de



#### Particularidades y principales ventajas:

- Bajo nivel de ruido durante la ejecución. No se producen vibraciones.
- Comportamiento como pilote de desplazamiento, obteniendo elevadas capacidades de carga, especialmente alta resistencia a la fricción.
- Prácticamente no se generan residuos que transportar. Limpieza en la zona de obra.
- La ejecución del pilote puede ser controlada usando un sistema de monitorización especialmente diseñado.

Esto facilita al maquinista el control en tiempo real del registro de parámetros, los cuales aseguran la correcta instalación de la columna.

FIGURA 7

rotación, así como un empuje vertical importante. Una vez alcanzada la profundidad necesaria, la cabeza es extraída mientras el hormigón es inyectado a través de la varilla del tubo central.

En este proceso de extracción, gracias al especial diseño de la cabeza rotatoria, se sigue desplazando el material radialmente en caso de que la perforación se haya «cerrado» o haya habido caídas de material desde capas no estables. El pilote es hormigonado bajo presión controlada, lo cual induce un tercer estado de desplazamiento, así como asegura una perfecta unión terreno-mortero (Fig. 6).

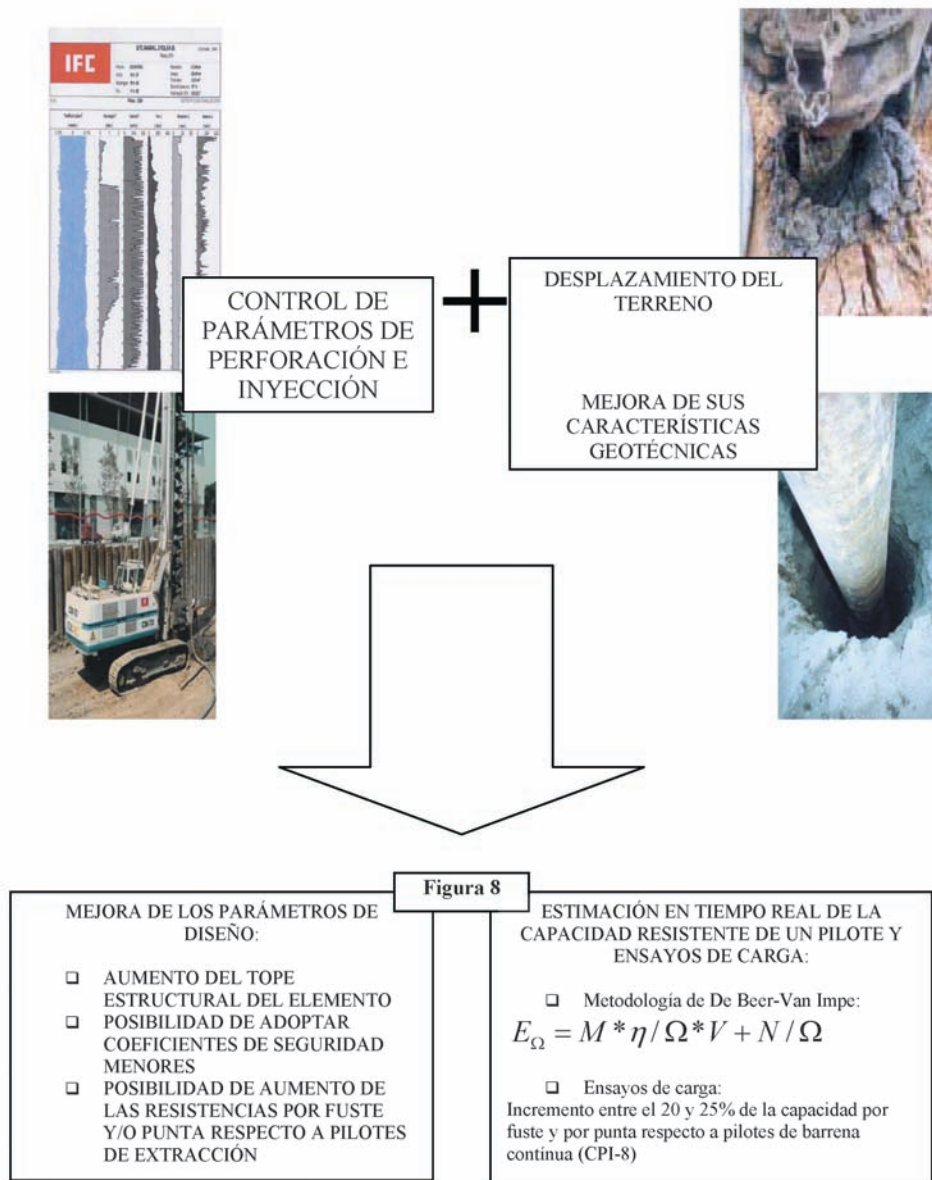


FIGURA 8

La metodología operativa de la columna Omega está asociada a un control estricto y constante tanto de los parámetros de perforación como de los de inyección del hormigón, lo que permite garantizar una excelente calidad de todos los procesos, así como la posibilidad de determinar un valor aproximado de la capacidad resistente del elemento ejecutado en tiempo real. Este control continuo del proceso, así como el evidente incremento de la capacidad resistente del terreno debido al aumento de la densidad del terreno alrededor del pilote, permite adoptar en fase de cálculo valores de los coeficientes resistentes mayores, con un evidente ahorro económico sin afectar al grado de seguridad de la obra (Fig. 8).



FIGURAS 9-10



FIGURA 11



FIGURA 12

La metodología Omega precisa de equipos de características adecuadas, siendo de especial importancia:

- *Equipos con un importante par de rotación:* Este aspecto es fundamental para que sea posible el remoldeo del material, ejerciendo una presión suficiente para provocar el desplazamiento del mismo.
- *Equipos con capacidad de empuje:* Esta característica provocará la penetración de la herramienta de perforación-desplazamiento. La capacidad de empuje se consigue con elementos tipo pull-down, así como con equipos de gran tonelaje.
- *Instrumentación del equipo:* Característica a cumplir tanto el equipo de perforación como el de inyección de hormigón, para lo cual los equipos deben contar con transductores que transformen los datos a medir en señales eléctricas que serán procesadas en una unidad central (véanse Figs. 9, 10, 11 y 12).

#### 4. Ejemplo: mejora de plataforma

El presente ejemplo muestra la utilización de la tecnología de las columnas de mortero con desplazamiento mediante el sistema Omega, materializándose una serie de columnas Omega de 36 y 46 cm de diámetro dispuestas en una malla cuadrada con interdistancias entre 2,50 y 3,50 m y con una longitud media de 11,00 m a confirmar en obra con el sistema de registro continuo de parámetros.

El terreno sobre el que se realizará la futura plataforma está formado por material aluvial y la llanura de inundación de un río que discurre cercano a la plataforma, así como las ramblas y rieras de la red secundaria. Estos materiales son básicamente granulares, con intercalaciones de niveles arcillosos. Otro aspecto de vital importancia era el hecho de que la futura plataforma se apoya parcialmente en la antigua plataforma de una línea ferroviaria existente actualmente y cuyo material ha sido caracterizado



FIGURA 13

mediante penetrómetros dinámicos tipo DPSH con valores inferiores a 10 golpes. Todo este conjunto apoya sobre un sustrato formado por arcosas, las cuales en todo momento se han considerado como indeformables, estando situado el nivel freático a 2,00 m de la plataforma de trabajo. En la siguiente fotografía puede apreciarse la plataforma de trabajo para la maquinaria de ejecución de columnas Omega (Fig.13).

Para el dimensionado del tratamiento a realizar se utilizó la modelación por elementos finitos, considerando un comportamiento del terreno drenado, y un modelo de comportamiento no lineal del terreno tipo Mohr-Coulomb, aplicando este mismo modelo para la interfaz entre pilote y terreno. Las columnas se han modelado con elementos continuos tipo viga, con su correspondiente rigidez axial y a flexión.

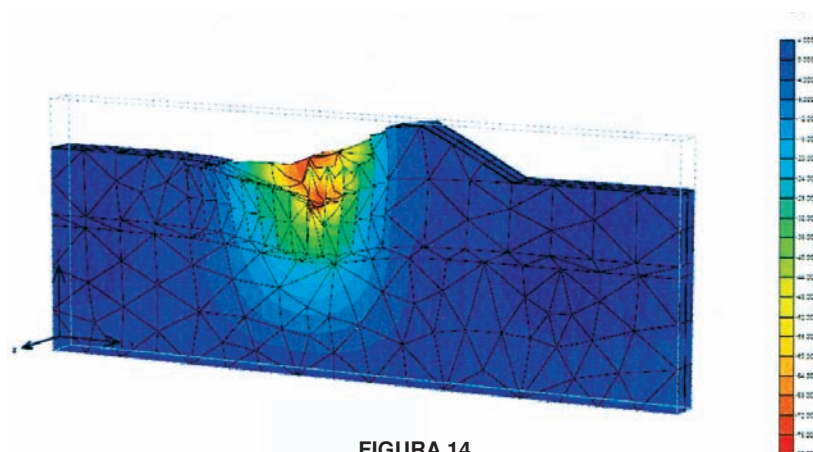


FIGURA 14

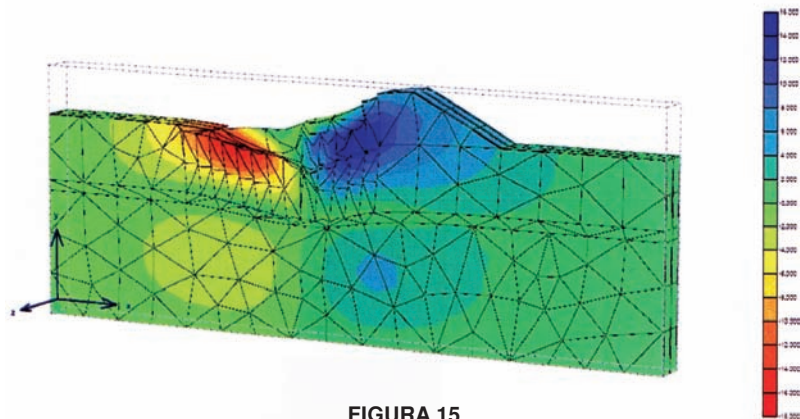


FIGURA 15

Con esta modelación se han podido estimar los asentamientos esperables en el terreno existente mejorado, pudiendo dimensionar el tratamiento para conseguir los objetivos buscados de obtener un grado de seguridad adecuado para los taludes realizados, así como un asiento admisible sobre la línea ferroviaria existente, debido a la materialización de la nueva plataforma.

En las figuras siguientes puede apreciarse el resultado de la modelación, destacando cómo los movimientos previstos en la plataforma ferroviaria preexistente son mínimos, lo que permitirá garantizar que ésta se verá mínimamente afectada y, por tanto, no será preciso limitar la circulación de trenes. Así mismo se realizó un análisis de estabilidad, apreciándose que la zona con mínimo factor de seguridad no afecta a la plataforma realizada. En base a estas conclusiones se determinó la realización de columnas Omega de diámetro 36 y 46 cm con separaciones interejes de 3,00 m y longitudes variables entre 10 y 17 m en función de la localización del sustrato resistente (véanse Figs. 14 y 15).

Las siguientes figuras corresponden a parte de los planos del tratamiento realizado, diferenciándose varias secciones tipo de tratamiento en función de las diferentes condiciones de contorno y con la finalidad de optimizar la solución tanto técnica como económicamente (véanse Figs. 16 y 17).

La ejecución final de la obra precisó de la utilización de tres equipos de columna Omega equipados con cabeza rotatoria de alto par y sistema *pull-down*, consiguiéndose productividades medias de 400 ml a lo largo de toda la obra, por lo que en el momento en que los tres equipos estuvieron en obra se alcanzaba una capacidad de tratamiento de hasta 1.500 m<sup>2</sup> diarios. En la siguiente fotografía puede apreciarse un equipo de columnas Omega trabajando en la plataforma a mejorar, pudiéndose observar tanto el equipo perforador como el equipo de bombeo y la cuba de mortero (Fig. 18). En las siguientes fotos se aprecia la introducción de la herramienta Omega en el terreno y el resultado final del tratamiento. Es interesante observar el evidente hinchamiento del terreno en la zona colindante a la columna Omega (Figs. 19 y 20).

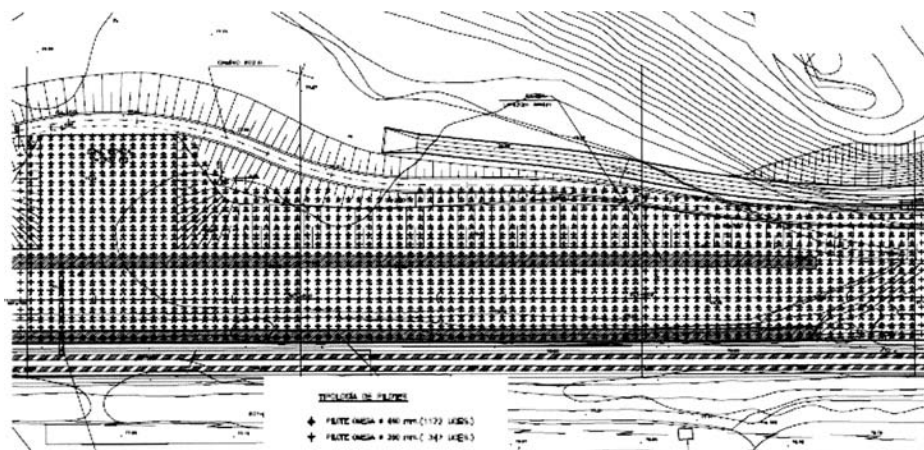


FIGURA 16





FIGURA 18



FIGURA 19

## 5. Conclusiones

En el presente artículo se ha descrito la tecnología de columnas de mortero con desplazamiento, situando ésta en el ámbito de la mejora del terreno, con similitudes respecto a otras tecnologías de mejora como pudieran ser las columnas de grava o vibroflotación, pero con aspectos diferenciales, debido a la gran diferencia de rigidez existente entre los terrenos a mejorar y las propias columnas, aspecto este que hace que su comportamiento se acerque al de tecnologías como el claveteado.

Se han mencionado diversas metodologías de diseño, destacando la utilización de aquellas que se basen en elementos finitos como muy válidas, dada la complejidad de los mecanismos tensodeformacionales asociados a esta tecnología, pero mencionando como válidas metodologías utilizadas en otras tecnologías de mejora previa adaptación.



FIGURA 20

Dentro de la mejora de terreno mediante columnas de mortero por desplazamiento, el sistema Omega destaca por toda una serie de aspectos que lo hacen especialmente indicado para conseguir los fines buscados en cuanto a la mejora del terreno. Destaca el hecho de someter al terreno a tres fases de mejora, así como los controles intrínsecos al sistema, los cuales garantizan un nivel de calidad y fiabilidad excelente de los elementos realizados.

Se ha descrito una aplicación práctica de la tecnología de mejora del terreno mediante columnas de mortero con desplazamiento utilizando el sistema Omega, consiguiendo un nivel de mejora de un terreno existente de muy bajas características geotécnicas, suficiente como para garantizar que los taludes a construir sobre dicho material tienen un grado de seguridad adecuado y que las deformaciones resultantes en una plataforma ferroviaria colindante a la nueva plataforma tengan un nivel de deformaciones lo suficientemente bajo como para garantizar que la vía preexistente podrá mantener el 100 % de su nivel de servicio.

## 2 Pilote OMEGA

Juan José Rosas Alaguero

El sistema OMEGA es una metodología de cimentación profunda basada en la realización del pilote desplazando, mediante rotación, el terreno y no extrayendo éste, con la consiguiente mejora de las características del terreno circundante. Las aplicaciones más habituales de este sistema son la mejora «in situ» del terreno y los pilotes OMEGA.

El pilote OMEGA significa una relativa novedad respecto a los existentes en el mercado, no tanto por el hecho de tratarse de un pilote de desplazamiento como pudieran ser los pilotes prefabricados, o por el hecho de realizar este desplazamiento por un mecanismo de rotación sino por la total implicación de los últimos avances tecnológicos en el proceso constructivo del pilote, obteniendo, de esta forma un elemento de gran calidad, ya que tanto el proceso como el alto nivel de control sobre éste permiten garantizar un producto de excelente calidad.

### INTRODUCCIÓN

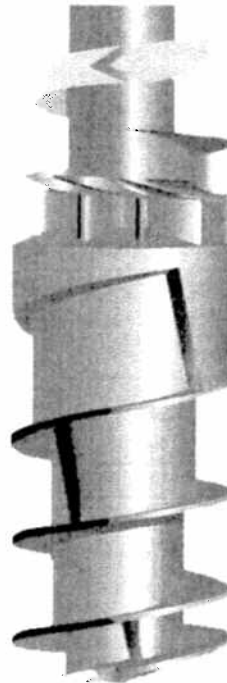
Aprovecho esta ocasión de presentar el sistema de cimentación profunda pilote OMEGA en la Revista de la Associació de Consultors d'Estructures, para exponer unas reflexiones sobre el grado de implicación de las nuevas tecnologías en el entorno de la construcción.

La evolución de la tecnología en los últimos años nos es absolutamente evidente en nuestro entorno profesional y personal, habiendo significado, estos avances, niveles de eficiencia difícilmente pensables hace pocos años. Frente a esta realidad, práctica-

mente generalizada, los profesionales de la construcción estamos viendo como las nuevas tecnologías se están introduciendo de forma muy lenta en los procesos constructivos. Todos hemos visto el gran avance que ha significado la introducción de estas nuevas tecnologías en fase de proyecto, con los consiguientes aumentos en la calidad de los proyectos así como la productividad de éstos. Asimismo, a nivel de coordinación de proyecto y organización de los trabajos, las nuevas tecnologías están permitiendo un muy alto nivel de interacción entre cada uno de los partícipes, con la consiguiente eficiencia en los trabajos. Evidentemente todas estas mejoras conllevan un coste por hora de trabajo mayor, pero éste está asociado a una mayor productividad, tanto a niveles de producción de proyecto como de calidad de éstos.

Pero al final de toda esta cadena está la materialización de la construcción y en este punto, todos estaremos de acuerdo, que la introducción de las nuevas tecnologías en los trabajos «in situ», está en un grado mínimo y muy lejos de las posibilidades reales del entorno tecnológico en el que nos estamos moviendo.

La pregunta evidente para un observador externo de la situación arriba descrita es «¿Existe la tecnología para mejorar estos procesos constructivos?». la respuesta es Sí, ya que los industriales y proveedores, animados por los proyectistas, llevan años implementando avances en sus equipos y en sus proyectos. El resultado de todo este pro-



ceso es bastante decepcionante en muchas situaciones, ya que después de todo este esfuerzo de Innovación y Desarrollo, el esfuerzo para conseguir el reconocimiento, que no es otro para un industrial que la utilización de sus productos-servicios con el consiguiente aumento de su nivel de negocio, son tremendos y muchas veces no fructíferos. Acabando, muchos de estos avances, como mera muestra de la capacidad de un equipo de profesionales, pero sin más ambición que su exposición en la feria de turno o la implementación en obra, pero sin más reconocimiento que la admiración por parte del resto de los partícipes. Evidentemente este reconocimiento y admiración, es muy apreciable, incluso puede llegar a ser rentable asumir algo de «sobrecoste» a cambio de esta diferenciación, pero esto es marketing, no producción que es de lo que realmente deberíamos hablar, si queremos aumentar la productividad y mejorar la calidad.

Evidentemente esta situación cambiará, la pregunta es «¿cuándo y cómo?», y en la respuesta a esta pregunta el técnico responsable de proyecto tiene mucho que decir, ya que son numerosas las unidades de construcción que no están sometidas a unas normativas suficientemente claras, lo cual implica, por parte del proyectista la necesidad de adoptar soluciones de compromisos en base a su experiencia profesional y los «usos del mercado». El técnico es el que debe entender que un mayor nivel de calidad debe «premiarse» con un diseño más «arriesgado» con el consiguiente ahorro en costes. Un ejemplo muy utilizado es la industria del automóvil, la cual a efectos de implementación de las nuevas tecnologías la podríamos localizar prácticamente en la antípoda de donde está la construcción. En esta industria se invierten

millones de Euros para eliminar décimas de milímetros a las piezas cuyo grado de calidad ya se considera suficiente, optimizando el diseño de éstas, una vez han conseguido este rediseño a nadie se le ocurre plantear la posibilidad de volver al diseño anterior y que toda la labor realizada implique únicamente un aumento del grado de calidad, ya que la justificación del rediseño no ha sido otra que conseguir un ahorro económico sobre una pieza la cual ya cumplía con las exigencias a nivel de calidad. Gracias a este mecanismo organizativo la industria del automóvil ha llegado a los niveles de eficiencia en que se sitúa hoy.

Éste es el camino, y no otro, la modificación de las normativas, está bien pero difícilmente puede seguir a un mercado en constante cambio. Es el profesional de la construcción el que debe de valorar en su justa medida la implementación de las nuevas tecnologías en los procesos productivos, y debe de valorarlo con diseños más optimizados y no más arriesgados ya que debe tener el convencimiento que, gracias a la utilización de estas nuevas tecnologías, obtiene un mayor nivel de control y seguridad sobre su diseño por lo que puede relajar aquellos coeficientes asociados a los «miedos» propios del «vete tú a saber que harán en obra».

No puedo acabar esta introducción, sin resaltar una de las cualidades de la tecnología, y es su capacidad de contagiar el entorno. Un elemento con un cierto grado tecnológico, inevitablemente requiere un personal preparado formado y motivado para su instalación, una organización en obra más disciplinada de lo habitual, unas empresas con mayor calificación tecnológica y una mayor interacción entre proyectista, constructor e industrial. Creo que ningún integrante del entorno de la

## Pilote OMEGA

construcción puede estar en contra de estas dinámicas.

### PRESENTACIÓN DEL PILOTE OMEGA

Desde el año 2002 varios equipos de **IFC Ci-mentaciones Especiales, S.A.** se han adaptado para la realización de la tipología de pilotes OMEGA y todas las nuevas adquisiciones de equipo se ha condicionado para que éstos fueran capaces de realizar dicha tipología, esta decisión fue tomada con la finalidad de ofrecer al mercado español una tipología de cimentación que está dando muy buenos resultados en diversos países europeos, ya que permite ofrecer pilotes de excelentes prestaciones resistentes con un coste muy ajustado.

El pilote OMEGA se instala en el terreno sin vibraciones produciendo un desplazamiento lateral del terreno. Su instalación se basa en el sistema de aplicación de par, empuje y extracción por par y tiro, hormigonando por el centro de la tubería a medida que se eleva la «cabeza» de perforación. La «cabeza» OMEGA tiene un diámetro que se incrementa gradual y discontinuamente, al final de la cual se encuentra una hélice. Esto proporciona el diámetro nominal del pilote y asegura un efectivo desplazamiento del terreno. El paso de incremento de diámetro y la altura variable de montaje de la hélice han sido geotécnicamente optimizados.

A parte de las características de mejora del terreno y calidad de hormigonado que conlleva el procedimiento, todo el proceso está controlado mediante un sistema de control de parámetros de perforación e inyección que permite tener una gran seguridad de la calidad del pilote acabado. Junto a las ca-

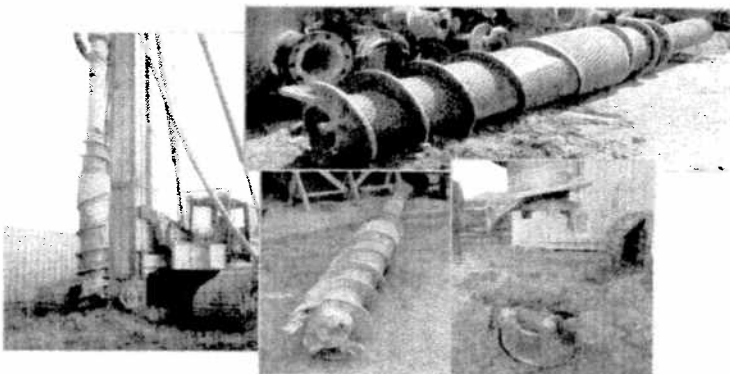
racterísticas operativas mencionadas, otra gran ventaja que tiene el sistema OMEGA, es la capacidad de estimar en tiempo real la resistencia característica de cada pilote realizado, esto se consigue gracias a disponer de un control absoluto de todos los parámetros que controlan la perforación del pilote, pudiendo de esta forma, estimar la energía que se le está transmitiendo al terreno en el momento de la penetración de la herramienta, esta energía la podemos transformar en resistencia estática a la penetración mediante una serie de metodologías desarrolladas para la metodología OMEGA.

El Profesor Van Impe del Laboratorio de Mecánica del Suelo de la Universidad Ghent de Bruselas ha realizado un extenso programa de investigación, diseñado para efectuar un fiel análisis del comportamiento del pilote OMEGA realizando varias campañas de ensayos con exhaustivos controles, incluyendo la instrumentación completa de la ejecución de pruebas de carga, ensayos de dilatación, etc. Asimismo se han realizado ensayos dinámicos de carga, en los que las curvas de carga-asiento revelan un considerable incremento de resistencia al principio de las mismas (zona de fuste), mejorándose notablemente frente a los obtenidos con pilotes de barrena continua o pilotes «in situ» esbeltos. Esto confirma la muy buena interacción pilote-terreno, resultando un alto valor de fuste y punta, ratificando la idoneidad del pilote de desplazamiento en varios tipos de suelos. Por encima del diámetro máximo de la cabeza, unas hélices horizontales y la inclinación adecuada del ángulo superior, producen un segundo desplazamiento del terreno durante la secuencia de extracción y la fase de hormigonado. Un azuche evita que el terreno o el agua entren en el tubo central durante el proceso de instalación.

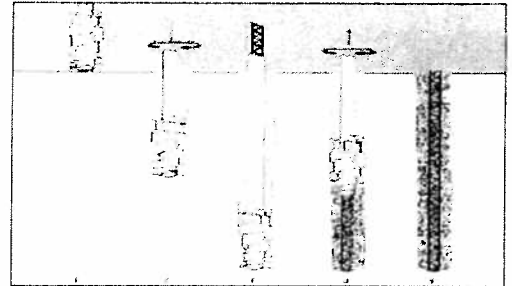
## SISTEMA CONSTRUCTIVO Y MAQUINARIA UTILIZADA

El sistema de cimentación OMEGA se basa en la realización del pilote desplazando previamente en terreno en tres fases:

- **Fase 1: Desplazamiento por penetración de la cabeza OMEGA.** La «cabeza» OMEGA está formado por una hélice de diámetro constante (diámetro nominal del pilote) cuya alma aumenta de diámetro hasta que iguala el diámetro de la hélice, este incremento gradual y discontinuo, obliga al terreno a un desplazamiento radial a medida que penetra la herramienta, ya que no tiene salida superior debido a que el alma ocupa de forma completa la sección de perforación.



- **Fase 2: Desplazamiento del pilote por inyección a presión del hormigón.** En la cámara que se genera entre la cabeza OMEGA y el terreno, de forma que la cabeza OMEGA realiza las veces de obturador, lo cual permite presurizar dicha cámara.
- **Fase 3: Desplazamiento del terreno en la salida de la cabeza OMEGA.** La combinación de alma de diámetro creciente y hélice también se repite en la parte superior

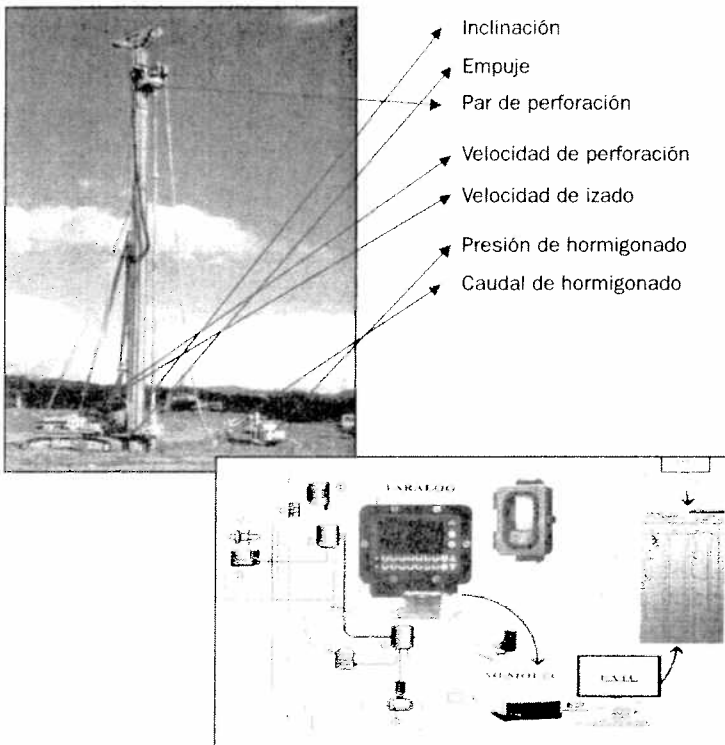


de la cabeza OMEGA hasta la tubería que llega al rotor de la máquina, de forma que el mismo efecto que se consigue al penetrar en el terreno lo tenemos al extraer la herramienta mientras se produce el hormigonado, de forma que el terreno que se pueda haber desprendido de las paredes debido a la inestabilidad de éste, vuelve a ser remoldeado y desplazado radialmente contra las paredes.

La metodología OMEGA implica una serie de características de la maquinaria a utilizar, de las cuales son de destacar:

- **Equipo con gran torque.** Este aspecto es fundamental ya que dicho torque será el encargado de «aplastar» el terreno generando el desplazamiento radial de éste, por lo que deberá superar la resistencia del terreno a ser desplazado.
- **Equipo con sistema de empuje vertical «pull down».** Preciso para vencer la resistencia del terreno a ser penetrado, ya que la componente helicoidal es muy pequeña.
- **Instrumentación de equipo de perforación y bomba de hormigonado.** Este aspecto es fundamental para garantizar un alto nivel de control sobre todo el proceso de ejecución de los pilotes así como para poder estimar en tiempo real la capacidad del pilote.

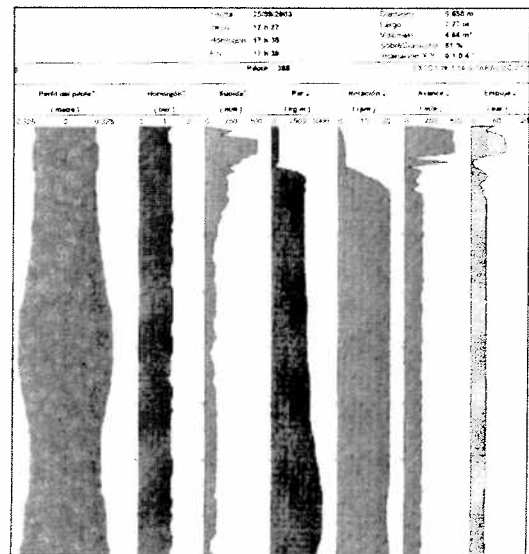
## Pilote OMEGA



La posibilidad de controlar los procesos implicados en la realización del pilote dota al sistema OMEGA de una calidad añadida sobre otros sistemas de pilotaje, debido a que se obtiene un gran control sobre la ejecución, de forma que, no solamente el operario puede ir «viendo» en tiempo real el resultado del proceso seguido, sino que es posible almacenar los datos obtenidos en fase de puesta en obra, en formato electrónico, para de esta forma, realizar controles a posteriori.

Este aspecto resulta crítico en la fase de hormigonado, de forma que, el efecto beneficioso asociado a que el hormigonado se hace en una cámara obturada, con la consiguiente posibilidad de controlar la presión, queda reforzado por el hecho de poder «dibujarse» el resultado del pilote, en la pantalla del operario, disminuyendo al mínimo las

posibilidades de una mala ejecución del pilote (corte del pilote). En la figura siguiente se puede ver una representación gráfica típica de la salida del ordenador de la máquina, en esta figura se aprecian toda una serie de diagragmas de diversos parámetros, las cuales permiten obtener gran cantidad de información cualitativa de las características del terreno atravesado y de las posibles incidencias acaecidas en la fase de perforación.



Es interesante ver que es posible hacer una representación de la forma que tiene el pilote en función de la elaboración de varios de los parámetros controlados, concretamente el caudal de hormigón inyectado, la profundidad a la que se ha inyectado y la velocidad a la que se elevaba la herramienta.

Junto a este alto nivel de control sobre todo el proceso, el control de los parámetros de perforación y la posibilidad de operar con éstos, es posible, basándose en un marco teórico desarrollado por el Profesor Van Impe del Laboratorio de Mecánica del Suelo de la Universidad Ghent de Bruselas, el cual reali-

### CONTROL DE PROCESO EN PILOTE OMEGA



### CONTROL DE EJECUCIÓN

- Comprobación documentada y argumentada de las características del terreno.
- Control sobre la calidad del producto final. Continuidad de hormigonado, profundidades, inclinación, etc.



### CONTROL DE RESISTENCIA

Estimación de la carga de hundimiento del pilote mediante formulaciones semiempíricas.

zó un extenso programa de investigación, diseñado para efectuar un fiel análisis del comportamiento del sistema OMEGA, obtener una estimación de la carga de hundimiento del pilote en tiempo real.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, el sistema OMEGA lleva implícito la

necesidad de maquinaria de grandes prestaciones, ya que el hecho de ir desplazando el terreno a medida que se introduce la herramienta con la consiguiente mejora del terreno en una zona de influencia del pilote requiere una gran energía. Este aspecto limita el diámetro de los pilotes ya que, a mayor diámetro, más energía es necesaria para desplazar mayor volumen de terreno. Este último aspecto limita las tipologías de pilotes a los siguiente diámetros:

Tipología	Diámetro (mm)	Tope estructural (KN)	Armadura horizontal	Armadura vertical
<b>0-360</b>	360	700	R 8 cada 20 cm	6 r 12
<b>0-460</b>	460	1150	R 8 cada 20 cm	5 r 16
<b>0-560</b>	560	1700	R 8 cada 20 cm	6 r 16

La realización de pilotes de mayor diámetro implicaría la necesidad de equipos de prestaciones superiores y no habituales en el mercado, ya que no únicamente debe de tener capacidad para materializar dicho diámetro sino que debe de transmitir la suficiente energía como para garantizar que dicho pilote soporte estructuralmente menos que su carga de hundimiento.

Es importante resaltar que el tope estructural se calcula considerando una tensión máxima de la sección del pilote de aproximada-

mente 70 kg/cm<sup>2</sup>. Esta tensión de trabajo es superior a la habitualmente considerada en el entorno de la edificación y su utilización se basa en las garantías que ofrece el sistema OMEGA sobre la calidad del hormigonado, tanto por el control que se tiene sobre los parámetros operativos implicados como por la metodología de inyección en cámara obturada con control de presiones.

Respecto a la longitud de los pilotes, ésta estará condicionada básicamente por dos aspectos:

## Pilote OMEGA

- La resistencia que ofrece el terreno a ser perforado mediante desplazamiento; esta resistencia suele aumentar con la profundidad en el caso de material homogéneo.
- La longitud de la columna, ya que ésta debe de ser de dos a tres metros mayor que la profundidad que se desea alcanzar. Considerando que los equipos de prestaciones altas existentes en el mercado tienen alturas de columna del orden de treinta y tres metros, la limitación de la longitud del pilote es de unos 30 metros.

### CRITERIOS DE DISEÑO

Tal y como se ha mencionado, el sistema OMEGA se basa en la comprobación «in situ» de la capacidad del pilote, siendo un criterio habitual, el realizar el pilote hasta que los parámetros de la máquina alcancen unos ciertos niveles en función de la capacidad que se desea tengan los pilote realizados. Esta metodología se basa en el principio de que, conociendo la energía que se le transmite al terreno y que éste «rechaza», dificultando el avance de la herramienta, es posible estimar la carga de hundimiento del pilote.

La base teórica de esta sistemática ha sido desarrollada por el Profesor Van Impe del Laboratorio de Mecánica del Suelo de la Universidad Ghent de Bruselas el cual ha realizado un extenso programa de investigación, diseñado para efectuar un fiel análisis del comportamiento de la metodología OMEGA. Esta base teórica se fundamenta en asimilar la energía dinámica que el terreno «rechaza» a la capacidad estática del pilote, siendo conocedor de esta energía dinámica mediante el control de los parámetros de perforación y más concretamente el momento torsor y el empuje que se transmite al terreno. Esta sistemática

es idéntica a la considerada en las formulas de hincas, tan utilizadas en el entorno de los pilotes prefabricados o hincados, así como en la determinación de parámetros geotécnicos mediante penetrómetros dinámicos.

La metodología arriba considerada, no es válida en fase de proyecto, ya que se basa en los datos reales obtenidos en obra. Para los prediseños en fase de proyecto el equipo técnico de IFC Cimentaciones Especiales, S.A. ha desarrollado una metodología basada en los siguientes puntos:

- Determinación de la capacidad estructural considerando una tensión máxima de trabajo de 70 kg/cm<sup>2</sup> en la sección teórica del terreno.
- Utilización de metodologías tradicionales de cálculo de la carga de hundimiento del pilote, afectando los coeficientes de seguridad por un factor de reducción.

Coefficiente de seguridad	Habitual	Reducción OMEGA
Mecanismo de FUSTE	2,5-3	0,60
Mecanismo de PUNTA	3	0,85

La obtención de estos factores de reducción se han ido ajustando en base a los datos obtenidos en ensayos de carga dinámicos realizados según la normativa ASTM. Este análisis se engloba en una campaña de ensayos dinámicos de carga realizados en la mayoría de obras realizadas por IFC Cimentaciones Especiales, S.A. con la metodología OMEGA con la finalidad de comprobar la utilidad de la formulación de De Beer-Van Impe en los terrenos de España, así como poder ajustar una metodología que permita un prediseño suficientemente ajustado, el cual se compro-

bará, tal y como se ha mencionado arriba, en fase de realización de los pilotes.

## CONCLUSIONES

El sistema OMEGA se basa en la realización de pilotes por desplazamiento a rotación, con la consiguiente mejora de las características resistentes del terreno implicado en los mecanismos resistentes del pilote, tanto por fuste como por punta. Así mismo, la realización del pilote OMEGA implica la utilización de maquinaria con control de los parámetros de perforación e inyección de hormigón, lo cual garantiza una excelente fiabilidad de ejecución y la posibilidad de obtener, en tiempo real, la capacidad resistente de todos y cada uno de los pilotes realizados. Este conocimiento de la carga de hundimiento del pilote se obtiene mediante la metodología desarrollada por De Beer-Van Impe basada en asociar la energía necesaria para penetrar en un terreno, obtenida como resultado de conocer en todo momento el torsor y el empuje que se transmite al terreno, con la capacidad del pilote.

El resultado de la metodología OMEGA es un pilote de características resistentes excelentes, cuya carga de hundimiento es bastante mayor a la obtenida con otras tipologías de pilotes, debido a la mejora que genera en el terreno, pudiéndose controlar en tiempo real la resistencia del pilote. Así mismo la capacidad estructural del pilote es superior a otras tipologías debido al gran control sobre todos los procesos implicados en la realización del pilote, gracias a control de parámetros de perforación e inyección, permitiendo garantizar la calidad de ejecución.

El equipo técnico de IFC Cimentaciones Especiales, S.A. ha desarrollado una metodología de cálculo en fase de diseño, que permi-

te, mediante las metodologías habituales y actuando únicamente sobre los factores de seguridad, el diseño de soluciones de cimentación mediante el sistema OMEGA, no olvidando en ningún momento que en fase de obra se deberán controlar los datos obtenidos mediante el sistema de instrumentación de la máquina utilizada para corroborar la bondad del diseño realizado. Esta metodología desarrollada por IFC Cimentaciones Especiales, S.A. se ha mostrado, en las numerosas obras realizadas con el sistema OMEGA, del lado de la seguridad, obteniéndose «rechazos» para longitudes similares o menores a las estimadas con dicho método. Así mismo, los numerosos ensayos de carga dinámicos realizados sobre pilotes OMEGA, han mostrado unas excelentes características resistentes, muy por encima de las estimadas en fase de diseño.

El sistema OMEGA muestra una serie de ventajas operativas que pueden hacerlo muy competitivo bajo ciertas circunstancias; de éstas destacamos:

- Ausencia de vibraciones en la realización de la perforación con desplazamiento.
- Mínima extracción de tierras en fase de perforación, con la consiguiente limpieza en obra.
- Productividades altas, del orden de 100 a 150 ml por jornada en terrenos adecuados.

Los pilotes OMEGA son una alternativa a valorar como cimentación de elementos estructurales que transmitan niveles cargas medios entre 100 y 700 Tn por apoyo, siendo muy competitiva tanto a efectos de costes directos del elemento como por los costes operativos de movimiento de tierras o protección de elementos existentes.

# 4 Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

Juan José Rosas Alaguero

El presente documento tiene como objetivo establecer unos parámetros técnicos que sirvan como base para el diseño de plataformas de trabajo adecuadas para el desarrollo de las actividades propias de las cimentaciones especiales. El objeto de esta documentación tiene una gran importancia en base a los siguientes aspectos:

- **Seguridad en obras:** son numerosos los episodios negativos asociados a una deficiente calidad de la plataforma de trabajo, generando desde grandes accidentes asociados a vuelcos de maquinaria pesada hasta pequeños incidentes fruto de resbalones de personal.
- **Productividad:** Es evidente que una mala calidad de la plataforma repercute en la traficabilidad de ésta, lo cual alarga procesos y obliga a introducir controles no sistemáticos que rompen el ritmo de trabajo. Así mismo, las inclemencias del tiempo, condicionan altamente la traficabilidad de una obra, no únicamente en el momento de las precipitaciones, sino también, hasta que la plataforma vuelve a alcanzar las características mecánicas adecuadas para una traficabilidad eficiente.

Entendemos como plataforma de trabajo eficiente aquella que cumple los siguientes objetivos:

- **Capacidad de soporte** de la plataforma suficiente para soportar la traficabilidad de la maquinaria así como, los elementos auxiliares o los transportes de suministros de materiales, así como el personal.
- **Estabilidad de los taludes**, tanto en caso de realización de la plataforma mediante terraplenado como desmonte.

- **Accesos** hasta la zona de trabajo de dimensiones, estabilidad y pendiente suficiente como para posicionar la maquinaria, así como, sus elementos auxiliares en los puntos de trabajo.

- **Estabilidad de las características mecánicas**, y de traficabilidad, de la plataforma frente a inclemencias climáticas previsibles o aportaciones de agua asociada a metodologías, debiendo ser posible el trabajo con precipitaciones ligeras y teniendo la capacidad de recuperar la traficabilidad en un corto período de tiempo tras precipitaciones importantes.

- **Espacio suficiente** para el correcto movimiento de la maquinaria así como para el acopio de suministros e instalaciones de los diferentes elementos auxiliares inherentes al trabajo de cimentación.

En los apartados siguientes se tratarán cada uno de éstos aspectos.

## CAPACIDAD DEL SOPORTE DE LA PLATAFORMA

La capacidad de soporte de la plataforma es la característica que permite garantizar que ésta soportará las acciones a las que estará sometida, con deformaciones compatibles con las características de las máquinas y los diferentes elementos asociados a los procesos operativos. Esta característica de la plataforma estará asociada a la resistencia a cortante del terreno implicado en el soporte de la maquinaria ya que sí se supera esta resistencia se generan mecanismos de ruptura, los cuales están asociados a grandes deformaciones las cuales pueden generar el vuelco de la maquinaria.

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

Es importante destacar que la plataforma estará sometida a acciones de muy diferente naturaleza y magnitud, a modo de ejemplo seguidamente se listan algunas de ellas:

- Cargas dinámicas de tráfico asociadas al tránsito de los transportes de consumibles en obra (p.e. hormigón y armaduras). El nivel de cargas es el propio de este tipo de tráfico de camiones pesados.
- Cargas dinámicas asociadas al movimiento de la maquinaria de cimentaciones especiales. El nivel de cargas oscila entre

0,5 y 2,0 kg/cm<sup>2</sup> bajo las orugas de la maquinaria.

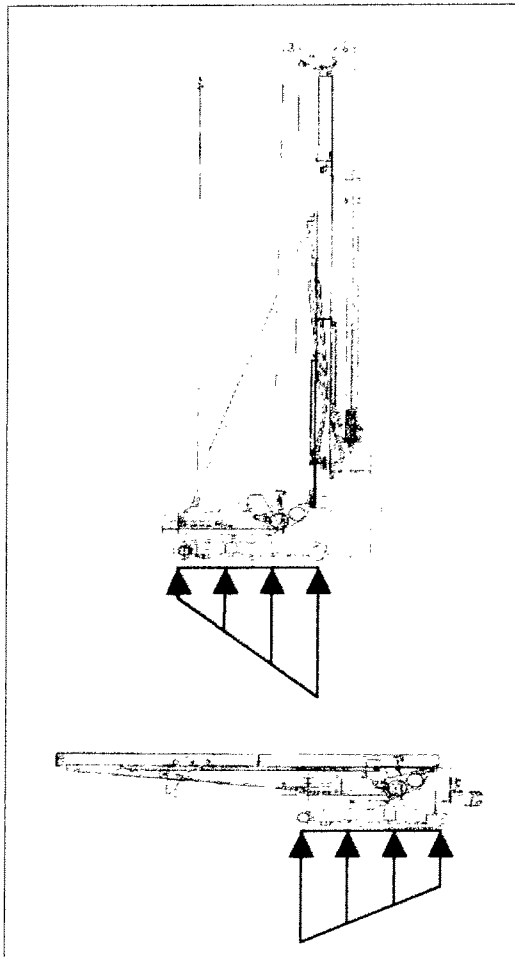
- Cargas dinámicas asociadas a la operativa de la realización de los elementos de cimentación. El nivel de cargas puede superar los 10 kg/cm<sup>2</sup> en el caso de extracciones de herramientas del terreno.
- Cargas estáticas asociadas al emplazamiento de elementos e instalaciones fijas, como pudieran ser silos o depósitos de lodos bentoníticos.

La naturaleza y magnitud de estas cargas puede ser muy diversa, variando, incluso en función si la maquinaria está desmontada o en situación de trabajo, como puede verse en las figuras inferiores, donde la misma máquina somete al terreno a distintos estados de tensiones en función si está desmontada o en posición de trabajo.

El proceso de materialización de la plataforma de trabajo tendrá una primera fase en la cual se realizará una primera excavación cuyo objetivo será un primer desbroce en el caso de plataformas por encima o a nivel del terreno natural, o alcanzar la cota adecuada en el caso de plataformas por debajo del nivel de terreno natural. Seguidamente se realizará una segunda fase de relleno y materialización de la plataforma con una doble función de alcanzar el nivel deseado de la plataforma de trabajo y conseguir que ésta tenga las características de traficabilidad adecuadas.

### Fase 1: Excavación del terreno

Con la finalidad de alcanzar la cota de plataforma de trabajo puede ser necesario excavar el terreno existente, siendo obligado, como mínimo, el desbroce y retirada de la



### Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

capa vegetal en un espesor mínimo en función de las características del terreno natural según la tabla siguiente, en la cual se diferencian dos tipologías del material a aportar para la realización de la plataforma definitiva:

Terreno existente en obra	Espesor mínimo de plataforma con base de material tolerable y coronación de 30 cm de material adecuado o seleccionado *	Espesor mínimo de plataforma con base de material adecuado o seleccionado y coronación del mismo material *
Terreno muy blando (limos de zonas pantanosas, terrenos con alto nivel de materia orgánica, rellenos antrópicos muy blandos, etc.) SPT < 0-2	150 cm  (colocación de 2 capas de geotextil** para evitar contaminación entre materiales)	150 cm  (colocación de 2 capas de geotextil** para evitar contaminación entre materiales)
Terreno blando (arcillas blandas, rellenos antrópicos de estructura abierta, etc.) SPT < 2-6	100 cm  (se aconseja la colocación de una capa de geotextil** en el contacto entre el material existente y el material de aportación)	80 cm  (se aconseja la colocación de una capa de geotextil** en el contacto entre el material existente y el material de aportación)
Terreno medio arcilloso o limosos con límite líquido superior a 40 y un porcentaje de fracción fina superior al 50% (pasa 0,08 UNE). SPT > 6	90 cm	70 cm
Terreno medio limosos o arenoso con límite líquido inferior a 40 y un porcentaje de fracción fina inferior al 50% (pasa 0,08 UNE). SPT > 6	60 cm	40 cm
Terreno medio arenoso o gravoso con límite líquido inferior a 40 y un porcentaje de fracción fina inferior al 35% (pasa 0,08 UNE) y densidad mínima de 1,8 Tn/m <sup>3</sup> , SPT > 10	30 cm	30 cm

\* Se ha considerado la nomenclatura, respecto a las características del material de aportación expuestas en el PG-3.

\*\* En el caso de utilización de geotextiles, deberá preverse que las herramientas de perforación a utilizar no tengan problemas para atravesar éstos.



## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

En el proceso de excavación del terreno o desbroce se localizarán los blandones superficiales los cuales se sanearán mediante el relleno con el material de explanación, así mismo, antes de extender la primera capa de terreno aportado deberá compactarse adecuadamente la superficie de la explanación, colocándose una manta de geotextil en aquellos casos en que se considere adecuado.

En el caso que el nivel freático esté próximo (menos de 30 cm) o por encima de la cota de excavación necesaria, se llegará hasta 30 cm por encima del nivel freático y será necesario subir la cota de la plataforma en la fase de relleno para conseguir los espesores solicitados.

En el caso de terrenos naturales en pendiente, la excavación se realizará mediante bermas de alturas entre 50 y 80 cm y anchos mayores de 2,00 metros ajustándose a la pendiente natural del terreno, estas bermas tendrán una pendiente de aproximadamente el 5 % que permita el correcto drenaje del agua que circule entre el relleno y el terreno de excavación. En los bordes ataluzados se materializará la inclinación prevista en función de las características del terreno natural (ver taludes provisionales), materializando unas transiciones redondeadas tanto en el pie como en la coronación de los taludes con radios no inferiores al 25 % de la altura del talud. Los tocones, raíces y cimentaciones existentes se eliminarán como mínimo en los primeros 50 cm y totalmente si interfieren en las perforaciones para realizar la futura cimentación. En el caso necesario de realización de rampas para acceder a las plataformas, deberán cumplirse los condicionantes expuestos en el apartado de rampas.

Es importante resaltar la importancia de disponer de datos suficientes en obra de la posición en planta y profundidad de las instalaciones existentes así como de los resguardos a respetar para no dañarlas, también debe de considerarse y respetarse la distancia de seguridad a las líneas eléctricas aéreas.

### **Fase 2: Relleno y materialización de la plataforma**

Sobre el perfil de terreno excavado y las rampas de acceso se extenderán tongadas sucesivas de espesor uniforme manteniendo un sistema de pendientes que permita garantizar el correcto drenaje y no encharcamiento, se considera como pendiente aconsejable el 2 %. El material a utilizar no contendrá más de un 25 % en peso de piedras cuyo tamaño exceda los 15 cm, siendo muy desaconsejable la presencia de piedras de tamaño superior a 30 cm. El límite líquido será inferior a 40 ó simultáneamente: límite líquido inferior a 65 e índice de plasticidad mayor a  $(0,60 * LL - 9)$ . El índice CBR del material será superior a 3 y el contenido de materia orgánica será inferior al 2 % (este requerimiento no presenta mayores dificultades con la utilización de un material calificado como tolerable según el PG-3). El material se extenderá con una densidad no inferior al 95 % respecto a la densidad seca obtenida en el ensayo Proctor Modificado. En los bordes ataluzados se materializará la inclinación prevista en función de las características del material de relleno (ver taludes provisionales).

El relleno se finalizará con una coronación de espesor mínimo 30 cm con una granulometría tal que no existan piedras de tamaño superior a 10 cm ni un porcentaje de frac-

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

ción fina (diámetro superior a 0,080 UNE) del 35 %, así como un límite líquido inferior a 40 y CBR superior a 5. En el caso que el proceso operativo esté asociado a una aportación constante de agua a la plataforma (p.e. trabajo con lodos bentoníticos descargando sobre el terreno) será aconsejable la utilización de un material con mayor capacidad de drenado, siendo adecuado limitar la cantidad de finos al 25 % y exigir un material con el límite líquido inferior a 30 e índice de plasticidad inferior a 10.

Tanto el material de relleno como el de coronación deberán extenderse y compactarse alcanzando como mínimo un nivel de compactación del 95 % Proctor, las diferentes capas se extenderán con un diseño de pendientes y zanjas drenantes que garanticen el correcto drenaje de la plataforma, con una pendiente máxima final del 1 % que permita una escorrentía superficial adecuada, así como una traficabilidad adecuada para las características de los equipos de cimentaciones especiales.

### TALUDES PROVISIONALES

Los cambios de nivel interiores de la plataforma así como en los perimetrales se resolverán mediante taludes suficientemente estables como para garantizar la seguridad del trabajo en fase de construcción, es importante resaltar que estos condicionantes serán de aplicación tanto en el caso que la plataforma esté en la parte superior del talud como si está en la parte inferior.

Salvo estudio justificativo los taludes en obra respetarán las siguientes inclinaciones en función del material que lo forma y si el talud es resultado de un desmote o un te-

rraplenado, siendo obligado respetar la zona de resguardo del talud indicada. Se dispondrán topes de seguridad que impidan que las máquinas se acerquen a la zona de resguardo del talud, así mismo, nunca se acumularán tierras en la zona de resguardo del talud (véase el cuadro de la página 36).

Los límites expuestos no aplicarán en el caso de los taludes de las rampas, los cuales deberán tenderse un 20 % más, pudiéndose, entonces reducir la anchura de resguardo a 50 cm.

En el caso que operativamente no sea posible respetar los límites arriba expuestos, debido a la existencia de taludes de altura superior a 6,00 metros o imposibilidad de cumplir las distancias mínimas de resguardo, la Dirección Facultativa de la obra deberá realizar un calculo de estabilidad de los taludes considerando un carro de cargas de anchura 4 metros y carga 10 Tn/m<sup>2</sup>. con los parámetros del terreno obtenidos en el correspondiente estudio geotécnico.

### ACCESOS A ZONA DE TRABAJO

El correcto diseño de accesos a una obra de cimentaciones es fundamental para garantizar el acceso de la maquinaria de cimentaciones así como de los transportes de materiales, como puede ser el hormigón o las armaduras. Estos accesos deberán cumplir todos los condicionantes de capacidad de soporte, traficabilidad y estabilidad climática más atrás expuestos.

En el caso de accesos a los puntos de trabajo desde diferentes niveles, éstos se materializarán mediante rampa, normalmente

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<i>Talud en desmonte (H = altura &lt; 6,00 metros)</i>		
<i>Material existente</i>	<i>Inclinación del talud (respecto a la horizontal)</i>	<i>Zona de resguardo</i>
Terreno muy blando (limos de zonas pantanosas, terrenos con alto nivel de materia orgánica, rellenos antrópicos muy blandos, etc.) SPT < 0-2	Estudio específico	Estudio específico
Terreno blando (arcillas blandas, rellenos antrópicos de estructura abierta, etc.) SPT < 2-6	35°	H o 2,00 m.
Terreno medio arcilloso o limosos con límite líquido superior a 40 y un porcentaje de fracción fina superior al 50% (pasa 0,08 UNE). SPT > 6	45°	H/3 o 1,50 m.
Terreno medio limosos o arenoso con límite líquido inferior a 40 y un porcentaje de fracción fina inferior al 50% (pasa 0,08 UNE). SPT > 6	45°	H/2 o 1,50 m.
Terreno medio arenoso o gravoso con límite líquido inferior a 40 y un porcentaje de fracción fina inferior al 35% (pasa 0,08 UNE) y densidad mínima de 1,8 Tn/m <sup>3</sup> , SPT > 10	45°	H/3 o 1,00 m.
<i>Talud en terraplen (altura &lt; 6,00 metros)</i>		
<i>Material aportado</i>	<i>Inclinación del talud (respecto a la horizontal)</i>	<i>Zona de resguardo</i>
Aportación de material tolerable con coronación de material adecuado o seleccionado.	45°	H/2 o 1,50 m.
Aportación de material adecuado o seleccionado	45°	H/3 o 1,00 m.

estas rampas no estarán sometidas a las limitaciones de pendientes impuestas en las plataformas de trabajo ya que es muy habitual acceder a la obra con la maquinaria semidesmontada, estado en el cual la maquinaria es mucho más estable, a modo de indicación, éstas tendrán un ancho mínimo de 5,00 metros en tramos rectos y de 7,5 en curvas así como unas pendientes máximas de 12 o 8% para tramos rectos y curvos respectivamente, con una radio mínimo para las curvas de 15 metros, siguiendo los

taludes las indicaciones atrás consideradas (ver taludes provisionales). Por el contrario, los condicionantes de soporte y calidad de la plataforma serán, normalmente, más altos, en el caso de rampas, debido a que en éstas, las acciones de tráfico son más importantes, sobre todo, debido al tráfico constante asociado al suministro de materiales, debido a esto último, se aconseja la utilización de un material con el cual, previo extendido y compactado, se obtenga un CBR mayor de 10.

## **ESTABILIDAD DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y DE TRAFICABILIDAD**

Para garantizar una correcta traficabilidad en la plataforma de trabajo, tanto en el momento de la entrada de los equipos como en todo el proceso de trabajo, será preciso pensar no únicamente en las acciones que la maquinaria de cimentaciones transmite al terreno sino también en los siguientes aspectos:

- Será preciso garantizar el acceso de los transportes de suministros hasta su punto de colocación, por lo que habrá de preverse la circulación de camiones y grúas autoportantes sobre camión.
- La plataforma debe tener la capacidad de permitir el trabajo con un nivel de lluvia medio, con un correcto drenaje que impida la formación de charcos importantes.
- El drenaje de la plataforma debe de permitir que incluso con un nivel de lluvias importantes, la plataforma permita el trabajo de las máquinas de cimentaciones especiales y que tras un periodo de horas tras el cese de las lluvias, recupere su traficabilidad para los vehículos de suministro de materiales y el personal de a pie.
- Se preverán los medios básicos para el correcto mantenimiento de la plataforma, disponiendo de acopios de materiales seleccionados, maquinaria de movimiento de tierras y bombas de achique de agua y lodos.
- Se evitará que el agua circule por el talud, generando las adecuada zanjas en la coronación de éste, así como posibles bajantes si el talud es de gran longitud.

Para conseguir los objetivos arriba expuestos es fundamental el correcto diseño del drenaje de la obra, así como la utilización en la coronación de la plataforma de trabajo de materiales con una granulometría que permita dicho drenaje y que garanticen que las características resistentes de la plataforma se muestran estables frente a un precipitado aumento de humedad.

El correcto drenaje se conseguirá con un diseño de pendientes adecuado y la utilización de zanjas drenantes o incluso pozos de bombeo, en el caso que las pendientes de la obra no se consideren suficientes para un rápida evacuación del agua.

Es importante destacar que muchos de los procesos operativos de las cimentaciones especiales generan gran cantidad de fangos y residuos líquidos de diferentes naturalezas (lechadas de cemento, lodos bentoníticos, etc.) por lo que, incluso en ausencia de precipitaciones la plataforma debe de estar capacitada para un correcto drenaje.

## **REQUERIMIENTOS DE ESPACIO**

Los requerimientos de espacio dependerán de numerosos aspectos y varían mucho en función de la tipología de cimentación especial considerada así como de las dimensiones de ésta y la maquinaria a utilizar, debido a esto no es posible establecer unos criterios generalizables, siendo muy aconsejable la consulta con las empresas especializadas del ramo, ya que estos aspectos geométricos pueden ser absolutamente limitativos.

Debido a las limitaciones arriba mencionadas, en el presente texto se considera preferible analizar una serie de casos típicos con diferentes tipologías de cimentación:



## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<b>MURO PANTALLA</b>		
<i>DESCRIPCIÓN: Realización de un muro pantalla de espesor 0,80 metros de profundidad 18,00 metros con utilización de lodos bentoníticos para la estabilización de las paredes de la perforación.</i>		
<b>ESPACIOS A CONSIDERAR</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Requerimientos de espacio</b>
<b>Maquinaria de perforación</b>	Maquinaria de excavación mediante bivalba hidráulica o de cables formada por un equipo grúa y una cuchara.	Zona de actuación de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (elemento móvil)
<b>Equipo auxiliar</b>	Maquinaria encargada de auxiliar a la máquina principal, en aquellas tareas para las cuales no está adaptada o para mejorar su productividad librando al equipo auxiliar de tareas como la colocación de las armaduras, la gestión de juntas o el hormigonado. Este equipo será opcional si el equipo de perforación de pantallas puede realizar todas las tareas.	Zona de actuación de aproximadamente 80 m <sup>2</sup> (elemento móvil)
<b>Equipo de gestión y reciclado de lodos</b>	Equipo encargado del reciclaje, refino y gestión de los lodos bentoníticos. Este equipo se formará por un conjunto de depósitos de capacidad suficiente para almacenar los lodos bentoníticos y un conjunto de desarenadores cuya función será extraer la porción arenosa del lodo bentonítico.	Zona de actuación de aproximadamente 170 m <sup>2</sup> (elemento fijo). Esta zona estará conectada mediante canalizaciones con todos los puntos de perforación.
<b>Equipo de gestión de tierras</b>	Equipo encargado de ir acopiando las tierras procedentes de la excavación de los módulos pantalla.	Zona de actuación de aproximadamente 60 m <sup>2</sup> (elemento móvil)
<b>Zona de acopios de terreno procedente de la excavación</b>	Área de acopio de las tierras procedentes de la excavación hasta su transporte a vertedero exterior.	Zona de actuación de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de localización de elementos auxiliares</b>	Área de acopio de elementos auxiliares propios de la realización de los muros pantalla: Juntas, tuberías tremie, gatos extractores, equipos de soldadura, cassetas, zona de reparación y recrecido de elementos, trépanos, etc.	Zona de actuación de aproximadamente 75 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acopio y montaje de armaduras</b>	Área de montaje y almacenaje de las armaduras. Deberá preverse un acopio mínimo de las armaduras a consumir en dos jornadas así como una zona de montaje de dichas armaduras.	Zona de actuación de aproximadamente 200 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>RESUMEN</b>		
Dadas las características de la obra planteada son necesarias diversas zonas logística con una reserva de espacio de aproximadamente 550 m <sup>2</sup> , siendo necesario prever una serie de elementos móviles (maquinaria) cuyas áreas de influencia son de aproximadamente (240 m <sup>2</sup> ).		

### Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<b>PILOTES ENTUBADOS</b>		
<i>DESCRIPCIÓN: Realización de la cimentación de tres grandes pilas para viaducto ferroviario, mediante pilotes de diámetro 1.500 mm y longitud 24 metros utilizando entubación recuperable como contención provisional de las paredes de perforación.</i>		
<b>ESPACIOS A CONSIDERAR</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Requerimientos de espacio</b>
<b>Maquinaria de perforación</b>	Maquinaria de excavación mediante equipo rotativo hidráulico equipado con morsa de movimiento de la tubería exterior.	Zona de actuación de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo auxiliar</b>	Maquinaria encargada de auxiliar a la máquina principal, en aquellas tareas para las cuales no está adaptada o para mejorar su productividad librando al equipo auxiliar de tareas como la colocación de las armaduras o el hormigonado. Este equipo será opcional si el equipo de perforación puede realizar todas las tareas.	Zona de actuación de aproximadamente 80 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo de gestión de tierras</b>	Equipo encargado de ir acopiando las tierras procedentes de la excavación de los pilotes.	Zona de actuación de aproximadamente 60 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Zona de acopios de terreno procedente de la excavación</b>	Área de acopio de las tierras procedentes de la excavación hasta su transporte a vertedero exterior.	Zona de actuación de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de localización de elementos auxiliares</b>	Área de acopio de elementos auxiliares propios de la realización de los pilotes entubados: tuberías tremie, tuberías de entubar, equipos de soldadura, casetas, zona de reparación y recrecido de elementos, etc.	Zona de actuación de aproximadamente 75 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acopio y montaje de armaduras</b>	Área de montaje y almacenaje de las armaduras. Deberá preverse un acopio mínimo de las armaduras a consumir en dos jornadas así como una zona de montaje de dichas armaduras.	Zona de actuación de aproximadamente 200 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>RESUMEN</b>		
Dadas las características de la obra planteada son necesarias diversas zonas logística con una reserva de espacio de aproximadamente 375 m <sup>2</sup> , siendo necesario prever una serie de elementos móviles (maquinaria) cuyas áreas de influencia son de aproximadamente (240 m <sup>2</sup> ).		

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<b>MURO PANTALLA MEDIANTE HIDROFRESA</b>		
<i>DESCRIPCIÓN: Realización de muro pantalla de profundidad 45 metros y espesor 1.200 mm.</i>		
<b>ESPACIOS A CONSIDERAR</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Requerimientos de espacio</b>
<b>Maquinaria de perforación</b>	Maquinaria de perforación mediante equipo formado por grúa de gran tonelaje e hidrofresa de peso 30 t.	Zona de actuación de aproximadamente 300 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo auxiliar</b>	Maquinaria encargada de auxiliar a la hidrofresa, en aquellas tareas como la colocación de las armaduras, el hormigonado y la realización de preexcavación para conseguir contrapresión en la hidrofresa.	Zona de actuación de aproximadamente 120 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo de gestión y reciclado de lodos</b>	Equipo encargado del reciclaje, refinado y gestión de los lodos bentoníticos. Este equipo se formará por un conjunto de depósitos de capacidad suficiente para almacenar los lodos bentoníticos y un conjunto de filtros, ciclones y tamices motorizados, cuya función será depurar el lodo bentonítico para poder ser reutilizado.	Zona de actuación de aproximadamente 1.200 m <sup>2</sup> (elemento fijo). Esta zona estará conectada mediante canalizaciones con todos los puntos de perforación.
<b>Equipo de gestión de tierras</b>	Equipo encargado de ir cargando las tierras procedentes del equipo de gestión de lodos bentoníticos, a los transportes que trasladarán éstas a los vertederos exteriores.	Zona de actuación de aproximadamente 150 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Zona de localización de elementos auxiliares</b>	Área de acopio de elementos auxiliares propios de la realización de los pilotes entubados: tuberías tremie, equipos de soldadura, casetas, zona de reparación y recrecido de elementos, etc.	Zona de actuación de aproximadamente 275 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acopio y montaje de armaduras</b>	Área de montaje y almacenaje de las armaduras. Deberá preverse un acopio mínimo de las armaduras a consumir en dos jornadas así como una zona de montaje de dichas armaduras.	Zona de actuación de aproximadamente 650 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>RESUMEN</b>		
Dadas las características de la obra planteada son necesarias diversas zonas logística con una reserva de espacio de aproximadamente 2.100 m <sup>2</sup> , siendo necesario prever una serie de elementos móviles (maquinaria) cuyas áreas de influencia son de aproximadamente (550 m <sup>2</sup> ).		

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<b>COLUMNAS DE JET-GROUTING</b>		
<p><i>DESCRIPCIÓN: Realización de un conjunto de columnas de Jet-Grouting como tapón de fondo en excavación al amparo de muros pantalla. Realización de columnas con una perforación estéril de longitud 14 metros y zona tratada de longitud 4,00 metros, utilizando la técnica del Jet de agua a alta presión y el relleno de cemento a media presión, (JET-2).</i></p>		
<b>ESPACIOS A CONSIDERAR</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Requerimientos de espacio</b>
<b>Maquinaria de perforación</b>	Maquinaria de perforación con cabeza rotatoria de eje hueco sobre carro de orugas y columna con alargador hasta 20 metros.	Zona de actuación de aproximadamente 50 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo de inyección a alta presión</b>	Conjunto de bombas y mezcladoras para inyección de los fluido agua y lechada de cemento.	Zona de actuación de aproximadamente 50 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Sllos y zona de acopio de cemento y agua</b>	Medios de acopio de cemento para suministrar a los mezcladores y el conjunto de bombas de inyección.	Zona de actuación de aproximadamente 75 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acoplos de rechazo de material procedente de la perforación</b>	Área de acopio formada habitualmente por unas balsas de decantación para separar el agua del residuo sólido, así como unos contenedores o zona de acopio del residuo sólido, posteriormente a trasladar a vertederos exteriores.	Zona de actuación de aproximadamente 100 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de localización de elementos auxiliares</b>	Área de acopio de elementos auxiliares propios de la realización tratamiento con Jet-Grouting: tuberías de inyección y perforación, equipos de soldadura, casetas, zona de reparación, etc.	Zona de actuación de aproximadamente 50 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>RESUMEN</b>		
<p>Dadas las características de la obra planteada son necesarias diversas zonas logística con una reserva de espacio de aproximadamente 275 m<sup>2</sup>, siendo necesario prever una serie de elementos móviles (maquinaria) cuyas áreas de influencia son de aproximadamente (50 m<sup>2</sup>).</p>		

## Plataformas de trabajo para cimentaciones especiales

<b>ANCLAJES</b>		
<i>DESCRIPCIÓN: Realización un conjunto de anclajes provisionales de longitud media 26 metros para estabilización de muro pantalla previamente realizado.</i>		
<b>ESPACIOS A CONSIDERAR</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Requerimientos de espacio</b>
<b>Maquinaria de perforación</b>	Maquinaria de perforación con martillo en cabeza sobre carro de orugas y columna de longitud 8,50 metros.	Zona de actuación de aproximadamente 40 m <sup>2</sup> (elemento móvil).
<b>Equipo de inyección</b>	Conjunto de bombas y mezcladoras para inyección de lechada de cemento.	Zona de actuación de aproximadamente 20 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acopio de cemento y agua</b>	Medios de acopio de cemento para suministrar a los mezcladores y el conjunto de bombas de inyección. Posible depósito de agua como regulador de caudal en el caso que la salida de obra no sea suficiente.	Zona de actuación de aproximadamente 25 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de formaciones de cable y placas de fijación</b>	Medios de acopio de cemento para suministrar a los mezcladores y el conjunto de bombas de inyección. Posible depósito de agua como regulador de caudal en el caso que la salida de obra no sea suficiente.	Zona de actuación de aproximadamente 70 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de acopios de rechazo de material procedente de la perforación</b>	Área de acopio formada habitualmente por unas balsas de decantación para separar el agua del residuo sólido, así como unos contenedores o zona de acopio del residuo sólido de terreno existente, posteriormente a trasladar a vertederos exteriores.	Zona de actuación de aproximadamente 20 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>Zona de localización de elementos auxiliares</b>	Área de acopio de elementos auxiliares propios de la realización de anclajes: tuberías de inyección y perforación, equipos de tensado y posible instrumentación, equipos de soldadura, casetas, zona de reparación, etc.	Zona de actuación de aproximadamente 50 m <sup>2</sup> (elemento fijo).
<b>RESUMEN</b>		
Dadas las características de la obra planteada son necesarias diversas zonas logística con una reserva de espacio de aproximadamente 185 m <sup>2</sup> , siendo necesario prever una serie de elementos móviles (maquinaria) cuyas áreas de influencia son de aproximadamente (40 m <sup>2</sup> ).		