

Jornada técnica Aetess-Cedex de presentación del libro sobre hormigonado en cimentaciones

Recomendaciones para la ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas *in situ*

El pasado 17 de enero tuvo lugar –en el Centro de Estudios y Experimentación del Cedex en Madrid– la presentación del libro: *Recomendaciones para la ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas in situ*, un documento que agrupa las principales características que deben reunir los hormigones para este tipo específico de cimentaciones. El documento se ha llevado a cabo a través de un grupo de trabajo mixto entre el Laboratorio de Geotecnia del Cedex y el Comité Técnico de Aetess. En este artículo se expone un resumen de las principales recomendaciones del libro.

Palabras clave: ADITIVO, AGUA, ÁRIDO, CEMENTO, CALIDAD, CONTROL, DOSIFICACIÓN, DURABILIDAD, FABRICACIÓN, HORMIGÓN, PANTALLA, PILOTE, TRANSPORTE.



Francisco ESQUITINO MARTÍN.
Dtr. de INGEOPRES.

Los hormigones que se utilizan en las cimentaciones profundas deben reunir una serie de cualidades que los diferencian claramente de los que se emplean en otro tipo de construcción. Sin embargo, en España no existe una normativa sobre ellos que recoja las características necesarias para que la colocación de este tipo de hormigones asegure un resultado correcto en el elemento constructivo y que cumpla con la resistencia y durabilidad para la que han sido proyectados.

La necesidad de contar con esa normativa específica que asegure no solo las características del producto en su uso en obra, sino la de los materiales que lo componen y el comportamiento a medio plazo, es la razón por la que **Aetess** firmó un convenio con **Cedex** para elaborar un documento que agrupara las principales características que deben reunir los hormigones para la ejecución de pantallas y pilotes *in situ*.

La ejecución del documento se ha llevado a cabo a través de grupo de trabajo mixto, constituido por: *Pilar Alaejos* (Laboratorio Materiales, Cedex), *Enrique Dapena* y *Fernando Pardo de Santayana* (Laboratorio Geotecnia, Cedex), *José M^a Echave*, *Leoncio Prieto* y *Gerardo Marote* (Comité Técnico, Aetess).

Programa de la Jornada

La jornada de presentación del Libro fue inaugurada por *Miguel González Portal* (Cedex), *Fernando Pardo de Santayana*, director del Laboratorio de Geotecnia, y *José M^a Echave*, presidentes de Aetess, quienes presentaron oficialmente el libro, comentaron las características del convenio que ha dado lugar al mismo, y expusieron el ámbito de aplicación de las recomendaciones recogidas en la publicación.

Las recomendaciones incluidas en el documento son de aplicación a la ejecución de cimentaciones especiales de hormigón *in situ*: pilares de desplazamiento por rotación, pilotes de extracción y muros pantalla. La puesta en obra del hormigón en este tipo de cimentaciones está sujeta a unos condicionantes especiales:

- Puesta en obra a través de tubería *Tremie*, de Ø interior inferior a 300 mm.
- Profundidades de hormigonado grandes,



con la consecuente bajada del hormigón por gravedad en largos tramos, o mediante el uso de sistemas de bombeo.

- Hormigonado en muchos casos bajo agua o lodo de perforación.
- Presencia de jaulas de armadura con espacios reducidos entre barras.
- En algunos casos, largos tiempos de hormigonado, con la necesidad de mantener la consistencia fluida del hormigón.

El hormigón adecuado a estas particularidades de ejecución debe tener una alta *plasticidad* y una buena *cohesión*, presentar una elevada *fluidez* y capacidad de compactación sin vibrado, poseer una gran *trabajabilidad* y no ser fácilmente *segregable*.



■ Inauguración de las jornadas. Mesa de presentación.



■ La jornada fue seguida por casi un centenar de asistentes.



Enrique Dapena durante su exposición sobre componentes y dosificación.

• COMPONENTES Y DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Enrique Dapena, del Laboratorio de Geotecnia del Cedex y coordinador del grupo de trabajo, fue el encargado de exponer este apartado del libro, explicando que en cuanto a los *materiales* que componen el hormigón:

- **Cemento.** En hormigón de cimentaciones especiales pueden utilizarse todos los cementos comunes; sin embargo, se consideran especialmente adecuados los cementos Portland tipo *CEM II*, ya que contienen una cierta proporción de adiciones minerales (especialmente los de cenizas volantes o escorias). Dentro de este tipo, se recomiendan específicamente los pertenecientes a la *subclase B*, que admite los mayores contenidos de adición (hasta un 35%).

Los cementos tipo *CEM III* resultan adecuados para su utilización en grandes volúmenes de hormigón o en tiempo caluroso, en cuyo caso es recomendable que posean la característica adicional de bajo calor de hidratación (*LH*), y también en ambientes agresivos (corrosión por cloruros, sulfatos, lixiviación, etc). Estas mismas consideraciones podrían hacerse para los cementos *CEM IV* y *CEM V*.

En cuanto a la categoría resistente, se consideran más adecuadas las clases 32,5 N y 32,5 R, ya que por su finura de molido presentan fraguados más lentos y mejoran la fluidez. En caso de no estar disponibles estas clases, también es recomendable la clase 42,5N.

- **Agua.** El agua de amasado y curado debe cumplir los requisitos exigidos por la Instrucción *EHE*. Como recomendación, puede realizarse una comprobación rápida de la calidad del agua mediante la determinación de su *pH*, que debe situarse en la franja 6-8.

- **Áridos.** Los áridos del hormigón deben cumplir los requisitos exigidos por la *EHE*. En la medida de lo posible, resulta recomendable el empleo de áridos rodados por la mejora que se obtiene en la docilidad del hormigón.

La granulometría de los áridos a emplear debe ser continua a fin de evitar la segregación del hormigón. El tamaño máximo del árido

suele estar condicionado tanto por la separación entre barras, como por el sistema de puesta en obra, normalmente a través de la tubería *Tremie*. Para una correcta colocación del hormigón y para una perfecta adherencia del mismo a las armaduras, el tamaño máximo del árido no debe exceder de 32 mm o de 1/4 de la separación mínima entre barras, debiéndose elegir la menor de ambas dimensiones.

- **Aditivos.** En cimentaciones especiales los aditivos se emplean para dar una alta plasticidad y cohesión a la mezcla de hormigón, para evitar exudación o segregación, para prolongar la trabajabilidad en la medida requerida por la duración del vertido y para prever cualquier retraso puntual durante la puesta en obra. Así, pueden emplearse: aditivos reductores de agua/plastificantes; aditivos reductores de agua de alta actividad/superplastificantes; o aditivos retardadores de fraguado. La proporción de aditivos, de acuerdo con la Instrucción *EHE*, no puede ser superior al 5% del peso del cemento.

La utilización de aditivos plastificantes y superplastificantes es especialmente recomendable en la fabricación de este tipo de hormigones.

- **Adiciones minerales.** Como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación, la Instrucción *EHE* sólo considera la utilización de cenizas volantes y humo de sílice, con cantidades limitadas al 35% y al 10% del peso del cemento respectivamente. La adición directa de escoria de alto horno molida al cemento no está contemplada en la Instrucción, por lo que su utilización debe limitarse a seleccionar algún tipo de cemento que la incorpore: *CEM IIIA-S*, *CEM IIIB-S*, *CEM II/A*, *CEM II/B* y *CEM II/C*.

En el caso de hormigón para cimentaciones especiales resultan especialmente adecuadas las cenizas volantes. Como aspectos desfavorables, con estas adiciones se obtienen menores resistencias tempranas en el hormigón y disminuyen la reserva alcalina del hormigón para proteger las armaduras. Las cenizas volantes también pueden incorporarse al hormigón dentro de los cementos *CEM II/A-V* y *II/B-V*.

En cuanto a la *dosificación del hormigón*, recalco que al ajustar la dosificación de un hormigón para cimentaciones especiales debe tenerse en cuenta que la Instrucción *EHE* establece como resistencia mínima en aplicaciones de hormigón armado la categoría *HA-25*. En cuanto a la consistencia, estos hormigones en general se colocan con asientos de cono superiores a 150 mm, lo cual obliga habitualmente a utilizar aditivos superplastificantes.

- **Granulometría.** En la dosificación de un hormigón para cimentaciones especiales es recomendable seleccionar gravas de tamaño máximo reducido. Asimismo la mezcla debe presentar granulometría continua y un contenido ponderal de arena superior al 40%.

- **Contenido de cemento.** Los hormigones para cimentaciones especiales deben incorporar una alta dosificación de cemento. El contenido de cemento debe ser siempre superior a 350 Kg/m³. Este valor debe incrementarse si los tamaños máximos de áridos son menores de 32 mm, llegando hasta 400 kg/m³ si se emplea árido de 16 mm.

Por otro lado, contenidos excesivos de cemento pueden ocasionar un mayor calor de hidratación y una elevada retracción con riesgo en ambos casos de fisuración, por lo que no deben utilizarse contenidos superiores a 450 kg/m³ de cemento.

- **Relación agua/cemento.** El hormigón debe fabricarse con una relación agua/cemento máxima de 0,60. Los valores habituales utilizados suelen encontrarse entre 0,40 y 0,60. Debe comprobarse que se cumplen los requisitos de durabilidad al respecto exigidos por la Instrucción *EHE* para el ambiente en el que se encuentre la cimentación.

- **Contenido de finos.** El hormigón debe incorporar un elevado contenido de finos que contribuyan a mejorar la docilidad y cohesión del hormigón. Se recomienda que el contenido de finos (partículas de tamaño inferior a 0,125 mm, incluido el cemento) sea igual o superior a 450 kg/m³ para tamaños máximos de árido inferiores o iguales a 8 mm, y 400 kg/m³ para tamaños superiores.

• EJECUCIÓN DEL HORMIGONADO

Leoncio Prieto (*Grupo RK*) y Gerardo Marote (*Terrabauer*), fueron los encargados de desarrollar esta ponencia, describiendo las recomendaciones en cuanto a la fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón.

En cuanto al *amasado*, el hormigón al tratarse de un hormigón estructural y tal como recoge la Instrucción *EHE*, debe fabricarse en central, ya que el producto obtenido presenta una mayor homogeneidad y uniformidad. El amasado en central puede realizarse bien en amasadora fija (caso de central amasadora) o bien en amasadora móvil (caso de central dosificadora).

En cuanto al *transporte del hormigón*, es recomendable realizarlo en camiones con cuba cerrada y provistos de agitación. El tiempo transcurrido entre la adición de agua del amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón, no debe ser mayor de una hora y media, a menos que se adopten medidas especiales como, por ejemplo, la utilización de aditivos retardadores.

Sobre la *puesta en obra*, la colocación del hormigón puede realizarse mediante tubería *Tremie* o por bombeo; si bien han de realizarse una serie de operaciones previas, como: antes de hormigonar comprobar que el fondo de la perforación esté limpio, utilizando para ello los útiles adecuados; cuando se utilizan lodos de perfora-



Leoncio Prieto y Gerardo Marote durante su exposición en la jornada.

ción el hormigonado no debe comenzar hasta comprobar que las propiedades de la suspensión, en el interior de la perforación, son acordes con la puesta en obra del hormigón; que el tiempo entre el final de la perforación y el inicio del hormigonado debe ser el más breve posible.

En cuanto a la colocación de jaulas de armaduras en la perforación, éstas no deben apoyar en el fondo sino quedar a una distancia de éste de unos 20 cm. Para permitir un flujo adecuado del hormigón, la separación entre las barras de la armadura debe ser superior a 100 mm. La separación máxima entre barras debe ser inferior a 300mm.

Respecto a la colocación del hormigón, debe procurarse: que este rellene todo el volumen del elemento sin huecos; no compactar el hormigón con vibración; o controlar el volumen del hormigón colocado en relación al volumen teórico de llenado.

- **Colocación del hormigón con tubería Tremie**
La tubería Tremie debe ser de acero (no debe utilizarse aluminio), lisa, rígida y contrapesada, con uniones estancas entre tramos. El diámetro interior debe ser uniforme de, como mínimo, 6 veces el tamaño máximo de árido ó 150 mm, adoptándose el mayor de los dos valores.

Cuando se utilizan varios tubos de hormigonado es preciso realizar el vertido de modo que el hormigón se distribuya de una manera uniforme, limitando el recorrido horizontal del hormigón de cada tubo a 2,50 m, en el caso particular de muros pantalla. Asimismo, se recomienda utilizar al menos un tubo de vertido por jaula de armaduras cuando hay varias jaulas por panel.

La tubería Tremie debe sellarse con un tapón al comienzo del vertido, en caso de hormigonar bajo agua o lodos de perforación, para evitar el lavado del material.

En el caso particular de los pilotes ejecutados con entubaciones recuperables, la altura mínima de hormigón en el interior de la entubación debe ser igual a dos veces el diámetro del pilote. Es conveniente que el hormigonado se lleve a cabo a un ritmo superior a 30 m³/h.

- **Colocación del hormigón por bombeo**
En pilotes de barrena continua y de desplazamiento por rotación, el hormigonado se realiza

por bombeo a través del fuste del útil de perforación. Debe tenerse especial cuidado en la compatibilidad entre la velocidad de extracción del útil y el ritmo de subida del hormigón en la excavación, de forma que se garantice en todo momento un relleno uniforme, siendo recomendable el empleo de instrumentación que garantice el proceso.

Durante el vertido, el hormigón en la boca de la hélice debe mantenerse con una presión superior a la externa, para que así el hueco dejado por la extracción de la hélice se rellene instantánea y completamente. Durante la extracción y la colocación del hormigón la hélice no puede ser girada o sólo a baja velocidad y en el mismo sentido usado en la perforación.

Actualmente, citó Prieto, existen tecnologías que permiten el descenso del tubo central de hormigonado por el interior de la barrena, logrando, al comienzo del bombeo del hormigón, que el mismo se introduzca dentro de la primera masa bombeada. En el descenso, el tubo exterior descubre dos ventanas alojadas en el tubo central. Por estas ventanas, se empieza a bombear hormigón a presión. El hormigón continúa bombeándose por el tubo central, que se comporta como un verdadero sistema Tremie.

Para el control de la continuidad, la supervisión de la construcción del pilote debe incluir el control del aporte de hormigón, la presión de hormigonado, la velocidad de extracción y el registro de rotación de la hélice.

Este apartado se cerró con las recomendaciones de las operaciones después del hormigonado, sugiriendo que es habitual que el hormigón de la parte superior del elemento hormigonado sea de una calidad inferior a la exigible. Es recomendable que el hormigonado se prolongue al menos 30 cm por encima de la cota indicada en Proyecto. Esta zona se demolerá posteriormente, en la operación de descabezado. El descabezado debe hacerse con ayuda de útiles que no sean susceptibles de perjudicar al hormigón, las armaduras o cualquier dispositivo de medida instalado.

Después del hormigonado, la excavación que presente un vacío por encima del hormigón debe rellenarse con hormigón pobre u otros materiales adecuados. En el caso de muros pantalla puede llegar a ser necesario apuntalar los muretes guía.

• CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN. DURABILIDAD Y CONTROL DE CALIDAD. HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Pilar Alaejos (Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del Cedex), fue la encargada de desarrollar los últimos apartados del Libro, refiriéndose en primer lugar a las características del hormigón fresco para las cimentaciones especiales, indicando que debe presentar eleva-

da y prolongada *docilidad* cuando está fresco, permitiendo su colocación en obra con facilidad y sin segregar. Se recomienda utilizar una consistencia para el hormigón fresco entre 180 y 210 mm de asiento del cono de Abrams. Estos asientos, de acuerdo con la actual Instrucción EHE, corresponden a hormigones de consistencia líquida que deben obtenerse mediante el empleo de aditivos superplastificantes.

Otro aspecto importante en la colocación es asegurar que la docilidad y fluidez del hormigón se mantienen durante todo el proceso de hormigonado, por lo que se recomienda comprobar que la consistencia del hormigón que se va a colocar mantiene un cono de Abrams no inferior a 100 mm transcurridas cuatro horas desde su puesta en obra.

En relación a las *características del hormigón endurecido*, indicó que las propiedades de éste que deben ser controladas, son: la *resistencia a compresión*, que debe de ser como mínimo en hormigón armado HA-25; y la *permeabilidad* en ambientes agresivos. Esta última, en el caso de muros pantalla, debe garantizar que no se producen entradas de agua inadmisibles a través del propio hormigón, de las juntas de construcción, o por debajo de la estructura de contención, así como que no se producen afecciones no admisibles a la situación del agua freática en el entorno.

- **Durabilidad.** El hormigón de cimentaciones especiales debe estar convenientemente protegido contra la agresividad del suelo o de los acuíferos, a través del diseño de la mezcla (aspecto cubierto por la Instrucción EHE) o, en caso contrario, de la utilización de camisas perdidas en pilotes.

La Instrucción EHE define los diferentes ambientes a los que puede estar sometido un elemento de hormigón, según que el proceso de deterioro afecte a la corrosión de la armadura o al propio hormigón.

Resulta habitual en la práctica el caso de cimentaciones especiales en las que diferentes zonas del mismo elemento (pilote o pantalla) se encuentran sometidas a distintos ambientes, y sin embargo, al realizarse el hormigonado de forma continua, se utiliza una dosificación única para todo el hormigón del elemento, que debe corresponder a la más limitativa entre las exigidas para cada uno de los ambientes considerados.

Las cimentaciones especiales son habitualmente estructuras enterradas o en contacto con el terreno, siendo el ambiente IIa la clase de exposición mínima de aplicación, cuando el agua o el terreno circundante no presenten agresividad para el hormigón.

En cuanto a los requisitos de dosificación para garantizar la adecuada impermeabilidad del hormigón, la Instrucción EHE exige que el elemento de hormigón armado sea fabricado sin exceder un cierto valor de la relación a/c y



Pilar Alaejos expuso la durabilidad y el control de calidad de los hormigones.

con una dosificación de cemento superior a un valor mínimo estipulado, que son función de la clase de exposición a la que vaya a estar sometido dicho elemento.

Sobre el recubrimiento de las armaduras indicó que en cimentaciones especiales el recubrimiento mínimo debe ser 75 mm. Los recubrimientos deben garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos separadores colocados en obra. Estos elementos se deben diseñar y fabricar usando materiales duraderos que no produzcan corrosión de la armadura, y tengan al menos la misma durabilidad y resistencia del hormigón. En pilotes, los separadores se deben colocar simétricamente en torno a la jaula de armadura, con al menos 3 unidades en cada nivel, en intervalos de niveles no superiores a 3 m. En pantallas, lo habitual es colocar al menos dos

separadores por nivel en cada lado mayor de la jaula, con una separación vertical de 3 a 5 metros, en función de su rigidez.

- **Control de calidad.** Debe realizarse el control de recepción en obra del hormigón y sus componentes, de la ejecución de la cimentación y de la cimentación terminada.

El control de los componentes del hormigón se realizarán de acuerdo a la Instrucción EHE. El control del hormigón, deberá realizarse mediante ensayos previos y característicos del hormigón (dosificación, consistencia, trabajabilidad, y aditivos), o control durante el hormigonado (consistencia, resistencia mediante control de lotes).

En cuanto al control de cimentación terminada, se realiza mediante ensayos de información del tipo ensayos de integridad (transparencia sónica, impedancia mecánica o ensayo por eco) y ensayos de obtención de testigos.

- **Hormigón Autocompactante.** Finalmente definió este como aquel hormigón que, como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de *filler* y aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, no presentando segregación, bloqueo de árido grueso, sangrado, ni exudación de la lechada.

Sus ventajas en la aplicación a las cimentaciones especiales son: buena alternativa cuan-

do el material debe recorrer grandes distancias horizontales sin segregarse; gran capacidad para rellenar huecos en elementos con una gran densidad de armado o con jaulas de armadura de formas irregulares. Si se utilizan hormigones autocompactantes de alta resistencia (*HAC*) se puede reducir el espesor de las pantallas, aumentar su rigidez, reducir riesgos de fisuración térmica, u obtención de hormigones de gran impermeabilidad.

Las particularidades en los componentes de este tipo de hormigón frente a los hormigones estructurales convencionales son: uso de superplastificantes de nueva generación (poli-carboxilatos), incorporación de *filler*, mayor contenido de finos minerales, menor contenido de árido grueso, menor tamaño máximo de árido, o volúmenes de pasta por encima de 350 l/m³. Su dosificación es también diferente de la usada para hormigones convencionales.

Finalizó su exposición indicando que el hormigón autocompactante se ha utilizado con éxito en varios proyectos de cimentaciones especiales en el mundo, en situaciones de obra complejas que requerían un material con la máxima fiabilidad. □



AETESS

Velázquez, 50 (3º) • 28001 Madrid
☎: 91 577 33 21 • Fax: 91 217 33 85
E-mail: secretaria@aetess.com
Web: www.aetess.com