RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCIÓN DEL HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS "IN SITU"

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO
CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

EJECUCIÓN DEL HORMIGONADO

Leoncio Prieto

Gerardo Marote

AETESS
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE LA TECNOLOGÍA DEL SUELO Y SUBSUELO

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

- DESCABEZADO
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- INCIDENCIAS
- CONCLUSIONES

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

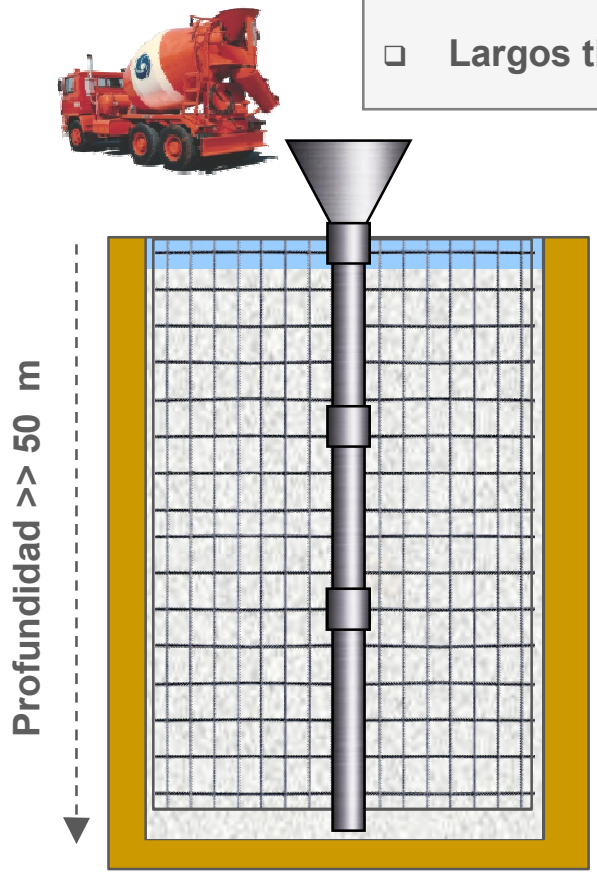
- ❖ PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- ❖ OPERACIONES PREVIAS
- ❖ FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- ❖ COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

- ❖ DESCABEZADO
- ❖ PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- ❖ INCIDENCIAS
- ❖ CONCLUSIONES

PARTICULARIDES DEL HORMIGONADO

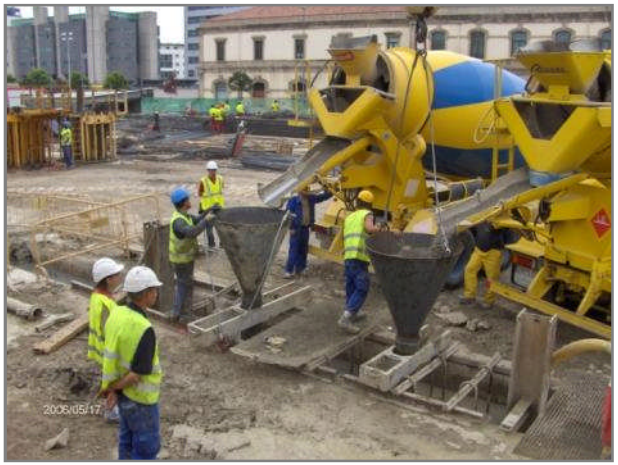
- Tubería Tremie - Φ < 300 mm
- Grandes profundidades de hormigonado
- Hormigonado bajo lodo de perforación
- Jaulas de armadura muy densas
- Largos tiempos de hormigonado



PARTICULARIDES DEL HORMIGONADO

- Evitar segregación
- Rellenar todo el volumen

- Materiales y dosificación
- Control operaciones previas
  - Lodos de perforación
  - Armaduras
- Control fabricación y transporte
- CONTROL EJECUCIÓN



HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

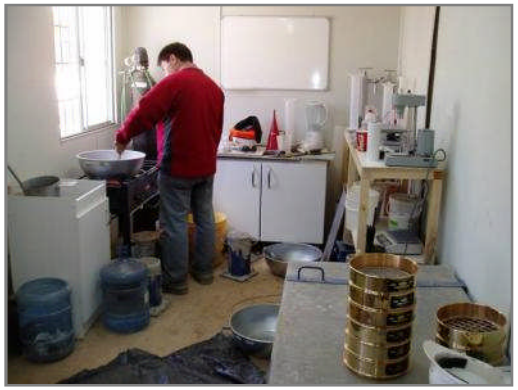
- ❖ PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- ❖ OPERACIONES PREVIAS
- ❖ FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- ❖ COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

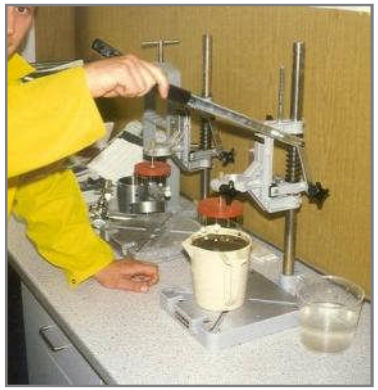
2

- ❖ DESCABEZADO
- ❖ PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- ❖ INCIDENCIAS
- ❖ CONCLUSIONES

OPERACIONES PREVIAS

LODOS DE PERFORACIÓN



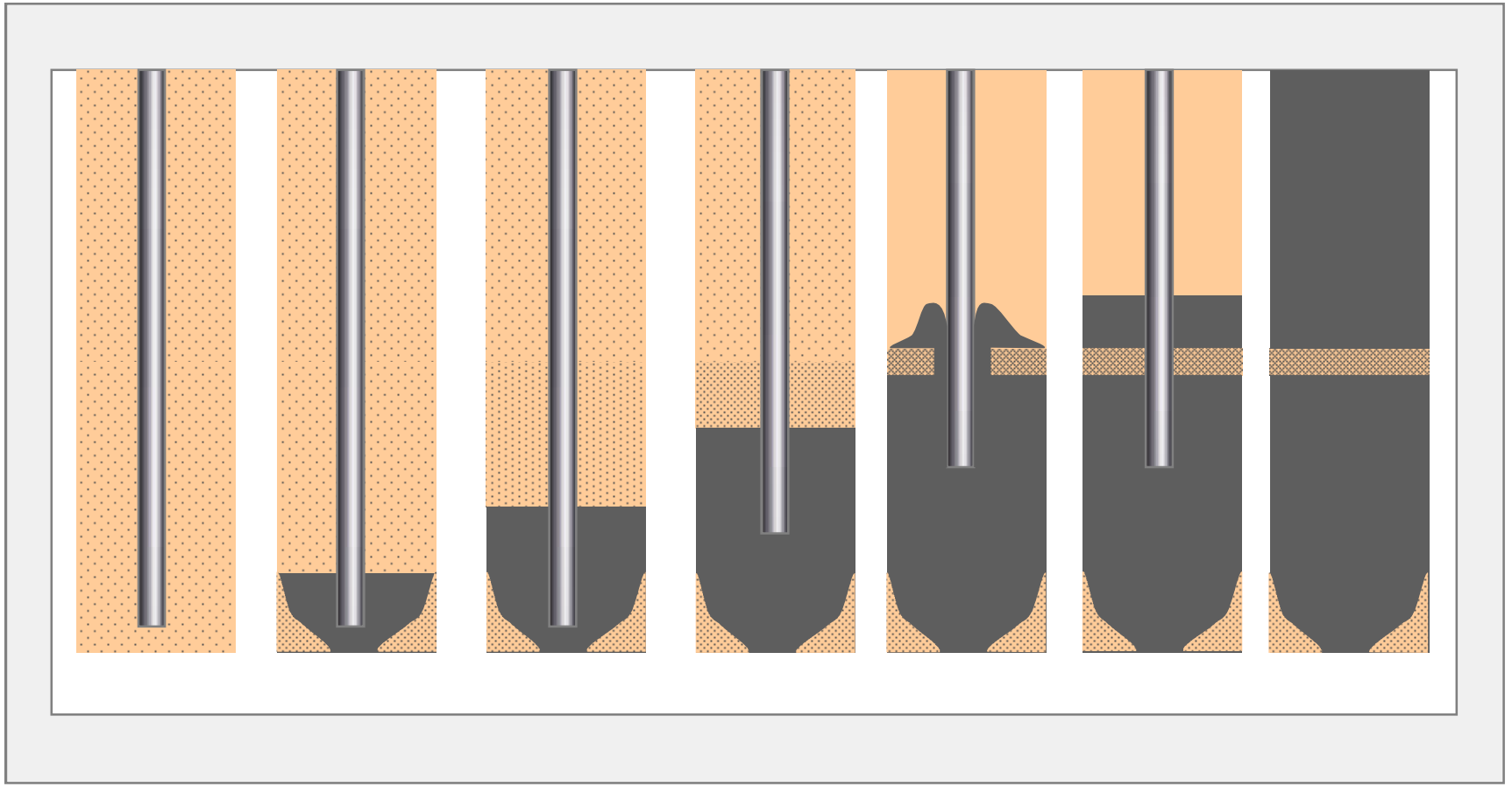


EN 1538:2000 **Características de suspensión de bentonita**

Parámetro	Caso de uso		
	Lodo fresco	Lodo listo para reempleo	Lodo antes de hormigonar
Masa volumétrica (g/ml)	< 1,10	< 1,25	< 1,15
Viscosidad Marsh (s)	32 a 50	32 a 60	32 a 50
Filtración (ml)	< 30	< 50	No ha lugar
PH	7 a 11	7 a 12	No ha lugar
Contenido en arena %	No ha lugar	No ha lugar	< 4
Cake (mm)	< 3	< 6	No ha lugar

OPERACIONES PREVIAS

LODOS DE PERFORACIÓN



Hormigonado de pilote con un contenido excesivo de arena en el lodo

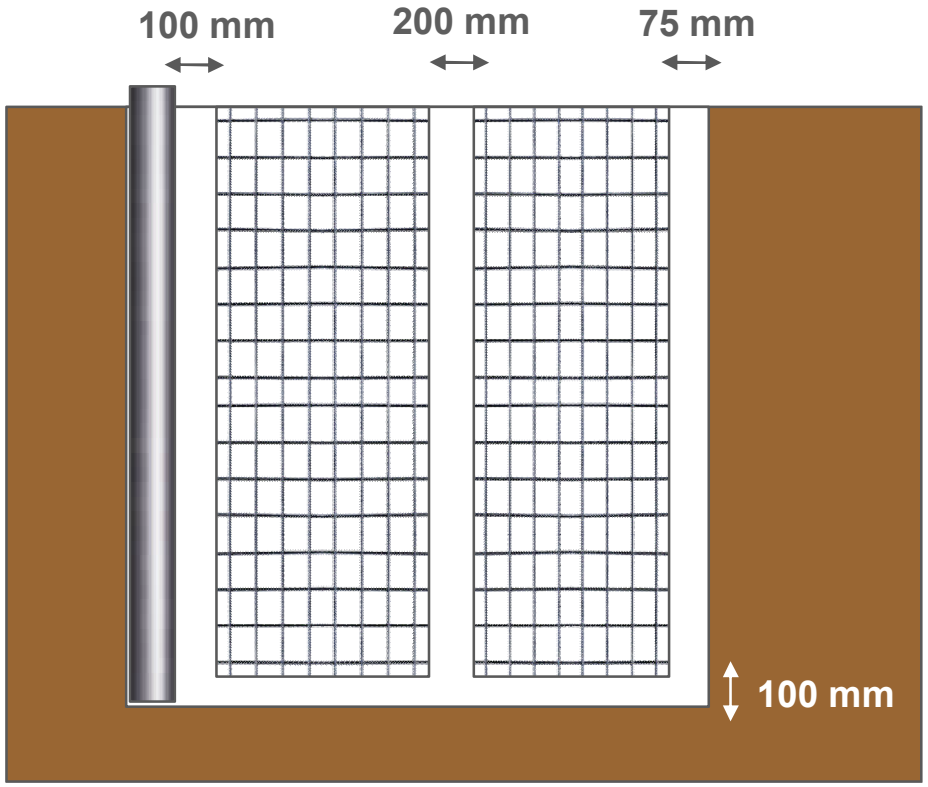
OPERACIONES PREVIAS

LODOS DE PERFORACIÓN

Defectos en muros pantalla por lodos en mal estado

OPERACIONES PREVIAS

ARMADURAS



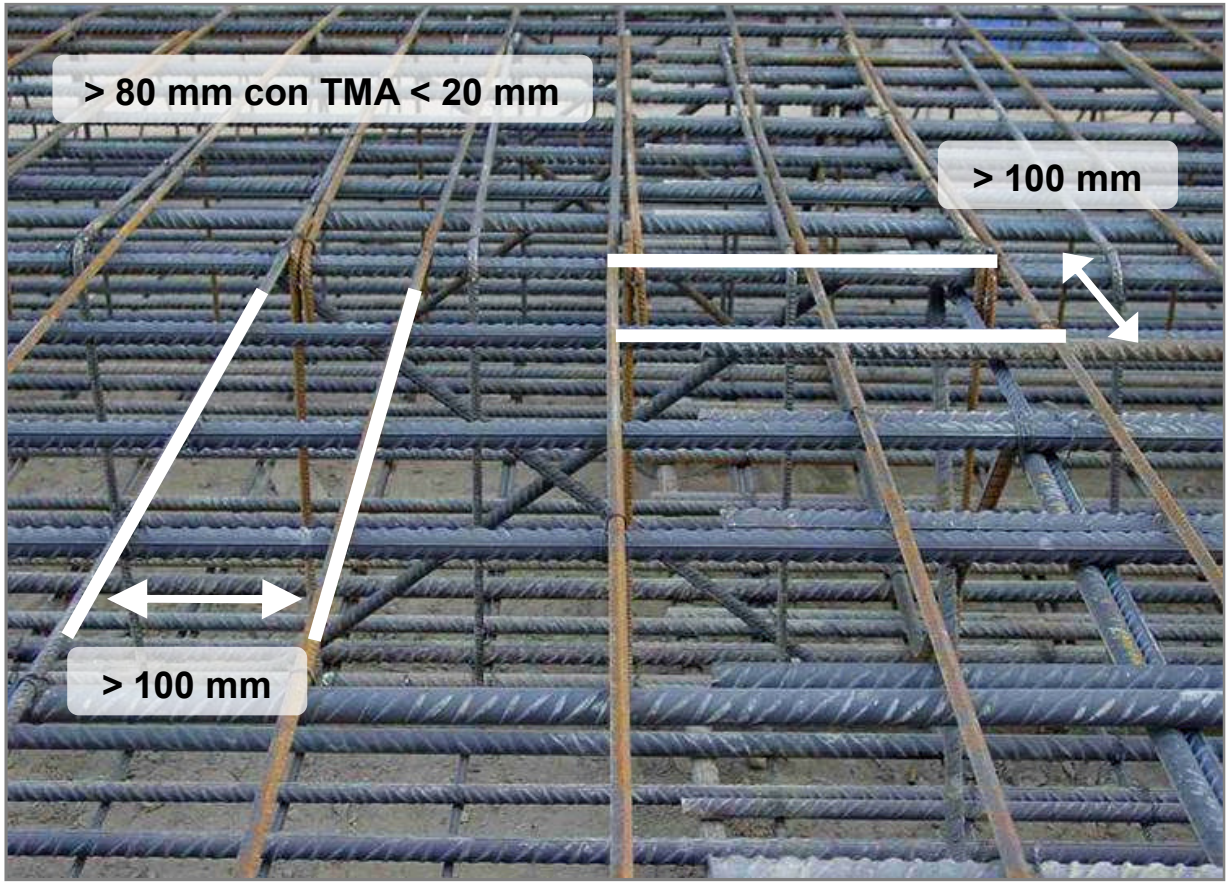
Distancias entre jaulas y terreno

Colocación de separadores

Armadura vista
por falta de separadores

OPERACIONES PREVIAS

ARMADURAS



Separación entre barras de armadura

OPERACIONES PREVIAS

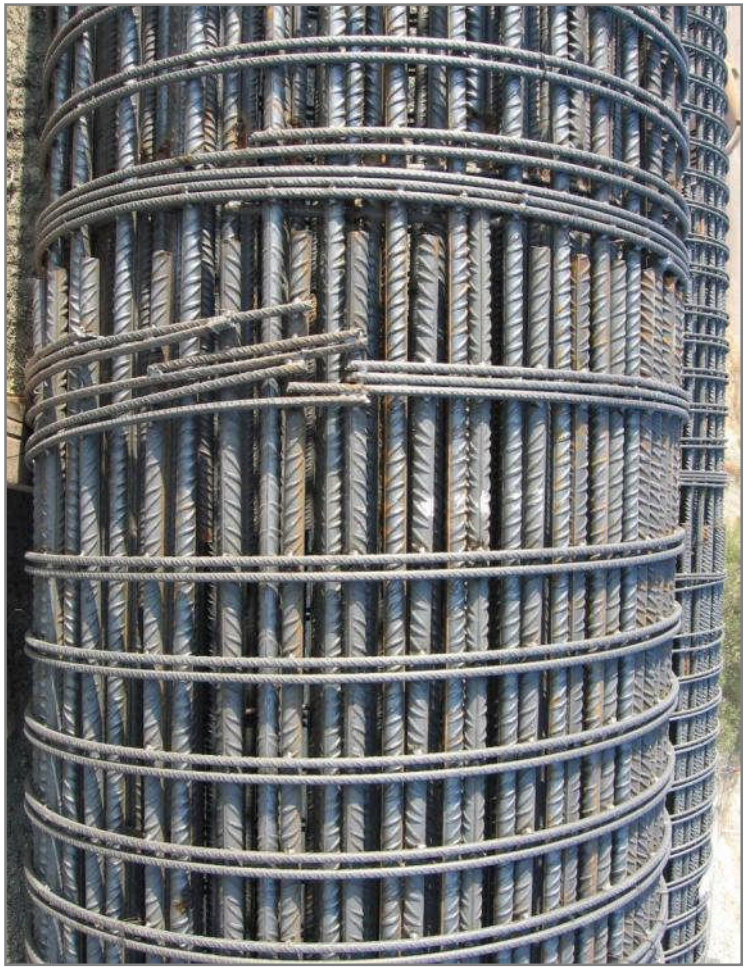
ARMADURAS

Prueba de hormigonado a escala real

Imposibilidad de rellenar todo el volumen

OPERACIONES PREVIAS

ARMADURAS



Armaduras con una densidad excesiva

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- **FABRICACIÓN Y TRANSPORTE**
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

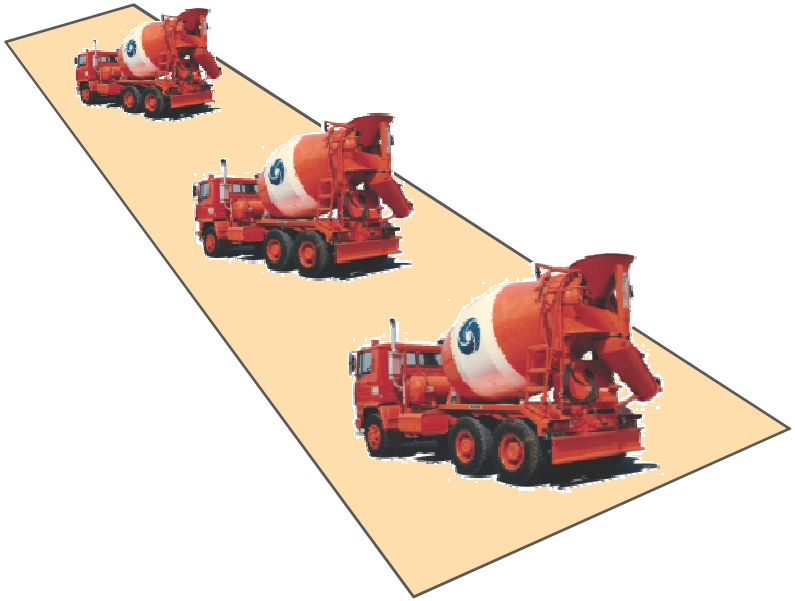
- DESCABEZADO
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- INCIDENCIAS
- CONCLUSIONES

FABRICACIÓN Y TRANSPORTE

AMASADO

- Fabricación en central
- Central dosificadora / amasadora
- Amasadora fija

TRANSPORTE



- Camiones provistos de agitación
- Tiempo < 1,50 horas
- Aditivo en obra: camión amasadora

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

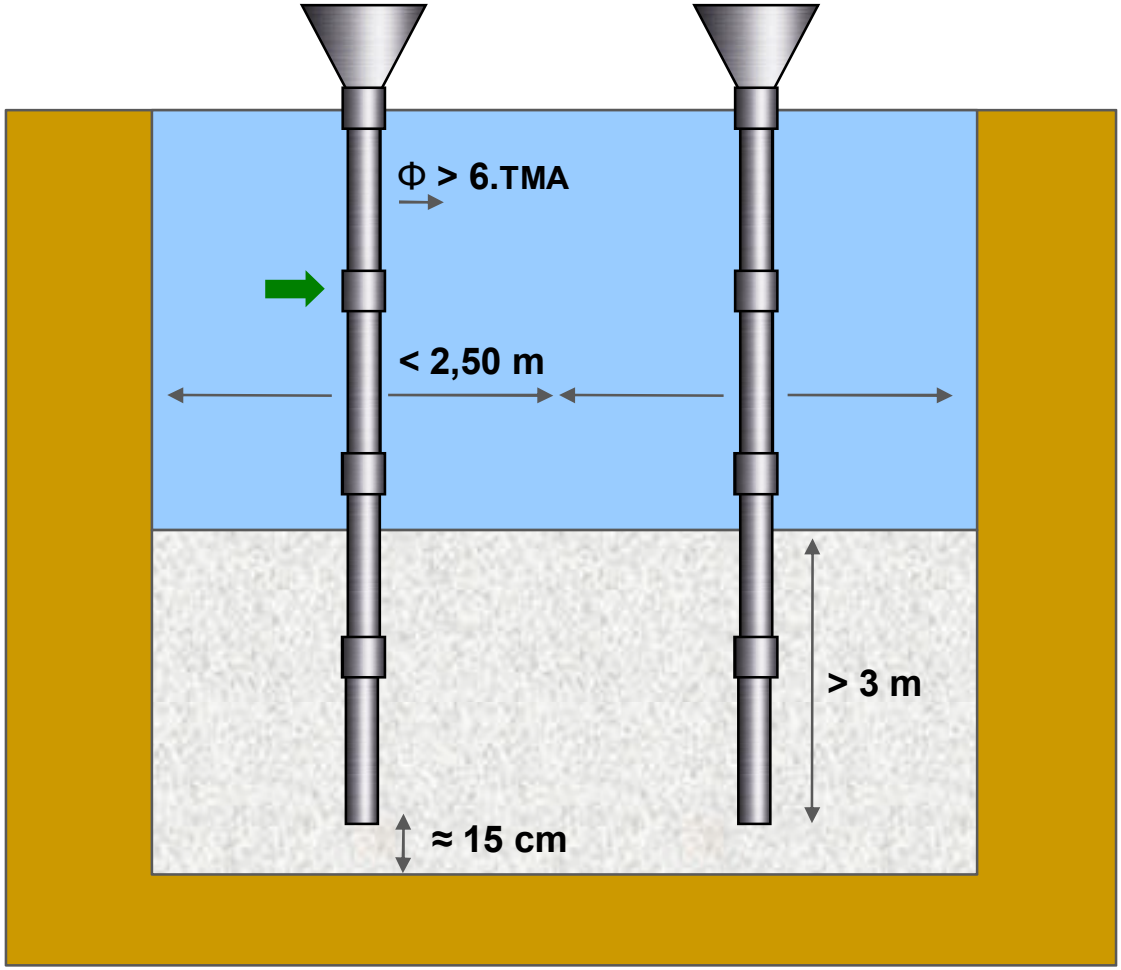
1

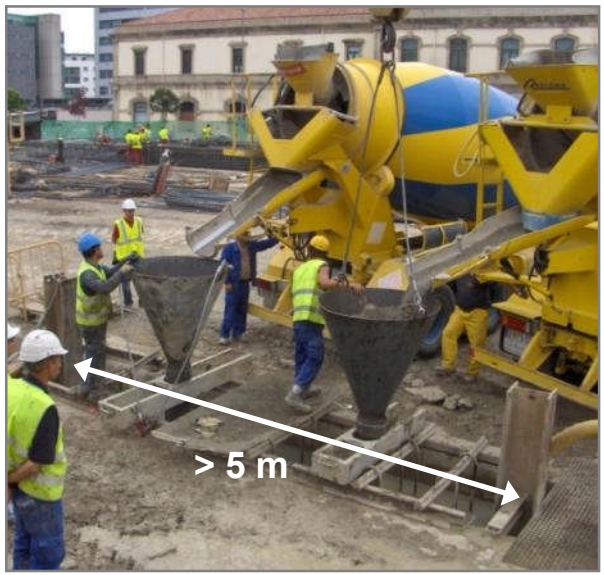
- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- **COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN**

2

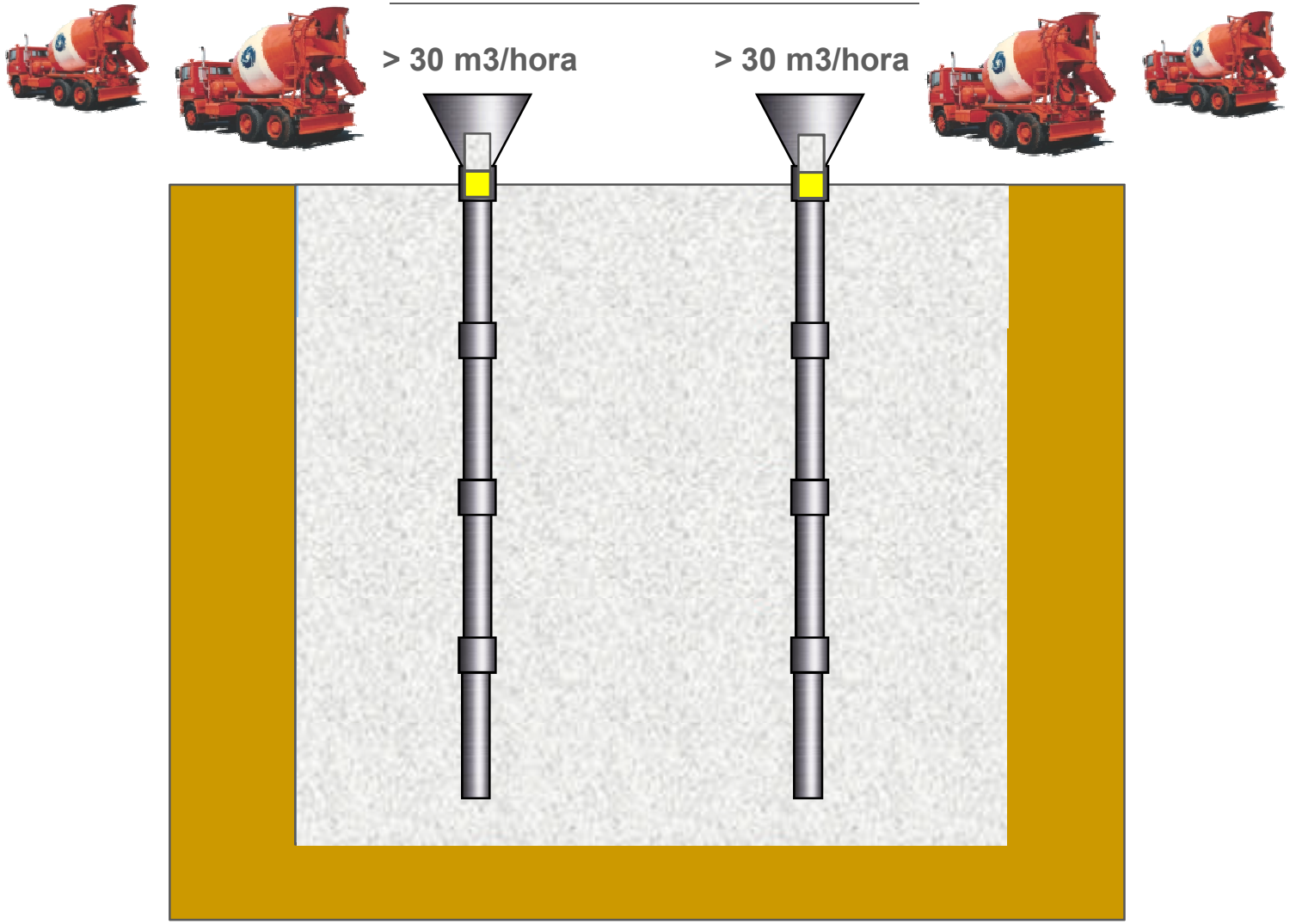
- DESCABEZADO
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- INCIDENCIAS
- CONCLUSIONES

COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN





COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN



HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

- **DESCABEZADO**
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- INCIDENCIAS
- CONCLUSIONES

DESCABEZADO

Descabezado manual

Descabezado cemento expansivo

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

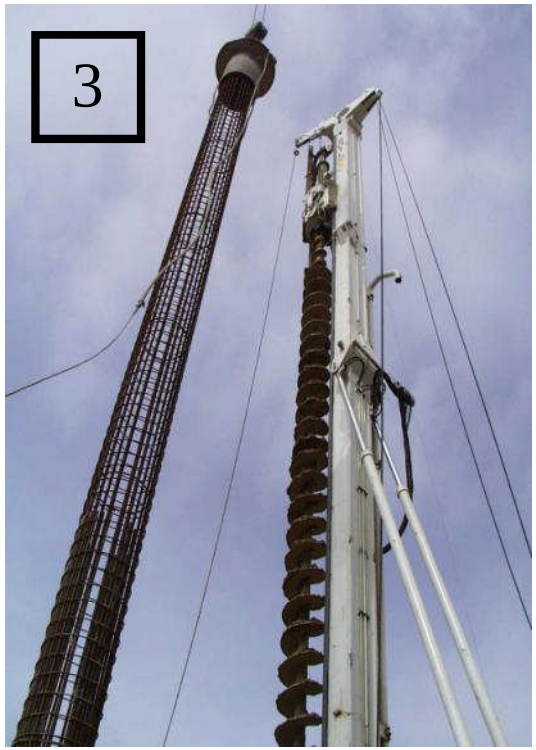
- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

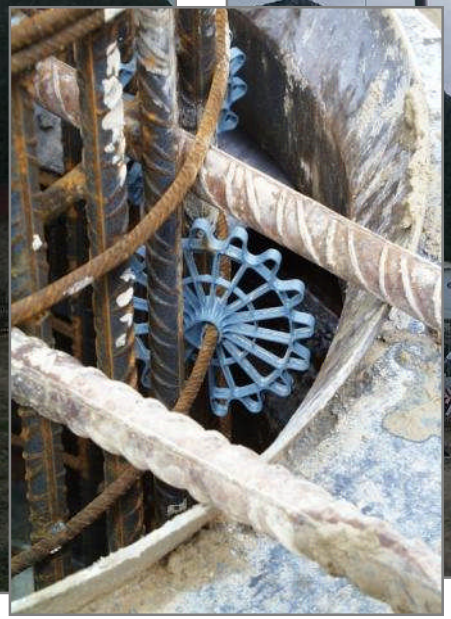
- DESCABEZADO
- **PILOTES DE BARRENA CONTINUA**
- INCIDENCIAS
- CONCLUSIONES

PILOTES DE BARRENA CONTINUA

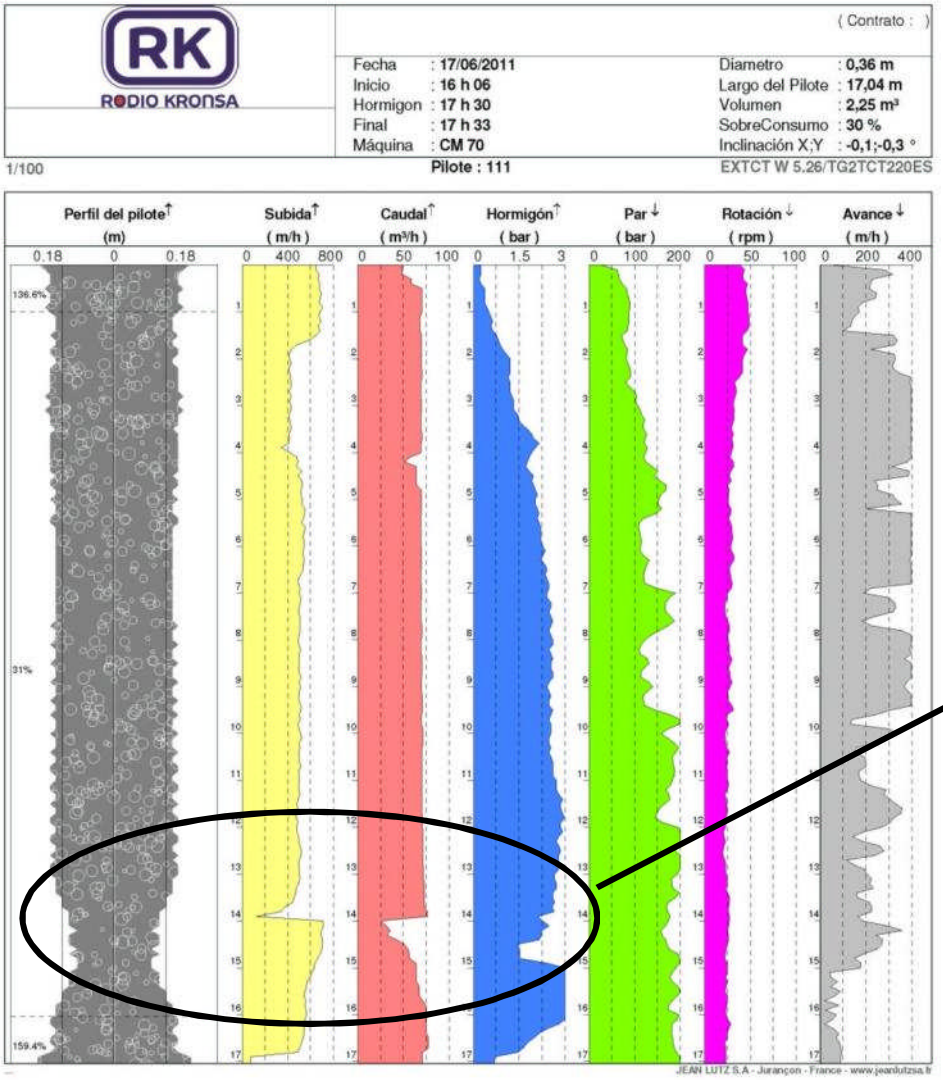
- SECUENCIA DE EJECUCION DISTINTA
  - 1.- PERFORACION
  - 2.- HORMIGONADO
  - 3.- COLOCACIÓN DE ARMADURA



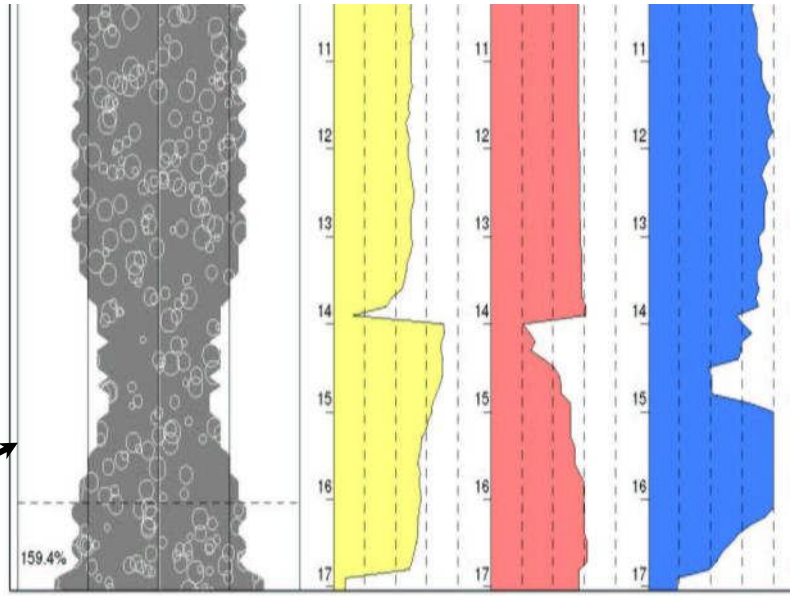
PILOTES DE BARRENA CONTINUA



PILOTES DE BARRENA CONTINUA



CONTROLES HORMIGON



PILOTES DE BARRENA CONTINUA

SISTEMA TREMIE EN PILOTES DE BARRENA CONTINUA

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

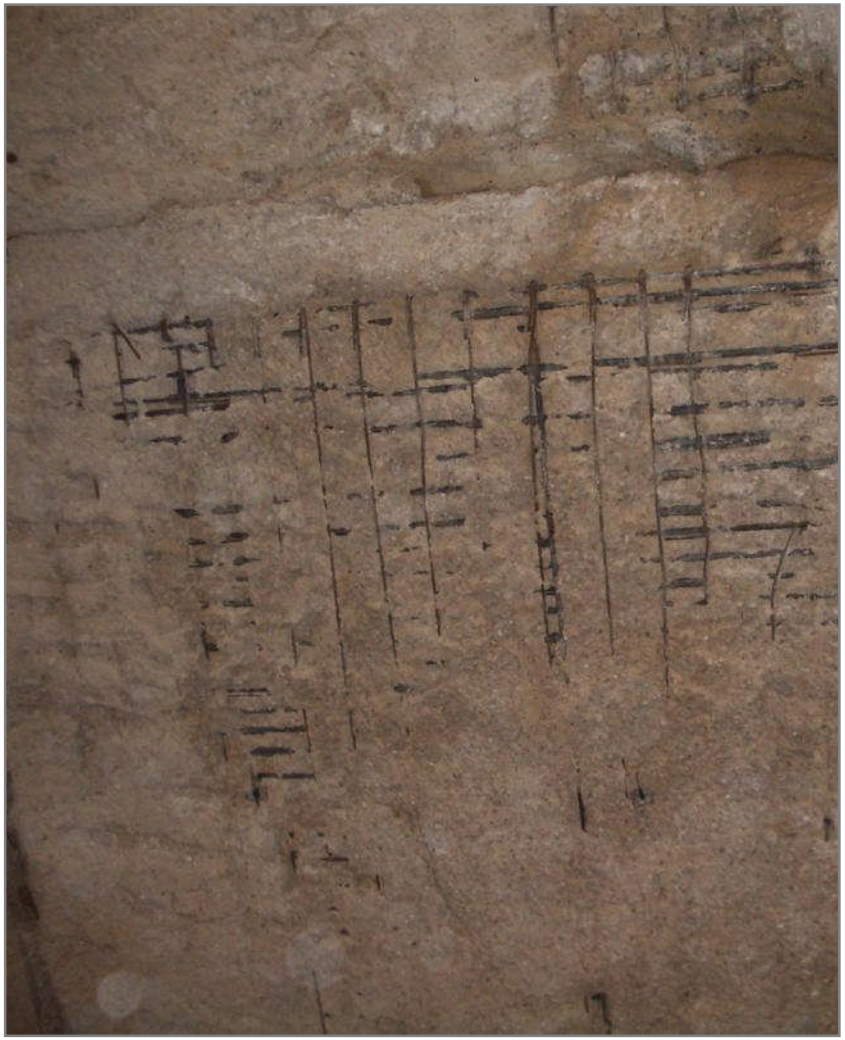
- DESCABEZADO
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- **INCIDENCIAS**
- CONCLUSIONES

INCIDENCIAS

FALLOS FLUJO HORMIGON

INCIDENCIAS

FALLOS FLUJO HORMIGON



INCIDENCIAS

FALTA RECUBRIMIENTO ARMADURAS

INCIDENCIAS

INTERRUPCIÓN HORMIGONADO

INCIDENCIAS

HORMIGÓN SEGREGADO

HORMIGONADO DE PILOTES Y PANTALLAS “IN SITU”

ÍNDICE

1

- PARTICULARIDADES DEL HORMIGONADO
- OPERACIONES PREVIAS
- FABRICACIÓN Y TRANSPORTE
- COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

2

- DESCABEZADO
- PILOTES DE BARRENA CONTINUA
- INCIDENCIAS
- **CONCLUSIONES**

CONCLUSIONES

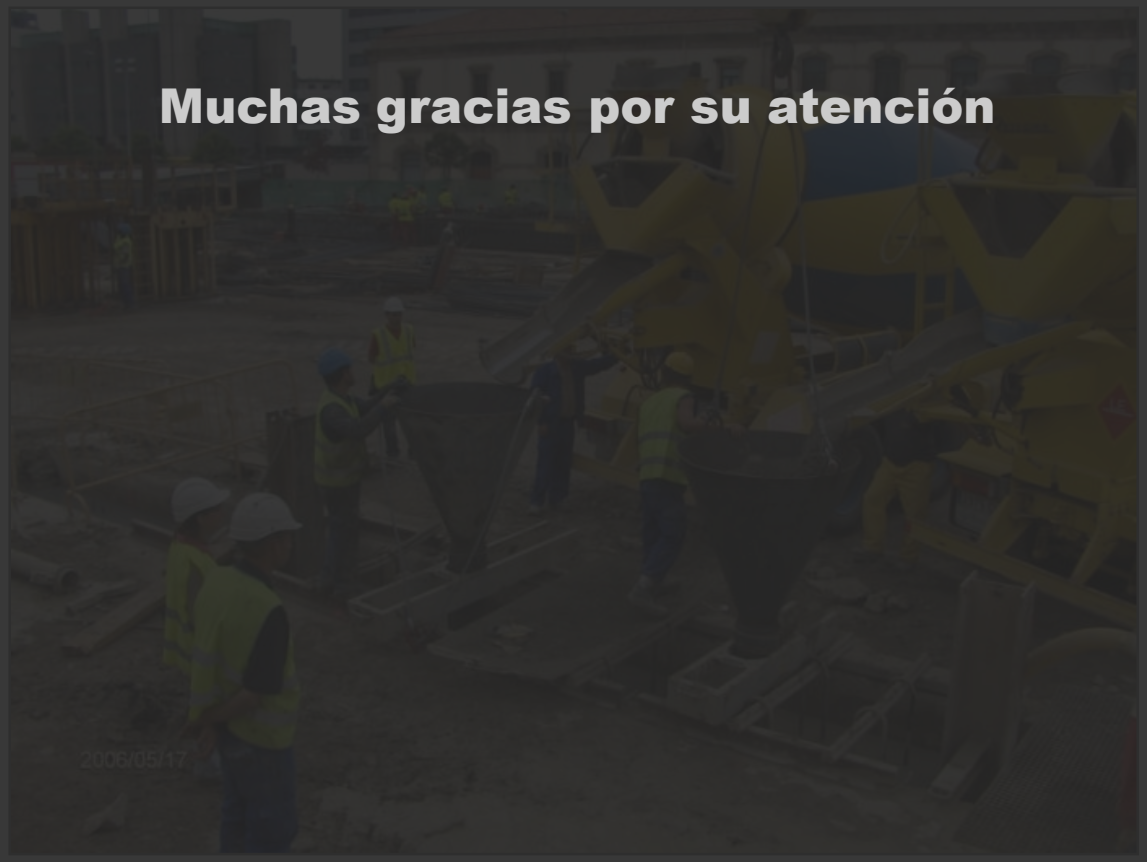
- HORMIGON DE PILOTES Y PANTALLAS → CARACTERISTICAS ESPECIALES DE PUESTA EN OBRA
- CONTROLAR DOSIFICACION, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA

- DOSIFICACION Y CARACTERISTICAS
    - CONTENIDO MINIMO DE FINOS
    - ASIENTO EN EL CONO DE ABRAMS (ANTES Y DURANTE LA PUESTA EN OBRA)

- TRANSPORTE
    - UTILIZACION DE AMASADORAS MOVILES

- PUESTA EN OBRA:
    - LODOS DE PERFORACION
    - DESARENADO
    - CONFIGURACION ARMADURAS
    - COLOCACION MEDIANTE TUBO TREMIE:
        - CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TUBO
        - INMERSION DEL TUBO
        - NUMERO DE TUBOS TREMIE EN FUNCION DEL TAMAÑO DE PANEL
        - RITMOS HORMIGONADO

Muchas gracias por su atención



Leoncio Prieto
Gerardo Marote

AETESS
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE LA TECNOLOGÍA DEL SUELO Y SUBSUELO

HORMIGÓN PARA CIMENTACIONES ESPECIALES
RECOMENDACIONES

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Las recomendaciones incluidas en el presente documento son de aplicación a la ejecución de cimentaciones especiales de hormigón in situ: pilotes 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 diámetro interior en general 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 (utilizado para el hormigonado de pilotes de barrena continua y pilotes de desplazamiento a rotación).
- 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.

2. MATERIALES COMPONENTES Y SU DOSIFICACIÓN

2.1. Materiales componentes

2.1.1. Cemento

En hormigón de cimentaciones especiales pueden utilizarse todos los cementos comunes recogidos en la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos. Sin embargo, se consideran especialmente adecuados los cementos Pórtland 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%). Está comprobado que las adiciones son especialmente beneficiosas para conseguir un hormigón con las propiedades adecuadas para cimentaciones especiales, tales como la mejora de la trabajabilidad, de la durabilidad, el retraso del fraguado del cemento y una reducción de generación de calor durante la hidratación.

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 menor 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. Asimismo, la utilización de esta categoría implica generalmente una dosificación más elevada de cemento, lo cual también resulta una condición favorable para el hormigón al presentar un elevado contenido de finos.

2.1.2. 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.

2.1.3. Áridos

Los áridos del hormigón deben cumplir los requisitos exigidos por la Instrucción 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. En condiciones normales, se deberían utilizar preferiblemente tamaños máximos de árido de 25 mm si es rodado y de 20 mm si procede de machaqueo; en este último caso se es más estricto debido a la pérdida de docilidad que ocasiona el árido de machaqueo.

En pilotes de barrena continua y de desplazamiento, en los que los hormigones son bombeados a través del fuste de los útiles de perforación, no son recomendables tamaños máximos de árido superiores a 20 mm en el caso de árido rodado y 12 mm para el árido de machaqueo.

2.1.4. 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 los aditivos siguientes:

- Aditivos reductores de agua/plastificantes.
- Aditivos reductores de agua de alta actividad/superplastificantes.
- 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. En primer lugar son necesarios para conseguir la consistencia deseada y, adicionalmente, reducen el riesgo de segregación, favorecen la cohesión y disminuyen la exudación. Debido a la gran

fluidez requerida en este tipo de hormigón, será más habitual la utilización de aditivos superplastificantes.

Como efecto secundario en el hormigón, los aditivos plastificantes pueden originar retrasos de fraguado. Asimismo, los aditivos superplastificantes pueden tener una actuación sobre la consistencia limitada en el tiempo, por lo que es recomendable realizar ensayos previos para analizar estos efectos.

Los retardadores de fraguado se utilizan en cimentaciones especiales para conseguir un tiempo suficiente con el hormigón fluido durante todo el proceso de colocación con tubería Tremie. Adicionalmente, son adecuados para elementos con grandes volúmenes de hormigón, y también pueden ser necesarios cuando el hormigón se pone en obra con temperatura ambiente alta, por encima de los 27 ºC. Como efectos secundarios, el hormigón disminuye su resistencia a edades tempranas y la sobredosificación puede mantener el hormigón fluido durante demasiado tiempo y afectar a su resistencia a largo plazo. Es recomendable también llevar a cabo ensayos previos con estos aditivos.

2.1.5. 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 II/A-S, CEM II/B-S, CEM III/A, CEM III/B y CEM III/C.

En el caso de hormigón para cimentaciones especiales resultan especialmente adecuadas las cenizas volantes, ya que presentan diversas ventajas:

- producen un cierto retraso en el fraguado del cemento, prolongando el tiempo en el que el hormigón se puede trabajar.
- reducen el calor de hidratación, por lo que son especialmente recomendables en pilotes de diámetro grande y pantallas de gran espesor.

- proporcionan mayores resistencias a largo plazo y una disminución de la permeabilidad, mejorando en general el comportamiento del hormigón en ambientes químicamente agresivos.
- aportan finos al hormigón mejorando la docilidad y cohesión, y reduciendo la exudación.

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. Sin embargo, su incorporación directa al hormigón tiene la ventaja de poder fijar en la dosificación la cantidad de adición que se quiere incorporar, e incluso poder tenerla en cuenta en términos de resistencia y durabilidad en el proceso de dosificación a través del coeficiente de eficacia.

2.2. Dosificación del hormigón

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.

2.2.1. Granulometría

Como ya se ha dicho, 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%.

En lo que se refiere a los ajustes granulométricos, son aplicables los métodos tradicionales que se utilizan en los hormigones convencionales.

2.2.2. Contenido de cemento

Los hormigones para cimentaciones especiales deben incorporar una alta dosificación de cemento. De esta manera, se consigue un hormigón con un elevado contenido en finos, dócil y cohesivo, y que cierra con facilidad sin compactación, alcanzando una alta densidad. Estos elevados contenidos de cemento permiten, asimismo, introducir una mayor cantidad de agua en la dosificación sin aumentar excesivamente la relación agua/cemento y de esta manera favorecen el conseguir la fluidez necesaria en el hormigón. En el caso de hormigonado bajo lodo o agua, un contenido de cemento alto permite compensar efectos locales de lavado del cemento o contaminación con el lodo de perforación.

El contenido de cemento debe ser siempre superior a 350 Kg/m^3. Este valor debe incrementarse si los tamaños máximos de áridos son menores de 32 mm, llegando hasta 400 Kg/m^3 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/m^3de cemento.

2.2.3. 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.

2.2.4. 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 (entendiendo como tales las partículas de tamaño inferior a 0,125 mm, incluido el cemento) sea igual o superior a 450 kg/m^3 para tamaños máximos de árido inferiores o iguales a 8 mm, y 400 kg/m^3 para tamaños superiores.

En cuanto al contenido máximo de finos, la Instrucción EHE-08 indica que la cantidad total de finos menores de 63 µm en el hormigón aportados por los áridos y la componente caliza, en su caso, del cemento debe ser menor o igual que 175 kg/m^3.

3. EJECUCIÓN DEL HORMIGONADO

3.1. Amasado

El hormigón para cimentaciones especiales, 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 este tipo de hormigón la homogeneidad y cohesión cobran gran importancia, por lo que es muy recomendable que el amasado se complete en central con amasadora fija.

3.2. Transporte

Es recomendable realizar el transporte del hormigón 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.

Si se prevé añadir el aditivo en obra deben establecerse las medidas de control necesarias para que se cumpla con la dosificación de proyecto. Por otro lado, el camión debe ser amasadora y debe disponer del correspondiente equipo dosificador de aditivo y reamasar el hormigón para dispersarlo dentro de la masa de forma homogénea.

3.3. Puesta en obra

La colocación del hormigón puede realizarse mediante tubería Tremie o por bombeo.

3.3.1. Operaciones previas

Antes de hormigonar debe comprobarse que el fondo de la perforación esté limpio, utilizando para ello los útiles adecuados.

Cuando se utilizan lodos de perforación 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. Es especialmente importante limitar el

contenido de arena del lodo, en volumen, al 3% y en todo caso respetar lo recogido al respecto en la normativa técnica de aplicación.

El tiempo entre el final de la perforación y el inicio del hormigonado debe ser el más breve posible. Si el hormigonado se prolongara en el tiempo, debe garantizarse al menos que las propiedades del lodo de perforación antes de hormigonar son las acordadas.

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.

3.3.2. Colocación del hormigón

Durante la colocación del hormigón se pondrá el mayor cuidado en conseguir que el hormigón rellene todo el volumen del elemento sin huecos, bolsas de aire, coqueras, etc. La trabajabilidad del hormigón permitirá llevar a cabo su puesta en obra sin que sea necesaria su compactación. No es posible utilizar vibraciones internas para la compactación del hormigón.

Es necesario controlar el volumen de hormigón que se va colocando y compararlo con el volumen teórico de llenado. Si el volumen colocado es significativamente menor al teórico, el elemento ha podido experimentar estrechamientos de la sección de hormigón, colapso de las paredes laterales de la excavación o contaminación.

3.3.2.1. 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. La dimensión externa de la tubería Tremie, incluidas las uniones, no debe ser superior a:

- 0,35 veces el diámetro del pilote o el diámetro interior de la entubación.
- 0,60 veces el espacio libre interior de la jaula de armadura para pilotes circulares, y 0,80 en el caso de pilotes no circulares.
- 0,50 veces la anchura de la pantalla y 0,80 veces la anchura interior de la jaula de armaduras de pantallas.

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. Para el caso particular de paneles de formas complicadas (por ejemplo en L), debe utilizarse al menos un tubo de vertido por alineación.

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. Inicialmente, la tubería debe mantenerse a una distancia máxima de 150 mm del fondo para permitir que el agua o lodo fluyan. Durante el hormigonado, la inmersión de la tubería Tremie en el hormigón no debe ser inferior a 3,00 m. Sólo cuando el hormigón llegue cerca de la superficie, y para facilitar el vertido en la fase final, puede reducirse la inmersión a 2,00 m si el nivel superior del hormigón se conoce con precisión. En todo momento, es necesario controlar el volumen de hormigón que se va colocando y compararlo con el volumen teórico de llenado.

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 m^3/h. En elementos cuyo volumen sea superior a 150 m^3, el ritmo debe aumentarse hasta 40 ó 50 m^3/h.

3.3.2.2. 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.

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. La distancia entre la base del tubo sumergido y la base de la barrena puede alcanzar hasta 1,50 m. Una vez completamente extraído el tubo central, la elevación de la barrena y el tubo de hormigonado es simultánea, desplazándose conjuntamente respecto al mástil guía. La correcta ejecución del proceso de hormigonado está asegurada por el sistema Tremie en el que el aporte de nuevo hormigón se realiza a través de las ventanas siempre en el seno del hormigón ya bombeado, y los detritos que puedan desprenderse durante la elevación de la barrena se mantienen siempre sobre la superficie del hormigón subiendo con ella.

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.

3.3.3. Operaciones después del hormigonado

Debido a los condicionantes de puesta en obra, 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. Si al efectuar dicha demolición se observara que los 30 cm no han sido suficientes para eliminar todo el hormigón de mala calidad, deberá proseguirse la demolición hasta sanear completamente la cabeza, reemplazando el hormigón demolido por hormigón nuevo, bien adherido al anterior. 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.

4. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN

4.1. Características del hormigón fresco

El hormigón de cimentaciones especiales debe presentar elevada y prolongada docilidad cuando está fresco, permitiendo su colocación en obra con facilidad y sin segregar. Aunque es la docilidad del hormigón la propiedad que condiciona los aspectos de ejecución del hormigón y sus resultados finales, debido a la dificultad para controlarla de forma directa, es habitual hacerlo a través de la medida de su consistencia, aunque ésta en sí misma no proporciona una información completa sobre la docilidad, ya que es esencial también conseguir una adecuada cohesión. Así, una dosificación inadecuada, por ejemplo con un contenido excesivo de árido grueso, puede dar lugar a hormigones fluidos con un descenso del cono muy grande, que cumplan con los requisitos de consistencia, pero con problemas de segregación durante la puesta en obra, es decir poco dóciles y por tanto no aptos para esta aplicación.

En cimentaciones especiales, 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.

4.2. Características del hormigón endurecido

Las características específicas de los hormigones para cimentaciones especiales, que requieren la selección de materiales adecuados y dosificación, no afectan sin embargo a las propiedades finales del hormigón endurecido, que son las mismas que se obtienen con hormigones armados convencionales utilizados en otros elementos estructurales, por lo que en este aspecto son directamente de aplicación los requisitos incluidos en la Instrucción EHE.

Las propiedades del hormigón endurecido que deben ser controladas con carácter general, al igual que en los hormigones convencionales, son la resistencia a compresión y la permeabilidad en ambientes agresivos.

En cuanto a la resistencia del hormigón, la Instrucción EHE establece como resistencia mínima en aplicaciones de hormigón armado la categoría HA-25. En la práctica habitual es ésta la categoría utilizada, aunque en ocasiones se utilizan también las categorías HA-30 y HA-35 por condicionantes de durabilidad.

En cuanto a la permeabilidad de los muros pantalla, incluso cuando la ejecución se lleva a cabo con un hormigón compacto de baja permeabilidad no se puede exigir una perfecta estanqueidad: se trata de elementos constructivos no completamente estancos, por lo que el proceso de ejecución de este tipo de estructuras implica que puedan producirse filtraciones en puntos singulares como las juntas de construcción. En condiciones normales no se pueden evitar manchas de humedad en la superficie de la pantalla.

En cualquier caso, el diseño de la 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.

5. 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.

5.1. Definición de ambientes agresivos

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. Todos los ambientes recogidos en la Instrucción pueden presentarse, según los casos, en cimentaciones especiales, a excepción del ambiente interior I.

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 estructuras costeras, los elementos enterrados bajo el nivel freático o directamente sumergidos pueden encontrarse en ambiente IIIb (marino sumergido). Si el terreno o el agua freática en contacto con la cimentación son agresivos, adicionalmente a la clase general de exposición, los ambientes Qa, Qb ó Qc según la agresividad del ataque químico constituyen la clase específica de exposición que debe aplicarse.

5.2. 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 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. La dosificación de cemento que se emplea en el hormigón de cimentaciones especiales, superior a 350 Kg/m^3, cumple con los valores mínimos necesarios para cualquier clase de exposición. Debe comprobarse que la relación a/c se sitúa también en un valor adecuado al ambiente.

5.3. Recubrimiento de las armaduras

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.

Si bien se debe utilizar un recubrimiento de 75 mm, la Instrucción EHE permite adoptar para el cálculo del ancho de fisura el recubrimiento nominal correspondiente a la clase de exposición en la que se encuentra el elemento.

En el caso de cimentaciones que no se hormigonen directamente contra el terreno (por ejemplo, si se utiliza un encamisado o forro permanente), se puede reducir a 40 mm el recubrimiento de hormigón.

6. CONTROL DE CALIDAD

Las comprobaciones que se realizan en el control de calidad durante las operaciones relacionadas con el suministro y colocación del hormigón pretenden garantizar que el material cumple con las especificaciones de diseño y que su puesta en obra no produce defectos en la cimentación. Debe realizarse el control de recepción en

obra del hormigón y sus componentes, de la ejecución de la cimentación y de la cimentación terminada.

6.1. Control de los componentes del hormigón

El control de la conformidad de los materiales componentes del hormigón debe ser efectuado de acuerdo con la Instrucción EHE.

6.2. Control del hormigón

6.2.1. Ensayos previos y característicos del hormigón

La realización de ensayos previos y característicos es especialmente recomendable en cimentaciones especiales debido a las características singulares que presenta el material. Estos ensayos están indicados para:

- Ajustar y optimizar las dosificaciones apropiadas.
- Comprobar la consistencia inicial.
- Comprobar que la consistencia del hormigón mantiene un cono de Abrams igual o superior a 100 mm transcurridas cuatro horas desde su colocación.
- Determinar la incidencia de los tiempos de transporte en la trabajabilidad del hormigón.
- Comprobar la actuación de los aditivos plastificantes o superplastificantes
- Analizar la posibilidad de incorporación de aditivos en obra.

6.2.2. Control durante el hormigonado

Debe realizarse una medida de la consistencia del hormigón siempre que se realice una toma para el llenado de probetas para el control de la resistencia, de acuerdo con la Instrucción EHE. Adicionalmente, en cimentaciones especiales se recomienda realizar controles del hormigón fresco con mayor frecuencia.

Debido a la utilización de consistencias muy fluidas, con asientos en el cono de Abrams siempre superiores a 150 mm, es más recomendable definir la consistencia por su asiento y acordar previamente con el suministrador una tolerancia más estricta que la fijada por la Instrucción EHE (de valor ±3 cm en el intervalo 13-18 cm), ya que se pueden ocasionar problemas si el hormigón que se suministra se ajusta al límite inferior.

En cuanto al control de resistencia, el método estadístico recogido en la Instrucción EHE es el de aplicación más general en cimentaciones especiales. La aplicación de los criterios de definición del lote para el caso de pantallas y pilotes de gran diámetro suele llevar con frecuencia a que el lote resultante corresponda con el criterio de volumen de hormigón colocado, es decir, se divide la cimentación en lotes de control cada 100 m^3 de hormigón. Adicionalmente, es recomendable tomar muestras de los tres primeros elementos de la obra aunque se encuentren dentro del mismo lote, e incluir en el control muestras adicionales cuando se produzcan interrupciones en los trabajos de más de 7 días.

Una vez definido el lote, su conformidad en relación con la resistencia se debe comprobar a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre dos probetas tomadas para cada una de las N amasadas controladas. El valor de N será el definido por le EHE en función de la resistencia característica y del distintivo de calidad que posea el hormigón, y variará habitualmente entre 1 y 4.

6.3. Control de la ejecución del hormigonado

El control por parte de la Dirección Facultativa y el plan de autocontrol del Constructor deben garantizar que se cumplen todas las especificaciones reflejadas en el apartado 3.

6.4. Control de la cimentación terminada: ensayos de información

Entre los ensayos de información habitualmente utilizados en cimentaciones especiales, los ensayos de integridad y los ensayos de obtención de testigos son los que proporcionan una información directa de la calidad del hormigón colocado en la cimentación.

Los ensayos de integridad tienen por objeto verificar la continuidad del hormigón en la cimentación y, bajo interpretación, su resistencia mecánica. El método más recomendable es el de la Transparencia Sónica ya que es el único que permite situar las anomalías en planta y en profundidad con una gran precisión, necesitando una interpretación posterior para valorar cuáles están relacionadas con defectos de hormigonado. Sin embargo, si no se ha tomado la precaución de dejar tubos instalados en la cimentación para realizar este tipo de ensayo, siempre queda la posibilidad de

recurrir a los métodos de Impedancia Mecánica o Ensayo por Eco. Estos ensayos son capaces de localizar únicamente defectos grandes, como inclusiones de suelo o longitudes de pilote erróneas, y sus resultados requieren siempre una interpretación.

Los ensayos de Transparencia Sónica se llevan a cabo principalmente en pilotes. El número de ensayos a realizar debe ser fijado por la Dirección de la Obra. Se recomienda ensayar al menos 1 pilote de cada 20, o 5 pilotes de cada 20 si se trata de elementos aislados.

Si se detectan anomalías en los ensayos de integridad o en las pruebas de carga, o se han producido irregularidades durante la aceptación o ejecución del hormigonado, puede ser conveniente llevar a cabo ensayos de control con perforación del hormigón para obtención de testigos. En tal caso, deben extraerse testigos en la zona donde se ha detectado la discontinuidad, al efecto de comprobar el estado del hormigón en esa sección y determinar su incidencia en el comportamiento estructural del pilote.

En el caso de que se trate de la obtención de testigos por incumplimiento en el criterio de aceptación de un lote a partir de los resultados del control de resistencia, suele ocurrir que los resultados de resistencia de los testigos extraídos al efecto no alcancen la resistencia especificada en el proyecto debido al sistema de puesta en obra utilizado. En estos casos, debe valorarse el nivel de seguridad estructural en el que se encuentra el elemento de la cimentación con los resultados reales de resistencia de los testigos. Este nivel de seguridad, a pesar de la bajada de resistencia del hormigón, sí puede llegar a ser aceptable debido a la reducida resistencia de cálculo utilizada en el proyecto de estos elementos.

7. HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Se define como hormigón autocompactante 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.

Las condiciones de puesta en obra del hormigón de cimentaciones especiales no permiten su compactación. Por este motivo, su dosificación está encaminada a conseguir mezclas fluidas y cohesivas que cierren con facilidad, por lo que existen ciertas similitudes con la tecnología del hormigón autocompactante, que parte de las mismas premisas de dosificación, aunque este último además utiliza filler y aditivos específicos.

En su aplicación a cimentaciones especiales, el hormigón autocompactante presenta las siguientes ventajas:

- Debido a su excelente fluidez y capacidad de llenado, es una buena alternativa cuando el material debe recorrer grandes distancias horizontales sin segregarse.
- Presenta una gran capacidad para rellenar los huecos en elementos con una gran densidad de armado o con jaulas de armadura de formas irregulares.
- Si además se utilizan específicamente hormigones autocompactantes de alta resistencia utilizando cementos con adiciones de bajo calor de hidratación, se pueden conseguir ventajas adicionales como reducir el espesor de las pantallas, aumentar su rigidez minimizando el impacto de las excavaciones en estructuras vecinas, reducir el riesgo de fisuración térmica de los elementos y obtener un hormigón con una gran impermeabilidad.

Los componentes del hormigón autocompactante son los mismos que los del hormigón estructural convencional, aunque con algunas particularidades:

- Empleo de superplastificantes de nueva generación o policarboxilatos y habitualmente de un aditivo modulador de la viscosidad
- Incorporación de filler (finos cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm y que se obtienen por trituración de los áridos de los que provienen).
- Mayor contenido de finos minerales (tamaño de partícula <0,125mm). El contenido de cemento, las adiciones y fillers equivale aproximadamente al 23% en peso de la masa de hormigón. El valor habitual se encuentra en el intervalo de 450-600 kg/m^3 (180 a 240 litros/m^3).
- Menor contenido de árido grueso, generalmente no superando el 50% del total de áridos.

- Menor tamaño máximo de árido, habitualmente entre 12 y 16 mm.
- El volumen de pasta (agua, cemento, adiciones minerales activas, fillers y aditivos) se encuentra habitualmente por encima de los 350 litros/m^3.

Los métodos de dosificación de mezclas de hormigones autocompactantes son diferentes de los utilizados para hormigones convencionales, de modo que el ajuste de la dosificación exige la realización de ensayos con equipos de laboratorio especializados.

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.

RECOMENDACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN A COLOCAR EN PILOTES Y PANTALLAS MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO "TREMIE"

Las características fundamentales que han de cumplir los hormigones que se han de utilizar en pantallas y pilotes, teniendo en cuenta su peculiar puesta en obra (procedimiento "tremie") serán las siguientes:

1. La granulometría de los áridos debe ser continua, siendo necesarios los siguientes contenidos:
    - Contenido en peso de arena mayor del 40% del peso total de los áridos.
    - El conjunto de los elementos finos (elementos inferiores a 63 micras, incluido el cemento) debe ser superior a 500 kg por metro cúbico de mezcla.
    - La dimensión del árido mayor debe ser la mínima de: 20 mm o ¼ del espacio entre barras de armadura.

2. El contenido mínimo de cemento debe ser superior a 350 kg por metro cúbico de mezcla. El tipo de cemento tiene que tener en cuenta la agresividad del terreno. Es recomendable el uso de cementos del tipo CEM 32,5.

3. La relación A/C debe estar entre 0,40 y 0,60.

4. Es fundamental la consistencia inicial y el mantenimiento de la misma durante todo el proceso de puesta en obra, por lo que se deberán cumplir las prescripciones siguientes:
    - La consistencia inicial del hormigón fresco estará comprendida entre 18 cm y 22 cm (medida del asiento del cono de Abrams).
    - La medida del asiento del cono de Abrams del primer hormigón puesto en obra debe ser superior a 13 cm. a las cuatro horas del comienzo de la misma. Para puestas en obra de duración superior se requerirá un estudio especial.
    - Se podrán utilizar aditivos reductores de agua (plastificantes y superfluidificantes), para evitar la segregación. También se podrán utilizar retardadores de fraguado que prolonguen la trabajabilidad y palíen las posibles interrupciones en el suministro.
    - Es importante conocer a "priori" las características y los efectos del aditivo plastificante que se le añade al hormigón, ya que puede contribuir a la pérdida de la docilidad de forma brusca y antes del final del hormigonado.

Noviembre 2002