

RECOMENDACIONES SOBRE LAS CARACTERISTICAS DEL HORMIGON A COLOCAR EN PANTALLAS Y PILOTES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO “TREMIE”

*Leoncio Prieto Tercero
Ingeniero de Caminos
Comité Técnico AETESS*

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones especiales de puesta en obra del hormigón en cimentaciones especiales, generalmente en perforaciones profundas, bajo agua o fluido estabilizador, y con cuantías de armadura importantes, hacen que sea necesario exigir al material una serie de características específicas que permitan garantizar la calidad del proceso y del producto terminado.

AETESS, a través de su Comité Técnico, ha elaborado las presentes Recomendaciones, con la finalidad de difundir las características que han de cumplir los materiales y su puesta en obra para la ejecución de pantallas continuas y pilotes perforados y moldeados “in situ”, incluyendo dentro de este último grupo los siguientes tipos de pilotes:

- Pilotes perforados sin sostenimiento.
- Pilotes perforados con lodos bentoníticos.
- Pilotes perforados con entubación recuperable.
- Pilotes perforados con entubación perdida.
- Pilotes de barrena continua.
- Pilotes de desplazamiento.

Se indican a continuación las especificaciones técnicas que deberá cumplir el hormigón, la dosificación óptima y características de las materias primas, las recomendaciones de puesta en obra, y los procedimientos de control y auscultación necesarios.



HORMIGONADO DEFECTUOSO DE UN PANEL DE PANTALLA

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

El hormigón a utilizar cumplirá lo establecido en la vigente Norma EHE “Instrucción de Hormigón Estructural”, ajustándose la composición de la mezcla, si no se especifica lo contrario, a la Norma Europea Experimental ENV 206.

El hormigón utilizado deberá poseer las siguientes cualidades:

- Alta capacidad de resistencia a la segregación.
- Alta plasticidad y buena compacidad.
- Buena fluidez.
- Capacidad de autocompactación.
- Suficiente trabajabilidad durante todo el proceso de puesta en obra.

3. MATERIAS PRIMAS

Tanto las materias primas como la dosificación de los hormigones, se ajustarán a lo indicado en la Instrucción EHE.

3.1. Agua

El agua para la mezcla deberá cumplir lo expuesto en el proyecto de Norma Europea prEN 1008, en la Norma Europea Experimental ENV 206, 4.3, y en el artículo 27º de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE, de forma que no pueda afectar a los materiales constituyentes del elemento a construir

En ausencia de otros ensayos es fundamental una medida de pH, que deberá estar situada en la franja cinco - ocho (5-8). En el caso de no estar dentro de los límites establecidos, se realizará un análisis más completo.

3.2. Cemento

El cemento se ajustará a los tipos definidos en la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-97), pudiendo ser de los siguientes tipos:

- | | |
|---|--------------------------|
| ▪ Cemento Portland | CEM I |
| ▪ Cemento Portland con escoria | CEM II/A-S y II/B-S |
| ▪ Cemento Portland con humo de sílice | CEM II/A-D |
| ▪ Cemento Portland con cenizas volantes | CEM II/A-V y II/B-V |
| ▪ Cemento de alto horno | CEM III/A, III/B y III/C |

Pueden emplearse otros cementos cuando fueran especificados, y de eficacia probada en condiciones determinadas.

No se recomienda la utilización de cementos de gran finura de molido y alto calor de hidratación, debido a las altas dosificaciones a emplear.

No será recomendable el empleo de Cementos de Aluminato de Calcio, siendo preferible el uso de cementos con adiciones (tipo II), porque se ha manifestado que éstas mejoran la trabajabilidad y la durabilidad, reduciendo la generación de calor durante el curado.

En el caso de que el nivel de agresividad sea muy elevado, se emplearán cementos con la característica especial de resistencia a sulfatos y/o agua de mar (SR/MR).

3.3. Áridos

Los áridos tendrán que cumplir las especificaciones contenidas en el artículo 28º de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE y estar de acuerdo con el proyecto de Norma Europea prEN 12620 y con la Norma Europea Experimental ENV 206, 4.2..

A fin de evitar la segregación, la granulometría de los áridos será continua.

Es preferible el empleo de áridos redondeados cuando la colocación del hormigón se realiza mediante tubo Tremie.

El tamaño máximo del árido se limitará a treinta y dos milímetros (25 mm), o a un cuarto (1/4) de la separación entre redondos longitudinales, eligiéndose la menor de ambas dimensiones. En condiciones normales se utilizarán preferiblemente tamaños máximos de árido de veinticinco milímetros (25 mm), si es rodado, y de veinte milímetros (20 mm), si procede de machaqueo.

3.4. Aditivos

De cara a obtener las propiedades necesarias para la puesta en obra del hormigón, se podrán utilizar con gran cuidado reductores de agua y plastificantes, incluidos los superplastificantes, con el fin de evitar el rezume o segregación que podría resultar por una elevada proporción de agua.

Se limitará, en general, la utilización de aditivos de tipo superfluidificante de duración limitada al tiempo de vertido, que afecten a una prematura rigidez de la masa, al tiempo de fraguado y a la segregación. En el caso de utilización se asegurará que su dosificación no provoque estos efectos secundarios.

4. DOSIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

4.1. Dosificación del hormigón

Los hormigones para pantallas y pilotes “in situ” deberán ajustar su dosificación a lo que se indica a continuación, salvo indicación en contrario en el Proyecto.

DOSIFICACIÓN EN PANTALLAS CONTINUAS

El contenido mínimo de cemento, así como la relación agua / cemento respetarán las precripciones sobre durabilidad indicadas en el Capítulo correspondiente de la EHE.

En pantallas continuas de hormigón armado, se recomienda que el contenido de cemento sea mayor o igual de trescientos cincuenta kilogramos por metro cúbico (350 Kg/m^3) para hormigón vertido en seco en terrenos sin influencia del nivel freático, o mayor o igual de trescientos setenta y cinco kilogramos por metro cúbico (375 Kg/m^3) para hormigón sumergido.

El contenido de partículas de tamaño inferior a sesenta y tres micras ($0,063 \text{ mm}$), incluido el cemento, deberá ser igual o superior a quinientos kilogramos por metro cúbico (500 Kg/m^3), y el contenido de arena debe ser mayor del 40% del total de los áridos.

La relación agua/cemento será la adecuada para las condiciones de puesta en obra, y deberá ser aprobada explícitamente por el Director de las Obras. El valor de la relación agua cemento deberá estar comprendido entre cero con cuarenta ($0,40$) y cero con seis ($0,6$).

DOSIFICACIÓN EN PILOTES PERFORADOS SIN SOSTENIMIENTO, CON LODOS BENTONÍTICOS, CON ENTUBACIÓN RECUPERABLE, Y CON ENTUBACIÓN PERDIDA

El contenido mínimo de cemento, en función del tamaño máximo de árido, será el siguiente:

Tamaño máximo del árido (mm)	Contenido mínimo de cemento (kg/m ³)
32	350
25	370
20	385
16	400

Al igual que en pantallas, la relación agua/cemento será la adecuada para las condiciones de puesta en obra, y deberá ser aprobada explícitamente por el Director de las Obras. El valor de la relación agua cemento no deberá superar en cualquier caso el valor cero con seis (0,6).

DOSIFICACIÓN EN PILOTES DE BARRENA CONTINUA Y DE DESPLAZAMIENTO

En hormigones bombeados a través del fuste de los útiles de perforación, no se permitirán tamaños máximos de áridos superiores a doce milímetros (12 mm), siendo aplicables el resto de especificaciones indicadas en el apartado anterior.

DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES ESPECIALES

En el caso de muros de estanqueidad se emplearán morteros y hormigones plásticos, sobre todo cuando la permeabilidad pueda implicar riesgo de deformabilidad.

Este tipo de hormigones incorporarán a su composición arcilla o bentonita, pudiéndose tomar como referencia las siguientes proporciones:

- HORMIGÓN PLÁSTICO
 - AGUA 400 - 500 l
 - CONGLOMERANTE (CEMENTO + ADICIÓN) 50 - 200 Kg
 - ÁRIDOS 1.200 - 1.500 Kg

- BENTONITA SÓDICA 12 - 30 Kg ó
- BENTONITA CÁLCICA 30 - 90 Kg ó
- ARCILLA 30 - 250 Kg

- MORTERO PLÁSTICO
 - AGUA 400 - 750 l
 - CONGLOMERANTE (CEMENTO + ADICIÓN) 80 - 300 Kg
 - ARENA 500 - 1.000 Kg
 - BENTONITA SÓDICA 20 - 50 Kg ó
 - BENTONITA CÁLCICA 40 - 100 Kg ó
 - ARCILLA 40 - 350 Kg

4.2. Propiedades del hormigón

La resistencia característica mínima del hormigón será la indicada en el Proyecto o, en su defecto, por el Director de las Obras, y nunca inferior a lo especificado en la EHE.

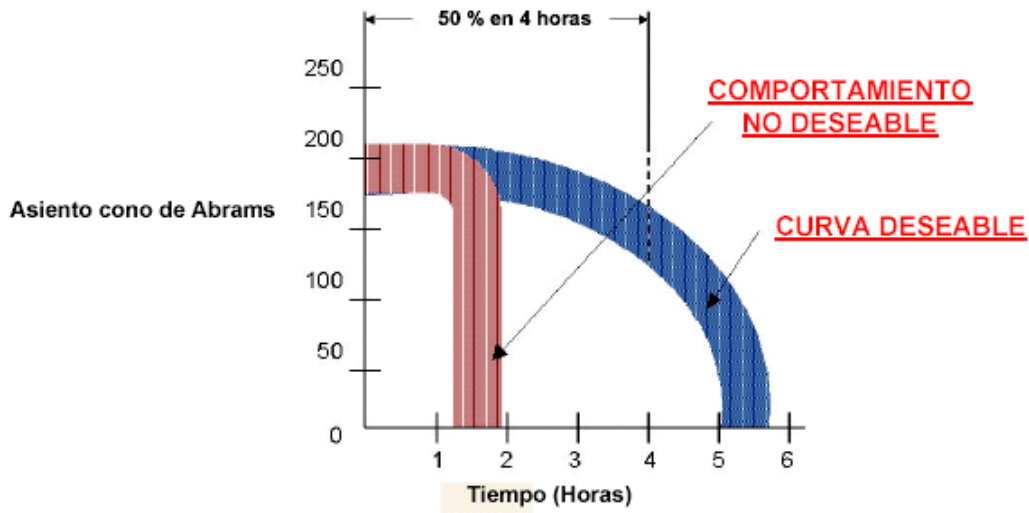
El hormigón no será atacable por el terreno circundante, o por las aguas que a través de él circulen, debiéndose cumplir la relación agua / cemento y contenido mínimo de cemento especificados en la EHE para cada tipo de ambiente.

La consistencia del hormigón fresco justo antes del hormigonado deberá corresponder a un asiento del cono de Abrams entre ciento ochenta milímetros (180 mm) y doscientos veinte milímetros (220 mm).

La docilidad será suficiente para garantizar una continuidad en el hormigonado, y para lograr una adecuada compactación por gravedad.

Se ha de asegurar que la docilidad y fluidez se mantiene durante todo el proceso de hormigonado, para garantizar que no se produzcan fenómenos de atascos en el tubo Tremie,

o bolsas de hormigón segregado o mezclado con el lodo de perforación. Es conveniente que a las cuatro horas del comienzo del hormigonado se mantenga al menos el 50% de la consistencia inicial, o sea que el descenso del asiento del Cono de Abrams se reduzca a la mitad en el citado intervalo de tiempo.



GRÁFICA DE COMPORTAMIENTO ÓPTIMO DE LA CONSISTENCIA

5. FABRICACIÓN Y TRANSPORTE

El hormigón, de acuerdo con la Instrucción EHE, deberá ser fabricado en central, es decir, en una instalación con un sistema implantado de control de producción, con almacenamiento de materias primas, sistema de dosificación, equipos de amasado, y en su caso, equipos de transporte.

Dicha central podrá estar en obra, o ser una central de hormigón preparado. En cualquier caso, la dosificación a utilizar deberá contar con los ensayos previos pertinentes, así como con ensayos característicos que hayan puesto de manifiesto que, con los equipos y materiales empleados, se alcanzan las características previstas del hormigón.

En el caso de utilizarse hormigones preparados, habrá que contar con el tiempo de transporte, y podrá permitirse la incorporación de aditivos superplastificantes en casos

especiales para obtener una adecuada puesta en obra. Esta práctica deberá ser analizada convenientemente, y los aditivos ajustarán su dosificación a la proporción que resulte del estudio pertinente.

6. PUESTA EN OBRA

Se procederá al hormigonado cuando la perforación esté limpia, y las armaduras se encuentren en la posición prevista en los planos de Proyecto.

En perforaciones realizadas al amparo de lodos tixotrópicos, antes de hormigonar será necesario llevar a cabo la sustitución o desarenado de los mismos, para evitar posibles decantaciones durante el proceso, y facilitar la puesta en obra.

El hormigonado de pantallas, pilotes sin sostenimiento, pilotes con lodos y pilotes con tubería de revestimiento, se efectuará empleando el procedimiento de vertido a través del tubo Tremie, y sólo como excepción, y bajo la expresa autorización del Director de las Obras, se permitirá el bombeo directo en excavaciones en seco.

En pilotes de barrena continua y de desplazamiento, el hormigonado se realizará por bombeo a través del fuste del útil de perforación. Se tendrá 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 hormigonado se pondrá el mayor cuidado en conseguir que el mismo quede con su sección completa en toda su longitud, sin vacíos, bolsas de aire o agua, coqueas, etc. Se deberá evitar también el deslavado y la segregación del hormigón fresco.

Para una correcta colocación del hormigón y para una perfecta adherencia del mismo a las armaduras es conveniente tener una separación mínima entre barras de cinco veces el diámetro del árido.



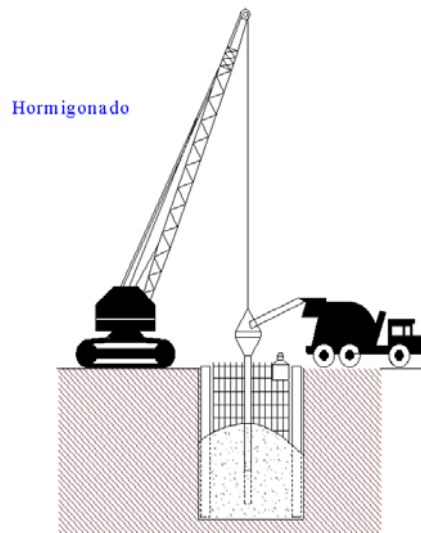
**JAULA DE ARMADURA PREPARADA
(OBSÉRVESE LA SEPARACIÓN ENTRE BARRAS)**



RESULTADO FINAL

ENSAYO DE HORMIGONADO:

El tubo Tremie es el elemento indispensable para el hormigonado de pantallas y pilotes con procedimiento de hormigón vertido, especialmente en presencia de agua o lodos de perforación. Dicho tubo es colocado por tramos de varias longitudes para su mejor acoplamiento a la profundidad del elemento a hormigonar, y está provisto de un embudo en su parte superior, y de elementos de sujeción y suspensión.



ESQUEMA DE HORMIGONADO CON TUBO TREMIE

El tubo Tremie será estanco, de diámetro constante, y cumplirá las siguientes condiciones:

- El diámetro interior será mayor de seis veces (6) el tamaño máximo del árido, y en cualquier caso mayor de ciento cincuenta milímetros (150 mm).
- El diámetro exterior no podrá exceder del mínimo de los siguientes valores:
 - Cero con treinta y cinco veces (0,35) el diámetro del pilote o diámetro interior de la entubación.
 - Cero con seis veces (0,6) el espacio libre interior de la jaula de armaduras para pilotes circulares.
 - Cero con cinco (0,50) veces la anchura de la pantalla.
 - Cero con ocho (0,80) veces la anchura interior de la jaula de armaduras de pantallas.
- Se mantendrá en la parte interior liso y libre de incrustaciones de mortero, hormigón o lechada.

El número de tubos Tremie a utilizar a lo largo de un panel de pantalla deberá ser determinado de tal manera que se limite el recorrido horizontal del hormigón a partir de cada tubo. En condiciones normales, el recorrido horizontal de deberá limitar a dos metros y cincuenta centímetros (2,50 m).

Cuando se utilicen varios tubos de hormigonado, será preciso alimentarlos de forma que el hormigón se distribuya de manera uniforme.

Para empezar el hormigonado, el tubo Tremie deberá colocarse sobre el fondo de la perforación, y después levantarlo de diez a veinte centímetros (10 a 20 cm). Siempre se colocará al inicio del hormigonado un tapón o “pelota” en el tubo Tremie, que evite el lavado del hormigón en la primera colocación.

Durante el hormigonado, el tubo Tremie deberá estar siempre inmerso en el hormigón por lo menos tres metros (3 m). En caso de conocerse con precisión el nivel de hormigón, la

profundidad mínima de inmersión podrá reducirse a dos metros (2 m). En caso necesario, y sólo cuando el hormigón llegue cerca de la superficie del suelo, se podrá reducir la profundidad mencionada para facilitar el vertido.

Es conveniente que el hormigonado se lleve a cabo a un ritmo superior a veinticinco metros cúbicos por hora ($25 \text{ m}^3/\text{h}$), de forma continua y sin interrupciones.

Si fuera posible, y sin interferir con la armadura, es aconsejable una vez hormigonado un panel de pantalla, introducir el tubo Tremie varias veces en las zonas próximas a la junta del panel anterior hormigonado, para mejorar el contacto entre los dos hormigones y conseguir una nivelación óptima.

El hormigón se prolongará hasta que supere la cota superior prevista en proyecto, en una magnitud suficiente para que al demolerse el exceso, constituido por un hormigón de mala calidad, el hormigón al nivel de la viga de coronación o de la cara inferior del encepado sea de calidad adecuada.

Después del hormigonado se rellenarán de hormigón pobre, u otro material adecuado, las excavaciones que hubieran quedado en vacío por encima de la cota superior de hormigonado y hasta el murete-guía.



INTRODUCCION DEL TUBO TREMIE EN UN PANEL



PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON

7. SISTEMAS DE CONTROL

El control del hormigón comprende tanto los relativos a ensayos iniciales y ensayos característicos, como a ensayos de recepción.

Para la realización de ensayos iniciales deberán prepararse, al menos, tres (3) amasadas diferentes, de las cuales se prepararán seis (6) probetas para ser ensayadas, a siete (7) y veintiocho (28) días, guardando dos (2) de ellas para posibles pruebas ulteriores.

Estos ensayos, así como los ensayos característicos deberán realizarse siempre, a menos que se tenga experiencia con los materiales constituyentes utilizados, y no se haya producido cambio alguno en ellos y en su procedencia.

Se prohíbe expresamente la incorporación de agua al hormigón o de cualquier otro producto que no estuviese contemplado en el diseño de la mezcla.

La frecuencia de ensayos y la formación de lotes se ajustará a lo indicado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto a lo que establezca el Director de las Obras.

No obstante, se recomienda la siguiente frecuencia de ensayos:

- Fabricar un número de probetas no inferior a cuatro (4).
- En el caso de pilotes, las muestras se tomarán de la siguiente forma:
 - Una muestra por cada uno de los tres (3) primeros pilotes de la obra.
 - A partir de ahí, una muestra por cada cinco (5) pilotes, que pueden aumentarse si el volumen por unidad fuese inferior a 4 m³.
 - Una muestra por cada setenta y cinco metros cúbicos (75 m³) vertidos en el mismo día.
 - Al menos una muestra por cada pilote hormigonado con un hormigón de resistencia característica de treinta y cinco megapascales (35 MPa) o superior.

- En el caso de obras especiales (pilotes resistentes por punta en roca, pilotes aislados, o pilotes sometidos a fuertes esfuerzos de flexión) puede ser necesaria la realización de muestras y ensayos adicionales.

Las frecuencias de ensayos de consistencia, temperatura del hormigón y tiempo de trabajabilidad, se ajustarán a lo indicado en la siguiente tabla:

Característica	Método de control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Consistencia	Cono de Abrams Mesa de sacudidas	Conformidad del hormigón Trabajabilidad	Cada camión o cada 10 m ³	
Temperatura del hormigón	Termómetro	Conformidad Trabajabilidad	Cuando se especifique	Incrementar frecuencia en caso de duda
Periodo de trabajabilidad	Ensayo de trabajabilidad	Plazo de trabajabilidad	Cuando se especifique	