

Julio 2000

TÍTULO

Ejecución de trabajos especiales de geotecnia

Pilotes perforados

Execution of special geotechnical work. Bored piles.

Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Pieux forés.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1536 de febrero 1999.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotecnia*.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 27401:2000

© AENOR 2000
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

83 Páginas

Grupo 47

ICS 93.020

Versión en español

Ejecución de trabajos especiales de geotecnia Pilotes perforados

**Execution of special geotechnical work.
Bored piles.**

**Exécution des travaux géotechniques
spéciaux. Pieux forés.**

**Ausführung spezieller geotechnischer
Arbeiten (Spezialtiefbau). Bohrpfähle.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 1997-06-01. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 1999 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES.....	6
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	7
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	11
3 DEFINICIONES	12
4 DATOS Y CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILOTES PERFORADOS.....	14
5 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO	15
5.1 Generalidades	15
5.2 Especificaciones particulares	15
6 MATERIALES Y PRODUCTOS	17
6.1 Generalidades	17
6.2 Materiales para hormigón y lechada	17
6.2.1 Cemento	17
6.2.2 Áridos	17
6.2.3 Agua	18
6.2.4 Aditivos y adiciones.....	18
6.3 Hormigón.....	19
6.3.1 Generalidades	19
6.3.2 Mezclado	20
6.3.3 Toma de muestras y ensayos	20
6.4 Lechada.....	21
6.5 Fluidos estabilizadores.....	22
6.5.1 Generalidades	22
6.5.2 Suspensiones bentoníticas.....	22
6.5.3 Polímeros y otras suspensiones	23
6.6 Acero	23
7 CONSIDERACIONES CONCERNIENTES AL PROYECTO.....	23
7.1 Generalidades.....	23
7.2 Tolerancias geométricas de construcción.....	25
7.3 Pilotes que forman un muro-pantalla.....	26
7.4 Excavación	26
7.5 Elementos prefabricados de hormigón.....	27
7.6 Armaduras.....	27
7.6.1 Generalidades	27
7.6.2 Armadura longitudinal	27
7.6.3 Armadura transversal	28
7.6.4 Recubrimiento de hormigón.....	29
7.6.5 Armadura mediante tubos y perfiles.....	29

8	EJECUCIÓN	29
8.1	Excavación	29
8.1.1	Generalidades	29
8.1.2	Técnicas de ejecución y herramientas	31
8.1.3	Perforaciones entubadas.....	32
8.1.4	Excavaciones contenidas mediante lodos estabilizadores	33
8.1.5	Perforación con hélice continua	34
8.1.6	Perforación no entubada	34
8.1.7	Agrandamientos	35
8.2	Armaduras.....	35
8.2.1	Generalidades	35
8.2.2	Uniones.....	35
8.2.3	Doblado de armaduras	36
8.2.4	Montaje de jaulas.....	36
8.2.5	Separadores	36
8.2.6	Colocación.....	37
8.3	Colocación del hormigón	37
8.3.1	Generalidades	37
8.3.2	Colocación de hormigón en seco	39
8.3.3	Colocación de hormigón sumergido	40
8.3.4	Extracción de entubados.....	41
8.3.5	Entubados o encamisados permanentes	41
8.3.6	Hormigonado de pilotes ejecutados con hélice continua.....	42
8.3.7	Pilotes ejecutados mediante inyección (" <i>prepacked</i> ")	42
8.3.8	Pérdida de inmersión del tubo- <i>tremie</i> o del entubado recuperable	43
8.3.9	Pilotes con elementos de hormigón prefabricado, tubos de armado o tubos de revestimiento permanentes	43
8.3.10	Inyección externa de pilotes <i>in-situ</i>	44
8.4	Pantallas de pilotes perforados	44
9	SUPERVISIÓN Y CONTROL	45
9.1	Supervisión	45
9.2	Control de ejecución de pilotes	45
9.3	Ensayos en pilotes.....	54
9.3.1	Generalidades.....	54
9.3.2	Pruebas de carga axiales.....	54
10	PARTES DE OBRA	56
11	ESPECIFICACIONES PARTICULARES	59
ANEXO A (Informativo) GLOSARIO		61
ANEXO B (Informativo) MODELOS DE PARTES DE OBRA		70
ANEXO C (Informativo) NIVEL DE OBLIGATORIEDAD DE LAS DISPOSICIONES.....		79

ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 288 “*Ejecución de trabajos geotécnicos especiales*”, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de agosto de 1999, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de agosto de 1999.

El cometido del TC 288 es la normalización de los procesos de ejecución de trabajos geotécnicos (sistemas de ensayo y control incluidos) y de las necesarias propiedades de los materiales. El WG 3 (Grupo de Trabajo 3) ha sido el encargado para el área específica de los pilotes perforados, incluyendo las *barrettes* (elementos portantes) pero no los micropilotes o minipilotes de diámetro inferior a 0,3 m.

Para pilotes perforados no incluido en esta norma europea, su construcción debería seguir, en lo posible, los principios generales de esta EN 1536.

El documento ha sido preparado para estar junto con los documentos ENV 1997-1: Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico. Parte 1: Reglas generales. El capítulo 7 “Consideraciones concernientes al proyecto” de esta norma europea se refiere al diseño, pero solo en lo necesario (por ejemplo, detalles sobre armaduras). Sin embargo cubre completamente los requisitos necesarios para la construcción y la supervisión.

El documento ha sido preparado por un grupo de trabajo formado por delegados de 11 países y teniendo en cuenta los antecedentes de más de 30 normas preexistentes, así como códigos de usos nacionales e internacionales. A la vista de los diferentes métodos constructivos aplicados internacionalmente y la experiencia respectiva, puede que resulte necesario complementar esta norma europea o parte de la misma con una prefacio nacional para satisfacer situaciones específicas o locales.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

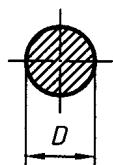
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma europea establece los principios generales para la construcción de pilotes

- que se moldean en el terreno mediante excavación, y
- que están dotados de un elemento estructural para transmisión de cargas y/o deformaciones límite.

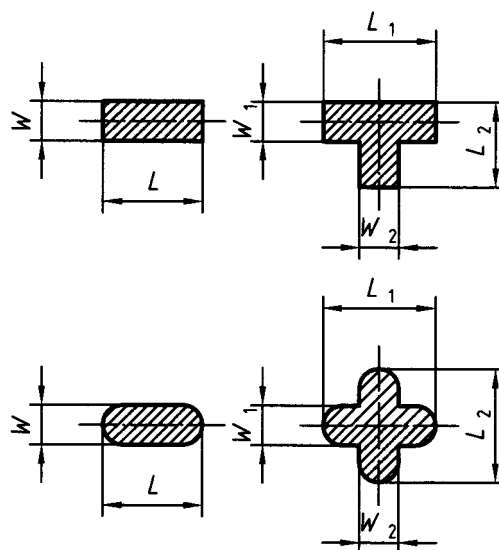
1.2 Esta norma europea se aplica a:

- pilotes de forma circular (véase la figura 1), y
- pilotes con forma de *barrette*, siempre que la sección completa se hormigone en una sola operación



D Diámetro del pilote

Fig. 1 – Pilote perforado circular



L Longitud de la barrette
 W Espesor de la barrette
 A Área de la sección recta

Fig. 2 – Ejemplos y dimensiones de *barrette*

1.3 Las formas de la *barrette* en planta son rectangulares, en T o en L o cualquier otra configuración similar (véase la figura 2).

1.4 Esta norma europea cubre pilotes con:

- sección transversal uniforme (fuste recto);
- dimensiones de fuste variables telescópicamente;
- bases agrandadas; o
- fuste agrandado

(véase la figura 3).

NOTA – La forma de la base del pilote o de un agrandamiento dependen del útil de perforación utilizado.

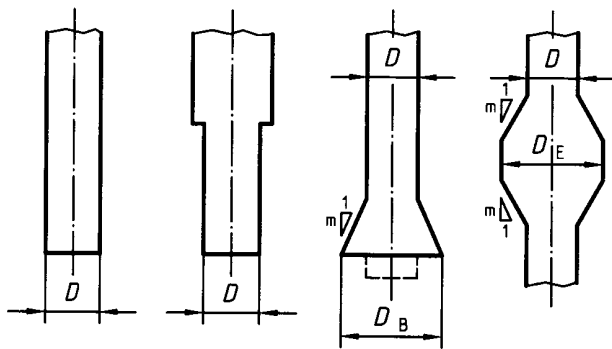


Fig. 3 – Ejemplos de pilotes con sección uniforme y de pilotes con agrandamientos de fuste y de base

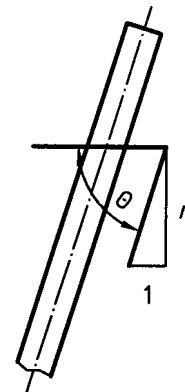


Fig. 4 – Definición de la inclinación

1.5 Las especificaciones de esta norma europea son aplicables a pilotes de las dimensiones siguientes:

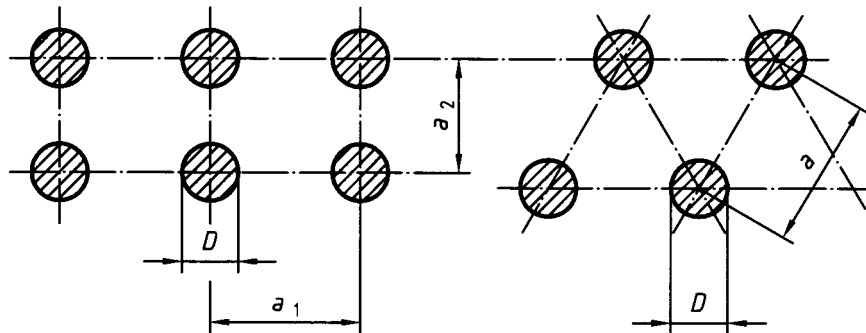
- diámetro de fuste: $0,3 \leq D \leq 3,0$ m (véanse las figuras 1 y 3),
- dimensiones de pilotes-*barrette*:
 $W_i \geq 0,4$ m (véase la figura 2);
- relación entre dimensiones: $L_i / W_i \leq 6$
donde
 L_i es la dimensión mayor del pilote-*barrette* y
 W_i es la dimensión menor del pilote-*barrette*
(véase la figura 3);
- dimensión mínima para elementos prefabricados utilizados en pilotes-*barrette* o pilotes,
 $D_p \geq 0,3$ m y
 $W_p \geq 0,3$ m respectivamente
donde
 D_p es el diámetro de un elemento prefabricado circular y
 W_p es el espesor de un elemento prefabricado rectangular;
- inclinación en general: $n \geq 4$ ($\theta \geq 76^\circ$) (véase la figura 4);
- inclinación para pilotes con entubación permanente: $n \geq 3$ ($\theta \geq 72^\circ$);
- áreas de bases agrandadas o de sección transversal de pilotes-*barrettes*: $A \leq 10$ m².

1.6 Los agrandamientos de base o de fuste cubiertos por esta norma europea son:

- agrandamientos de base en terreno sin cohesión:
 $D_B / D \leq 2$ y
en terrenos con cohesión: $D_B / D \leq 3$;
- agrandamientos de fuste en cualquier terreno: $D_E / D \leq 2$;
- pendiente del agrandamiento en terrenos sin cohesión:
 $m \geq 3$ y
en terrenos con cohesión: $m \geq 1,5$
(véase la figura 3).

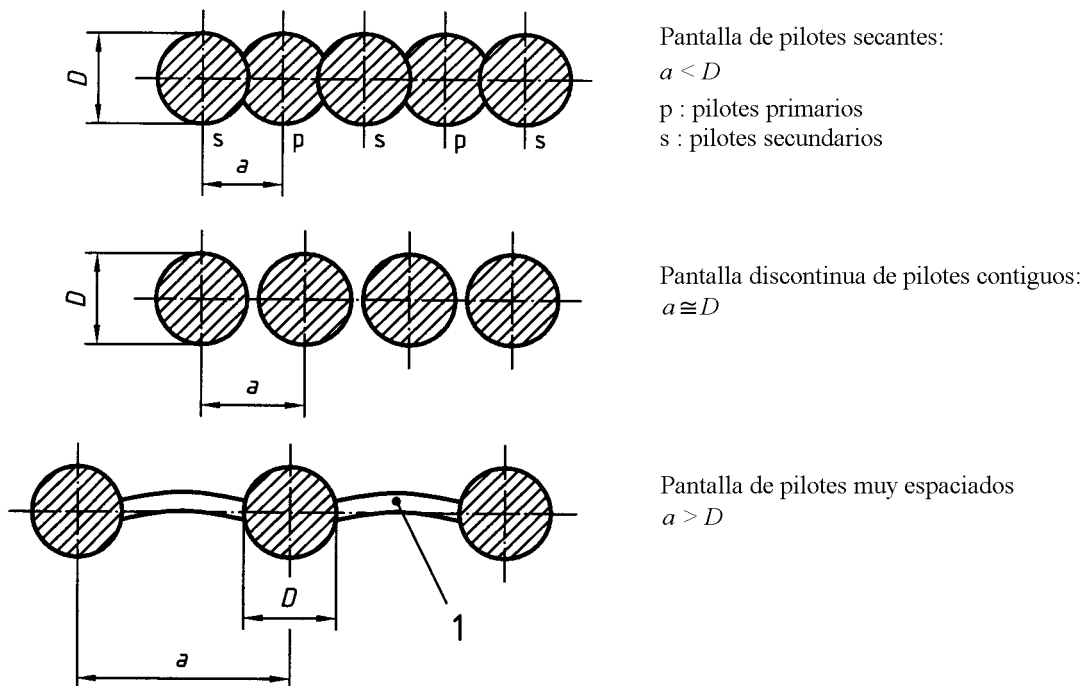
1.7 Las especificaciones de esta norma europea son de aplicación para:

- pilotes aislados;
- grupos de pilotes (véase la figura 5);
- pantallas de pilotes (véase la figura 6).



D Diámetro del fuste
 a Separación entre pilotes según proyecto

Fig. 5 – Ejemplos de grupos de pilotes



a separación entre pilotes
 1 revestimiento

Fig. 6 – Ejemplo de muros-pantalla de pilotes

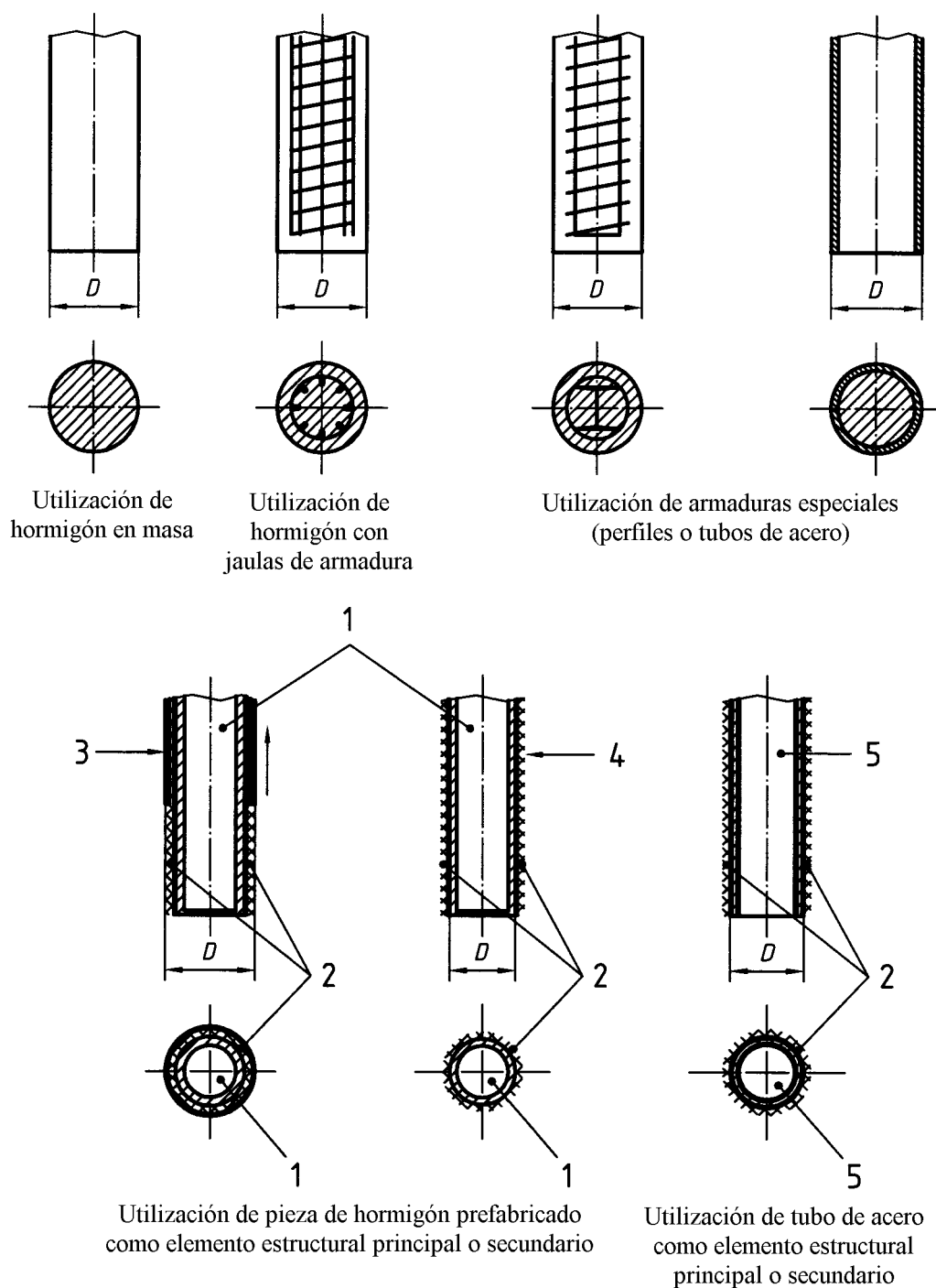


Fig. 7 – Ejemplos de pilotes circulares

1.8 Los pilotes, que constituyen el objeto de esta norma europea, pueden ser excavados por métodos continuos o discontinuos, usando sistemas de contención para estabilizar las paredes de la excavación cuando fuere necesario.

1.9 Esta norma europea es de aplicación solamente para métodos que permiten la construcción de la sección transversal de proyecto.

1.10 Las especificaciones son de aplicación cuando el elemento portante está constituido por:

- hormigón sin armar;
- hormigón armado;
- hormigón armado por medio de armadura especial como tubos de acero, perfiles de acero o fibras de acero;
- piezas de hormigón prefabricado (hormigón pretensado incluido) o tubos de acero, siempre que el espacio anular entre la pieza o el tubo y el terreno sea rellenado con hormigón, cemento o mezcla de cemento–bentonita.

(véase la figura 7).

1.11 Esta norma europea no cubre micropilotes, columnas moldeadas *in-situ*, columnas realizadas mediante *jet-grouting*, mejoras de terreno mediante pilotaje, bases de pilotes moldeadas *in-situ* y muros-pantalla.

2 NORMAS PARA CONSULTA

NOTA 1 – Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

NOTA 2 – Excepcionalmente, la relación de referencias incluye también normas europeas y experimentales actualmente en proceso de redacción. En el caso de que algunos de estos documentos se hubiera convertido en norma europea, se revisarán las referencias.

2.1 Los usuarios de esta norma europea se asegurarán de que las normas y las otras referencias empleadas se encuentran en vigor y que hay compatibilidad entre los documentos considerados.

2.2 Relación de documentos a los cuales se hace referencia en el texto:

ENV 197-1:1992 – *Cemento. Composición, especificaciones y criterios de conformidad. Cementos comunes.*

ENV 206:1990 – *Hormigón. Prestaciones, fabricación y criterios de conformidad.*

EN 791:1996 – *Equipos de perforación. Seguridad.*

prEN 1008:1997 – *Agua de amasado para hormigón. Especificaciones para la toma de muestras, ensayos y evaluación de la idoneidad del agua, incluyendo el agua de lavado procedente de las instalaciones de reciclaje en la planta de hormigón así como el agua para el amasado del hormigón.*

EN 1538:1998 – *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Muros-pantalla.*

ENV 1991-1:1994 – *Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones sobre estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.*

ENV 1992-1-1:1991 – *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas para edificación.*

ENV 1994-1-1:1992 – *Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

ENV 1997-1:1994 – *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.*

EN 10025:1990 – *Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro.*

ENV 10080:1995 – *Acero para armaduras de hormigón armado. Acero corrugado soldable B 500. Condiciones técnicas de suministro para barras, rollos y mallas electrosoldadas.*

EN 10210-1:1994 – *Perfiles huecos para construcción acabados en caliente, de acero no aleado de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro.*

prEN 12620:1996 – *Áridos para hormigón, incluyendo los utilizados en carreteras y pavimentación.*

3 DEFINICIONES

NOTA – Las siguientes definiciones se emplean en la construcción de los pilotes perforados especificados en esta norma europea. En el anexo A se relacionan explicaciones adicionales de términos de pilotaje. A los efectos de esta norma europea, son de aplicación las definiciones siguientes:

3.1 pilote (in.: pile; fr.: pieu; al.: Pfahl): Elemento estructural esbelto ejecutado en el terreno para transferencia de acciones. A los efectos de esta norma europea, el índice de esbeltez no está limitado.

3.2 pilote perforado (in.: bored pile; fr.: pieu foré; al.: Bohrpfahl): Pilote construido con o sin auxilio de tubería, excavando o perforando un agujero en el terreno y rellenándolo posteriormente con hormigón en masa o armado.

3.3 barrette (in/fr: barrette; al.: Schlitzwandelement): Elemento de muro-pantalla, normalmente de longitud reducida en planta, o varios elementos conectados entre sí y hormigonados simultáneamente (en forma, por ejemplo, de L, de T o de cruz), empleados para sustentar cargas verticales y/o laterales.

3.4 pilote a compresión (in.: compression pile; fr.: pieu en compression; al.: Druckpfahl): Pilote diseñado para resistir esfuerzos axiales a compresión.

3.5 pilote de hélice continua (in.: continuous flight auger pile – CFA-pile; fr.: pieu à la tarière continue creuse – CFA; al.: Schneckenbohrpfahl): Pilote perforado ejecutado mediante hélice continua de eje hueco, a través del cual se bombea hormigón o lechada a medida que se extrae la hélice (véase la figura A.9).

3.6 pilote resistente por punta (in.: end bearing pile; fr.: pieu travaillant en pointe; al.: Spitzendruckpfahl): Pilote que transmite los esfuerzos al terreno, principalmente por compresión sobre su base.

3.7 base agrandada (in.: enlarged base; fr.: base élargie; al.: Fußaufweitung): Base de pilote con área más grande que la del fuste. Normalmente se consigue empleando una herramienta especial para obtener ensanchamientos cónicos o campaniformes de la base del pilote.

3.8 pilotes a fricción (in.: friction pile; fr.: pieu flottant; al.: Reibungspfahl): Pilote que transmite los esfuerzos al terreno, principalmente por rozamiento entre la superficie del pilote y el terreno adyacente.

3.9 pilote inyectado (in.: prepacked pile; fr.: pieu ballasté injecté; al.: Prepacked-Pfahl): Pilote cuya perforación, una vez terminada, se rellena de árido grueso y se inyecta desde el fondo con mortero de cemento.

3.10 diámetro del fuste (in.: shaft diameter; fr.: diamètre du fût; al.: Pfahldurchmesser): Diámetro de la parte comprendida entre la cabeza y la base del pilote:

- a) para pilotes contruidos mediante auxilio de tubería de revestimiento: igual al diámetro exterior del tubo;
- b) para pilotes contruidos sin tubería: igual al máximo diámetro del útil de perforación.

3.11 pilote a tracción (in.: tension pile; fr.: pieu en traction; al.: Zugpfahl): Pilote diseñado para resistir a esfuerzos de tracción.

3.12 pilote previo (in.: preliminary pile; fr.: pieu préliminaire; al.: Probenpfahl 1): Pilote ejecutado previamente al inicio de la obra principal de pilotaje o parte de la misma, con objeto de determinar la idoneidad del tipo de pilote elegido y/o confirmar el diseño, sus dimensiones y su capacidad portante.

3.13 pilote de viabilidad (in.: trial pile; fr.: pieu de faisabilité; al.: Probepfahl 2): Pilote que se construye para determinar la viabilidad y la idoneidad del método constructivo para una aplicación determinada.

3.14 pilote de prueba (in.: test pile; fr.: pieu d'essai; al.: Probepfahl 3): Pilote que se somete a una prueba de carga para determinar las características de resistencia a las deformación del pilote y del terreno circundante.

3.15 pilote de servicio (in.: working pile; fr.: pieu de fondation ; al.: Bauwerkspfahl): Pilote para la cimentación de una estructura.

3.16 prueba de carga estática (in.: static pile test; fr.: essai de chargement, statique de pieu; al.: statische Probelastung): Prueba de carga mediante la cual el pilote se somete a determinados esfuerzos axiales y/o laterales, aplicados a la cabeza del pilote, con el objeto de analizar su capacidad.

3.17 prueba de carga escalonada (in.: maintained load test; fr.: essai de chargement par palier; al.: lastgesteuerte Probelastung): Prueba de carga estática mediante la cual un pilote está sometido a esfuerzos aplicados de forma escalonada y creciente, manteniendo cada etapa constante durante un cierto periodo de tiempo o hasta que el asiento del pilote ha virtualmente terminado o ha alcanzado el límite prescrito (ensayo ML).

3.18 prueba de carga de penetración a velocidad constante (in.: constant rate penetration test; fr.: essai de chargement à vitesse d'enfoncement constante; al.: weggesteuerte Probelastung): Prueba de carga estática en la cual un pilote de prueba es forzado a penetrar en el terreno a velocidad constante, midiendo la fuerza necesaria (ensayo CRP).

3.19 prueba de carga dinámica (in.: dynamic pile test; fr.: essai de chargement dynamique de pieu; al.: dynamischer Pfahlversuch): Prueba de carga en la cual se aplica una fuerza dinámica a la cabeza del pilote para determinar su capacidad.

3.20 ensayo de integridad (in.: integrity test; fr.: essai d'intégrité; al.: Integritätsprüfung): Ensayo realizado sobre un pilote construido para verificar la buena calidad de los materiales y la geometría del pilote.

3.21 ensayo sónico (in.: sonic test; fr.: essai d'auscultation sonique par réflexion; al.: Ultraschallversuch): Ensayo de integridad de un pilote en el cual una serie de ondas sónicas pasan de un transmisor a un receptor atravesando el hormigón. Las características de las ondas recibidas se miden y sirven para deducir la continuidad y las variaciones de sección del fuste del pilote.

3.22 ensayo sónico por taladros (in.: sonic coring; fr.: essai d'auscultation sonique par transparence; al.: Ultraschallversuch im Pfahl): Ensayo de integridad del hormigón del pilote realizado por medio de taladros perforados en el fuste del pilote o de un sistema de tubos instalado previamente.

4 DATOS Y CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILOTES PERFORADOS

4.1 Toda información importante y significativa para la ejecución de los trabajos debe:

- a) ser facilitada junto con las especificaciones de la obra;
- b) estar disponible en obra antes del comienzo de los trabajos; e
- c) incluir:
 - información geotécnica (véase el capítulo 5);
 - condiciones en que se encuentra la obra (por ejemplo, dimensiones, linderos, topografía, pendientes, acceso, limitaciones);
 - existencia, localización y condición de estructuras adyacentes (por ejemplo, edificios, carreteras, instalaciones o servicios), estructuras subterráneas y cimentaciones, restos arqueológicos, limitaciones en altura (por ejemplo, líneas eléctricas);
 - contaminación o riesgos que pueden afectar al método constructivo, a la seguridad laboral o a la retirada de obra del material excavado;
 - restricciones medioambientales (por ejemplo, sobre ruido, vibración o contaminación), así como cualquier restricción legal o estatutaria;
 - el proyecto y las especificaciones de la obra;
 - toda la información necesaria o significativa para la confección de los planos de trabajo y del método de ejecución (si fuere requerido);
 - experiencia previa en pilotes perforados u otro tipo de cimentaciones o trabajos subterráneos en la obra o adyacentes a la misma;
 - actividades simultáneas que pueden afectar a la obra (por ejemplo, descenso de la capa freática, túneles, excavaciones profundas);
 - especificaciones adicionales para la supervisión, el control o los ensayos durante los trabajos;
 - especificaciones funcionales para la estanquidad de juntas en pantallas de pilotes;
 - la localización de las principales líneas de replanteo.

4.2 Deberá establecerse la necesidad, el alcance, el procedimiento y la responsabilidad de todo control sobre el estado de estructuras, carreteras, servicios, etc. adyacentes a la zona de trabajo. El reconocimiento será realizado y estará disponible previamente al inicio de los trabajos.

4.3 Los trabajos de pilotes perforados se adecuarán a esta norma europea, siempre que hubieran sido observados los criterios y las especificaciones establecidas en los párrafos siguientes. Se establecerá un adecuado sistema de control de calidad para supervisión y control.

4.4 Toda especificación adicional o variante permitida en esta norma europea, será determinada y aprobada antes del comienzo de los trabajos y el sistema de control de calidad será adaptado adecuadamente.

EJEMPLOS: Tales especificaciones adicionales o variantes pueden ser:

- reducción o incremento de tolerancias geométricas de construcción;
- utilización de materiales de construcción diferentes o modificados;
- elementos de hormigón prefabricados;
- anclajes o conexiones especiales de los pilotes con la roca subyacente;
- armaduras especiales, como el empleo de tubos o perfiles de acero o de fibras metálicas;
- inyección de los fustes o de las bases de los pilotes;
- descabezado de pilotes con medios mecánicos;
- excavación manual significativa.

5 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

5.1 Generalidades

NOTA – Las Normas Europeas Experimentales ENV 1997-1, 3 y 7 y los documentos nacionales adecuados, son válidos para especificaciones generales sobre reconocimiento de terreno, hasta que las respectivas normas europeas no están disponibles. Las disposiciones de este capítulo contienen especificaciones y recomendaciones adicionales.

5.1.1 La profundidad del reconocimiento del terreno será suficiente para identificar todas las formaciones y estratos que afecten a la construcción, así como las propiedades de capacidad y de resistencia a la deformación del terreno.

5.1.2 La amplitud del reconocimiento será suficiente para determinar las propiedades características del terreno, de acuerdo con las especificaciones de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.

5.1.3 Si se emplearan categorías geotécnicas para la cimentación, tal y como se define en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1, las apropiadas serán las categorías 2 y 3.

5.1.4 Si se previeran dificultades en el mantenimiento de la estabilidad de la perforación de un pilote, se recomienda realizar una perforación de prueba de dimensiones significativas.

5.1.5 Para establecer la amplitud del reconocimiento, se tendrá en cuenta la experiencia relevante en la ejecución de obras de cimentación comparables realizadas en condiciones similares y/o en la proximidad de la obra.

5.1.6 Las experiencias significativas están permitidas como referencia, si se utilizan sistemas de verificación apropiados (por ejemplo, por medio de ensayos de penetración, presiómetro u otros ensayos).

5.1.7 El informe del reconocimiento del terreno deberá estar disponible así como todos los datos significativos conocidos que afecten a la elección del método de ejecución.

5.1.8 Los taladros se tendrán que rellenar adecuadamente en un grado tal que la posterior ejecución de pilotes, así como su comportamiento, no resulten afectados.

5.2 Especificaciones particulares

5.2.1 Además de la descripción geológica general y los detalles relacionados en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1, el informe del reconocimiento del terreno deberá contener la siguiente información:

- a) cota del terreno en cualquier punto del reconocimiento o del ensayo, con relación a la referencia nacional reconocida o a la referencia fija de replanteo;
- b) existencia y características de terrenos sueltos o blandos, susceptibles de ablandarse, soltarse o transformarse en inestables durante la excavación;
- c) existencia de formaciones de suelo o roca con propensión a la expansión;
- d) existencia de suelos gruesos, terrenos con estructura abierta (alta permeabilidad) o cavidades que pueden causar una pérdida de fluidos estabilizadores imprevista o un descenso repentino del hormigón durante su colocación;
- e) existencia de piedras y bolos u otras obstrucciones subterráneas que pueden dar origen a dificultades en la excavación o requerir el empleo de métodos o útiles especiales de penetración o remoción;
- f) espesor de cualquier estrato potencialmente resistente;
- g) existencia, extensión o espesor de cualquier estrato sensible a las filtraciones de agua o a los esfuerzos causados por los útiles de perforación (por ejemplo, impacto, percusión o vibración);
- h) niveles piezométricos de los acuíferos y sus variaciones, incluso capas freáticas artesianas;
- i) estratos subterráneos con corrientes de agua a alta velocidad;
- j) agresividad de acuíferos o terrenos que pueden afectar a las propiedades de un fluido estabilizador o del hormigón fresco o endurecido (véase la Norma Europea Experimental ENV 206);
- k) cota e inclinación de cualquier estrato rocoso subyacente relevante;
- l) espesor y extensión de cualquier roca meteorizada existente;
- m) tipo y calidad de roca, especialmente:
 - 1) resistencia;
 - 2) estado de alteración;
 - 3) cavidades;
 - 4) juntas abiertas o rellenas;
 - 5) zonas débiles;
- n) existencia, extensión, espesor y naturaleza de suelos o desechos contaminados, que pueden influir en la retirada del material excavado;
- o) explotación minera debajo de la obra;
- p) problemas de estabilidad del sitio de la obra.

5.2.2 El reconocimiento del terreno debe demostrar que, cuando se confía la capacidad portante en la base del pilote, cualquier estrato competente para la cimentación no tenga un estrato blando inmediatamente subyacente que pueda provocar un punzonamiento.

6 MATERIALES Y PRODUCTOS

6.1 Generalidades

6.1.1 Todos los materiales y productos a incorporar al pilote perforado tendrán que cumplir con las pertinentes normas europeas (o bien, con las normas nacionales a aplicar mientras no estén disponibles las respectivas normas europeas) y con las especificaciones de la obra.

6.1.2 Las fuentes de suministros de materiales tendrán que ser documentadas y no podrán ser cambiadas sin notificación previa.

6.1.3 Los materiales rechazados tendrán que ser retirados de la obra sin demora.

6.2 Materiales para hormigón y lechada

6.2.1 Cemento

6.2.1.1 El cemento para pilotes perforados tendrá que ser de los tipos siguientes, tal como se define en la Norma Europea Experimental ENV 197-1, 5.1:

- | | |
|---|---------------------------|
| – 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. |

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

6.2.1.3 No se utilizará cemento aluminoso.

6.2.1.4 Es preferible la utilización de cementos con adiciones (tipo II) porque se ha manifestado que éstas tienen efectos beneficiosos para el hormigón, tales como:

- mejora de la trabajabilidad;
- reducción de generación de calor durante el curado;
- mejora de la durabilidad.

6.2.2 Áridos

6.2.2.1 Los áridos tendrán que cumplir con el proyecto de Norma Europea prEN 12620 y la Norma Europea Experimental ENV 206, 4.2.

6.2.2.2 Las procedencias del suministro del material, la distribución de la granulometría de los áridos y sus tipologías minerales deberán ser aprobados antes del comienzo de los trabajos.

6.2.2.3 Es preferible el empleo de áridos redondeados cuando la colocación del hormigón se realiza por medio de tubo-*tremie*.

6.2.2.4 El tamaño máximo del árido no excederá de 32 mm. o de $\frac{1}{4}$ de la separación entre barras longitudinales, debiéndose elegir la menor de ambas dimensiones.

6.2.2.5 El árido expuesto a heladas será calentado, de forma que no entren en la mezcla adherencias de hielo o escarcha.

6.2.3 Agua

6.2.3.1 El agua para la mezcla deberá cumplir con lo expuesto en el proyecto de Norma Europea prEN 1008 y la Norma Europea Experimental ENV 206, 4.3.

6.2.3.2 En caso de temperaturas ambientales altas, el agua podrá refrigerarse o sustituirse, hasta un 50% de su peso, mediante trozos de hielo para refrigerar el hormigón fresco.

6.2.4 Aditivos y adiciones

6.2.4.1 Los aditivos y las adiciones deberán cumplir con lo expuesto en la Norma Europea Experimental ENV 206, 4.4 y 4.5.

6.2.4.2 Hasta tanto las específicas normas europeas respectivas no estén disponibles, el empleo de aditivos o adiciones deberá ajustarse a las normas nacionales y/o las regulaciones en vigor en la zona de empleo del hormigón.

6.2.4.3 Los aditivos y adiciones tendrán que ser conformes al documento en que se aprueba su empleo y a las instrucciones del fabricante.

6.2.4.4 Para garantizar las propiedades del hormigón y la calidad requerida en el proceso de colocación, pueden emplearse los aditivos siguientes:

- aditivos reductores del contenido de agua/plastificantes,
- aditivos altamente reductores del contenido de agua/superplastificantes; y
- aditivos retardadores de fraguado.

6.2.4.5 La mezcla y el uso al cual se destina el hormigón, y el aditivo o adición específico, tendrán que ser compatibles.

6.2.4.6 Los aditivos y las adiciones pueden ser empleados para

- dar una alta plasticidad a la mezcla;
- evitar exudación, porosidad o segregación que, de otra manera, podrían producirse debido a un alto contenido de agua;
- prolongar la trabajabilidad en la medida requerida por la duración del vertido; y
- prever cualquier interrupción en el proceso de vertido.

NOTA – Un empleo inapropiado de aditivos o adiciones puede traducirse en daños.

6.2.4.7 Las proporciones de aditivos y adiciones tendrán que ser notificadas antes de la preparación de cualquier mezcla de hormigón.

6.2.4.8 Cuando la construcción de los pilotes se realiza en clima frío y el terreno que circunda la parte superior del pilote tiene que ser excavado después del hormigonado, se pueden emplear, en el hormigón, aditivos oclusores de aire para la parte de pilote expuesta a la acción de las heladas.

6.3 Hormigón

6.3.1 Generalidades

6.3.1.1 Si no se especifica lo contrario en esta norma europea, la composición de la mezcla del hormigón para pilotes perforados se ajustará a la Norma Europea Experimental ENV 206.

6.3.1.2 Si no se especifica lo contrario, la clase de resistencia de proyecto del hormigón para pilotes perforados estará comprendida entre C 20/25 y C 30/37, con dosificación e intervalos de consistencia acordes a las tablas 1 y 2.

6.3.1.3 Está permitido emplear hormigón con clase de resistencia más baja o mortero para pilotes primarios en pantallas de pilotes (véase la figura 6).

6.3.1.4 Se puede emplear un hormigón de resistencia más elevada, siempre y cuando esté especificado en proyecto y sea compatible con las condiciones del terreno y con el proceso constructivo.

6.3.1.5 El hormigón de los pilotes deberá poseer:

- alta capacidad de resistencia contra la segregación;
- alta plasticidad y buena cohesión;
- buena fluidez;
- capacidad de autocompactación; y
- suficiente trabajabilidad durante la duración del proceso de vertido, incluida la retirada, en su caso, de entubados provisionales.

Tabla 1
Dosificaciones de amasado

Contenido de cemento:	
– vertido en seco	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
– hormigonado sumergido	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Relación agua-cemento (A/C)	$< 0,6$
Contenido de finos $d < 0,125 \text{ mm}$ (cemento incluido)	
– árido grueso $d > 8 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
– árido grueso $d \leq 8 \text{ mm}$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Tabla 2
Consistencia del hormigón en diferentes condiciones

Diámetros de flujo en mesa de sacudidas mm	Asientos en cono de Abrams mm	Condiciones típicas de uso (ejemplos)
$460 \leq \varnothing \leq 530$	$130 \leq H \leq 180$	– hormigón vertido en seco
$530 \leq \varnothing \leq 600$	$H \geq 160$	– hormigón bombeado o bien – hormigón sumergido, vertido bajo agua con tubo- <i>tremie</i>
$570 \leq \varnothing \leq 630$	$H \geq 180$	– hormigón sumergido, vertido bajo fluido esta- bilizador con tubo- <i>tremie</i>
NOTA – Los valores medidos del asiento (H) o del diámetro de flujo (\varnothing) tienen que ser redondeadas a los 10 mm.		

6.3.1.6 En el caso de que las dosificaciones de amasado y los valores de consistencia establecidos en las tablas 1 y 2 no den una mezcla de alta densidad, está permitido ajustar el contenido de cemento y la consistencia.

6.3.1.7 Se proporcionará una adecuada protección contra la agresividad del suelo y/o de los acuíferos, por ejemplo, a través del diseño de la mezcla o de camisas perdidas.

NOTA – a) El solo diseño de la mezcla puede no resultar protección suficiente en caso de condiciones particularmente severas de aguas subterráneas o de terrenos.

b) Terreno y agua contaminadas pueden constituir un riesgo adicional (por ejemplo, influencia retardante o cambios en la estructura del hormigón debidos a presencia de metales pesados).

6.3.1.8 Una protección eficaz para el hormigón fresco contra corrientes subterráneas rápidas susceptibles de provocar un efecto de lavado, puede ser obtenida mediante tuberías o camisas perdidas.

6.3.2 Mezclado

6.3.2.1 Las especificaciones generales para el mezclado y la precisión en la dosificación de los materiales tendrán que ser conformes a la Norma Europea Experimental ENV 206, 9.

6.3.2.2 Puede emplearse tanto hormigón premezclado como hormigón mezclado en obra.

6.3.2.3 Si no se especificara lo contrario, se prepararán 3 amasadas diferentes de hormigón para las mezclas de prueba.

6.3.2.4 De cada una de ellas se prepararán 6 probetas cúbicas o cilíndricas, de las cuales 2 se someterán a ensayos a los 7 días, otras 2 a los 28 días y se reservarán 2 para cualquier prueba ulterior hasta que se conozcan los resultados de los ensayos a los 28 días y el hormigón haya sido aceptado.

6.3.2.5 Está prohibida la adición de agua al hormigón premezclado, a menos que estuviera indicada para permitir el correcto mezclado de aditivos o adiciones inmediatamente antes del vertido. La relación agua-cemento del proyecto tendrá que ser mantenida.

6.3.3 Toma de muestras y ensayos

6.3.3.1 A menos que se pueda demostrar que el empleo de mezclas de las mismas características y en las mismas condiciones hayan sido conformes con las especificaciones para usos similares, será preciso preparar mezclas preliminares de prueba antes del inicio del hormigonado, preferiblemente en condiciones de producción a escala real. Si no fuera posible, los ensayos tendrán que ser realizadas en un laboratorio acreditado. Las pruebas deberán contener un número suficiente de muestras y ser representativas de los áridos y del cemento que se utilizarán en la construcción de los pilotes.

6.3.3.2 Toda toma de muestra y ensayo del hormigón fresco se realizará de conformidad con la Norma Europea Experimental ENV 206. Además serán de aplicación las especificaciones adicionales que se indican a continuación.

6.3.3.3 El número mínimo de probetas cúbicas o cilíndricas es de cuatro.

6.3.3.4 La toma de muestras del hormigón en obra para ensayo a compresión se realizará de la siguiente manera:

- a) una muestra por cada uno de los tres primeros pilotes de la obra;
- b) en las siguiente, una muestra cada cinco pilotes (cada 15 pilotes si el volumen por unidad fuera igual o menor de 4 m³);
- c) dos muestras adicionales después de interrupciones de los trabajos superiores a los 7 días;
- d) una muestra cada 75 m³ de hormigón vertido en el mismo día; y
- e) al menos una muestra por cada pilote hormigonado cuyos esfuerzos requieran el uso de hormigón de clase C35/45 o superior.

6.3.3.5 Si el hormigón se confeccionara con un sistema continuo y certificado de aseguramiento de calidad, es posible acordar condiciones de toma de muestras de hormigón diferentes.

6.3.3.6 En casos especiales se pueden requerir tomas de muestras y ensayos adicionales.

EJEMPLOS:

- pilotes resistentes por punta en roca;
- pilotes aislados;
- pilotes sometidos a fuertes esfuerzos a flexión.

6.3.3.7 La frecuencia de los ensayos de

- consistencia;
- temperatura del hormigón; y
- tiempo de trabajabilidad

serán conformes con lo expuesto en la tabla 10.

6.3.3.8 Se tendrán partes completos de todos los ensayos realizados. Los resultados se anotarán en el parte de hormigonado.

6.4 Lechada

6.4.1 Mientras no estén disponibles las respectivas normas europeas, las lechadas de cemento-bentonita o cualquier otra, serán preparadas, mantenidas y controladas de conformidad con las respectivas normas nacionales, o, si éstas no fueran aplicables, con cualquier otro proceso aprobado.

6.4.2 La composición de la lechada, la técnica de inyección y el proceso, serán diseñados y realizados en función de su aplicación (por ejemplo, inyección exterior en torno a elementos prefabricados, inyecciones de base o fuste) y de las características del terreno.

6.4.3 Para elegir el tipo de cemento para una lechada que haya de estar en contacto con el terreno, se tendrá en cuenta la presencia, conocida o posible, de sustancias agresivas.

6.4.4 La relación agua/cemento será la adecuada para las características reales del terreno.

NOTA – La relación agua/cemento varía normalmente entre 0,40 y 0,55 o más, si se estima conveniente.

6.4.5 Pueden emplearse aditivos para confeccionar una lechada con bajo índice de exudación, adecuada para bombeo.

6.5 Fluidos estabilizadores

6.5.1 Generalidades

6.5.1.2 Los fluidos estabilizadores o lodos de perforación son una suspensión. Se diferencian en:

- suspensiones bentoníticas;
- suspensiones poliméricas; u
- otras suspensiones.

6.5.1.2 Los lodos se prepararán mediante suspensión en agua de las respectivas partículas, con o sin empleo de aditivos.

6.5.2 Suspensiones bentoníticas

6.5.2.1 La preparación, el mantenimiento y el control de las suspensiones bentoníticas tendrá que ser de conformidad con la Norma Europea EN 1538, salvo indicación en contrario en los párrafos siguientes de este apartado 6.5.2.

6.5.2.2 Las propiedades de las suspensiones bentoníticas frescas, preparadas para la reutilización y antes del hormigonado, estarán de conformidad con lo expuesto en la tabla 3.

Tabla 3
Características de las suspensiones bentoníticas

	Unidad	Suspensión		
		Fresca	Preparada para reutilización	Antes de hormigonar
Densidad	g/cm ³	< 1,10	–	< 1,15
Embudo de Marsh	seg	32 a 50	32 a 60	32 a 50
Pérdida de fluido	cm ³	< 30	< 50	–
pH		7 a 11	7 a 12	–
Contenido de arena	% (masa)	–	–	< 4
– este símbolo indica que no hay especificaciones.				

6.5.2.3 Los procesos de ensayo para las suspensiones bentoníticas se harán de conformidad con la Norma Europea EN 1538.

6.5.2.4 En la etapa previa al hormigonado, está permitido un valor de la densidad de hasta 1,20 g/cm³ en casos especiales, como en agua salada o lodo denso.

6.5.2.5 En la etapa previa al hormigonado, está permitido un contenido de arena del 6% en casos especiales, como pilotes por rozamiento o sin armadura.

6.5.2.6 Si la suspensión bentonítica es usada también como medio de arrastre del material excavado durante el proceso de excavación, están permitidas densidades superiores para el lodo preparado para reutilizar.

6.5.3 Polímeros y otras suspensiones

6.5.3.1 Pueden emplearse como fluidos estabilizadores otras suspensiones o lodos de perforación que contengan por ejemplo:

- polímeros;
- polímeros con bentonita como aditivo;
- otras arcillas;

partiendo de la experiencia obtenida de:

- casos previos en condiciones geotécnicas comparables o más desfavorables; o
- excavaciones de prueba en obra a escala real.

6.5.3.2 Mientras no estén disponibles las respectivas normas europeas, la preparación, el mantenimiento y el control de las suspensiones, se realizarán de acuerdo con las respectivas normas o especificaciones nacionales, o, si éstas no fueran de aplicación, con las instrucciones del fabricante.

6.6 Acero

6.6.1 Los redondos, mallazos, tubos o perfiles de acero que se empleen para armar los pilotes, serán de conformidad con la Norma Europea Experimental ENV 10080, y las Normas Europeas EN 10210-1 y EN 10025.

6.6.2 Para elegir el tipo y el grado del acero, se prestará atención especial al montaje de las jaulas y a las especificaciones sobre soldadura.

6.6.3 Si para armar los pilotes se usaran tubos o perfiles de acero, su diseño se ajustará a la Norma Europea Experimental ENV 1994-1-1.

6.6.4 Si los pilotes se construyen bajo fluidos estabilizadores, no está permitido el uso de otros elementos metálicos, como tubos para ensayos sónicos, en acero galvanizado u otra protección sin precauciones especiales, por entrañar el riesgo de:

- una acumulación de *cake* por efectos electrolíticos; o
- problemas de corrosión electroquímica en las armaduras.

7 CONSIDERACIONES CONCERNIENTES AL PROYECTO

7.1 Generalidades

7.1.1 Las normas europeas básicas para el diseño de pilotes perforados serán:

- ENV 1991-1 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.

- ENV 1992-1-1 – Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
- ENV 1994-1-1 – Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
- ENV 1997-1 – Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1 : Reglas generales.

NOTA – El capítulo 7 se refiere a materias ligadas a la ejecución de pilotes perforados y que pueden afectar al diseño.

7.1.2 El diseño puede estar afectado por:

- las necesidades específicas de la obra tal y como se indica en el capítulo 4;
- el reconocimiento del terreno según lo descrito en el capítulo 5; y/o
- las especificaciones sobre materiales según se establece en el capítulo 6.

7.1.3 El diseño tendrá en cuenta:

- las tolerancias geométricas de construcción y
- las condiciones de ejecución

según se indica en el apartado 7.2 y en el capítulo 8.

7.1.4 Un pilote perforado puede ser diseñado como un elemento de hormigón en masa, si:

- las acciones de proyecto y/o
- las acciones impuestas por la construcción y/o
- las acciones resultantes del terreno atravesado

sólo producen esfuerzos a compresión en el pilote, y si

- la cimentación por pilotes no está situada en zona sísmica.

7.1.5 Se recomienda armar la cabeza de los pilotes en hormigón en masa, en previsión de cargas accidentales (por ejemplo, los que pueden resultar de los trabajos de construcción en la obra).

7.1.6 En suelos blandos y salvo especificación en contrario, los pilotes deberán ser armados en toda su longitud.

7.1.7 Los pilotes diseñados para recibir esfuerzos a flexión, serán dotados de armadura.

7.1.8 Los pilotes sometidos a esfuerzos de tracción, serán dotados de armadura en toda su longitud.

7.1.9 Si no hubiera especificaciones de armadura en el proyecto, se deberían disponer barras de espera en la cabeza del pilote para la conexión con la superestructura.

NOTA – Los ensanchamientos de la base de los pilotes se construyen normalmente sin armadura complementaria a la especificada, de existir, para el fuste.

7.1.10 Cuando las jaulas de armadura se instalan después del vertido del hormigón, puede resultar necesario un diseño especial y rígido de las mismas.

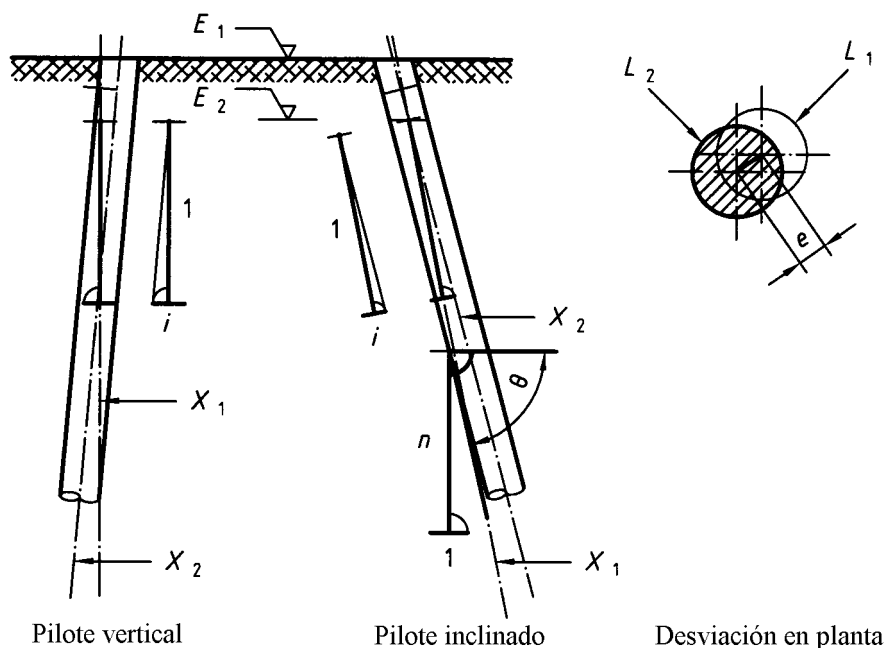
7.2 Tolerancias geométricas de construcción

7.2.1 Los pilotes serán construidos con las siguientes tolerancias geométricas:

- situación en planta de pilotes verticales e inclinados referida a la cota de trabajo:
 $e \leq e_{max} = 0,10$ m para pilotes de: $D \leq 1,0$ m;
 $e \leq e_{max} = 0,1 \times D$ para pilotes de: $1,0 \text{ m} < D \leq 1,5$ m;
 $e \leq e_{max} = 0,15$ m para pilotes de: $D > 1,5$ m;
- desviación de pilotes verticales o desviación de pilotes inclinados con inclinación $n \geq 15$ ($\theta \geq 86^\circ$):
 $i \leq i_{max} = 0,02$ (0,02 m/m);
- desviación de la inclinación para pilote con inclinación entre $4 \leq n < 15$ ($76^\circ \leq \theta < 86^\circ$):
 $i \leq i_{max} = 0,04$ (0,04 m/m);
- desviación en planta de ejes de ensanchamientos en relación con el eje del pilote:
 $e \leq e_{max} = 0,1 \times D$

(véase la figura 8).

NOTA – A fines de control de desviaciones de construcción, se considera como centro del pilote, el punto central de las armaduras longitudinales o bien, en caso de pilotes sin armadura, el centro del círculo más grande que puede ser inscrito en la sección a la cota de la cabeza del pilote.



E1:	Cota de plataforma de trabajo	L1:	Situación de proyecto
E2:	Cota de descabezado	L2:	Situación real
X1:	Eje de proyecto	e:	Desviación en planta medida en cota de la plataforma de trabajo
X2:	Eje real		
i:	Tangente del ángulo de desviación (entre ejes de pilote de proyecto y real)		
n:	Inclinación del eje de proyecto respecto a la horizontal		
θ:	Ángulo del eje de proyecto respecto a la horizontal		

Fig. 8 – Definición de tolerancias geométricas de construcción

7.2.2 Si se especificaran o se permitieran tolerancias diferentes a las indicadas por causa de:

- exigencias de construcción;
- características del terreno;
- material de perforación disponible; o
- cota de descabezado muy profunda,

éstas deberán ser aprobadas previamente al comienzo de la obra.

7.3 Pilotes que forman un muro-pantalla

7.3.1 Los pilotes que forman un muro-pantalla pueden diseñarse para resistir esfuerzos axiales y/o laterales (por ejemplo, en el caso de pantallas para contención de terreno o agua o para recalces).

7.3.2 Las tolerancias geométricas de construcción, para pilotes que forman un muro-pantalla, pueden ser más estrictas que los valores indicados en el apartado 7.2.1, sobre todo en los casos en que se exige estanquidad al agua o al suelo.

7.3.3 En las pantallas se especificarán, la inclinación, la separación, las tolerancias geométricas de construcción, el solape y la exigencia de estanquidad de las juntas.

7.3.4 La inclinación de una pantalla tendrá que ser $n \geq 8$ ($\theta \geq 83^\circ$) (véase la figura 4).

7.4 Excavación

7.4.1 En el caso de pilotes que tengan que ser empotrados en un estrato resistente o en roca, el proyecto especificará la forma, la profundidad mínima de penetración y la calidad del material en donde haya que realizarse el empotramiento.

7.4.2 El proyectista tendrá que estar informado si las condiciones del terreno difieren de las especificadas en proyecto, con el fin de que se tomen las decisiones apropiadas para que el pilote o la cimentación tengan la capacidad portante requerida.

7.4.3 Los pilotes a compresión no se apoyarán sobre obstáculos a menos que:

- se demuestre una capacidad portante suficiente;
- se obtenga un contacto total de superficies y
- se logre un comportamiento ante la deformación similar al de los pilotes adyacentes.

7.4.4 Si el pilote encuentra un obstáculo impenetrable antes de alcanzar la profundidad de proyecto, se revisará el diseño a la luz de la información disponible sobre dicho obstáculo.

NOTA – En este caso, es posible que sean necesarios pilotes adicionales o suplementarios, de prestaciones equivalentes.

7.4.5 Solo se proyectarán ensanchamientos de la base o del fuste cuando la configuración requerida pueda ser realizada de forma controlada, y que se pueda comprobar con los métodos adecuados.

7.4.6 No se prescribirán ensanchamientos de la base en terrenos inestable tales como:

- arenas sueltas;
- arenas uniformes por debajo del nivel freático;
- arcillas blandas o sensibles.

7.4.7 Se prescribirán ensanchamientos de fuste sólo para pilotes verticales en terreno estable.

7.5 Elementos prefabricados de hormigón

7.5.1 El diseño, la ejecución y la supervisión de elementos prefabricados de hormigón serán de conformidad con las Normas Europeas Experimentales ENV 1992-1-1 y ENV 1994-1-1.

7.5.2 El diseño deberá tener en cuenta las circunstancias de manipulación, transporte e instalación. Cualquier restricción deberá ser indicada sobre el elemento mismo.

7.5.3 El recubrimiento de hormigón tendrá en cuenta las especificaciones de las condiciones ambientales correspondientes.

7.6 Armaduras

7.6.1 Generalidades

7.6.1.1 Las barras de espera o los conectores colocados en el hormigón fresco para la conexión con la superestructura, tendrán que ser de conformidad con la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

7.6.1.2 Si se emplean tubos o perfiles de acero como armadura de pilotes, su diseño será conforme a la Norma Europea Experimental ENV 1994-1-1.

7.6.1.3 En el diseño se tendrá en cuenta la corrosión cuando se utiliza una armadura consistente en una tubería de acero o en un entubado permanente, a menos que la protección contra la corrosión en toda su superficie se garantice por medio de un recubrimiento suficiente de hormigón o de lechada u otras medidas de protección.

7.6.1.4 Los planos de trabajo detallarán todas las medidas necesarias para dotar de rigidez a las jaulas.

7.6.2 Armadura longitudinal

7.6.2.1 Cuando se emplee como lodo estabilizador una suspensión de

- bentonita
- arcilla o
- polímero

sólo se utilizarán barras en acero corrugado para la armadura principal.

7.6.2.2 A menos que se especifique en contrario en el proyecto y siempre y cuando se requiera armadura, la cantidad mínima de armadura longitudinal tendrá que ajustarse a lo indicado en la tabla 4.

Tabla 4
Armadura longitudinal mínima

Sección transversal del pilote: A_c	Área de la armadura longitudinal: A_s
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,5\% A_c$
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,25\% A_c$

7.6.2.3 La armadura longitudinal mínima será de cuatro barras de diámetro igual o superior a 12 mm.

7.6.2.4 La separación entre barras longitudinales tendrá que ser siempre la máxima posible para permitir un flujo adecuado del hormigón, pero no deberá exceder los 400 mm.

7.6.2.5 La distancia mínima libre entre barras longitudinales o haces de barras de una hilada no podrá ser inferior a 100 mm.

7.6.2.6 La distancia mínima libre entre barras longitudinales o haces de barras de una hilada podrá ser reducida a 80 mm cuando se empleen áridos de $d \leq 20$ mm.

7.6.2.7 Siempre y cuando sea posible, se deberían evitar hiladas concéntricas de barras longitudinales.

7.6.2.8 Cuando se emplean hiladas concéntricas de barras longitudinales

- el máximo número permitido de ellas será de dos para pilotes perforados circulares;
- las barras que componen las mismas se colocarán radialmente las unas detrás de las otras y
- la distancia libre mínima entre hiladas será igual a la dimensión superior de 2 veces el diámetro de las barras ó 1,5 veces el tamaño del árido.

7.6.2.9 Está permitido reducir estas separaciones en los solapes entre barras.

7.6.2.10 Si las barras longitudinales no están espaciadas uniformemente, se adoptarán precauciones especiales para conservar el posicionamiento de la armadura durante la instalación y el hormigonado.

7.6.3 Armadura transversal

7.6.3.1 La armadura transversal se proyectará conforme a lo dispuesto en la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

7.6.3.2 Los diámetros de la armadura transversal deberían ajustarse a lo indicado en la tabla 5.

Tabla 5
Diámetros recomendado para la armadura transversal

Armadura en estribos, aros o helicoidal	≥ 6 mm y \geq una cuarta parte del diámetro máximo de las barras longitudinales
Armadura transversal de mallazo soldado	≥ 5 mm

7.6.3.3 La separación mínima de los redondos transversales no deberá ser inferior a la separación establecida en el apartado 7.6.2 para la armadura principal.

7.6.3.4 Cuando el esfuerzo cortante en un pilote excede en 0,5 veces a la resistencia al corte del hormigón, se colocará armadura transversal de acuerdo con el código de práctica adecuado.

7.6.3.5 Las barras longitudinales o los haces de barras colocados en una esquina de una jaula de armadura deberían ir fijados a la armadura transversal.

7.6.3.6 Los aros de rigidización u otros soportes para el montaje de jaulas de armadura, pueden ser considerados como parte de la armadura transversal solamente cuando estén adecuadamente conectados a las barras longitudinales.

7.6.4 Recubrimiento de hormigón

7.6.4.1 El recubrimiento de toda la armadura de pilotes moldeados in situ deberá cumplir con la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 y, salvo especificación en contrario, no será inferior a:

- 60 mm para pilotes de $D > 0,6$ m; o
- 50 mm para pilotes de $D \leq 0,6$ m.

7.6.4.2 El recubrimiento mínimo podrá ser incrementado a 75 mm cuando:

- los pilotes penetran en un terreno blando y se construyen sin tubería de revestimiento;
- las condiciones ambientales sean de clase 5 según define la Norma Europea Experimental ENV 206;
- se realice hormigonado sumergido con áridos de 32 mm de tamaño máximo;
- se coloque la armadura después del hormigonado o
- la superficie de las paredes de la perforación sea irregular.

7.6.4.3 En caso de usar tubería o encamisado permanente, el recubrimiento de hormigón puede reducirse a 40 mm respecto a la cara exterior de éstos.

7.6.5 Armadura mediante tubos y perfiles

7.6.5.1 El diseño de tubos y perfiles como armado especial se ajustará a la Norma Europea Experimental ENV 1994-1-1.

7.6.5.2 El valor de proyecto del esfuerzo de adherencia entre el hormigón y el elemento empotrado será aprobado previamente al comienzo de la obra y el recubrimiento de hormigón o su espesor serán especificados en los documentos de proyecto.

7.6.5.3 Para este propósito, se pueden requerir ensayos en obra o en laboratorio.

7.6.5.4 Se establecerá un procedimiento de colocación para mantener el alineamiento de la armadura especial con el eje del pilote y permitir el correcto recubrimiento de hormigón en toda su longitud.

8 EJECUCIÓN

8.1 Excavación

8.1.1 Generalidades

8.1.1.1 Durante la construcción de pilotes perforados, se tomarán medidas para prevenir entradas incontroladas de agua y/o terreno en la perforación.

NOTA 1 – La entrada de agua y/o terreno puede ser causa, por ejemplo, de:

- alteración o inestabilidad del estrato resistente o del terreno circundante;
- pérdida de capacidad portante por la remoción de terreno de debajo de cimentaciones adyacentes;
- cavidades inestables fuera del pilote;
- daños al hormigón no endurecido del pilote o pilotes ejecutados recientemente en el entorno;
- coqueras en el fuste durante el hormigonado;
- lavado del cemento.

NOTA 2 – Se incrementan los riesgos en:

- terrenos granulares sueltos;
- terrenos blandos cohesivos o
- en terrenos de tipo variable.

8.1.1.2 En terrenos susceptibles de fluir dentro de la perforación del pilote o cuando existen riesgos de colapso, se emplearán medios de contención para asegurar la estabilidad y prevenir entradas incontroladas de terreno y agua.

EJEMPLO: Los medios habituales para contener la perforación de un pilote, son

- entubados;
- lodos estabilizadores;
- aletas de la hélice rellenas de suelo.

8.1.1.3 Los pilotes se perforarán hasta alcanzar

- el estrato resistente especificado o
- la cota prevista de cimentación.

y deberán empotrarse en el material de cimentación donde y como esté especificado en proyecto.

8.1.1.4 En casos de

- estratificaciones desfavorables de las capas portantes;
- de cimentaciones en roca o
- superficies inclinadas de los estratos portantes

la excavación tendrá que ser continuada hasta obtener un contacto total de la superficie con la capa portante.

8.1.1.5 En caso de superficie inclinada del lecho rocoso, el fondo de la excavación tendría que ser nivelado para fijar la base del pilote y evitar el deslizamiento del mismo.

NOTA 1 – En caso de superficie de roca con fuerte pendiente u otra estratificación desfavorable, puede resultar necesaria una perforación más profunda o dotar a la base de los pilotes de anclajes de fijación.

NOTA 2 – Puede ser preciso hincar un entubado hasta el contacto total con la roca y sellarlo a la misma.

8.1.1.6 Si las condiciones reales del terreno difirieran de las previstas en proyecto, se tomarán las medidas adecuadas de acuerdo con el proyectista.

8.1.1.7 Las excavaciones, una vez terminadas, se dejarán abiertas solamente el tiempo necesario para permitir

- la limpieza y/o el desarenado;
- la realización de los controles; y
- la colocación de la armadura, en su caso.

8.1.1.8 Cuando los pilotes se construyen en terreno susceptible de deteriorarse con el tiempo y no es posible terminar el pilote para el final de la jornada de trabajo, la perforación se parará en un nivel por encima del fondo previsto equivalente a

- al menos dos veces el diámetro del fuste; y
- no inferior a 1,5 m

de manera que se alcance el fondo previsto en la siguiente jornada de trabajo, inmediatamente antes del hormigonado.

8.1.1.9 Si la perforación de un pilote encuentra un obstáculo impenetrable antes de alcanzar la profundidad de proyecto, el proyectista deberá ser informado de las actuaciones adicionales para continuar el trabajo.

8.1.1.10 No se permitirá el uso de explosivos para

- la remoción de obstáculos o
- para empotrar los pilotes en el lecho rocoso,

a menos que no se produzcan daños a pilotes o estructuras cercanas.

8.1.1.11 La secuencia constructiva de los pilotes será tal que no provoque daños a los pilotes cercanos.

8.1.1.12 Los suelos alterados, los detritus o cualquier otro material que pudiera afectar al comportamiento del pilote, serán retirados del fondo previamente al vertido del hormigón (limpieza de bases).

8.1.2 Técnicas de ejecución y herramientas

NOTA 1 – Los pilotes pueden ser perforados siguiendo un proceso discontinuo o continuo:

- a) los útiles para la excavación discontinua son, por ejemplo: cucharas, almejas, hélices, cazos de perforación y trépanos (véanse las figuras A.3 a A.6);
- b) los útiles para la excavación continua son, por ejemplo: hélices, herramientas a rotación o percusión combinadas con hélices o fluidos para la extracción del suelo (véanse las figuras A.7 a A.9).

8.1.2.1 Para contener las paredes de la excavación, puede ser necesario el empleo de

- entubados provisionales o permanentes;
- lodos estabilizadores; o
- aletas de una hélice continua hueca rellenas de suelo.

8.1.2.2 El tipo de herramienta de perforación será

- apropiado para el terreno existente, la roca, las condiciones hidráulicas y las demás características del entorno;
- seleccionado de forma que se evite la descompresión del material situado en torno a la perforación y por debajo de su base; y
- permitirá una perforación rápida.

8.1.2.3 Puede resultar necesario cambiar el método o la herramienta empleada, para cumplir con las especificaciones.

8.1.2.4 Para la limpieza de bases pueden emplearse herramientas y/o técnicas especiales, diferentes a las usadas para la excavación.

8.1.2.5 En caso de que exista agua o lodo estabilizador dentro de la perforación, las herramientas elegidas y el uso de las mismas no deberán afectar a su estabilidad.

NOTA – Puede presentarse un efecto émbolo que afecte negativamente a la estabilidad de las paredes de la excavación, por lo cual debe controlarse adecuadamente la velocidad de trabajo de la herramienta.

8.1.3 Perforaciones entubadas

8.1.3.1 Los pilotes inclinados deberán entubarse en toda su longitud si su inclinación es: $n \leq 15$ ($\Theta \leq 86^\circ$), salvo que se pueda demostrar que las perforaciones sin entubar serán estables (véase la figura 4).

8.1.3.2 Los entubados pueden ser instalados durante el proceso de perforación utilizando:

- equipos de oscilación; o
- de rotación;

o pueden ser hincados previamente a la perforación utilizando:

- martillos de hincá; o
- vibradores u otros medios.

8.1.3.3 A menos que los entubados tengan que ser permanentes, éstos serán de tal manera que permitan su instalación y extracción, con seguridad, durante y después del hormigonado.

8.1.3.4 Con esta finalidad

- los entubados serán cilíndricos y carentes de distorsiones longitudinales o en diámetro significativas;
- los entubados serán diseñados para resistir la presión externa y los esfuerzos de colocación y extracción;
- los entubados recuperables carecerán de abolladuras internas significativas o incrustaciones de hormigón;
- las juntas del entubado permitirán, sin distorsiones apreciables, las transferencias de esfuerzos longitudinales y de momentos torsores.

8.1.3.5 El anillo de corte situado en el pie del entubado sobresaldrá lo mínimo posible, pero será suficiente para asegurar la instalación y la extracción del entubado (véase la figura A.2).

8.1.3.6 Cuando un pilote se perfora

- por debajo del nivel freático en terreno permeable; o
- en presencia de aguas artesianas,

se dispondrá, dentro del entubado, una sobrepresión interna por medio de agua u otro líquido adecuado, no inferior a 1,0 m y que será mantenida hasta tanto el pilote haya sido hormigonado.

8.1.3.7 La sobrepresión puede ser reducida si

- si la perforación se realiza con un avance del entubado suficiente; o
- si la altura necesaria de hormigón se mantiene durante el hormigonado.

8.1.3.8 En terrenos inestables el entubado será colocado en avance respecto a la perforación.

8.1.3.9 El avance respecto a la perforación se ajustará para adaptarse a las condiciones del terreno y a las condiciones hidráulicas.

NOTA – Es necesario hincar el entubado antes de la perforación para prevenir la entrada de material, así como alteraciones debajo de la base del pilote que pueden afectar al comportamiento del mismo. La formación de cavidades fuera del entubado pueden entrañar riesgos para la integridad de un pilote hormigonado si y cuando se extrae el entubado (estrechamiento). Las zonas descomprimidas pueden incluso desplazarse hasta la superficie y provocar fenómenos de subsidencia.

8.1.3.10 Si se prevé inestabilidad en el fondo de la perforación, se incrementará la longitud de entubado antes de la misma o la sobrepresión interna.

8.1.3.11 El entubado recuperable no deberá ser instalado en perforaciones previas estabilizadas con lodos de contención, salvo que se adopten precauciones especiales para evitar la contaminación del hormigón a causa de aquel lodo.

NOTA – En caso contrario podrían formarse bolsas confinadas de lodo en el exterior del entubado, que podrían contaminar el hormigón durante el proceso de hormigonado.

8.1.4 Excavaciones contenidas mediante lodos estabilizadores

8.1.4.1 Las propiedades de un lodo estabilizador estarán de acuerdo con lo expuesto en el apartado 6.5.

8.1.4.2 El lodo tendrá que ser parcial o totalmente sustituido si una de sus propiedades estuviera fuera de lo especificado en la tabla 3.

8.1.4.3 El lodo recuperado durante la excavación o durante el vertido de hormigón puede ser reutilizado, después de un proceso adecuado.

8.1.4.4 La parte superior de la excavación se protegerá mediante emboquillado o murete-guía para

- guiar la herramienta de perforación;
- proteger la perforación contra el derrumbamiento de terrenos superiores sueltos; y
- para la seguridad del personal de la obra.

8.1.4.5 El nivel del lodo será tal que en todo momento proporcione una presión interna suficiente para mantener la estabilidad de las paredes y evitar una migración de partículas de suelo dentro de la perforación.

8.1.4.6 En todo momento, durante la perforación o el hormigonado, el nivel del lodo estabilizador se mantendrá

- dentro del emboquillado o el murete-guía y
- al menos 1,5 m por encima del nivel freático.

8.1.4.7 La altura del lodo puede ser reducida, basándose en experiencias o cálculos.

8.1.4.8 Se dispondrá siempre de un adecuado suministro de lodo, así como de una reserva suficiente para el consumo normal y para prevenir cualquier pérdida potencial de suspensión dentro del terreno.

NOTA – En caso de fuga imprevista de lodo fuera de la excavación, puede ser necesario rellenar de nuevo la misma.

8.1.4.9 La velocidad operativa de la herramienta tendrá que ser controlada y ajustada en lo necesario con el objeto de evitar el “efecto émbolo” que puede afectar a la estabilidad de la perforación.

8.1.4.10 Los lodos estabilizadores no deberían utilizarse como contención de perforaciones de pilotes inclinados con inclinación de $n \leq 15$ ($\theta \leq 86^\circ$), a menos que se adopten precauciones especiales en la instalación de la armadura y el vertido del hormigón.

8.1.5 Perforación con hélice continua

8.1.5.1 Los pilotes pueden perforarse, sin necesidad de otros medios de contención de la perforación, usando una hélice continua de tal manera que la estabilidad de la perforación está proporcionada por el material contenido en las aletas.

8.1.5.2 Los pilotes de hélice continuas no podrán ejecutarse con inclinaciones de $n \leq 10$ ($\Theta \leq 84^\circ$), a menos que se tomen medidas para controlar el direccionado de la perforación y la colocación de la armadura.

8.1.5.3 La perforación con hélice continua se llevará a cabo lo más rápidamente posible y con el menor número de rotaciones de la hélice, con el fin de minimizar los efectos en el terreno circundante.

8.1.5.4 Si existen estratos de terreno inestables con espesor superior al diámetro del pilote, la viabilidad de la construcción tendrá que ser demostrada, antes del comienzo de la obra, por medio de pilotes de prueba o de experiencias locales.

8.1.5.5 Se consideran como terrenos inestables:

- terrenos uniformes no cohesivos ($d_{60}/d_{10} < 1,5$) por debajo del nivel freático;
- terrenos sueltos no cohesivos con densidad relativa $D_r < 0,3$ o que tengan un resultado presiométrico correspondiente;
- arcillas con alta sensibilidad;
- terrenos blandos con resistencia no drenada al corte $c_u < 15$ kPa.

8.1.5.6 Durante la perforación, el avance y la velocidad de rotación de la hélice se ajustarán a las características del terreno, de forma que la extracción de terreno sea limitada para conseguir que

- se preserve la estabilidad lateral de las paredes de la perforación y
- se minimice la sobreexcavación.

8.1.5.7 Por esta razón el útil de perforación estará dotado de un par de rotación y de una potencia de extracción suficientes.

8.1.5.8 El paso de la hélice será constante en toda la longitud de la misma.

8.1.5.9 El eje hueco de la hélice estará dotado de un dispositivo de cierre para evitar la entrada de terreno y de agua durante la perforación.

8.1.5.10 La hélice sólo será extraída de la perforación si

- el terreno circundante permanece estable; o
- la profundidad requerida ha sido alcanzada y el terreno adyacente es estabilizado por el ascenso del hormigón.

8.1.5.11 Si no pudiera terminarse un pilote y hubiera de retirarse la hélice, ésta será extraída girando a la inversa y rellenando la perforación con suelo o lodo estabilizador.

8.1.6 Perforación no entibada

8.1.6.1 En terrenos estables durante la excavación y no susceptibles de colapso, está permitida prescindir de medidas para contener las paredes de la excavación.

8.1.6.2 La parte superior de la perforación será protegida por un emboquillado a menos que

- la perforación se realice en terreno firme y
- el diámetro D sea inferior a 0,6 m.

8.1.6.3 Los pilotes con inclinación $n \leq 15$ ($\Theta \leq 86^\circ$) o inferior, no deberán ser contruidos sin medios de contención y se colocará un entubado en toda la longitud, a menos que se pueda demostrar que la perforación se mantiene estable, como por ejemplo en terrenos firmes, o rígidos, o roca.

8.1.6.4 Si una perforación no entibada atravesara estratos de terreno inestable, deberá estabilizarse esta parte de la perforación.

8.1.7 Agrandamientos

8.1.7.1 La correcta ejecución de un agrandamiento requiere

- una perforación estable; y
- un relleno completo con hormigón sano.

8.1.7.1 Los agrandamientos se realizarán con medios mecánicos que permitan controlar la operación desde la superficie.

8.2 Armaduras

8.2.1 Generalidades

8.2.1.1 Las armaduras de acero se acoplarán en espacios limpios y estarán

- limpias;
- libres de herrumbre; y
- de rebabas

en el momento de su instalación y del hormigonado.

8.2.1.2 Las jaulas se mantendrán suspendidas o apoyadas, con el objeto de mantener la posición correcta durante el hormigonado.

8.2.1.3 En el caso de la construcción de pilotes inclinados sin entubado, se emplearán sistemas de soporte adecuados para el control de la instalación y de la posición de la armadura.

8.2.2 Uniones

8.2.2.1 Las uniones de las barras de armadura se realizarán de tal forma que

- la resistencia de cada barra se mantenga efectiva en ellas; y
- no se produzcan desplazamientos perjudiciales de la armadura durante la construcción del pilote.

8.2.2.2 Las uniones entre jaulas de armaduras pueden requerir accesorios adicionales (por ejemplo, abrazaderas o tachuelas soldadas).

8.2.2.3 Las barras de armadura no deberán ser soldadas en o cerca de codos.

8.2.2.4 Con sujeción a las especificaciones particulares del acero empleado, se permite la soldadura por puntos.

8.2.3 Doblado de armaduras

8.2.3.1 Si se tiene que doblar la armadura que sobresale del hormigón de la cabeza del pilote, el radio interior del codo no será inferior al estipulado en la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

8.2.3.2 Ninguna armadura será doblada con temperatura ambiente inferior a 5 °C, sin previa aprobación.

8.2.3.3 Antes de proceder al doblado, la armadura se puede calentar hasta una temperatura no superior a 100 °C.

8.2.4 Montaje de jaulas

8.2.4.1 El montaje de las jaulas y la unión de las barras entre sí se harán de forma tal que

- las jaulas puedan ser izadas y colocadas sin sufrir deformaciones permanentes; y
- todas las barras permanezcan en la posición correcta.

8.2.4.2 La armadura transversal será

- montada exactamente pegada alrededor de las barras longitudinales principales; y
- atada; o
- sujeta de otra manera a ellas.

8.2.4.3 Los atados y sujeciones serán realizados en función de las necesidades, empleando

- alambre;
- grapas; o
- soldadura.

8.2.4.4 Pueden ser necesarios otros medios de sujeción, como

- aros de rigidización; y/o
- ataduras; y/o
- barras oblicuas.

8.2.5 Separadores

8.2.5.1 Se mantendrá mediante separadores

- la posición concéntrica de la jaula de armadura dentro de la perforación; y
- el necesario recubrimiento de hormigón;

a menos que la posición y el recubrimiento se aseguren de otra manera.

8.2.5.2 Los separadores serán diseñados y fabricados usando materiales duraderos que no produzcan

- corrosión de la armadura; ni
- huecos en el recubrimiento de hormigón.

8.2.5.3 Está permitido el uso de tacos metálicos como separadores.

8.2.5.4 En pilotes sin entubados, se emplearán separadores de gran tamaño con forma apropiada, con el fin de que no se provoque ningún derrumbamiento de paredes durante la colocación de la armadura.

8.2.5.5 Los separadores serán colocados simétricamente en torno a la jaula, con

- al menos 3 unidades en cada nivel;
- en intervalos de niveles no superior a 3 m; y
- con tolerancia suficiente con respecto a la pared interna del entubado o las paredes de la excavación, de forma que pueda colocarse con seguridad y no se perjudiquen las paredes de la excavación.

8.2.5.6 El número de separadores debería incrementarse en

- pilotes de diámetro $D \geq 1,2$ m; y
- en pilotes inclinados.

8.2.6 Colocación

8.2.6.1 La armadura se colocará lo más pronto posible después de la limpieza de la perforación.

8.2.6.2 La armadura se colocará alineada con el eje del pilote y manteniéndose el correcto recubrimiento de hormigón en toda su longitud.

8.2.6.3 Durante el hormigonado, la armadura se mantendrá en una cota tal que asegure que el tramo saliente requerido pueda sobresalir de la cota de descabezado.

8.2.6.4 La cota de la parte superior de la jaula después del hormigonado será igual al valor nominal, con una desviación máxima de $\pm 0,15$ m.

8.2.6.5 En pilotes ejecutados con hélice continua, está permitida la colocación de la armadura después del vertido de hormigón, si el método ha sido comprobado en terrenos de las mismas características.

8.2.6.6 Dicha colocación se realizará en cuanto sea posible, tras la operación de hormigonado.

8.2.6.7 Cuando las jaulas de armadura se introducen tras el hormigonado, puede resultar necesario mantener su posición mediante soportes adecuados.

8.2.6.8 Dicho proceso de colocación puede llevarse a cabo con el auxilio de vibración ligera o bien puede empujarse la armadura dentro del hormigón.

8.3 Colocación del hormigón

8.3.1 Generalidades

8.3.1.1 Es preciso que el tiempo entre el final de la perforación y el inicio del hormigonado sea el más breve posible.

8.3.1.2 Antes del hormigonado, se comprobará que la perforación esté limpia.

8.3.1.3 Cuando la perforación sea contenida mediante lodo, las propiedades del mismo serán controladas antes del hormigonado (véase el apartado 6.5).

NOTA 1 – El agua dentro de la perforación puede contener cantidades apreciables de arena fina o limo en suspensión que pueden decantar en la base del pilote durante el intervalo que precede al hormigonado. Puede por tanto requerirse la limpieza o la sustitución de dicho líquido.

NOTA 2 – La posibilidad de lodo confinado o de hormigón segregado se incrementa cuando los pilotes se construyen con base ensanchada.

8.3.1.4 Se recomienda adoptar precauciones especiales en la limpieza de ensanchamientos de base.

8.3.1.5 El hormigonado de una base ensanchada se realizará de forma continua, sin ninguna interrupción.

8.3.1.6 La perforación se rellenará parcial o totalmente de hormigón, con el objeto de que se forme un fuste monolítico y sano, con sección y altura requeridas.

8.3.1.7 No se permitirá la contaminación del hormigón por ningún suelo, líquido u otro material que pueda perjudicar el comportamiento del pilote.

8.3.1.8 La trabajabilidad del hormigón será tal que permita llevar a cabo satisfactoriamente todo el proceso de hormigonado.

8.3.1.9 Para que pueda realizarse un trabajo fluido, se dispondrá de un adecuado suministro de hormigón durante todo el proceso de vertido.

8.3.1.10 El hormigón fresco se verterá siempre dentro de un hormigón que conserve su trabajabilidad.

8.3.1.11 Para determinar el período de trabajabilidad del hormigón, deberán tenerse en cuenta posibles interrupciones de suministro, así como el tiempo necesario para el vertido.

8.3.1.12 No está permitido utilizar vibraciones internas para la compactación del hormigón.

8.3.1.13 Se tomarán medidas adecuadas para impedir el lavado de los finos del hormigón a la superficie del fuste, debido a la acción de corrientes de agua subterráneas.

8.3.1.14 En terreno blando ($c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$), puede ser necesario contener el hormigón fresco en parte o en la totalidad de la longitud del pilote, mediante camisas perdidas o entubados permanentes.

8.3.1.15 Se comprobarán y anotarán, durante el vertido, el volumen colocado y la altura del hormigón dentro de la perforación.

8.3.1.16 El método y la secuencia de las comprobaciones y de las anotaciones se ajustarán a las dimensiones y al tipo de pilote y tendrán que ser acordados previamente al inicio de los trabajos.

8.3.1.17 Los niveles tendrán que ser controlados por lo menos una vez

- después de cada amasada o
- antes o después de que se extraiga el entubado provisional.

8.3.1.18 Para pilotes de diámetro inferior a 0,6 m, puede ser suficiente que se tome nota del hormigonado de los primeros 10 pilotes de la obra y de un porcentaje del resto de los pilotes.

8.3.1.19 El vertido continuará hasta que el hormigón contaminado de la parte superior de la columna haya sobrepasado de la cota de descabezado.

8.3.1.20 Se debería incrementar la altura del vertido por encima de la cota de descabezado, cuando

- la cota de descabezado se encuentre muy por debajo de la plataforma de trabajo,
- se trate de hormigón sumergido; o
- haya que extraer el entubado provisional.

8.3.1.21 Con temperatura ambiente inferior a 3 °C y en disminución, será preciso proteger contra las heladas las cabezas de los pilotes recién hormigonados.

8.3.1.22 Cuando la cota final de hormigonado se encuentra por debajo de la plataforma de trabajo, el hormigón fresco tendrá que ser protegido contra contaminaciones procedentes desde arriba:

- hormigonando por encima de la cota de descabezado;
- rellenando la perforación sin hormigonar mediante material adecuado; o
- manteniendo un lodo estabilizador sobre el hormigón fresco hasta que haya fraguado.

8.3.1.23 Si la cota superior de hormigonado se encuentra por debajo del nivel freático, se deberá mantener, sobre el hormigón fresco, una presión igual o superior a la presión externa del acuífero.

8.3.1.24 La operación de descabezado

- deberá ser llevada a cabo solo cuando el hormigón haya endurecido lo suficiente;
- deberá eliminar de la parte superior del pilote todo hormigón contaminado o de calidad inferior a la prescrita; y
- deberá continuar hasta alcanzar hormigón sano en toda la sección.

8.3.1.25 El descabezado de pilotes por medio de equipos mecánicos deberá ser realizado con el máximo cuidado posible.

8.3.1.26 El riesgo de grietas extensas, provocadas por el uso de equipos mecánicos en el descabezado, puede obligar a restricciones en el tipo y la dimensión del equipo demoledor de hormigón utilizado.

8.3.2 Colocación de hormigón en seco

8.3.2.1 Cuando la base de la perforación contenga agua, no se aplicará la técnica de hormigonado en seco.

8.3.2.2 Se realizará una comprobación inmediatamente antes del vertido.

8.3.2.3 Si se detectara agua, se aplicará la técnica de hormigonado sumergido.

8.3.2.4 El vertido se llevará a cabo de manera que se eviten segregaciones. Se colocará el hormigón en vertical en el centro de la perforación por medio de una tolva provista de un tramo de tubo, de modo que el hormigón no choque contra

- la armadura; o
- las paredes de la perforación.

8.3.2.5 El diámetro interior del tubo de hormigonado no será inferior a 8 veces el tamaño máximo del árido.

8.3.3 Colocación de hormigón sumergido

8.3.3.1 Cuando el hormigonado se realiza bajo agua o lodos estabilizadores, la consistencia deberá ser conforme a la tabla 2 y se utilizará el tubo-*tremie* para la colocación del hormigón.

NOTA – La finalidad principal del tubo-*tremie* es la de evitar la segregación del hormigón durante la colocación o su contaminación por los líquidos presentes en la perforación.

8.3.3.2 El hormigón sumergido no deberá compactarse con vibración en su interior.

NOTA – La compactación depende de la fluidez del hormigón en relación con su peso propio y la sobrecarga de líquido sobre la columna de hormigón.

8.3.3.3 El tubo-*tremie* y todas sus juntas serán estancos.

8.3.3.4 Irá dotado en su extremo superior de una tolva para recibir el hormigón fresco y evitar el derrame de hormigón que, de otra forma, podría caer libremente en la perforación y segregarse o contaminarse.

8.3.3.5 Para permitir el libre flujo del hormigón, el tubo-*tremie* será liso y tendrá un diámetro interior uniforme de, como mínimo,

- 6 veces el tamaño máximo de árido; o
- 150 mm

adoptándose el mayor de cualquiera de los dos valores.

8.3.3.6 La forma y la dimensión externa del tubo-*tremie*, incluidas las uniones, permitirá su libre movimiento dentro de la armadura.

8.3.3.7 El diámetro exterior máximo del tubo-*tremie*, incluyendo las uniones, no debería ser superior a

- 0,35 veces el diámetro del pilote o el diámetro interior de la entubación;
- 0,6 veces el espacio libre interior de la jaula de armadura para pilotes circulares; y
- 0,8 veces el ancho interior de la jaula de armadura en caso de ejecutar *barrettes*.

8.3.3.8 Antes de su utilización, el tubo-*tremie* se limpiará de toda incrustación de hormigón o mortero.

8.3.3.9 Al comienzo del hormigonado, el tubo-*tremie* se colocará hasta el fondo de la perforación del pilote.

8.3.3.10 Para evitar que el hormigón se mezcle con el líquido existente en el tubo-*tremie*, se colocará en el mismo un cierre o un tapón de material adecuado, antes del comienzo del vertido.

8.3.3.11 Para lubricar el tubo-*tremie*, puede emplearse, como primera amasada, una mezcla rica en cemento o una carga de mortero de cemento.

8.3.3.12 Para permitir que el hormigón fluya fuera del tubo-*tremie*, se izará dicho tubo ligeramente, sin exceder un valor equivalente al diámetro interior del mismo. El vertido debe realizarse a continuación rápidamente para rellenar toda la base del pilote, con el fin de que no queden bolsas de hormigón que pueda haberse segregado al inicio del vertido.

8.3.3.13 A medida que el nivel de hormigón asciende en la perforación durante el vertido, el tubo-*tremie* se irá retirando progresivamente.

8.3.3.14 El tubo-*tremie* estará en todo momento sumergido en el hormigón fresco y trabajable previamente vertido. Solo será extraído del hormigón cuando el proceso haya finalizado.

8.3.3.15 La inmersión del tubo-*tremie* en el hormigón no debería ser nunca inferior a 1,5 m, en especial cuando se desconectan tramos de dicho tubo y cuando se recuperan y desconectan tramos del entubado provisional.

8.3.3.16 Para pilotes de diámetro $D \geq 1,2$ m la inmersión debería ser al menos de 2,5 m y para *barrettes* al menos de 3,0 m, en especial cuando se utilizan dos o más tubos-*tremie*.

8.3.3.17 Una vez finalizado el vertido, no debería extraerse el tubo-*tremie* con demasiada rapidez, ya que el efecto de succión resultante podría producir imperfecciones en el pilote.

8.3.3.18 En el caso de hormigón vertido bajo lodos estabilizadores

- se tomará una muestra de lodo de la base de la perforación; y
- se eliminarán del fondo de la misma, cualquier cantidad significativa de costra de *cake* o restos de detritus acumulados;

inmediatamente antes de iniciar el vertido.

8.3.3.19 Sólo se procederá al hormigonado cuando las propiedades de la suspensión sean satisfactorias. En caso contrario, será preciso reciclar y limpiar o, si fuera necesario, sustituir la suspensión.

8.3.4 Extracción de entubados

8.3.4.1 No se iniciará la extracción de entubados provisionales mientras que la columna de hormigón no haya alcanzado dentro del mismo una altura suficiente como para generar una sobrepresión adecuada

- para evitar infiltraciones de agua o terreno desde la base del entubado; y
- para evitar que la jaula de armadura pueda ser arrastrada.

8.3.4.2 La extracción se llevará a cabo mientras el hormigón siga teniendo la trabajabilidad requerida.

8.3.4.3 Durante el proceso de extracción, se mantendrán dentro del entubado un volumen y una altura suficiente de hormigón con objeto de equilibrar la presión externa, para dejar que el espacio anular dejado por la extracción del tubo se llene de hormigón.

- 8.3.4.4** – El suministro de hormigón; y
- la velocidad de extracción del entubado;

serán tales que no puedan darse infiltraciones de suelo o agua en el hormigón fresco recién vertido, incluso en el caso de que el nivel del hormigón descendiera súbitamente por la aparición de una cavidad fuera del entubado.

NOTA – Lo anterior es especialmente importante en terreno suelto o blando o en las proximidades de la cabeza del pilote.

8.3.4.5 Se tomará nota, además de las especificaciones generales, las profundidades del entubado y del tubo-*tremie*.

8.3.5 Entubados o encamisados permanentes

8.3.5.1 Con el objeto de confinar el hormigón fresco dentro de la perforación, puede presentarse la necesidad de tener que utilizar entubados o encamisados permanentes.

NOTA – En los casos en que se coloquen encamisados permanentes en perforaciones entubadas provisionalmente o sin entubar o en que los pilotes se construyan con entubados permanentes, pueden quedar cavidades en el terreno en torno al fuste del pilote.

8.3.5.2 De conocerse o sospecharse la existencia de tales cavidades, que pueden producir posibles asentamientos del terreno que afecten a estructuras adyacentes, se adoptarán medidas para rellenar las mismas.

8.3.6 Hormigonado de pilotes ejecutados con hélice continua

8.3.6.1 El hormigonado de pilotes perforados con hélice continua puede realizarse colocando el hormigón a través del eje hueco de la hélice, que tendrá un dispositivo de cierre en su base para evitar entradas de agua o terreno hasta tanto inicie la colocación del hormigón.

8.3.6.2 Cuando la perforación haya alcanzado la profundidad final, el hormigón se colocará a través del eje, rellenando la perforación mientras se extrae la hélice.

8.3.6.3 Si no pudiera iniciarse el flujo de hormigón, es necesario extraer completamente la hélice del terreno con rotación en sentido contrario y rellenado la perforación para que no queden huecos y haya hundimientos.

8.3.6.4 El pilote puede ser posteriormente reperforado en el mismo emplazamiento hasta, como mínimo, la profundidad original.

8.3.6.5 Durante la extracción y la colocación del hormigón, la hélice

- no podrá ser girada; o
- se girará solo a baja velocidad y en el mismo sentido usado en la perforación.

8.3.6.6 Durante el vertido, el hormigón en la boca de la hélice se mantendrá con una presión superior a la externa, así que el hueco dejado por la extracción de la hélice se rellene instantánea y completamente.

8.3.6.7 Para el control de la continuidad, la supervisión de la construcción del pilote incluirá

- el control del aporte de hormigón,
- la presión de hormigonado;
- la velocidad de extracción; y
- el registro de rotación de la hélice.

8.3.6.8 Deberá mantenerse un adecuado aporte de hormigón para rellenar el pilote, hasta tanto la punta de la hélice haya alcanzado la plataforma de trabajo.

NOTA – Para introducir la jaula de armadura, es generalmente necesario llevar el hormigón hasta la cota de la plataforma de trabajo.

8.3.7 Pilotes ejecutados mediante inyección (“prepacked”)

8.3.7.1 Antes de ejecutar pilotes inyectados, se efectuarán pruebas para determinar:

- la composición, la fluidez y el tiempo de endurecimiento de la lechada,
- la distribución de la lechada en el árido y
- el número necesario de tubos de inyección y su distribución.

8.3.7.2 Una vez que la perforación esté completada y limpia, ésta se rellenará con árido limpio y grueso de tamaño 25 mm o superior, con estructura abierta y coeficiente de huecos suficiente para permitir la penetración total de la lechada.

8.3.7.3 La inyección se realizará a través de tubos de inyección que inicialmente alcanzarán el fondo del pilote.

8.3.7.4 La presión y el caudal de inyección serán tales para que la lechada penetre completamente en los huecos del árido.

8.3.7.5 Si los tubos de inyección tienen que ser recuperados simultáneamente al avance de la inyección, se mantendrá suficiente inmersión de los mismos para asegurar una distribución uniforme de la lechada en toda la sección transversal del pilote.

8.3.8 Pérdida de inmersión del tubo-*tremie* o del entubado recuperable

8.3.8.1 En el caso de que se pierda accidentalmente la inmersión del tubo-*tremie* durante el hormigonado, la ulterior colocación no continuará a menos que:

- el hormigón dentro del cual hay que colocar el hormigón conserve su trabajabilidad,
- el tubo-*tremie* se vuelva a sumergir en profundidad suficiente dentro del hormigón previamente colocado y
- no se haya introducido agua o contaminación en el hormigón que quedará por debajo de la cota de descabezado.

8.3.8.2 En caso contrario, el vertido tendrá que suspenderse, el tubo-*tremie* será extraído y se adoptarán medidas alternativas para construir un pilote sano.

8.3.8.3 En cualquier caso que se pierda la inmersión del entubado y/o haya posibilidad de haberse producido una infiltración de material extraño en el tramo de pilote recién hormigonado, el vertido tendrá que ser interrumpido.

8.3.8.4 Si fuera posible extraer la armadura y el hormigón y siempre que ambas operaciones pudieran hacerse a tiempo, el pilote podrá sustituirse por completo o construirse de nuevo en su emplazamiento original.

8.3.8.5 Pueden recuperarse los pilotes formando una junta de construcción, después de que se haya retirado todo el hormigón de calidad insuficiente y haya quedado al descubierto hormigón sano en toda la sección con el objeto de posibilitar la formación de una junta sin defectos.

8.3.8.6 Si la preparación de una junta de construcción no es posible, el pilote tendrá que ser abandonado y se rellenará con material adecuado la parte vacía de la perforación por encima de la columna de hormigón.

8.3.8.7 Se deberían llevar a cabo ensayos de integridad para documentar la calidad de cualquier pilote en que se haya sumergido de nuevo el tubo-*tremie* o se haya realizado una junta de construcción (véase también el apartado 9.3).

8.3.9 Pilotes con elementos de hormigón prefabricado, tubos de armado o tubos de revestimiento permanentes

8.3.9.1 Los elementos de hormigón prefabricados o los tubos de armado tendrán que ser centrados dentro de las perforaciones para asegurar la simetría de la sección y un recubrimiento suficiente.

8.3.9.2 El espacio anular en torno al elemento o al tubo tendrá que ser inyectado en sentido ascendente desde el fondo, a menos que durante la perforación se utilice un lodo autoendurecible.

8.3.9.3 Si hubiera que llenar los tubos de armado con lechada u hormigón, ello puede hacerse después de colocar el tubo.

8.3.9.4 Cuando se coloquen elementos prefabricados o tubos de armado en perforaciones totalmente entubadas y se rellene completamente de lechada el espacio anular, puede definirse al pilote como estructura mixta de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1994-1-1.

8.3.9.5 El esfuerzo de adherencia entre la lechada externa y el elemento o el tubo tendrá que ser comprobado.

8.3.10 Inyección externa de pilotes *in-situ*

8.3.10.1 En pilotes perforados moldeados *in-situ*, la inyección del fuste y/o de la base solo se efectuará cuando el hormigón se haya endurecido.

8.3.10.2 Solo se permiten tubos permanentes de inyección y su colocación se adecuará a las zonas y materiales a inyectar.

8.3.10.3 La inyección de la base puede realizarse:

- mediante una estructura flexible en forma de caja instalada junto con la armadura y que permita la distribución de la lechada por toda la base del pilote; o
- con tubos-manguito colocados transversalmente en el fondo del pilote (véase la figura A.10).

8.3.10.4 El fuste se inyectará mediante tubos de inyección convenientemente fijados a la jaula de armadura, tubo de armado o elemento de hormigón prefabricado según los casos (véase la figura A.11).

8.3.10.5 La inyección se realizará con las presiones y el caudal adecuados

- para que la lechada se distribuya en la superficie de contacto entre la base del pilote y el terreno; y
- para evitar la hidrofractura del terreno circundante.

8.3.10.6 Cuando la lechada inicial se haya endurecido, se puede realizar una segunda etapa de inyección.

8.3.10.7 Cuando hay que realizar la inyección de la base y del fuste del pilote, la inyección del fuste debe de ejecutarse antes que la inyección de la base, a menos se acuerde lo contrario antes del comienzo de los trabajos.

8.4 Pantallas de pilotes perforados

8.4.1 En la plataforma de trabajo debe colocarse una plantilla de posicionamiento en acero u hormigón para el mantenimiento de la posición de los pilotes, cuando se requiere una determinada precisión.

8.4.2 En la construcción de pantallas de pilotes secantes, deben contenerse las perforaciones mediante entubados provisionales.

8.4.3 Normalmente en la construcción de pantallas de pilotes secantes, solamente llevarán armadura pilotes alternos. Estos pilotes armados deberían ser construidos después de ejecutados los pilotes sin armar realizados inicialmente.

8.4.4 Si todos los pilotes tienen que ser armados, los pilotes primarios serán construidos de manera de no dificultar la posterior ejecución de los pilotes alternos.

8.4.5 La secuencia constructiva de pantallas de pilotes secantes o contiguos, así como la composición del hormigón, serán determinadas de forma que el hormigón de los pilotes primarios adquiera resistencia suficiente para la estabilidad sin que, por otra parte, desarrolle una resistencia excesivamente alta que impida llevar a cabo la intersección.

NOTA – En caso contrario podrían producirse imperfecciones en la pantalla (por ejemplo, desviaciones o fugas).

8.4.6 En la construcción de pantallas de pilotes secantes, se puede emplear lodo autoendurecible en vez que hormigón para los pilotes primarios.

9 SUPERVISIÓN Y CONTROL

9.1 Supervisión

9.1.1 Una persona cualificada y con experiencia estará a cargo de la ejecución de la obra.

9.1.2 Dicha persona a cargo de la obra será responsable de:

- la conformidad de la obra con esta norma europea y cualquier especificación adicional y procedimiento de trabajo que se acuerde;
- el control de la ejecución de los pilotes y la confección de los partes necesarios; y
- mantener informado al representante del cliente y/o al proyectista de cualquier variación o desviación respecto a la situación o condición esperada de la obra o cualquier caso de no conformidad.

9.2 Control de ejecución de pilotes

9.2.1 Los procedimientos específicos para la verificación, el control y la aceptación tendrán que ser establecidos antes del comienzo de los trabajos.

9.2.2 El proceso constructivo de los pilotes será controlado y se tomará nota de cualquier dato significativo como, entre otros:

- replanteo, tipo de pilote, dimensiones y profundidades;
- procedimiento de excavación, herramientas y equipamiento;
- colocación de entubados;
- estratificación del terreno y niveles freáticos;
- obstáculos;
- empleo de lodos estabilizadores;
- niveles de agua o de lodos estabilizadores en la perforación del pilote;
- ejecución de empotramientos;
- ejecución y control de agrandamientos;
- limpieza de la perforación;
- controles del lodo estabilizador;
- tipo, dimensiones, montaje y longitud de las armaduras;
- profundidad y posicionamiento de armaduras;
- colocación de elementos de hormigón prefabricados o de tubos o de perfiles de armado;
- hormigonado sumergido o en seco;
- hormigonado de pilotes de hélice continua;

- hormigón fabricado en obra o preparado;
- grado, composición y consistencia del hormigón;
- colocación, cantidad, duración, subida y cota final del hormigón;
- extracción del entubado provisional;
- extracción del tubo-*tremie*;
- inyección de fuste y/o de base: composición y características de la mezcla, zona de aplicación, tiempo, caudal, presión y medición.

9.2.3 Así mismo, debería tomarse nota de la duración de cada operación.

9.2.4 Deberá notificarse cualquier disconformidad.

9.2.5 Se observará el comportamiento del terreno durante la excavación y deberá comunicarse al supervisor y al proyectista cualquier cambio o característica imprevista, que pudieran ser de importancia para el proyecto.

NOTA – En las tablas 6 a 15 se detallan ejemplos de datos y la periodicidad de los controles.

9.2.6 Los partes de ejecución se someterán, para su firma, al representante del cliente y/o al proyectista, según se estipule.

NOTA – Los partes están tratados en la cláusula 10. En el anexo B se facilitan ejemplos de partes.

9.2.7 Después de que los pilotes estén preparados para su uso estructural, se confeccionará un plano de la obra tal como ha sido realizada, indicando las posiciones y las dimensiones de los pilotes, junto con las cotas de la cabeza y del fondo del pilote.

9.2.8 Dicho plano, los partes de control y cualquier otra documentación sobre el pilotaje, se conservarán según las especificaciones contractuales y/o estatutarias.

Tabla 6
Control del replanteo

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	ejes principales	inspección	replanteo	al inicio de los trabajos	establecimiento de los ejes principales para el tiempo de la ejecución
2	plataforma de trabajo	inspección y control visual	<ul style="list-style-type: none"> – cota – nivelación – tamaño – estabilidad 	en cada zona de la obra	
3	<ul style="list-style-type: none"> – posición del pilote – inclinación del pilote 	inspección <ul style="list-style-type: none"> – plomada – cinta métrica – nivel de burbuja 	control de desviaciones respecto a las tolerancias de construcción	por cada pilote <ul style="list-style-type: none"> – antes inicio de perforación – después de perforación – después de terminación 	

Tabla 7
Control de la excavación

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	emboquillado	<ul style="list-style-type: none"> – diámetro – espesor – profundidad 	<ul style="list-style-type: none"> – estabilidad de la parte superior de la excavación no entubada – conformidad con proyecto 	en cada pilote	puede omitirse en pilotes circulares con $D < 0,6$ m
2	condiciones y dimensiones de <ul style="list-style-type: none"> – herramientas y – entubados 	<ul style="list-style-type: none"> – inspección visual – medición 	idoneidad	antes y durante el uso (según el caso)	
3	empleo de herramientas (general)	<ul style="list-style-type: none"> – avance de excavación – eficacia – sobreexcavación 	<ul style="list-style-type: none"> – supervisión – reconocimiento de las características (cambiantes) del terreno – profundidad – tiempos – sustitución de herramientas 	continuamente	
4	empleo de herramientas (sumergidas)	ídem anterior, más <ul style="list-style-type: none"> – velocidad de operación 	evitar efecto émbolo	continuamente	
5	colocación entubado	medición	avance entubado durante excavación	continuamente	especialmente importante cuando es necesario el avance del entubado por delante de la excavación
6	nivel del agua	medición	estabilidad de la perforación	continuamente	
7	material excavado	inspección visual	reconocimiento de <ul style="list-style-type: none"> – estratos y – cambios terreno 	continuamente	conservar muestras según las necesidades
8	profundidad pilote (terminación excavación)	mediciones: <ul style="list-style-type: none"> – profundidad – pendiente estrato portante inclinado) 	profundidad conforme a proyecto	en cada pilote	comprobación realizable también con útiles calibrados
9	agrandamiento	medición (por control operacional de equipo) (inspección visual)	<ul style="list-style-type: none"> – tamaño – inclinación de paredes – alineación 	en cada agrandamiento	medición preferiblemente con equipo calibrado
10	limpieza de base	<ul style="list-style-type: none"> – cuchara – sonda – inspección visual 	<ul style="list-style-type: none"> – limpieza superficial de contacto con estrato resistente – comportamiento del pilote 	en cada pilote	
11	presencia de agua en el fondo	<ul style="list-style-type: none"> – cinta métrica – inspección visual 	evitar segregación y contaminación del hormigón	en cada pilote	

Tabla 8
Control del lodo estabilizador

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	suministro, almacenamiento	comprobación	suministro en línea con consumo	continuamente	el suministro y el almacenamiento deben prever pérdidas súbitas
2	nivel en la perforación	comprobación	estabilidad de la perforación	continuamente	
3	propiedades de la suspensión	<ul style="list-style-type: none"> – densidad – consistencia (embudo Marsh) – pérdida de fluido – alcalinidad – contenido arena 	conformidad con: <ul style="list-style-type: none"> – párrafos 6.5.2 y 6.5.3 o – normas nacionales 	en cada pilote <ul style="list-style-type: none"> – lodo fresco – antes del hormigonado – tras desarenado – antes de reutilización 	

Tabla 9
Control de las armaduras

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	suministro de materiales	<ul style="list-style-type: none"> – documentos de entrega – dimensiones 	conformidad	en cada entrega	
2	dimensiones	medición	conformidad	aleatoria	
3	confección de jaulas	<ul style="list-style-type: none"> – dimensiones – espaciado de barras longitudinales – espaciado de barras transversales – atados – rigidez 	conformidad	en cada jaula	de realizarse soldaduras: comprobación de la conformidad con las especificaciones del acero
4	separadores	<ul style="list-style-type: none"> – material – tamaño – cantidad – distribución 	<ul style="list-style-type: none"> – conformidad – desviación en colocación 	en cada jaula	de existir entubado, tener en cuenta su dimensión interior
5	colocación de jaulas	<ul style="list-style-type: none"> – inspección – mediciones 	desviación en colocación	en cada jaula	
6	tubos/perfiles de armado	<ul style="list-style-type: none"> – inspección – medición 	desviación en colocación	en cada tubo o perfil	
7	armadura especial	de acuerdo con procedimiento especial	conformidad	de acuerdo con procedimiento especial	
8	empotramiento de <ul style="list-style-type: none"> – tubos ensayos sónicos – dispositivos de control – cajas flexibles 	<ul style="list-style-type: none"> – posición – profundidad – conexiones con la jaula – protección durante la colocación – protección durante el hormigonado 	<ul style="list-style-type: none"> – conformidad – aptitud 	en cada jaula	

Tabla 10
Control del hormigón fresco

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	continuidad del suministro	comprobación	continuidad de vertido	antes del vertido	
2	hormigón: – grado – composición	documentos de entrega	conformidad	en cada camión-hormigonera	
3	consistencia	– cono Abrams o – mesa de sacudidas	– conformidad – trabajabilidad	– cada camión o – cada 10 m ³	
4	temperatura ambiente	termómetro	protección pilotes recién hormigonados	cuando se especifique	
5	temperatura hormigón	termómetro	– conformidad – trabajabilidad	cuando se especifique	en caso de dudas se incrementará frecuencia
6	período de trabajabilidad	ensayo de trabajabilidad en hormigón fresco	comprobación del período de trabajabilidad	– cuando se especifique o – en caso de duda	ensayo realizado paralelamente a la colocación del hormigón

Tabla 11
Control de vertido de hormigón en seco o sumergido

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	tubo de hormigonado, tubo- <i>tremie</i> – condiciones	inspección visual	– limpieza – estanqueidad – uniformidad interior	en cada tubo antes o durante la instalación	
2	– diámetro interior – dimensiones exteriores	comprobación/medición	– compatibilidad con tamaño del árido – libre movimiento dentro de la armadura	– en cada juego de tubos – en cada pilote	
3	– composición (longitud de cada tramo)	comprobación/medición	preparación para recuperación	en cada juego de tubos	
4	– profundidad de instalación	medición	evitar la segregación del hormigón al inicio del hormigonado	en cada pilote	el tubo- <i>tremie</i> debe descansar sobre el fondo
5	– separación de hormigón y líquidos dentro del tubo- <i>tremie</i>	comprobación	evitar segregación	en cada pilote	utilización por ejemplo, de – tapa de fondo – pelota o – bolitas de plástico

(Continúa)

Tabla 11 (Fin)
Control de vertido de hormigón en seco o sumergido

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
6	– inmersión del tubo- <i>tremie</i> durante el hormigonado y recuperación	comprobación de la profundidad del hormigón en relación con la longitud del tubo- <i>tremie</i>	<ul style="list-style-type: none"> – mantener inmersión suficiente – evitar segregación – contaminación del hormigón 	continuamente	<ul style="list-style-type: none"> – inmersión suficiente también durante la recuperación del tubo-<i>tremie</i> – observar cualquier acumulación de agua dentro del tubo-<i>tremie</i>
7	inmersión del entubado durante la extracción	comprobación de la profundidad del hormigón en relación con la longitud del entubado	<ul style="list-style-type: none"> – mantener inmersión suficiente – evitar estrechamientos – segregación y contaminación del hormigón 	continuamente	observar cualquier descenso o ascenso súbito del nivel de hormigón
8	cota de hormigonado	medición de profundidad	altura suficiente por encima de la cota de descabezado	en cada pilote	
9	relleno perforación sin hormigonar	comprobar	seguridad de obra	en cada pilote	
10	volumen hormigón	comparar consumo con volumen teórico de excavación	detectar sobreexcavación o estrechamiento excesivo	en cada pilote (si fuera posible)	puede precisarse un control más detallado, incluso partes de asiento de hormigón durante la extracción del entubado
11	cabeza de pilote después del hormigonado	inspección visual	detectar flujo excesivo de agua	en cada pilote (si fuera posible)	siempre se producirá cierta exudación debida a la compactación propia del hormigón; una exudación excesiva puede indicar posibles inclusiones en el fuste

Tabla 12
Control de pilotes de hélice continua

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	condiciones y dimensiones de: – hélice – cabeza cortante – obturador	– inspección visual – mediciones	idoneidad	antes comienzo perforaciones	
2	proceso de excavación	comprobar velocidad – de rotación y – de penetración	limitar sobre-excavación	continuamente	
3	profundidad de excavación / estrato portante	comprobar – velocidad de rotación – penetración – par (opcional) – material – profundidad	conformidad	en cada pilote	algunos datos pueden ser relativos y no concluyentes
4	inicio de hormigonado	comprobar flujo hormigón	comprobar obturación boca	en cada pilote	
5	hormigonado	comprobar en hormigón – presión – flujo y – consumo correspondiente la extracción de la hélice	relleno completo de perforación con hormigón	en cada pilote, continuamente	

Tabla 13
Control de pilotes inyectados

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	limpieza de excavación	comprobar, medición (cinta con plomada)	superficie de contacto pilote / estrato portante	en cada pilote	
2	tubos de inyección	<ul style="list-style-type: none"> – diámetro – número – profundidad de colocación 	distribución para el proceso de inyección	en cada pilote	se recomiendan pruebas en obra para comprobar la penetración de la lechada y la distribución de los tubos de inyección
3	árido	<ul style="list-style-type: none"> – tamaño – medición 	rellenar el volumen completo	en cada pilote	
4	propiedades de la lechada	<ul style="list-style-type: none"> – composición – consistencia – período de trabajabilidad (tiempo de endurecimiento) – exudación – aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> – trabajabilidad – capacidad resistente 	en cada amasada	
5	proceso de inyección	<ul style="list-style-type: none"> – caudal bombeo – presión – consumo – extracción de tubos de inyección 	<ul style="list-style-type: none"> – distribución adecuada de la lechada – lograr fuste continuo 	en cada pilote, continuamente	
6	resistencia de la lechada	resistencia a compresión	conformidad con especificaciones	en cada pilote	

Tabla 14
Control de inyección externa y de fuste / base

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	tubos de inyección	<ul style="list-style-type: none"> – diámetro – número – distribución – profundidad de instalación – sujeción a la armadura – distribución de válvulas 	conformidad con el método constructivo especial	en cada pilote	
2	estructura de caja (flexible)	<ul style="list-style-type: none"> – área – contacto con el fondo de la excavación – sellado respecto a columna de hormigón superior – sujeción a jaula – funcionamiento y sujeción de tubos de inyección y de salida 	<ul style="list-style-type: none"> – mantenimiento del vacío tras el hormigonado – controlar los aparatos antes de su instalación 	en cada pilote	
3	proceso de inyección	<ul style="list-style-type: none"> – caudal bombeo – presión – consumo – penetración de la lechada 	adecuada distribución de la lechada	en cada pilote, continuamente	

Tabla 15
Control del descabezado

	Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
1	hormigón en cota de descabezado	inspección visual <ul style="list-style-type: none"> – calidad del hormigón – sección del pilote – uniformidad – existencia de fisuras – estado de la armadura – recubrimiento de hormigón 	asegurar condiciones satisfactorias para conectar el pilote a la superestructura	en cada pilote	si la calidad del hormigón en la cota de descabezado es inadecuada, el pilote tendrá que ser demolido a mayor profundidad y hormigonado de nuevo después de formar una junta de construcción

9.3 Ensayos en pilotes

9.3.1 Generalidades

NOTA 1 – Las principales especificaciones sobre ensayos en pilotes están recogidas en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1. Las notas siguientes contienen observaciones generales, que pueden complementarse con los documentos nacionales de aplicación (hasta tanto estén disponibles las respectivas normas europeas).

NOTA 2 – Los ensayos en pilotes pueden hacerse con objeto de comprobar o investigar:

- las características de resistencia/deformación en el ámbito general de las acciones especificadas;
- la integridad y construcción adecuada de un pilote.

NOTA 3 – Las pruebas en pilotes pueden consistir en (véase el capítulo 3):

- prueba de carga escalonada;
- prueba de carga de penetración a velocidad constante;
- prueba de carga dinámica para la determinación de la capacidad de carga del pilote; y
- ensayos de integridad que miden las propiedades acústicas o vibratorias del pilote, para determinar la presencia de posibles anomalías en el interior del mismo.

NOTA 4 – La aplicación de los varios procedimientos se indica en la tabla 16. Las definiciones de las diferentes pruebas se proporcionan en el capítulo 3.

Tabla 16
Aplicación de algunos procedimientos de ensayos

Tipo de ensayo	Aplicación		
	Prueba de capacidad portante límite	Prueba de deformación en condiciones de trabajo	Integridad estructural
Prueba de carga escalonada	si	si	posible algunas veces ¹⁾
Penetración a velocidad constante	si ¹⁾	indicativa para terreno sin cohesión si es suficientemente lenta	no
Prueba de carga dinámica	si ¹⁾	posible ¹⁾	si ¹⁾
Ensayo de integridad	no ¹⁾	no	si ¹⁾
1) Sujeto a interpretación.			

NOTA 5 – La única prueba de la cual se deduce la capacidad portante límite de manera directa es la prueba de carga escalonada, siempre y cuando las cargas sean suficientes y mantenidas constantes por un período suficientemente largo. Los otros ensayos requieren una interpretación posterior. De igual modo, los métodos de ensayos dinámicos no pueden medir la consolidación o la fluencia bajo carga. Por lo cual en los informes de ensayo se deben especificar las aproximaciones a los resultados con el objeto de establecer la relación carga/asentamiento.

9.3.2 Pruebas de carga axiales

9.3.2.1 La resistencia de los materiales constitutivos del pilote será la adecuada para que su estructura no resulte perjudicada en el momento de realizarse la prueba.

9.3.2.2 A este fin, puede ser preciso realizar ensayos adicionales de resistencia del material.

9.3.2.3 En las pruebas de carga escalonada y en las pruebas de penetración a velocidad constante, los movimientos de la cabeza del pilote en la dirección de la carga se determinarán por medio de al menos dos instrumentos de medida, con precisión de 0,1 mm como mínimo.

9.3.2.4 Deberían medirse también los desplazamientos transversales de la cabeza del pilote.

9.3.2.5 En las pruebas de carga escalonada, las cargas deberían mantenerse constantes en cada uno de, al menos, 6 escalones por un período especificado. A menos que se establezca de otra manera, la velocidad de desplazamiento debería ser inferior a 0,1 mm/20 minutos al final de cada escalón.

9.3.2.6 En las pruebas de carga de penetración, la velocidad de desplazamiento deberá ser mantenido constante en 1 mm/ minuto aproximadamente durante el período de la prueba.

9.3.2.7 Previamente a la ejecución de las pruebas, pueden acordarse otras velocidades.

9.3.2.8 Durante cada prueba deberían de utilizarse al menos dos medidores de carga independientes, para poder confrontarse el uno con el otro y evitar así errores de bulto.

9.3.2.9 Todos los instrumentos de medida de fuerzas deberán ser calibrados al menos una vez al año se deben seguir las recomendaciones o especificaciones nacionales mientras no haya normas europeas disponibles.

9.3.2.10 Antes de la realización de pruebas de carga dinámica, se dejará que el pilote adquiera resistencia suficiente después de su construcción.

9.3.2.11 Las pruebas dinámicas y los ensayos de integridad se ejecutarán con un equipo fabricado y aprobado para este fin, los resultados serán interpretados por personas competentes en este campo, conocedoras también de las técnicas de pilotaje y experimentadas en las características específicas del terreno.

9.3.2.12 Los aparatos se utilizarán observando las instrucciones del fabricante y el pilote será adecuadamente preparado para la prueba.

9.3.2.13 En pruebas en las que la carga se aplica directamente al pilote, mediante lastre, anclajes o pilotes de anclaje, la preparación del proceso de carga será de forma tal que el equipo permanezca estable y no genere movimientos en el terreno que puedan cambiar notablemente el comportamiento del pilote.

9.3.2.14 Los soportes o los anclajes de un sistema de reacción deberían observar las siguientes distancias mínimas respecto al pilote a ensayar:

- a) soportes de lastre: $a \geq 3 \times D$;
- b) anclajes verticales: $a \geq 3 \times D$ y $a \geq 3,0$ m;
- c) anclajes inclinados: $a \geq 5 \times D$ y $a \geq 5,0$ m.

9.3.2.15 Los resultados de la prueba terminada, juntamente con todos los detalles del pilote ensayado, su situación y un compendio de las características del terreno, se presentarán sin demora a la propiedad, en un informe que contendrá formularios gráficos y numéricos si fuera procedente.

9.3.2.16 Cuando se hayan aplicado cargas rápidas, se presentarán datos completos de correlación con pruebas de carga escalonada en terreno similar.

10 PARTES DE OBRA

10.1 Los partes de obra estarán formados por dos secciones. La primera hará referencia a la obra incluyendo las informaciones generales relativas a:

- el pilote (tipo, dimensiones, etc.);
- el método de construcción; y
- las especificaciones de la armadura y del hormigón.

La segunda sección contendrá información particular relacionada con el procedimiento constructivo.

10.2 La sección de información general será similar para los diferentes tipos de pilotes y de métodos y contendrá los datos detallados en las tablas 17 y 18.

10.3 La sección de información particular será específica del tipo de pilote y del método de construcción y contendrá los datos detallados en la tabla 19.

10.4 Según los casos, la información puede ser proporcionada en forma de

- partes individuales compilados por cada pilote; o
- partes resumiendo grupos de pilotes del mismo tipo y contruidos con el mismo sistema.

10.5 Previamente al comienzo de los trabajos, deberán convenirse los detalles de la toma de datos y el formato de los partes de obra.

NOTA – En el anexo B se proporcionan modelos de partes de obra.

Tabla 17
Información general de la obra

	Concepto	Necesidad
1	emplazamiento de la obra	X
2	identificación del contrato	X
3	estructura	X
4	contratista principal	(X)
5	contratista de las cimentaciones (del pilotaje)	X
6	cliente / propiedad	(X)
7	ingeniero / proyectista	(X)
X información necesaria.		
(X) información a indicar según los casos.		

Tabla 18
Información general sobre el procedimiento

	Concepto	Necesidad
1	diámetro/dimensiones/agrandamientos del pilote	X
2	método de excavación	X
3	detalles del lodo estabilizador	X
4	sistema de limpieza	X
5	detalles de la armadura	X
6	especificaciones del hormigón	X
7	detalles del hormigonado	X
X información necesaria.		

10.6 Los partes de cualquier ensayo de integridad detallarán:

- la razón para realizar el ensayo;
- el método y el procedimiento del ensayo;
- los resultados del ensayo; y
- las conclusiones sobre la integridad del pilote.

NOTA – Las especificaciones de la toma de datos de prueba de carga estática o dinámica y el formato del informe de la prueba de carga se indican en la Norma Europea Experimental ENV 1997-1.

10.7 Si no se acordara de otra forma, todos los partes serán firmados por el representante del contratista y por el representante del cliente.

Tabla 19
Relación de informaciones a facilitar

Nº	Concepto	Excavación entubada / no entubada	Excavación estabilizada con lodos	Pilotes de hélice continua
1	número de referencia del pilote	X	X	X
2	tiempos de excavación	X	X	X
3	interrupciones de la excavación	X	X	X
4	remoción de obstáculos	X	X	–
5	entubado provisional / permanente	X	–	–
6	profundidad del entubado	X	–	–
7	emboquillado / murete-guía	–	X	(X)
8	profundidad del emboquillado	–	X	(X)
9	profundidad del pilote	X	X	X
10	corte estratigráfico	X	X	(X)
11	nivel del acuífero	X	X	(X)
12	limpieza	X	X	–
13	lodo estabilizador – propiedades	–	X	–

(Continúa)

Tabla 19 (Fin)
Relación de informaciones a facilitar

Nº	Concepto	Excavación entubada / no entubada	Excavación estabilizada con lodos	Pilotes de hélice continua
14	– recuperación	–	X	–
15	armadura – longitud	X	X	X
16	– suspensión	X	X	X
17	– tiempo de colocación	X	X	X
18	colocación del hormigón – en seco / sumergido	X	X	–
19	– tiempo de colocación	X	X	X
20	– interrupciones	X	X	X
21	– volumen	X	X	X
22	– presión	–	–	X
23	– ensayos en obra	X	X	X
24	extracción de entubado	X	–	–
25	extracción de emboquillado	–	X	(X)
26	llenado de perforación sin hormigonar	X	X	X
27	elementos de hormigón prefabricado – tipo y detalles	X	X	–
28	– instalación	X	X	–
29	– proceso de inyección externa	X	X	–
30	– propiedades del lodo autoendurecible	X	X	–
31	– suspensión	X	X	–
32	– recubrimiento	X	X	–
33	inyección externa – detalles de los tubos de inyección / estructura de la caja flexible	X	X	(X)
34	– propiedades de la lechada	X	X	(X)
35	– proceso de inyección	X	X	(X)
36	pilotes inyectados – detalles de los áridos	X	–	–
37	– detalles del sistema de inyección	X	–	–
38	– propiedades de la lechada	X	–	–
39	– proceso de inyección de la perforación	X	–	–
40	inyección de fuste y de base – zona a inyectar	X	X	X
41	– detalles del sistema de inyección	X	X	X
42	– propiedades de la lechada	X	X	X
43	– proceso de inyección	X	X	X
44	desviaciones de construcción – posicionamiento	X	X	X
45	– inclinación	X	X	X

X información necesaria.
(X) información según los casos.
– no aplicable.

11 ESPECIFICACIONES PARTICULARES

11.1 Cuando se ejecuten obras de pilotes perforados, deberán observarse las normas y las especificaciones nacionales o los requerimientos estatutarios, mientras las respectivas normas europeas no estén disponibles, en lo que respecta a:

- seguridad de la obra;
- seguridad de las prácticas de trabajo;
- legalidad de los trabajos manuales y de las inspecciones dentro de las excavaciones; y
- seguridad funcional del pilotaje, así como del equipo auxiliar y de las herramientas.

11.2 El equipo será conforme a la Norma Europea EN 791.

11.3 Se prestará especial atención a:

- todos los procesos que impliquen personas que operen junto a maquinaria y herramientas pesadas;
- el peligro que suponen las perforaciones abiertas;
- trabajos manuales e inspecciones que se realicen en el interior de las excavaciones.

11.4 Las excavaciones manuales deberían reducirse al mínimo.

11.5 Las excavaciones manuales se limitarán a condiciones de ausencia de agua, donde el terreno es estable por naturaleza o donde se mantiene constantemente una entibación de las paredes de la excavación.

11.6 El empleo de personal en el interior de una perforación sólo está permitido en el caso de que el espacio disponible para trabajar tenga un diámetro mínimo de 0,75 m.

11.7 Se reducirán al mínimo la alteración y/o el deterioro del medioambiente que puedan causar los trabajos de pilotaje.

11.8 Tal alteración y/o deterioro medioambiental puede ser debidos a:

- ruido;
- vibración del terreno;
- contaminación del terreno;
- contaminación de aguas superficiales;
- contaminación de aguas subterráneas; y
- contaminación del aire.

NOTA – El tipo y la amplitud de la posible alteración o impacto medioambiental dependen de:

- la situación;
- el método de trabajo;
- los procesos realmente aplicados en la práctica.

11.9 Respecto a la alteración y la protección del medioambiente, se observarán, en cada caso particular

- las especificaciones nacionales (mientras no estén disponibles las respectivas normas europeas); y
- las especificaciones locales.

ANEXO A (Informativo)

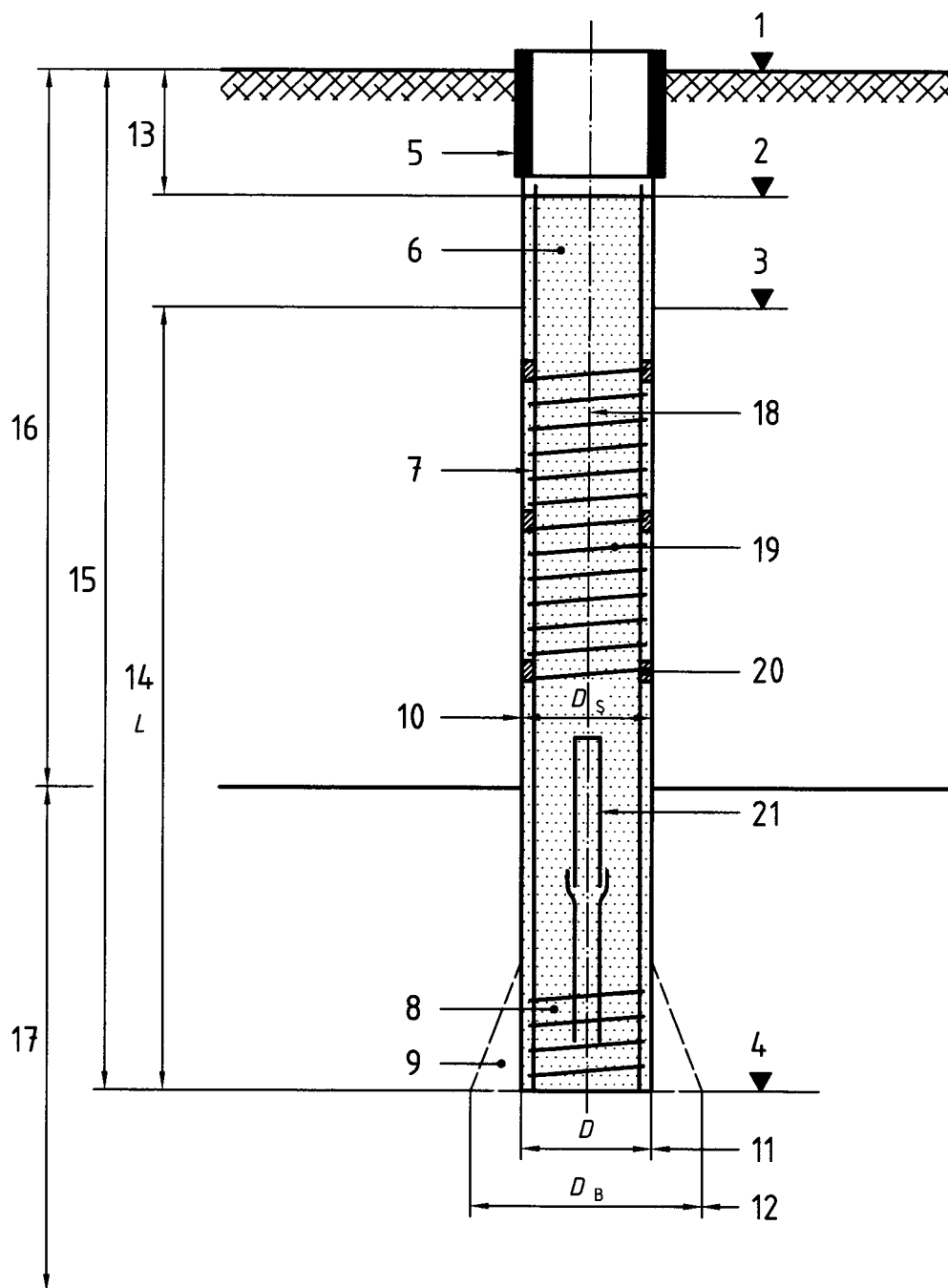
GLOSARIO

- A.1 **Minipilote (o micropilote):** Pilote perforado con diámetro $D < 0,3$ m, construido normalmente con sistemas especiales (no contemplado en esta norma europea).
- A.2 **Pilote perforado moldeado *in-situ*:** Pilote hormigonado en una perforación o en un entubado hincado.
- A.3 **Pilote perforado simple:** Pilote perforado, construido en terrenos suficientemente estables que hacen innecesario contener las paredes de la perforación.
- A.4 **Pilote inclinado:** Pilote ejecutado con una inclinación respecto a la horizontal.
- A.5 **Pilote de desplazamiento:** Pilote formado en el terreno sin excavación ni retirada de material (por ejemplo, un pilote hincado o roscado, no contemplado en esta norma europea).
- A.6 **Pilote hincado:** Pilote hincado en el terreno mediante golpeo, vibración o presión estática y el terreno resulta desplazado por el pilote (no contemplado en esta norma europea).
- A.7 **Pilote hincado moldeado *in-situ*:** Pilote ejecutado mediante la hinca de un entubado permanente o provisional de base ciega y llenando el hueco así formado con hormigón en masa o armado (no contemplado en esta norma europea).
- A.8 **Pilote prefabricado:** Pilote totalmente preformado de hormigón armado o pretensado, colocado en un tramo o varios tramos unidos por juntas y normalmente instalado mediante hinca (no contemplado en esta norma europea).
- A.9 **Pilote roscado:** Pilote de desplazamiento en el cual el pilote o el tubo está provisto de un número limitado de hélices en su base y es colocado mediante la acción combinada de un par de fuerzas y de un empuje vertical. Durante su introducción y/o extracción, el terreno, en esencia, se desplaza lateralmente y prácticamente el terreno no se excava (no contemplado en esta norma europea).
- A.10 **Pilote roscado moldeado *in-situ*:** Pilote roscado realizado mediante atornillado en el terreno de un entubado permanente o provisional de fondo ciego, dotado en su base de una cabeza de desplazamiento en forma de tornillo. El hueco así formado se rellena de hormigón en masa o armado (no contemplado en esta norma europea).
- A.11 **Pilote roscado prefabricado:** Pilote roscado realizado atornillando en el terreno un pilote cilíndrico prefabricado en hormigón armado o pretensado, dotado en su base de un número limitado de pestañas de hormigón (no contemplado en esta norma europea).
- A.12 **Cabeza de pilote:** Parte superior del pilote.
- A.13 **Base de pilote:** (1) Superficie del fondo del pilote.
- A.14 **Base de pilote:** (2) Parte inferior del pilote.
- A.15 **Fuste de pilote:** El cuerpo del pilote comprendido entre la cabeza y la base.
- A.16 **Rozamiento lateral:** Resistencia a fricción y/o adhesión sobre la superficie lateral del pilote.

- A.17 **Rozamiento lateral negativo:** Esfuerzo a fricción y/o adhesión por el cual el terreno o relleno circundantes transmiten cargas descendentes a un pilote, cuando el terreno o el relleno se asientan respecto al fuste del pilote.
- A.18 **Empotramiento:** Parte inferior de un pilote en terreno duro (usualmente roca).
- A.19 **Excavación / perforación:** (1) Acción de excavar, izar y retirar terreno, roca o relleno para formar una cavidad en el suelo.
(2) La cavidad realizada para un pilote perforado.
- A.20 **Obstáculo:** Estrato duro natural (o artificial), bloques o terreno similar, que exigen el empleo de herramientas o métodos especiales de excavación.
- A.21 **Jaula de armadura:** Armadura para pilotes compuesta por barras longitudinales colocadas en forma de generatrices de un cilindro o un prisma rectangular, a la que se atan o fijan estribos, aros o hélices.
- A.22 **Separadores, tacos separadores:** Elemento de plástico, acero o de hormigón (taco) fijado a la armadura para mantener lateralmente la misma y asegurar el recubrimiento de hormigón.
- A.23 **Centrador:** Dispositivo para centrar la armadura en la perforación de un pilote.
- A.24 **Desviación en planta de un pilote:** Distancia horizontal entre el eje del pilote construido y el de diseño, en la cota de la plataforma de trabajo. (La excentricidad del pilote se refiere a la desviación en la cota de descabezado).
- A.25 **Barras de suspensión:** Elementos de acero colocados para evitar que una jaula de armadura destinada a la parte superior de un pilote pueda caer al fondo de la perforación (colgadero).
- A.26 **Barras de espera:** Barras de acero insertadas en el hormigón fresco de la cabeza de un pilote, de forma que sobresalgan parcialmente para la conexión del pilote con la superestructura.
- A.27 **Cota de hormigonado:** Cota final que alcanza el vertido del hormigón en la excavación de un pilote. Se sitúa por encima de la cota de descabezado, con un margen en función del procedimiento de ejecución.
- A.28 **Perforación sin hormigonar:** Tramo de excavación comprendido entre la cota de la plataforma de trabajo y la cota de hormigonado o la cabeza del pilote establecida.
- A.29 **Cota de descabezado:** Cota especificada a la cual se corta el pilote antes de conectarlo a la superestructura.
- A.30 **Descabezado:** (1) Remoción de hormigón contaminado o no conforme a las normas, de la cabeza del pilote.
(2) Remoción de hormigón sobrante por encima de la cota de descabezado de proyecto.
- A.31 **Preperforación:** Proceso de excavación previa, principalmente para atravesar estratos superficiales o la remoción de obstáculos.
- A.32 **Cuchara de almeja:** Herramienta de excavación con dos o más mandíbulas o valvas, para remover, con operación intermitente, terreno o detritus de una excavación.
- A.33 **Trépano:** Herramienta para la rotura de obstáculos en la excavación de un pilote o para empotrar un pilote en terreno duro o roca.
- A.34 **Cazo o cubo de perforación:** Herramienta de perforación con forma de contenedor cilíndrico, aplicado a la base de un *kelly* y utilizado para la excavación discontinua por rotación, que incorpora cuchillas o dientes de corte en las correspondientes aperturas practicadas en la tapa de base provista de bisagra, para la entrada del material excavado.

- A.35 **Hélice:** Herramienta compuesto por un eje, aletas helicoidales y borde o bordes cortantes para perforación intermitente (cuando está accionada por un *kelly*, véase la figura A.4) o perforación continua (hélice continua, véase la figura A.9).
- A.36 **Barra-kelly:** Eje deslizante sobre un equipo de perforación que transmite el par necesario para el proceso de perforación, de una mesa de rotación motorizada al útil de perforación.
- A.37 **Entubado:** Tubo de acero usado para asegurar la estabilidad de la perforación de un pilote (por ejemplo, en terreno inestable).
- A.38 **Entubado permanente:** Revestimiento permanente y continuo de un pilote moldeado *in-situ*, diseñado para contener las paredes de la perforación y/o actuar como un elemento protector o portante.
- A.39 **Corona cortante o de ataque:** Parte inferior de un entubado, normalmente reforzada y con dientes para facilitar su penetración en el terreno.
- A.40 **Camisa de revestimiento:** Tubo, generalmente de lámina de acero delgada, que forma parte del fuste de un pilote (por ejemplo, utilizada para la protección de fustes de pilote en terrenos blandos o para reducir el rozamiento negativo).
- A.41 **Fluido / lodo estabilizador:** Agua mezclada con arcilla, bentonita u otro material para la contención de las paredes y de la base de la excavación en terreno inestable.
- A.42 **Fluido / lodo de perforación:** Suspensión compuesta por agua y bentonita, polímeros o arcilla, con o sin cemento u otros aditivos, para la estabilización de las paredes de la perforación y para la evacuación de sedimentos.
- A.43 **Bentonita:** Arcilla montmorillonítica de sodio o calcio, natural o artificial. Los minerales, en presencia de agua, aumentan de volumen formando una suspensión que es fluida cuando se agita y se gelatiniza cuando está en reposo, debido a la acción tixotrópica.
- A.44 **Suspensión bentonítica:** Lodo estabilizador compuesto por bentonita y agua.
- A.45 **Fabricación de lodo *in-situ* (*mudding-in*):** Técnica consistente en agitar bentonita o arcilla en polvo y agua mediante una hélice, en terreno granular, para facilitar la colocación de un entubado provisional.
- A.46 **Sarta de perforación:** Conjunto de útiles usado para perforación continua, compuesto por una cabeza (por ejemplo, cabeza de perforación, corona, hélice, cazo) y sarta de maniobra (por ejemplo, tubos de perforación, barras-kelly, estabilizadores, contrapesos).
- A.47 **Extracción por aire comprimido (*air lifting*):** Técnica que consiste en bombear aire en la base de un tubo de succión para reducir la densidad del material dentro del tubo y producir un flujo ascendente para evacuar sólidos y fluidos (lavado).
- A.48 **Perforación por circulación directa:** Método de excavación continua que consiste en introducir el lodo en sentido descendente en el tubo central de la sarta de perforación, con el objeto de desplazar el detritus en sentido ascendente dentro de la perforación.
- A.49 **Perforación por circulación inversa:** Método de excavación continua en el cual el lodo contenido en la perforación es bombeado hacia arriba a través de una tubería central para desplazar el detritus (por ejemplo, mediante extracción por aire comprimido).
- A.50 **Tubo de hormigonado:** Tubo metálico formado por varios tramos unidos entre sí y equipado arriba con una tolva o vertedor para la colocación del hormigón.
- A.51 **Tubo-tremie:** Tubo de hormigonado provisto de uniones estancas para la colocación de hormigón sumergido. El extremo inferior del tubo permanece inmerso en el hormigón durante el vertido.

- A.52 **Lechada:** Mezcla fluida de un agente endurecible (normalmente cemento), árido fino y agua que generalmente se endurece tras su puesta en obra.
- A.53 **Inyección de base de pilote:** Inyección de lechada a presión por debajo de la base de un pilote construido, para mejorar su comportamiento bajo carga. A este fin, se colocan tubos de inyección o se crea previamente una oquedad en la base del pilote.
- A.54 **Inyección de fuste de pilote:** Inyección de lechada para mejorar el rozamiento del pilote, que se efectúa tras el endurecimiento del hormigón del pilote, mediante tubos de inyección que se instalan junto con la armadura del pilote.



- | | | | | | |
|---|-----------------------|----|--------------------------------|----|---------------------------|
| 1 | plataforma de trabajo | 8 | base del pilote | 15 | profundidad de excavación |
| 2 | cota de hormigonado | 9 | ensanchamiento de base | 16 | terreno de cobertura |
| 3 | cota de descabezado | 10 | diámetro del fuste D_s | 17 | estrato portante |
| 4 | cota de fondo/base | 11 | diámetro del pilote D | 18 | eje del pilote |
| 5 | emboquillado | 12 | diámetro base ensanchada D_b | 19 | jaula de armadura |
| 6 | cabeza del pilote | 13 | perforación sin hormigonar | 20 | separador |
| 7 | fuste del pilote | 14 | longitud del pilote L | 21 | tubo de hormigonado |

Fig. A.1 – Pilote perforado – Terminología

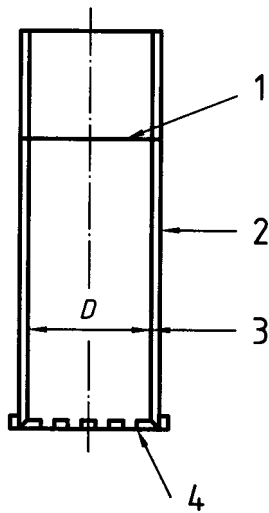


Fig. A.2 – Entubado

- 1 unión
- 2 entubado (provisional / permanente)
- 3 diámetro del fuste
- 4 corona cortante

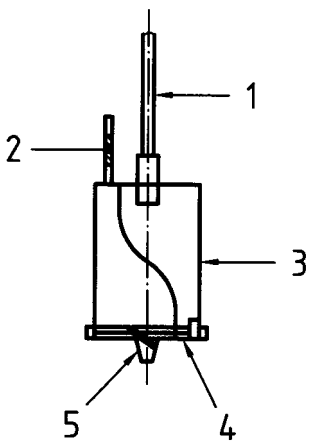


Fig. A.3 – Cazo o cubo de perforación

- barra *kelly* 1
- palanca de apertura 2
- cazo o cubo 3
- tapa de base 4
- “cola de pez” 5

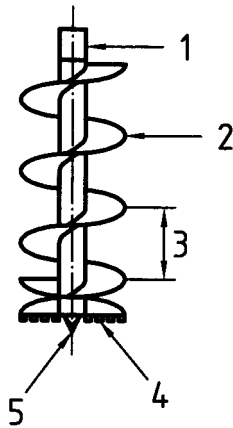


Fig. A.4 – Hélice

- 1 eje
- 2 aleta
- 3 paso
- 4 borde cortante
- 5 “cola de pez”

- suspensión 1
- cuerpo 2
- poleas 3
- valvas o mandíbulas 4

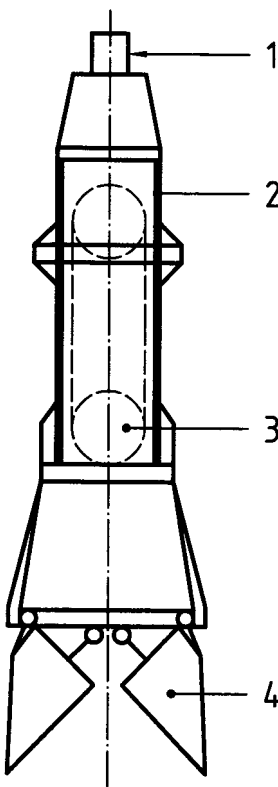


Fig. A.5 – Cuchara

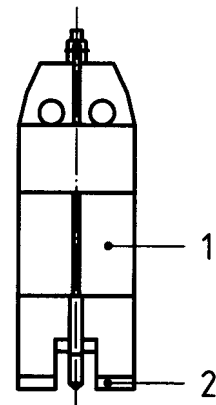


Fig. A.6 – Trépano

- 1 Cuerpo del trépano
- 2 Base de golpeo

Fig. A.2 a A.6 – Útiles para excavación discontinua

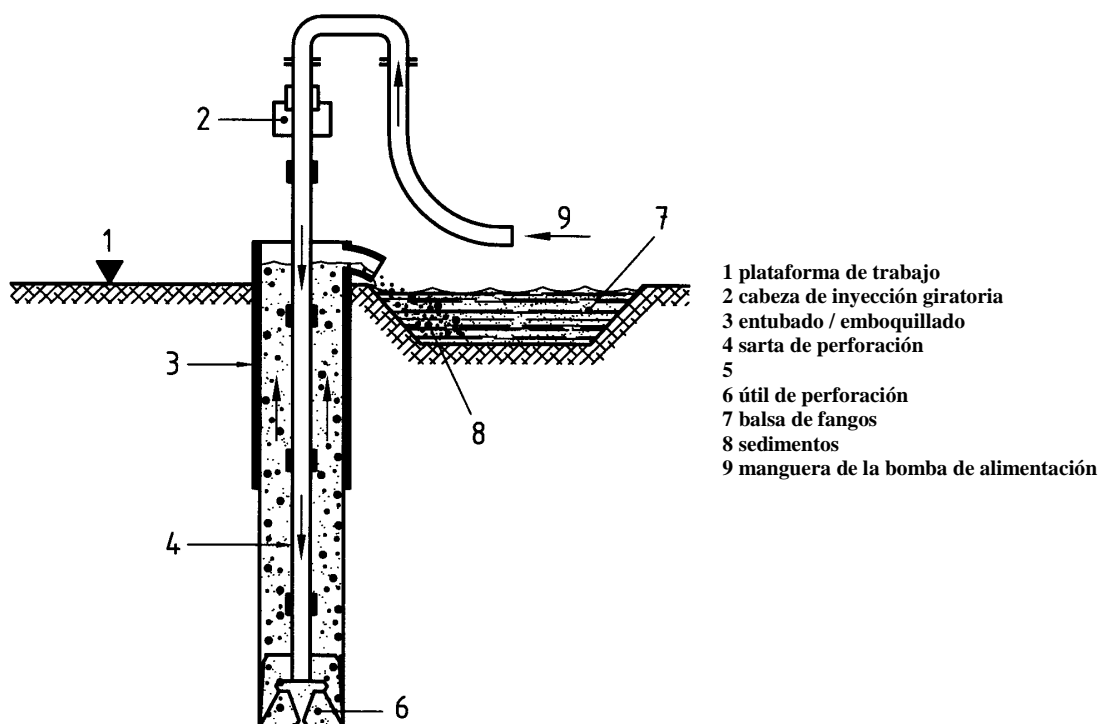


Fig. A.7 – Método de perforación por circulación directa

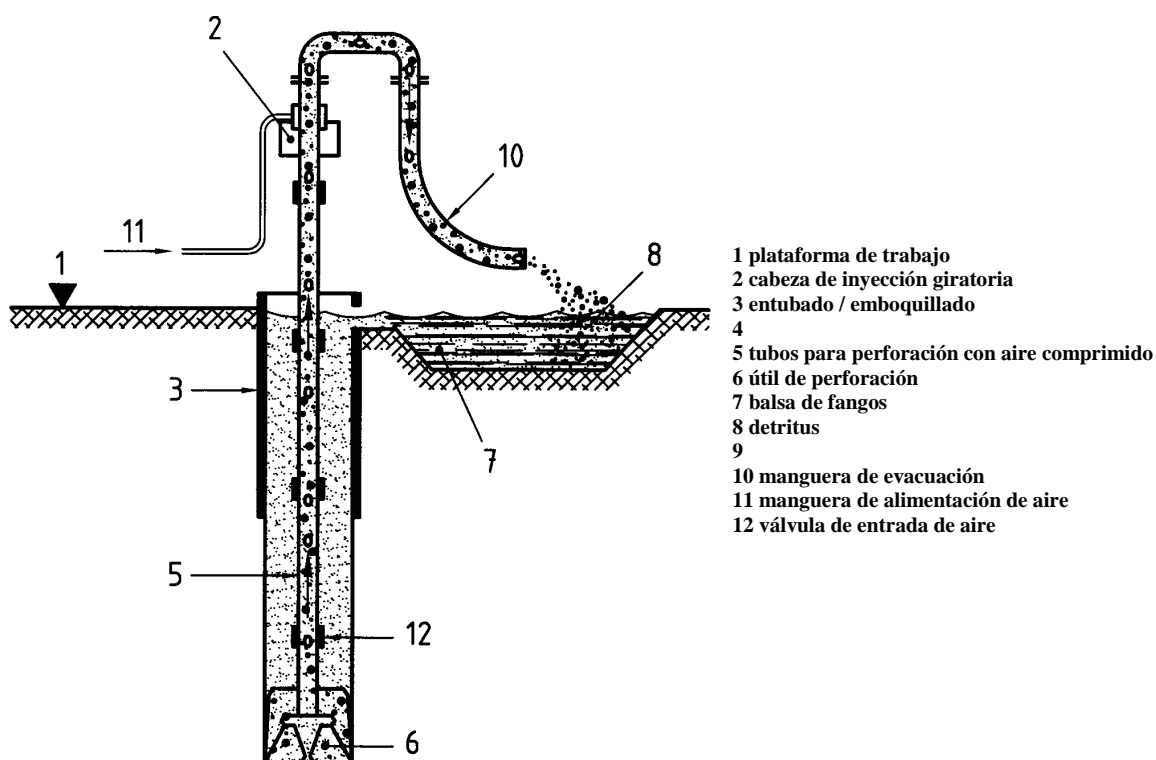


Fig. A.8 – Método de perforación por circulación inversa

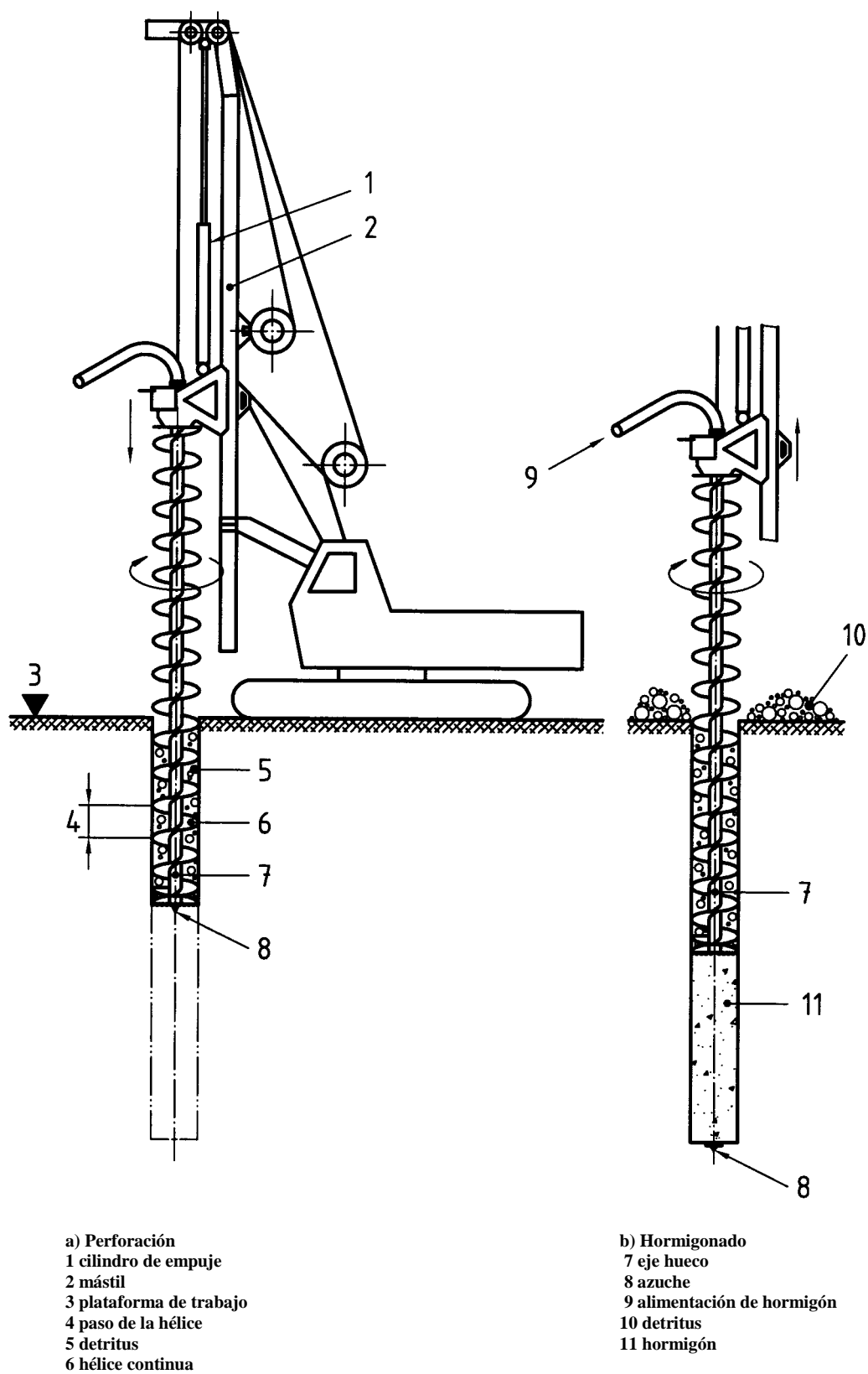


Fig. A.9 – Perforación con hélice continua

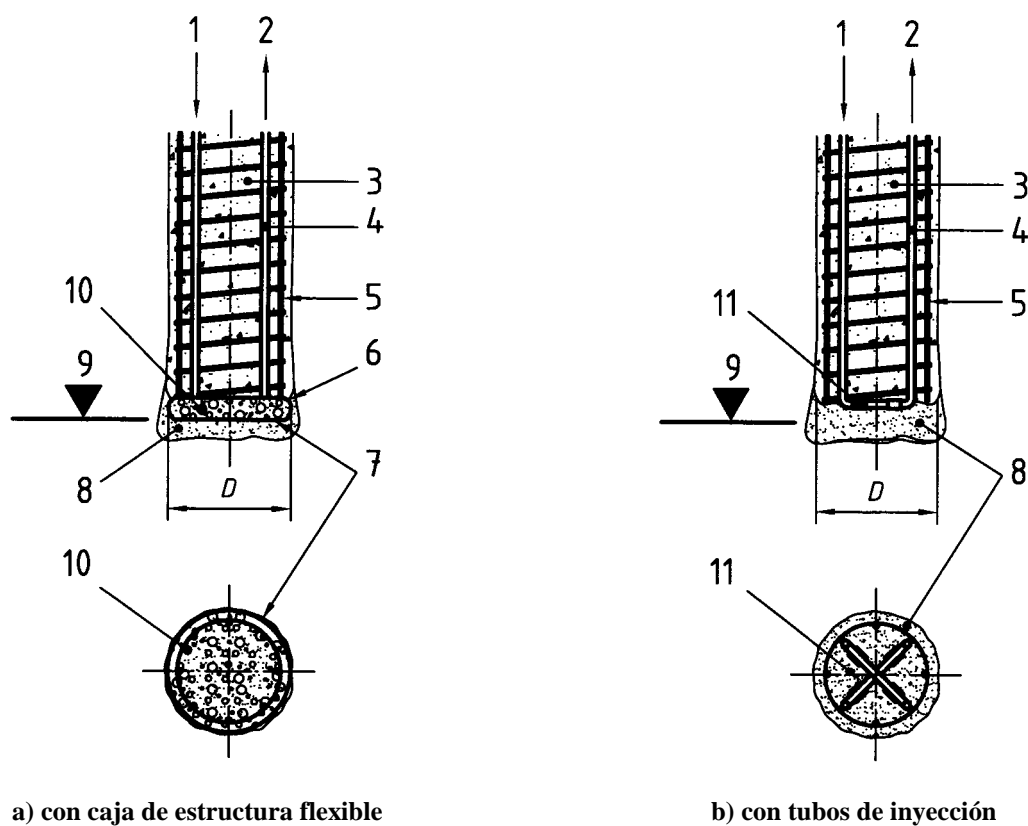


Fig. A.10 – Inyección en base de pilote (ejemplos)

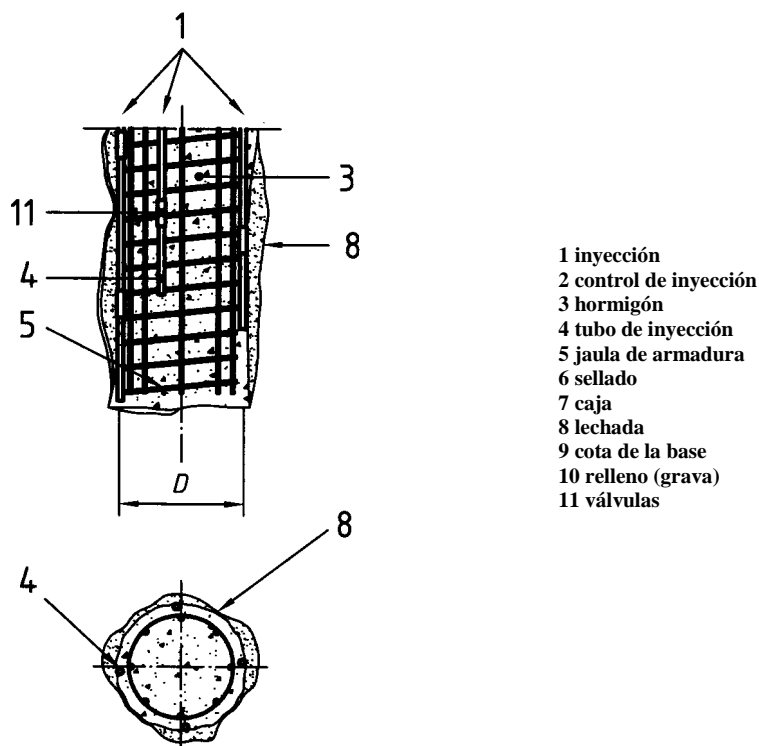


Fig. A.11 – Pilote con fuste inyectado (ejemplo)

ANEXO B (Informativo)**MODELOS DE PARTES DE OBRA**

1 Este anexo contiene modelos de partes de obra para:

		Página
– pilotes con perforación entubada o libre	(EJEMPLO: B.1 y EJEMPLO: B.2)
– pilotes perforados contruidos con lodos estabilizadores	(EJEMPLO: B.3 y EJEMPLO: B.4)
– pilotes de hélice continua	(EJEMPLO: B.5 y EJEMPLO B.6)

2 Los partes del B.1 al B.6 pueden complementarse, cuando fueren de aplicación, con formularios tales como:

- partes de inspección;
- partes de control de lodos;
- partes de mezcla de hormigón (solo en el caso de mezclado en obra);
- documentos de entrega de hormigón y/o lechada;
- ensayos en obra de consistencia, temperatura y trabajabilidad de hormigón y lechada;
- partes de colocación de hormigón;
- partes de inyección;
- partes de inspección de descabezado.

B.1 Construcción de pilotes con perforación entubada o libre: Datos generales

Contratista _____ Tipo de pilote y método _____

Obra _____

Plano nº _____ Excavación entubada _____ ☐

Excavación sin entubar _____ ☐

1 Datos del pilote

- a) Diámetro _____ m
- b) Diámetro ext. entubado _____ m
- c) Diámetro corona cortante _____ m
- d) Diámetro útil perforación _____ m
- e) Excavación bajo agua _____ ☐
- _____
- _____

- e) Áridos (tamaño máximo) _____
- f) Relación agua/cemento A/C = _____
A = peso agua C = peso cemento
- g) Aditivos en hormigón _____
% del peso del cemento _____
- h) Aditivos retardadores _____
Tiempo de trabajabilidad _____

2 Armadura

- Plano nº _____
- a) Colocación de jaula de armadura _____
- antes del hormigonado _____ ☐
 - después del hormigonado _____ ☐
- b) Separadores _____ ☐
- tipo _____
 - Nº/Intervalos longitudinales _____/_____ m

4 Colocación del hormigón

- a) Sumergido _____ ☐
- En seco _____ ☐
- b) Método de colocación _____
- tubo-*tremie* Ø _____ m ☐
 - manguera de bombeo Ø _____ m ☐
 - otro método de colocación _____ ☐
 - descripción _____

3 Hormigón

- a) Resistencia nominal C _____
Consistencia: S/F/superplastificado _____
- b) Hormigón preparado _____ ☐
- Mezclado en obra _____ ☐
- c) Tipo de cemento (Proveedor) _____
- d) Contenido de cemento _____ kg/m³

- c) Limpieza de la base del pilote _____
- d) Medidas para separar el hormigón fresco del agua al comienzo del vertido _____

5 Comentarios / _____

observaciones _____

☐ Marcar lo que proceda

B.2 Construcción de pilotes perforados con excavación entubada o libre : Datos particulares

Pilote nº	_____	Pilote a compresión	_____	<input type="checkbox"/>
	_____	Pilote a tracción	_____	<input type="checkbox"/>
	_____	Inclinación	_____	<input type="checkbox"/>

1 Corte estratigráfico

[illegible]

2 Tiempos de ejecución

1	2	3	4	5
Proceso	Temperatura ambiente °C	Horas de a		Fecha
Excavación				
Trépano				
Paradas				
Formación de la base				
Vertido				

☐ Marcar lo que proceda

3 Datos del pilote

- a) Medición de profundidad excavada
_____ m bajo la plataforma de trabajo
- b) Empleo de trépano:
de _____ m a _____ m
bajo la plataforma de trabajo
- c) Desviación en cota de plataforma de trabajo
Eje: ____ : ____ cm Eje: _____ cm

4 Armadura

Desviaciones respecto a plano nº: _____
Desviaciones a lo largo de la longitud: _____
Modificaciones: _____

5 Hormigón

Eventos especiales _____

6 Colocación del hormigón

Nivel del agua dentro de la perforación
debajo de plataforma de trabajo,
al comienzo del vertido _____ m
Consumo de hormigón
Teórico _____ m³ Real _____ m³

7 Comentarios / observaciones

Desviaciones con respecto a datos generales

8 Firmas / fecha

Encargado / Supervisor _____
Representante del Contratista _____
Representante del Cliente _____

B.3 Construcción de pilotes perforados con lodo estabilizador: Datos generales

Contratista _____ Tipo de pilote y método _____
 Obra _____
 Plano nº _____

1 Datos del pilote

- | | |
|--|--|
| a) Diámetro pilote/ <i>barrette</i> _____ m | e) Áridos (tamaño máximo) _____ |
| b) Dimensiones murte-guía/emboquillado _____ m | f) Relación agua/cemento A/C = _____
A = peso agua C = peso cemento |
| c) Útil de perforación _____ | g) Aditivos en hormigón _____
% del peso del cemento _____ |
| d) Dimensiones exteriores _____ | h) Aditivos retardadores _____
Tiempo de trabajabilidad _____ |
| – del útil de excavación _____ m | |
| – de la base cortante _____ m | |

2 Armadura

- Plano nº _____
- a) Colocación de jaula de armadura _____
- antes del hormigonado _____ ☐
 - después del hormigonado _____ ☐
- b) Separadores _____ ☐
- tipo _____
 - Nº/Intervalos longitudinales _____/_____ m

4 Colocación del hormigón

- a) Sumergido _____ ☐
- En seco _____ ☐
- b) Método de colocación _____
- tubo-*tremie* Ø _____ m ☐
 - manguera de bombeo Ø _____ m ☐
 - otro método de colocación _____ ☐
 - descripción _____

3 Hormigón

- a) Resistencia nominal C _____
- Consistencia: S/F/superplastificado _____
- b) Hormigón preparado _____ ☐
- Mezclado en obra _____ ☐
- c) Tipo de cemento (Proveedor) _____
- d) Contenido de cemento _____ kg/m³

- c) Limpieza de la base del pilote _____
- d) Medidas para separar el hormigón fresco del agua al comienzo del vertido _____

5 Comentarios / _____
observaciones _____

☐ Marcar lo que proceda

Pilote nº _____ Pilote a compresión _____ ☐
 _____ Pilote a tracción _____ ☐
 Inclinación _____

m bajo plata- forma de trabajo	m sobre cota de referen- cia	Descripción del terreno	Nivel freático	Útil perf./ Entubado de m a m
_____ _____	± 0	plataforma de trabajo ∇		

_____ _____				

1	2	3	4	5
Proceso	Temperatura ambiente °C	Horas		Fecha
		de	a	
Excavación				
Trépano				
Paradas				
Formación de la base				
Vertido				

☐ Marcar lo que proceda

3 Datos del pilote

- a) Medición de profundidad excavada
 _____ m bajo la plataforma de trabajo
- b) Empleo de trépano:
 de _____ m a _____ m
 bajo la plataforma de trabajo
- c) Desviación en cota de plataforma de trabajo
 Eje: ____ : ____ cm Eje: ____ : ____ cm

4 Valores reales del lodo estabilizador

	Unidad	Antes del hormigona- do	Después del hormigo- nado
Densidad	g/cm ³		
Valor Marsh	seg.		
Pérdida agua	cm ³		
Cont. arena	%		
Alcalinidad	pH		

Nivel del lodo sobre cota inferior
 murete-guía o emboquillado _____ m
 sobre nivel freático _____ m

5 Armadura

Desviaciones respecto a plano n°: _____
 Desviaciones a lo largo de la longitud: _____
 Modificaciones: _____

6 Hormigón

Eventos especiales _____

7 Colocación del hormigón

Nivel del líquido dentro de la perforación
 sobre cota inferior murete-guía/emboquillado,
 al comienzo del vertido _____ m
 Consumo de hormigón
 Teórico _____ m³ Real _____ m³

8 Comentarios / observaciones

Desviaciones con respecto a datos generales

9 Firmas / fecha

Encargado / Supervisor _____
 Representante del Contratista _____
 Representante del Cliente _____

B.5 Construcción de pilotes con hélice continua: Datos generales

Contratista _____	Tipo de pilote y método _____
Obra _____	Maquinaria y equipo _____
Plano nº _____	

1 Datos del pilote

- a) Longitud de la hélice _____ m
- b) Diámetro exterior hélice D_a _____ m
- c) Diámetro eje D_i _____ m
- d) Paso de la hélice _____ m
- e) Relación D_i/D_a _____ m
- f) Fondo cerrado ☐ Fondo abierto ☐

- e) Áridos (tamaño máximo) _____
- f) Relación agua/cemento A/C = _____
A = peso agua C = peso cemento
- g) Aditivos en hormigón _____
% del peso del cemento _____
- h) Aditivos retardadores _____
Tiempo de trabajabilidad _____

2 Armadura

- Plano nº _____
- a) Colocación de jaula de armadura _____
- antes del hormigonado _____ ☐
 - después del hormigonado _____ ☐
 - empleo de vibrador _____ ☐
- b) Separadores _____ ☐
- tipo _____
 - Nº/Intervalos longitudinales _____/_____ m

4 Colocación del hormigón

- a) Sumergido _____ ☐
- En seco _____ ☐
- b) Método de colocación _____
- tubo-*tremie* Ø _____ m ☐
 - manguera de bombeo Ø _____ m ☐
 - otro método de colocación _____ ☐
 - descripción _____

- c) Limpieza de la base del pilote _____

3 Hormigón

- a) Resistencia nominal C _____
- Consistencia: S/F/superplastificado _____
- b) Hormigón preparado _____ ☐
- Mezclado en obra _____ ☐
- c) Tipo de cemento (Proveedor) _____
- d) Contenido de cemento _____ kg/m³

- d) Medidas para separar el hormigón fresco del agua al comienzo del vertido _____

5 Comentarios / observaciones _____

☐ Marcar lo que proceda

ANEXO C (Informativo)

NIVEL DE OBLIGATORIEDAD DE LAS DISPOSICIONES

El nivel de obligatoriedad de las disposiciones se indica de la forma siguiente:

(RQ) : Prescripción;

(RC) : Recomendación;

(PE) : Autorización;

(PO) : Posibilidad y eventualidad.

1 Objeto y campo de aplicación

1.1 – 1.11
Disposiciones

2 Normas para consulta

NOTA 1
NOTA 2
2.1 (RQ)
2.2 Relación

3 Definiciones

NOTA
3.1 – 3.22

4 Datos y condiciones necesarias para la construcción de pilotes perforados

4.1 (RC)
4.2 (RQ)
4.3 (RQ)
4.4 (RQ)
EJEMPLOS

5 Reconocimiento del terreno

5.1 Generalidades

NOTA
5.1.1 (RQ)
5.1.2 (RQ)
5.1.3 (RQ)
5.1.4 (RC)
5.1.5 (RC)
5.1.6 (PE)
5.1.7 (RQ)
5.1.8 (RQ)

5.2 Especificaciones particulares

5.2.1 (RQ)
5.2.2 (RQ)

6 Materiales y productos

6.1 Generalidades

6.1.1 (RQ)
6.1.2 (RQ)
6.1.3 (RQ)

6.2 Materiales para hormigón y lechada

6.2.1 Cemento

6.2.1.1 (RQ)
6.2.1.2 (PE)
6.2.1.3 (RQ)
6.2.1.4 (RC)

6.2.2 Áridos

6.2.2.1 (RQ)
6.2.2.2 (RQ)
6.2.2.3 (RC)
6.2.2.4 (RQ)
6.2.2.5 (RQ)

6.2.3 Agua

6.2.3.1 (RQ)
6.2.3.2 (PE)

6.2.4 Aditivos

6.2.4.1 (RQ)
6.2.4.2 (RQ)
6.2.4.3 (RQ)
6.2.4.4 (PE)
6.2.4.5 (RQ)
6.2.4.6 (PE)
NOTA
6.2.4.7 (RQ)
6.2.4.8 (PE)

6.3 Hormigón

6.3.1 Generalidades

6.3.1.1 (RQ)
6.3.1.2 (RQ)
6.3.1.3 (PE)
6.3.1.4 (PE)
6.3.1.5 (RQ)
6.3.1.6 (PE)
6.3.1.7 (RQ)
NOTA
6.3.1.8 (PO)

6.3.2 Mezclado

6.3.2.1 (RQ)
6.3.2.2 (PE)
6.3.2.3 (RQ)
6.3.2.4 (RQ)
6.3.2.5 (RQ)

6.3.3 Toma de muestras y ensayos

6.3.3.1 (RQ)
6.3.3.2 (RQ)
6.3.3.3 (RQ)
6.3.3.4 (RQ)
6.3.3.5 (PE)
6.3.3.6 (PO)
EJEMPLOS
6.3.3.7 (RQ)
6.3.3.8 (RQ)

6.4 Lechada

6.4.1 (RQ)
6.4.2 (RQ)
6.4.3 (RQ)
6.4.4 (RC)
NOTA
6.4.5 (PE)

6.5 Fluidos estabilizadores

6.5.1 Generalidades

6.5.1.1 (RQ)
6.5.1.2 (RQ)

6.5.2 Suspensiones bentónicas

6.5.2.1 (RQ)
6.5.2.2 (RQ)
6.5.2.3 (RQ)
6.5.2.4 (PE)
6.5.2.5 (PE)
6.5.2.6 (PE)

6.5.3 Polímeros y otras suspensiones

6.5.3.1 (PE)
6.5.3.2 (RQ)

6.6 Acero

6.6.1 (RQ)
6.6.2 (RQ)
6.6.3 (RQ)
6.6.4 (RQ)

7 Consideraciones concernientes al proyecto

7.1 Generalidades

7.1.1 (RQ)
NOTA
7.1.2 (PO)
7.1.3 (RQ)
7.1.4 (PE)
7.1.5 (RC)
7.1.5 (RQ)
7.1.6 (RC)
7.1.7 (RQ)
7.1.8 (RQ)
7.1.9 (RC)
NOTA
7.1.10 (PO)

7.2 Tolerancias geométricas de construcción

7.2.1 (RQ)
NOTA
7.2.2 (RQ)

7.3 Pilotes que forman un muro-pantalla

7.3.1 (PO)
7.3.2 (PO)
7.3.3 (RQ)
7.3.4 (RQ)

7.4 Excavación

7.4.1 (RQ)
7.4.2 (RQ)
7.4.3 (RQ)
7.4.4 (RQ)
NOTA
7.4.5 (RQ)
7.4.6 (RQ)
7.4.7 (RQ)

7.5 Elementos prefabricados de hormigón

7.5.1 (RQ)
7.5.2 (RQ)
7.5.3 (RQ)

7.6 Armaduras

7.6.1 Generalidades

7.6.1.1 (RQ)
7.6.1.2 (RQ)
7.6.1.3 (RQ)
7.6.1.4 (RC)

7.6.2 Armadura longitudinal

7.6.2.1 (RQ)
7.6.2.2 (RQ)
7.6.2.3 (RQ)
7.6.2.4 (RC)
7.6.2.5 (RQ)
7.6.2.6 (PE)
7.6.2.7 (RC)
7.6.2.8 (RQ)
7.6.2.9 (PE)
7.6.2.10 (RQ)

7.6.3 Armadura transversal

7.6.3.1 (RQ)
7.6.3.2 (RC)
7.6.3.3 (RQ)
7.6.3.4 (RC)
7.6.3.5 (RC)
7.6.3.6 (RQ)

7.6.4 Recubrimiento de hormigón

7.6.4.1 (RQ)
7.6.4.2 (RC)
7.6.4.3 (PE)

7.6.5 Armaduras mediante tubos y perfiles

7.6.5.1 (RQ)
7.6.5.2 (RQ)
7.6.5.3 (PO)
7.6.5.4 (RQ)

8 Ejecución

8.1 Excavación

8.1.1 Generalidades

8.1.1.1 (RQ)
NOTA 1
NOTA 2
8.1.1.2 (RQ)
EJEMPLO
8.1.1.3 (RQ)
8.1.1.4 (RQ)
8.1.1.5 (RC)
NOTA 1
NOTA 2
8.1.1.6 (RQ)
8.1.1.7 (RQ)
8.1.1.8 (RQ)
8.1.1.9 (RQ)
8.1.1.10 (RQ)
8.1.1.11 (RQ)
8.1.1.12 (RQ)

8.1.2 Técnicas de ejecución y herramientas

NOTA
8.1.2.1 (RQ)
8.1.2.2 (RQ)
8.1.2.3 (PO)
8.1.2.4 (PE)
8.1.2.5 (RQ)
NOTA

8.1.3 Perforaciones entubadas

8.1.3.1 (RQ)
8.1.3.2 (PE)
8.1.3.3 (RQ)
8.1.3.4 (RQ)
8.1.3.5 (RC)
8.1.3.6 (RQ)
8.1.3.7 (PE)
8.1.3.8 (RQ)
8.1.3.9 (RQ)
NOTA
8.1.3.10 (RQ)
8.1.3.11 (RQ)
NOTA

8.1.4 Perforaciones contenidas mediante lodos estabilizadores

8.1.4.1 (RQ)
8.1.4.2 (RQ)
8.1.4.3 (PE)
8.1.4.4 (RQ)
8.1.4.5 (RQ)
8.1.4.6 (RQ)
8.1.4.7 (PE)
8.1.4.8 (RQ)
NOTA
8.1.4.9 (RQ)
8.1.4.10 (RC)

8.1.5 Perforación con hélice continua

8.1.5.1 (PE)
8.1.5.2 (RQ)
8.1.5.3 (RQ)
8.1.5.4 (RQ)
8.1.5.5 (RQ)
8.1.5.6 (RQ)
8.1.5.7 (RQ)
8.1.5.8 (RQ)
8.1.5.9 (RQ)
8.1.5.10 (RQ)
8.1.5.11 (RQ)

8.1.6 Perforación no entubada

8.1.6.1 (PE)
8.1.6.2 (RQ)
8.1.6.3 (RQ)
8.1.6.4 (RQ)

8.1.7 Agrandamientos

8.1.7.1 (RQ)
8.1.7.2 (RC)

8.2 Armaduras

8.2.1 Generalidades

8.2.1.1 (RQ)
8.2.1.2 (RQ)
8.2.1.3 (RQ)

8.2.2 Uniones

8.2.2.1 (RQ)
8.2.2.2 (RQ)
8.2.2.3 (RQ)
8.2.2.4 (PE)

8.2.3 Doblado de barras

8.2.3.1 (RQ)
8.2.3.2 (RQ)
8.2.3.3 (PE)

8.2.4 Montaje de jaulas

8.2.4.1 (RQ)
8.2.4.2 (RQ)
8.2.4.3 (RQ)
8.2.4.4 (PO)

8.2.5 Separadores

8.2.5.1 (RQ)
8.2.5.2 (RQ)
8.2.5.3 (PE)
8.2.5.4 (RQ)
8.2.5.5 (RQ)
8.2.5.6 (RC)

8.2.6 Colocación

8.2.6.1 (RQ)
8.2.6.2 (RQ)
8.2.6.3 (RQ)
8.2.6.4 (RQ)
8.2.6.5 (PE)
8.2.6.6 (RQ)
8.2.6.7 (PO)
8.2.6.8 (PE)

8.3 Colocación del hormigón

8.3.1 Generalidades

8.3.1.1 (RQ)
8.3.1.2 (RQ)
8.3.1.3 (RQ)
NOTA 1
NOTA 2
8.3.1.4 (RC)
8.3.1.5 (RQ)
8.3.1.6 (RQ)
8.3.1.7 (RQ)
8.3.1.8 (RQ)
8.3.1.9 (RQ)
8.3.1.10 (RQ)
8.3.1.11 (RC)
8.3.1.12 (RQ)
8.3.1.13 (RQ)
8.3.1.14 (PO)
8.3.1.15 (RQ)
8.3.1.16 (RQ)
8.3.1.17 (RQ)
8.3.1.18 (PO)
8.3.1.19 (RQ)
8.3.1.20 (RC)
8.3.1.21 (RQ)
8.3.1.22 (RC)
8.3.1.23 (RQ)
8.3.1.24 (RQ)
8.3.1.25 (RQ)
8.3.1.26 (PO)

8.3.2 Colocación del hormigón en seco

8.3.2.1 (RQ)
8.3.2.2 (RQ)
8.3.2.3 (RC)
8.3.2.4 (RQ)
8.3.2.5 (RQ)

8.3.3 Colocación del hormigón sumergido

8.3.3.1 (RQ)
NOTA
8.3.3.2 (RQ)
NOTA
8.3.3.3 (RQ)
8.3.3.4 (RQ)
8.3.3.5 (RQ)
8.3.3.6 (RQ)
8.3.3.7 (RC)
8.3.3.8 (RQ)
8.3.3.9 (RQ)
8.3.3.10 (RQ)
8.3.3.11 (PE)
8.3.3.12 (RQ)
8.3.3.13 (RQ)
8.3.3.14 (RQ)
8.3.3.15 (RC)
8.3.3.16 (RC)
8.3.3.17 (RC)
8.3.3.18 (RQ)
8.3.3.19 (RQ)

8.3.4 Extracción de entubados

8.3.4.1 (RQ)
8.3.4.2 (RQ)
8.3.4.3 (RQ)
NOTA
8.3.4.5 (RQ)

8.3.5 Entubados o encamisados permanentes

8.3.5.1 (PO)
NOTA
8.3.5.2 (RQ)

8.3.6 Hormigonado de pilotes ejecutados con hélice continua

8.3.6.1 (PE)
8.3.6.2 (RQ)
8.3.6.3 (RQ)
8.3.6.4 (PE)
8.3.6.5 (RQ)
8.3.6.6 (RQ)
8.3.6.7 (RQ)
8.3.6.8 (RQ)
NOTA

8.3.7 Pilotes ejecutados mediante inyección

8.3.7.1 (RQ)
8.3.7.2 (RQ)
8.3.7.3 (RQ)
8.3.7.4 (RQ)
8.3.7.5 (RQ)

8.3.8 Pérdida de inmersión del tubo– tremie o del entubado recuperable

8.3.8.1 (PE)
8.3.8.2 (RQ)
8.3.8.3 (RQ)
8.3.8.4 (PE)
8.3.8.5 (PE)
8.3.8.6 (RQ)
8.3.8.7 (RC)

8.3.9 Pilotes con elementos de hormigón prefabricado, tubos de armado o tubos de revestimiento permanentes

8.3.9.1 (RQ)
8.3.9.2 (RQ)
8.3.9.3 (PE)
8.3.9.4 (PE)
8.3.9.5 (RQ)

8.3.10 Inyección externa de pilotes *in-situ*

8.3.10.1 (RQ)
8.3.10.2 (RQ)
8.3.10.3 (PO)
8.3.10.4 (RQ)
8.3.10.5 (RQ)
8.3.10.6 (PE)
8.3.10.7 (RQ)

8.4 Pantallas de pilotes perforados

8.4.1 (RC)
8.4.2 (RC)
8.4.3 (RC)
8.4.4 (RQ)
8.4.5 (RQ)
NOTA
8.4.6 (PE)

9 Supervisión y control

9.1 Supervisión

9.1.1 (RQ)
9.1.2 (RQ)

9.2 Control de ejecución de pilotes

9.2.1 (RQ)
9.2.2 (RQ)
9.2.3 (RC)
9.2.4 (RQ)
9.2.5 (RQ)
NOTA
9.2.6 (RQ)
NOTA
9.2.7 (RQ)
9.2.8 (RQ)

9.3 Ensayos en pilotes

9.3.1 Generalidades

NOTA 1
NOTA 2
NOTA 3
NOTA 4
NOTA 5

9.3.2 Pruebas de carga
axiales

9.3.2.1 (RQ)
9.3.2.2 (PO)
9.3.2.3 (RQ)
9.3.2.4 (RC)
9.3.2.5 (RC)
9.3.2.6 (RQ)
9.3.2.7 (PE)
9.3.2.8 (RC)
9.3.2.9 (RQ)
9.3.2.10 (RQ)
9.3.2.11 (RQ)
9.3.2.12 (RQ)
9.3.2.13 (RQ)
9.3.2.14 (RC)
9.3.2.15 (RQ)
9.3.2.16 (RQ)

10 Partes de obra

10.1 (RQ)
10.2 (RQ)
10.3 (RQ)
10.4 (PE)
10.5 (RQ)
NOTA
10.6 (RQ)
NOTA
10.7 (RQ)

11 Especificaciones
particulares

11.1 (RQ)
11.2 (RQ)
11.3 (RQ)
11.4 (RC)
11.5 (RQ)
11.6 (RQ)
11.7 (RQ)
11.8 (PO)
NOTA
11.9 (RQ)

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID