

Documento:



**Cp-2**

### UNIDAD CONSTRUCTIVA

#### CIMENTACIONES PROFUNDAS: PILOTES

### DESCRIPCIÓN

Tipología de cimentación en profundidad empleada habitualmente para terrenos poco homogéneos o con poca capacidad portante que reparte las cargas al terreno por fuste y/o por punta en terrenos más resistentes.

### DAÑO

FISURAS Y/O GRIETAS EN GENERAL

### ZONAS AFECTADAS DAÑADAS

Cerramientos, tabiquerías y acabados



Fig. 1: Ejecución de pilotes

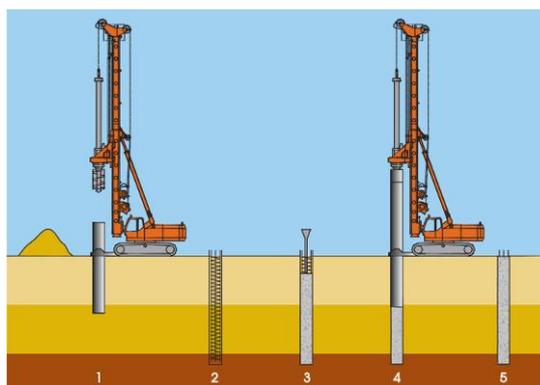


Figura 2: Pilote de extracción con entubación recuperable

Se consideran cimentaciones profundas por pilotes cuando su extremo inferior, en el interior del terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho.

Cuando la ejecución de una cimentación superficial no sea técnicamente viable, se debe contemplar la posibilidad de realizar una cimentación profunda.

Las cimentaciones profundas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- pilote aislado:** aquél que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica con ellos;
- grupo de pilotes:** son aquellos que por su proximidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente;
- zonas pilotadas:** son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asentos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos;
- micropilotes:** son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro, pudiendo estar o no inyectados con lechada de mortero a presión más o menos elevada.

Por la **forma de trabajo**, los pilotes se clasifican en:

- pilotes por fuste:** en aquellos terrenos en los que, al no existir un nivel claramente más resistente, al que transmitir la carga del pilotaje, éste transmitirá su carga al terreno fundamentalmente a través del fuste. Se suelen denominar pilotes **"flotantes"**.
- pilotes por punta:** en aquellos terrenos en los que, al existir, a cierta profundidad, un estrato claramente más resistente, las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta. Se suelen denominar pilotes **"columna"**.

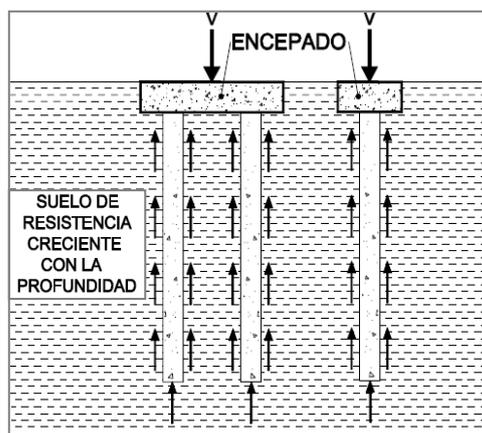


Figura 3. Pilotes por fuste

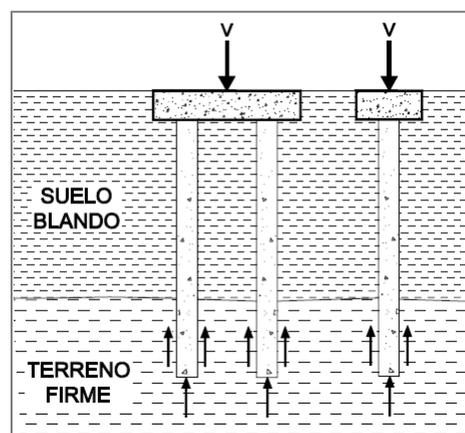


Figura 4. Pilote por punta

Para diferenciar los tipos de pilotes se pueden utilizar los siguientes criterios:

Por el **tipo de material del pilote**:

- hormigón "in situ"**: se ejecutarán mediante excavación previa, aunque también podrán realizarse mediante desplazamiento del terreno o con técnicas mixtas (excavación y desplazamiento parcial);
- hormigón prefabricado**: podrá ser hormigón armado (hormigones de alta resistencia) u hormigón pretensado o postensado;
- acero**: se podrán utilizar secciones tubulares o perfiles en doble U o en H. Los pilotes de acero se deben hincar con azuches (protecciones en la punta) adecuados;
- madera**: se podrá utilizar para pilotar zonas blandas amplias, como apoyo de estructuras con losa o terraplenes;
- mixtos**, como los de acero tubular rodeados y rellenos de mortero.

Por la **forma de la sección transversal**:

La forma de la sección transversal del pilote podrá ser circular o casi circular (cuadrada, hexagonal u octogonal) de manera que no sea difícil asimilar la mayoría de los pilotes a elementos cilíndricos de una cierta longitud  $L$  y de un cierto diámetro  $D$ .

Por el **procedimiento constructivo**:

De forma general, atendiendo al modo de colocar el pilote dentro del terreno, se considerarán los siguientes:

- pilotes prefabricados hincados**: la característica fundamental de estos pilotes estriba en el desplazamiento del terreno que su ejecución puede inducir, ya que el pilote se introduce en el terreno sin hacer excavaciones previas que faciliten su alojamiento en el terreno.

Las formas de hincar pilotes pueden ser diferentes según se use vibración o se emplee, como suele ser más frecuente, la hinca o percusión con golpes de maza. A efectos del DB se considera el pilote prefabricado hincado de directriz recta cuya profundidad de hinca sea mayor a 8 veces su diámetro equivalente.

Los pilotes hincados podrán estar constituidos por un único tramo, o por la unión de varios tramos, mediante las correspondientes juntas, debiéndose, en estos casos, considerar que la resistencia a flexión, compresión y tracción del pilote nunca será superior a la de las juntas que unan sus tramos.

Los pilotes prefabricados hincados se podrán construir aislados siempre que se realice un arriostramiento en dos direcciones ortogonales y que se demuestre que los momentos resultantes en dichas direcciones son nulos o bien absorbidos por la armadura del pilote o por las vigas riostras

- pilotes hormigonados "in situ"**: son aquellos que se ejecutan en excavaciones previas realizadas en el terreno.

Según el DB SE-C se diferencian los siguientes tipos:

- Pilotes de desplazamiento con azuche.
- Pilotes de desplazamiento con tapón de gravas.
- Pilotes de extracción con entubación recuperable.
- Pilotes de extracción con camisa perdida.
- Pilotes de extracción sin entubación con lodos tixotrópicos.
- Pilotes barrenados sin entubación.
- Pilotes barrenados, hormigonados por el tubo central de la barrena
- Pilotes de desplazamiento por rotación.

Para los pilotes hormigonados “in situ” se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- diámetro  $< 0,45$  m: no se deben ejecutar pilotes aislados, salvo en elementos de poca responsabilidad en los que un posible fallo del elemento de cimentación no tenga una repercusión significativa.
- $0,45$  m  $<$  diámetro  $< 1,00$  m; se podrán realizar pilotes aislados siempre que se realice un arriostramiento en dos direcciones ortogonales y se asegure la integridad del pilote en toda su longitud de acuerdo con los métodos de control recogidos en el apartado 5.4 del DB SE-C.
- diámetro  $> 1,00$  m; se podrán realizar pilotes aislados sin necesidad de arriostramiento siempre y cuando se asegure la integridad del pilote en toda su longitud de acuerdo con los métodos de control recogidos en el 5.4 del DB SE-C; y el pilote se arme para las excentricidades permitidas y momentos resultantes.

## PROBLEMÁTICAS HABITUALES

Las fisuras y grietas son, por lo general, los primeros síntomas de algún fallo o problema en la cimentación. Son las primeras en aparecer seguidas, tarde o temprano, por otras patologías.

Las tensiones transmitidas por las cimentaciones dan lugar a deformaciones del terreno que se traducen en asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos, podrán originar una pérdida de la funcionalidad, producir fisuraciones, agrietamientos, u otros daños.

Analizamos a continuación las causas de fallos de cimentación. Una primera clasificación sería:

### ❖ Causas intrínsecas de fallos de cimentación

Se agrupan aquí los fallos de cimentación consecuencia de la interacción entre el terreno y la propia cimentación de la construcción que sufre los daños.

#### Defectos de proyecto

Son errores de concepción, de diseño o cálculo del proyecto. Algunas de las posibles causas de problemas derivadas del proyecto son:

- **Deficiente información geológica y geotécnica:** No tiene sentido economizar en el estudio geotécnico o realizar una campaña de puntos de reconocimientos y ensayos insuficientes. Puede darse también una mala interpretación de estos. Siendo más relevante en terrenos con especiales características: arcillas expansivas, suelos colapsables, rellenos antrópicos o suelos blandos naturales.
- **Infravaloración del riesgo geotécnico:** desprecio de los efectos que produce la falta de homogeneidad de un suelo o las distintas profundidades de aparición de la roca en planta, desprecio de los efectos de la potencial expansividad o de posible subpresión o fenómenos de subsidencias, procesos de disolución, etc.
- **Defectos en la evaluación del terreno:** asentamientos calculados no tolerables por la estructura, esfuerzos parásitos en pilotes (olvido del efecto de asiento de terrenos flojos o rellenos recientes), etc.
- **Falta de capacidad de carga:** cimentación insuficiente o capacidad de carga del suelo insuficiente.
- **Esfuerzos no contemplados:** (olvido de algunas sobrecargas, ...).
- **Defectuosa estimación del efecto grupo en pilotes flotantes:** no consideración de los esfuerzos laterales o del rozamiento negativo, etc.
- **Desconocer o ignorar las condiciones de contorno,** al no considerar las condiciones del entorno de la estructura proyectada: posibles socavaciones, arrastres, descalces, agotamientos, rebajamientos de nivel freático, etc.
- **No contemplar la existencia de suelos blandos en profundidad:** las cargas colocadas en superficie producen desplazamientos horizontales del terreno que pueden afectar negativamente a las cimentaciones próximas pilotadas. Por tanto, si en ese tipo de terreno se proyecta un edificio contiguo a una construcción pilotada, debe evitarse una cimentación superficial.

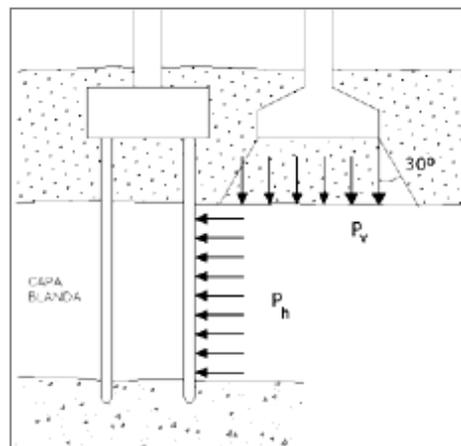


Figura 5: Empujes horizontales producidos por cargas superficiales

### Defectos de puesta en obra

Algunos errores de puesta en obra podrían ser:

- Apreciación errónea de los estratos resistentes: confundidos con capas de poco espesor, bolos erráticos, etc.
- Errores de replanteo
- Deficiente calidad de los materiales, en especial hormigones. Deterioro de pilotes o encepados por escasa calidad de los materiales: consistencias inadecuadas, resistencia inferior a la requerida en proyecto de los materiales empleados, etc.
- Degradación del material: hormigón no resistente a la agresividad del terreno, recubrimientos insuficientes, metal, madera, etc....
- Lavado del hormigón en cimentaciones profundas, colocado en presencia de aguas en movimiento.
- Errores en la colocación de armaduras, confusión de diámetros de armado, ausencia de separadores, etc...
- Problemas de fraguado, unidos a errores de vertido, de dosificación, de curado...
- Deficiente ejecución de pilotes, rotura o corte: ausencia o deficiente limpieza del fondo, rotura durante la hincada o pilotes hincados en arcilla blanda que no han sido rehincados debidamente, fallo de los empalmes en pilotes de acero o de madera, defectuosa extracción de la entubación en el caso de pilotes hormigonados in situ, rotura en cabeza de pilotes, cortes del hormigón ocasionando discontinuidades, estrechamientos, estrangulamientos o cuello de botella lo que provoca una reducción de sección, etc.

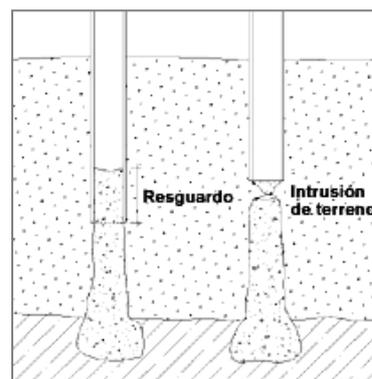


Figura 6. Defectos de ejecución de pilotes hormigonados in situ: Intrusión de terreno por defectuosa extracción de la entubación

### ❖ Causas extrínsecas de fallos de cimentación

Difícilmente previsible y variables a lo largo del tiempo.

Se engloban tanto los cambios en el propio edificio como en el entorno, y, en cualquier caso, modifican sustancialmente las condiciones para las que se diseñó la cimentación.

**Variaciones en las hipótesis de proyecto:** Se trata de las modificaciones al proyecto del propio edificio que pueden afectar a la cimentación. Y esto puede ocurrir, entre otras, por las siguientes causas:

- Aumentos de sobrecargas de uso. Aumento de la actividad que precise la aparición de elementos no previstos (archivos, etc.), cambio de actividad con la consiguiente modificación de las cargas, sollicitaciones dinámicas de maquinaria, no previstas inicialmente, etc.
- Rehabilitación o cambio del uso principalmente en las plantas bajas. Variación en su función estructural con la consiguiente redistribución de cargas, nueva distribución de pilares, etc.
- Incremento del número de plantas sobre rasante.

### **Variaciones en las condiciones del entorno.**

Se relacionan a continuación algunas posibles variaciones del entorno:

- En cimentaciones por pilotes: empujes horizontales y rozamiento negativo.
- Cargas adyacentes: alteración general producida por construcción en las inmediaciones.
- Fenómenos de inestabilidad y deslizamiento: por socavaciones, arrastres, erosiones,...
- Inducción de movimientos complementarios: asentamientos, desplazamientos y giros.
- La afección de las excavaciones a cielo abierto, dependiendo de factores como: distancia de la excavación a la edificación existente, características del terreno, profundidad de excavación, etc.
- Inestabilidades y deslizamientos inducidos: excavación y desmonte al pie de laderas, socavación,...
- Modificaciones del contenido de humedad y el nivel freático: La variación del nivel freático modifica las presiones efectivas sobre cimentaciones profundas. Teniendo diversos orígenes:
  - Desaparición de bombeos de sistemas de riego o abastecimiento.
  - Procesos de desecación como ejecución de pozos de bombeo, drenajes, etc.
  - Fugas por roturas o pérdidas de conducciones subterráneas, canales, piscinas, colectores...
  - La ejecución de túneles, pantallas (soterramientos), pueden producir bien un efecto "dren" o bien efecto de barrera.
  - Excavaciones que producen una disminución del nivel freático en obras.

## LESIONES Y DEFICIENCIAS

Las lesiones o deficiencias en cimentaciones profundas por pilotes son poco frecuentes, presentándose fundamentalmente en terrenos de cierta complejidad. Si bien hay que recordar que las patologías con su origen en las cimentaciones son las que mayores costes globales conllevan. Además, tienen gran repercusión social, lo que las hace más notorias: por la dificultad propia de su reparación, porque suponen una fuerte alteración y hasta interrupción del uso del inmueble.

### ❖ **Acción de pilotes agrupados**

Las presiones que genera un conjunto de pilotes son bastante mayores y alcanzan más profundidad que las provocadas por un pilote aislado. Además, si el terreno subyacente es blando, cabe esperar **asientos** considerables.

### ❖ **Efectos indirectos del asentamiento provocados por el material de relleno: Rozamiento negativo**

La capacidad portante del **pilote columna** procede fundamentalmente del **efecto punta**, siendo necesario atravesar varias capas inconsistentes hasta alcanzar aquella con capacidad portante suficiente para transmitirle la carga. Si los terrenos que hay por encima de esa capa resistente son rellenos de gran espesor, el asiento del relleno y de la capa blanda no consolidada dan lugar a esfuerzos de rozamiento en el fuste cuya resultante posee una componente vertical en dirección descendente. Esta componente es el **rozamiento negativo**, que se suma a la carga propia del pilote.

Cuando la capa en que se ancla el pilote es suficientemente compacta y gruesa, el rozamiento negativo no tiene otro efecto que la reducción del coeficiente de seguridad, sin que se produzcan asientos apreciables.

Por el contrario, si el lecho compacto no presenta bastante espesor y se extiende sobre lechos compresibles, la sobrecarga de los pilotes debida al rozamiento negativo y añadida al peso propio del relleno, es capaz de provocar el descenso del banco resistente o la rotura de los pilotes fruto del fluir de las capas inferiores.

De tratarse de un **pilote flotante**, es decir, si su capacidad portante proviene del **rozamiento lateral**, los efectos del rozamiento negativos pueden determinar asientos excesivos y una reducción inaceptable del coeficiente de seguridad.

### ❖ **Influencia del desplazamiento de suelos por la acción del relleno sobre cimentaciones profundas: Empujes laterales**

Es un fenómeno poco conocido pero que, sin embargo, genera importantes perturbaciones. Se produce al aportar material de vertedero alrededor de un edificio cimentado en pilotes verticales.

Si el volumen de relleno es importante y, en particular, si se emplea de manera permanente como zona de almacenaje de elementos pesados (depósitos, aparcamientos...) se establece una asimetría de cargas que crea la fluencia lateral de las capas inconsistentes (limo blando, arcilla con alto contenido de agua...) atravesadas por el pilotaje, de la que resultan esfuerzos laterales que actúan en los fustes de los pilotes, deformándolos e incluso rompiéndolos.

El problema no es el pandeo de los pilotes (por ser el empuje del terreno en los fustes superior a la resistencia de las tierras que los envuelven), sino la deformación de dichos pilotes a causa del desplazamiento lateral del suelo. En esta clase de movimientos, el pilote es solidario con las tierras que lo rodean.



Figura 7: Caída de un edificio en Shanghai. China

### ❖ **Ataque a los componentes del hormigón**

Es imprescindible el análisis del terreno y de las aguas, para poder establecer los tipos de componentes a utilizar en la fabricación del hormigón (cemento, áridos, aditivos,...).

Los ataques se pueden producir, entre otras, por las siguientes causas:

- Filtraciones de **aguas residuales** (con sustancias químicas en disolución), que al extenderse por las capas permeables del terreno pueden atacar a los pilotes.
- Las aguas agresivas, como pueden ser las **aguas químicamente puras**, que disuelven la cal del cemento reduciendo la compacidad y, por tanto, la resistencia. Aguas que contengan **sulfatos**: sulfato de cal o de yeso o sulfato magnésico. Las primeras se combinan con uno de los componentes del clinker (con el aluminato tricálcico formando sal de Candlot o etringita) sustancia muy expansiva. La formación de esta sal en el hormigón provoca tales tensiones que determina su rotura. Aguas que contengan **cloruros** y las aguas de mar.

### ❖ **Hormigonado con lodo de perforación**

La técnica de la perforación en lodo consiste en que la tierra se mantiene a lo largo de las paredes de la perforación por la aplicación de un líquido tixotrópico (densidad entre 1,05 y 1,2) obtenido al dispensar bentonita en el agua.

Es necesario controlar adecuadamente la **viscosidad del lodo**. Por debajo del límite inferior, el lodo no es apto para desarrollar su labor de contención provisional; por encima de cierta densidad, será excesivamente rígido, no ascenderá a medida que progresa el hormigonado y existe el peligro de que se formen **bolsas de lodo** y, por consiguiente, **discontinuidades en el hormigonado**.

Utilización en aluviones o coluviones, en los que se debía de haber empleado pilotes entubados con camisa recuperable o perdida.

### ❖ **Hormigonado con entubaciones metálica (camisas)**

En la ejecución de un pilote de tubo hincado y recuperable, en el hormigonado el tubo se eleva poco a poco para asegurar una altura suficiente de hormigón en el mismo (>1 diámetro del tubo) para evitar que penetre el agua, o la tierra se desmorone en su interior. Si no se toma esta precaución, se corre el riesgo de tener bolsas de tierra en el pilote, hormigón con exceso de agua por entrada de éstas en el tubo.

El uso de un hormigón demasiado seco y la extracción brusca del tubo pueden producir importantes daños en el pilote, como **cavidades en el hormigón o discontinuidades en el fuste**.

El hormigonado se ha de efectuar utilizando el procedimiento de vertido a través de un embudo (conocido como tubo Tremie).

### ❖ **Efecto del hincado de un pilote sobre otro pilote próximo**

Este hecho puede darse en suelos relativamente plásticos y saturados, donde el hincado genera un movimiento ascendente análogo al que produce la caída de un cuerpo en el agua.

La elevación del terreno donde se hincan los pilotes puede: provocar el estiramiento y la rotura de la columna de hormigón si estuviera fresco o levantar el pilote si éste tiene suficiente resistencia.

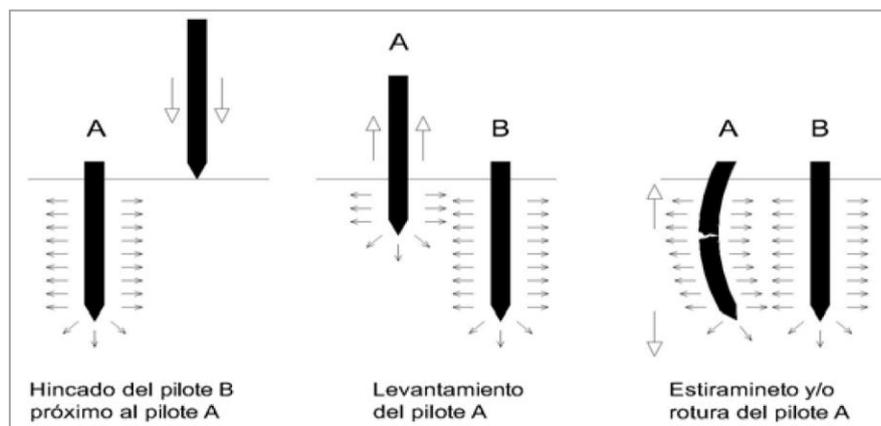


Figura 8: Lesiones o daños en pilote por hincado próximo de otro pilote

## RECOMENDACIONES TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

### ❖ Pilotes hormigonados “in situ”

Cuando las paredes del terreno resulten estables, los pilotes podrán excavar sin ningún tipo de entibación (excavación en seco), siempre y cuando no exista riesgo de alteración de las paredes ni del fondo de la excavación.

Los pilotes hormigonados con entubaciones metálicas (camisas) recuperables, deben avanzar la entubación hasta la zona donde el terreno presente paredes estables, debiéndose limpiar el fondo. La entubación se retirará al mismo tiempo que se hormigona el pilote, debiéndose mantener durante todo este proceso un resguardo de al menos 3 m de hormigón fresco por encima del extremo inferior de la tubería recuperable.

Se debe considerar la posibilidad de dejar una camisa perdida en los casos en los que existan corrientes subterráneas capaces de producir el lavado del hormigón y el corte del pilote o en terrenos susceptibles de sufrir deformaciones debidas a la presión lateral ejercida por el hormigón.

En el caso de paredes en terrenos susceptibles de alteración, la ejecución de pilotes excavados, con o sin entibación, debe contemplar la necesidad o no de usar lodos tixotrópicos para su estabilización.

El uso de lodos tixotrópicos podrá también plantearse como método alternativo o complementario a la ejecución con entubación recuperable siempre que se justifique adecuadamente.

En el proceso de hormigonado se debe asegurar que la docilidad y fluidez del hormigón se mantiene durante todo el proceso de hormigonado, para garantizar que no se produzcan fenómenos de atascos en el tubo Tremie, o bolsas de hormigón segregado o mezclado con el lodo de perforación.

En los pilotes barrenados la entibación del terreno la produce el propio elemento de excavación (barrena o hélice continua). Una vez alcanzado el fondo, el hormigón se coloca sin invertir el sentido de la barrena y en un movimiento de extracción del útil de giro perforación. La armadura del pilotaje se introduce a posteriori, hincándola en el hormigón aún fresco hasta alcanzar la profundidad de proyecto, que será como mínimo de 6 m o 9D.

A efectos del DBE SE-C no se deben realizar pilotes de barrena continua cuando:

- a) se consideren pilotes aislados, salvo que se efectúen con registro continuo de parámetros de perforación y hormigonado, que aseguren la continuidad estructural del pilote;
- b) la inclinación del pilote sea mayor de 6°, salvo que se tomen medidas para controlar el direccionado de la perforación y la colocación de la armadura;
- c) existan capas de terreno inestable con un espesor mayor que 3 veces el diámetro del pilote, salvo que pueda demostrarse mediante pilotes de prueba que la ejecución es satisfactoria o se ejecuten pilotes con registro continuo de parámetros y tubo telescópico de hormigonado, que asegure la continuidad estructural del pilote.

No se considera recomendable ejecutar pilotes con barrena continua en zonas de riesgo sísmico o que trabajen a tracción salvo que se pueda garantizar el armado en toda su longitud y el recubrimiento de la armadura.

Para la ejecución de pilotes hormigonados “in situ” se consideran adecuadas las especificaciones constructivas con relación a este tipo de pilotes, recogidas en la norma UNE-EN 1536:2000.

### Materiales

Tanto las materias primas como la dosificación de los hormigones se ajustarán a lo indicado en el Código Estructural.

#### a) Agua

El agua para la mezcla debe cumplir lo expuesto en el Código Estructural, de forma que no pueda afectar a los materiales constituyentes del elemento a construir.

#### b) Cemento

El cemento para utilizar en el hormigón de los pilotes se ajustará a los tipos definidos en la vigente instrucción para la recepción de cemento (RC-16). RD 256/2016 de 10 de junio. Pueden emplearse otros cementos cuando se especifiquen y tengan una eficacia probada en condiciones determinadas.

No se recomienda la utilización de cementos de gran finura de molido y alto calor de hidratación, debido a altas dosificaciones a emplear. No será recomendable el empleo de cementos de aluminato de calcio, siendo preferible el uso de cementos con adiciones (tipo II), porque se ha manifestado que éstas mejoran la trabajabilidad y la durabilidad, reduciendo la generación de calor durante el curado.

En el caso de que el nivel de agresividad sea muy elevado, se emplearán cementos con la característica adicional de resistencia a ion sulfato o agua de mar (MR, SR o SRC), según RC-16.

#### c) Áridos

Los áridos cumplirán las especificaciones contenidas en el artículo 30º del Código Estructural.

A fin de evitar la segregación, la granulometría de los áridos será continua. Es preferible el empleo de áridos redondeados cuando la colocación del hormigón se realice mediante tubo Tremie.

El tamaño máximo del árido se limitará a treinta y dos milímetros (32 mm), o a un cuarto (1/4) de la separación entre redondos longitudinales, eligiéndose la menor en ambas dimensiones.

En condiciones normales se utilizarán preferiblemente tamaños máximos de árido de veinticinco milímetros (25 mm), si es rodado, y de veinte milímetros (20 mm), si procede de machaqueo.

#### d) Aditivos

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

Se limitará, en general, la utilización de aditivos de tipo superfluidificante de duración limitada al tiempo de vertido, que afecten a una prematura rigidez de la masa, al tiempo de fraguado y a la segregación. En el caso de utilización, se asegurará que su dosificación no provoque estos efectos secundarios y mantenga unas condiciones adecuadas en la fluidez del hormigón durante el periodo completo del hormigonado de cada pilote.

#### Dosificación y propiedades del hormigón

El hormigón de los pilotes deberá poseer: a) alta capacidad de resistencia contra la segregación; b) alta plasticidad y buena cohesión; c) buena fluidez; d) capacidad de autocompactación; e) suficiente trabajabilidad durante el proceso de vertido, incluida la retirada, en su caso, de entubados provisionales.

El contenido mínimo de cemento, relación agua/cemento y el contenido mínimo de finos se regirá por la *tabla 5.2 Dosificaciones de amasado y la consistencia del hormigón por la tabla 5.3 del DB SE-C.*

#### Control de ejecución de pilotes hormigonados “in situ”

La adecuada limpieza de la perforación y en su caso el tratamiento de la punta son factores fundamentales que afectan al comportamiento de los pilotes.

Se ha de confeccionar un parte que contenga, entre otros los siguientes datos: a) datos del pilote (identificación, tipo, diámetro, punto de replanteo, profundidad, etc.); b) longitud de entubación (caso de ser entubado); c) valores de las cotas: del terreno, de la cabeza del pilote, de la armadura, de la entubación, de los tubos sónicos, etc.; d) tipos de terreno atravesados (comprobación con el terreno considerado originalmente); e) niveles de agua; f) armaduras (tipos, longitudes, dimensiones, etc.); g) hormigones (tipo, características, etc.); h) tiempos (de perforación, de colocación de armaduras, de hormigonado); i) observaciones (cualquier incidencia durante las operaciones de perforación y hormigonado).

Durante la ejecución se considerarán adecuados los controles, que indican la tabla 6 a 11 de la norma UNE-EN 1536:2000: control del replanteo, de la excavación del lodo, de las armaduras y del hormigón. Para los pilotes de barrena continua se consideran adecuados los controles indicados en la tabla 12 de la citada norma UNE.

En el control de vertido de hormigón, al comienzo del hormigonado, el tubo Tremie no podrá descansar sobre el fondo, sino que se debe elevar unos 20 cm para permitir la salida del hormigón.

Se pueden diferenciar dos tipos de ensayos de control:

- a) ensayos de integridad a lo largo del pilote;
- b) ensayos de carga (estáticos o dinámicos).

Los ensayos de integridad tienen por objeto verificar la continuidad del fuste del pilote y la resistencia mecánica del hormigón. Pueden ser, según los casos, de los siguientes tres tipos:

- a) transparencia sónica;
- b) impedancia mecánica;
- c) sondeos mecánicos a lo largo del pilote.

El número de ensayos no debe ser inferior a 1 por cada 20 pilotes, salvo en el caso de pilotes aislados con diámetros entre 45 y 100 cm que no debe ser inferior a 2 por cada 20 pilotes. En pilotes aislados de diámetro superior a 100 cm no debe ser inferior a 5 por cada 20 pilotes.



Figura 9: Ensayo de prueba de carga, ensayo dinámico de carga y control de integridad por impedancia

### ❖ Pilotes prefabricados hincados

Se deben controlar los efectos de la hinca de pilotes en la proximidad de obras sensibles o de pendientes potencialmente inestables. Los métodos pueden incluir la medición de vibraciones, de presiones intersticiales, deformaciones y medición de la inclinación. Estas medidas se deben comparar con los criterios de prestaciones aceptables.

La frecuencia de los controles debe estar especificada y aceptada antes de comenzar los trabajos de hincado de los pilotes.

Se debe registrar la curva completa de la hinca de un cierto número de pilotes. Dicho número debe fijarse en el Pliego de condiciones del proyecto.

De forma general se debe reseñar:

- a) sobre las mazas: la altura de caída del pistón y su peso o la energía de golpeo, así como el número de golpes de la maza por unidad de penetración;
- b) sobre los pilotes hincados por vibración: la potencia nominal, la amplitud, la frecuencia y la velocidad de penetración;
- c) sobre los pilotes hincados por presión: la fuerza aplicada al pilote.

Cuando los pilotes se hinquen hasta rechazo, se debe medir la energía y avance.

Si los levantamientos o los desplazamientos laterales son perjudiciales para la integridad o la capacidad del pilote, se debe medir, respecto a una referencia estable, el nivel de la parte superior del pilote y su implantación, antes y después de la hinca de los pilotes próximos o después de excavaciones ocasionales.

Los pilotes prefabricados que se levanten por encima de los límites aceptables se deben volver a hincar hasta que se alcancen los criterios previstos en el proyecto en un principio (cuando no sea posible rehincar el pilote, se debe realizar un ensayo de carga para determinar sus características carga-penetración, que permitan establecer las prestaciones globales del grupo de pilotes).

No se debe interrumpir el proceso de hinca de un pilote hasta alcanzar el rechazo previsto que asegure la resistencia señalada en el proyecto.

### ❖ Pruebas y mantenimiento de esta unidad constructiva

En el proyecto de todo tipo de estructuras, será obligatorio incluir un Plan de Inspección y Mantenimiento, que defina las actuaciones a desarrollar durante toda la vida útil. (Artículo 24.3 de CE).

La frecuencia de realización de inspecciones será definida por el autor del proyecto, en el correspondiente plan de mantenimiento y no será inferior a la establecida por la propiedad, en su caso. (Artículo 24.3 del Código Estructural).

El plan de inspección y mantenimiento redactado tras el fin de obra deberá ser puesto a disposición del responsable de la explotación de la estructura. A partir de este plan de mantenimiento, que sustituye al del proyecto, la propiedad, recogiendo lo indicado por la dirección facultativa, será responsable de elaborar el programa de mantenimiento. (Artículo 24.4 del Código Estructural).

Al menos, se solicitará, por parte de la propiedad, a un técnico una revisión inmediata siempre que aparezcan lesiones en el edificio (fisuras, grietas, desplomes, etc.), y cada 5 años una inspección general, observando si aparecen fisuras o cualquier otro tipo de lesión, nuevas construcciones adyacentes o cargas incompatibles con las hipótesis iniciales del proyecto.

## REFERENCIAS

|                                          |                                                                           |                                                                                                                                            |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FUNDACIÓN MUSAAT</b>                  |                                                                           | <b>IMÁGENES</b><br>● CTE-DB-SE-C (Fig.:3, 4, 5).<br>● Terratest (Fig. 2 y 9)<br>● Asemas (Fig. 6). Internet (Fig.1,7).<br>● Asefa (Fig. 8) |
| <b>AUTOR</b><br>● Alberto Moreno Cansado | Calle del Jazmín, 66<br>28033 Madrid<br><br>www.fundacionmusaat.musaat.es |                                                                                                                                            |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA</b><br>● Juan Pérez Valcárcel: "Inspecciones y validación de cimentaciones". E.T.S.A. A Coruña. ● Patología en cimentaciones. Posibles causas. ASEMAS. ● Luis Sopena Mañas: "Patología y recalces de cimentaciones. CEDEX.2006). ● Manuel Muñoz Hidalgo: "Diagnosis y causas en patología de la edificación. ● Puesta en obra del hormigón: Eduardo Montero Fernández de Bobadilla. ● Pilotes/Lesiones. Pág. Web Wikibooks ● CTE/DB-SE-C. ● Código Estructural (CE). ● Normas UNE 1536:2000. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                 |                        |                   |                |                |                 |                |                   |
|-----------------|------------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| <b>CONTROL:</b> | <b>ISSN:</b> 2340-7573 | <b>Data:</b> 13/4 | <b>Ord.:</b> 3 | <b>Vol.:</b> C | <b>Nº:</b> Cp-2 | <b>Ver.:</b> 2 | <b>Mod:</b> 10/24 |
|-----------------|------------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|

**NOTA:** Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Observación:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente