



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

TOMO I-MEMORIA

**ESTUDIO SOBRE LA PROBLEMÁTICA PARA
LA VERIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE
PILOTES HORMIGONADOS " IN SITU "**

Nº TFG: 423.13.107

Autor: Julián Brihuega Jiménez

Director: Miguel Ángel Morales Arribas

Fecha: Marzo de 2015

TOMO I. MEMORIA

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
4. OBJETIVO	5
5. METODOLOGÍA	6
6. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS PILOTES	7
6.1. FORMAS DE TRABAJO Y SOLICITACIONES DE LOS PILOTES	7
7. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES HORMIGONADOS “ IN SITU ”	12
7.1. CPI-4 PILOTE DE EXTRACCIÓN CON ENTUBACIÓN RECUPERABLE	13
7.2. CPI-5 PILOTE DE EXTRACCIÓN CON CAMISA PERDIDA	14
7.3. CPI-6 PILOTE PERFORADO SIN ENTUBACIÓN CON LODOS TIXOTRÓPICOS	15
7.4. CPI-7 PILOTE BARRENADO SIN ENTUBACIÓN	16
7.5. CPI-8 PILOTE BARRENADO Y HORMIGONADO POR TUBO CENTRAL DE BARRENA	17
8. CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL PILOTE	19
9. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES	32
9.1. PROBLEMÁTICA EN LA EXCAVACIÓN	32
9.2. PROBLEMÁTICA DE LA LIMPIEZA DEL FONDO	35
9.3. PROBLEMÁTICA DE LA COLOCACIÓN DE LA ARMADURA	35
9.4. COLOCACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA CAMISA DE CHAPA	36
9.5. PROBLEMÁTICA DEL CONTROL DE FLUJOS DE AGUA EN EL INTERIOR DE LA EXCAVACIÓN DEL PILOTE	36
9.6. PROBLEMÁTICA DEL HORMIGONADO DEL PILOTE	37
9.7. PROBLEMÁTICA DEL CONTROL DE LAS DIFERENTES CAPAS DEL TERRENO ATRAVESADAS POR EL PILOTE.	39

10. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES	41
10.1. ENSAYOS	42
10.1.1. <i>Ensayo sónico</i>	42
10.1.2. <i>Ensayo de impedancia mecánica</i>	47
10.1.3. <i>Ensayo Cross-Hole ultrasónico</i>	48
10.1.4. <i>Ensayos de carga</i>	53
11. POSIBLE COMBINACIÓN DE MÉTODOS QUE GARANTICEN UNA INFORMACIÓN MÁS FIABLE DE LA SITUACIÓN DEL PILOTE UNA VEZ HORMIGONADO	61
12. ESTUDIO DE SOLUCIONES CUANDO SE PRESENTA UN PROBLEMA EN EL PILOTE, DETECTADO CON LOS MÉTODOS DE COMPROBACIÓN	63
13. CONCLUSIONES	65
14. ANEXOS	67
15. BIBLIOGRAFIA	68

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo virtual de pilote	5
Ilustración 2. Formas de trabajo de un pilote	8
Ilustración 3. Ejecución de pilotes de extracción con entubación recuperable	14
Ilustración 4. Ejecución de pilotes a rotación con lodos de perforación	16
Ilustración 5. Ejecución de pilotes barrenados sin entubación y hormigonado a través de la barrena	18
Ilustración 6. Cargas en estribo	19
Ilustración 7. Esquema simplificado de carga en pilote	21
Ilustración 8. Esquema definitivo cargas en pilote	22
Ilustración 9. Cargas sobre el terreno y densidades	23
Ilustración 10. Empuje sobre cabecero estribo	24
Ilustración 11. Empuje sobre estribo	24
Ilustración 12. Elementos de excavación	34
Ilustración 13. Método de ejecución con tubo Tremie	39
Ilustración 14. Esquema del Ensayo Eco	43

	INDICES
Ilustración 15. Curva Eco teórica de pilote en condiciones de punta libre	44
Ilustración 16. Curva Eco teórica de pilote con aumento y disminución de sección	45
Ilustración 17. Interpretación de curvas teóricas de Eco (Joram M. Amir)	46
Ilustración 18. Esquema del ensayo de impedancia mecánica	47
Ilustración 19. Equipo y esquema del ensayo Cross-Hole	49
Ilustración 20. Esquema de medida y equipo utilizado	49
Ilustración 21. Diferentes disposiciones de los tubos de auscultación para el ensayo Cross-Hole	50
Ilustración 22. Resultados del ensayo	51
Ilustración 23. Perfiles ensayados en un pilote con 4 tubos	53
Ilustración 24. Ensayo de carga	54
Ilustración 25. Croquis ensayo de carga	56
Ilustración 26. Tipos de ensayos de carga	57
Ilustración 27. Ensayo de carga estática de compresión axial con anclajes de reacción	59
Ilustración 28. Ensayo de celda de carga horizontal	60

1. RESUMEN

Una parte muy importante de cualquier estructura es la cimentación. Se puede definir la cimentación como el conjunto de elementos estructurales que transmiten las cargas de la estructura al terreno, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible.

Podemos dividir las cimentaciones en dos grandes grupos, las superficiales y las profundas. Una de las diferencias entre ambas, es que las primeras se ve como se ejecutan y las segundas no es posible acceder visualmente para comprobar la bondad de su ejecución.

El presente estudio recoge los métodos actuales para comprobar la correcta ejecución de cimentaciones profundas y en caso de presentar anomalías, posibles sistemas de reparación.

Dentro de las cimentaciones profundas, el estudio se centra en los pilotes hormigonados " in situ ", debido a la dificultad de ejecución y comprobación de su integridad. Para llevar a cabo el estudio se han descrito los diferentes métodos de ejecución de pilotes, en función de los terrenos que deben atravesar, indicando cual es el tipo de pilote que mejor se adapta a cada terreno.

Una vez ejecutado el pilote, es necesario comprobar su integridad, valorando cada una de las fases de ejecución, para minimizar las posibles anomalías, y se ha descrito cada uno de los ensayos que actualmente se utilizan para detectar anomalías, intentar definir las y acotarlas para decidir la reparación del pilote o su rechazo.

Debido a la diferente información que proporciona cada ensayo y la complejidad en su interpretación, se ha estudiado la posible combinación de métodos. Una vez tomada la decisión de reparar el pilote, se ha descrito las diferentes formas de reparar las posibles anomalías.

Por último en el Anejo 1, se presenta un ejemplo, concretamente el del Nuevo puente sobre el Embalse del Ebro en Orzales (Cantabria), cuya cimentación se realizó con pilas-pilote hormigonadas " in situ " con la dificultad añadida de tener que ejecu-

tarlas con agua en el embalse y en fase de llenado día a día. Para ello se dispuso toda la maquinaria sobre pontona, desde donde se realizaron todos los trabajos.

Palabras clave:

PILOTE/CIMENTACIÓN/INTEGRIDAD/ANOMALÍAS/INTERPRETACIÓN

2. ABSTRACT

A highly important part of any structure is the foundation. Foundation is defined as the ensemble of structural elements that the load of the structure can transmit to the land, sharing it in a way that they do not exceed its admissible pressure.

Foundations can be divided into two broad groups, the superficial ones and the deep ones. One of the main differences between them is that the first one allows the visibility of its implementation in order to approve its quality, while the second one does not.

This study presents the current methods to verify the correct implementation of deep foundations and, in case of presenting anomalies, possible repairing systems. According to deep foundations, this study focuses on the "in situ" concrete piling, due to the difficulty to implement and test its integrity. To accomplish this study, different methods of piling implementation have been described, in consonance with the land it has to pass through, indicating which one is the best type of piling for adaptation to the land. Once the piling is implemented, it is necessary to check its integrity, valuing every implementing phase in order to minimize any possible anomalies. Moreover, every rehearsal used to detect anomalies has been described, trying to define and enclose them, to decide whether repair them or reject them.

As a result of the different information that every rehearsal provides and the complexity of its interpretation, methods combination has been studied. Once the decision of repairing the piling has been made, different ways of repairing anomalies are described.

Finally, the appendix 1 reveals an example, specifically the new bridge in Ebro's Reservoir in Orzales (Cantabria), which foundation was built with concrete pile piling "in situ", adding the difficulty of having to implement them with water in filled phase day by day. For that all machinery was disposed on a pontoon from where all works were made.

Key words:

PILING/ FOUNDATION/ INTEGRITY/ ANOMALIES/ INTERPRETATION.

3. INTRODUCCIÓN

El estudio se basa en la experiencia obtenida en la cimentación profunda de pilas-pilote en el puente de carretera sobre el Embalse del Ebro en Cantabria, en la población de Orzales.

Las pilas-pilote se realizaron con el embalse lleno, ante la imposibilidad de vaciarlo debido a la necesidad de atender las demandas de riego y abastecimiento.

Se ejecutaron con la maquinaria de perforación colocada sobre pontona, y el hormigonado se realizó con bomba.

Durante la ejecución se produjeron diversas incidencias en el hormigonado de las pilas pilotes que afectaron al desarrollo de la obra y como consecuencia de ello a los plazos previstos. Cuando se realiza el hormigonado de pilotes es muy importante saber si su ejecución ha sido correcta, es decir, si la masa del hormigón no ha sido contaminada con material del terreno circundante, y como consecuencia de ello no se ha producido un corte en la continuidad del pilote. Otra posible incidencia es la debida a corrientes no detectadas en el terreno, que arrastren los finos del hormigón y produzcan coqueras.

4. OBJETIVO

El objetivo del TFG es estudiar los diferentes métodos existentes para comprobar la integridad de los pilotes hormigonados " in situ " y describir la problemática que se plantea con este método de ejecución.

Se trata de estudiar la aplicación del mejor método o combinación de métodos para garantizar la integridad de los pilotes y estudiar soluciones de reparación en el caso de que la información obtenida con los ensayos indiquen discontinuidades.

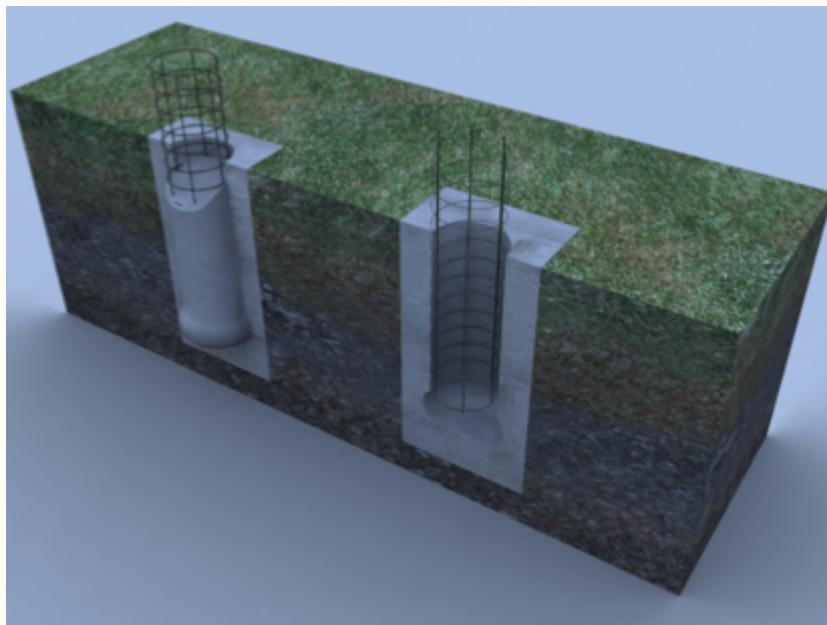


Ilustración 1. Modelo virtual de pilote

5. METODOLOGÍA

La metodología a seguir será:

- 1.- Estudio de los diferentes tipos de terrenos donde se utilizan los pilotes
- 2.- Descripción de los métodos de ejecución de pilotes hormigonados " in situ"
- 3.- Cálculo de un pilote partiendo de las cargas conocidas en la cabeza del pilote.
- 4.- Descripción de la problemática planteada con los diferentes métodos de ejecución de pilotes.
- 5.- Descripción de los diferentes métodos de ensayo para comprobar la integridad de los pilotes, estudiando sus puntos fuertes y débiles.
- 6.- Posible combinación de métodos que garanticen una información más fiable de la situación del pilote una vez hormigonado .
- 7.- Estudio de soluciones cuando se presenta un problema en el pilote, detectado con los métodos de comprobación.

6. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS PI- LOTES

La cimentación por pilotes se encuadra dentro de las llamadas " cimentaciones profundas", empleándose cuando el suelo, a la cota correspondiente de la parte inferior de la zapata que debe soportar la estructura, no es capaz de hacerlo, bien porque su resistencia no es suficiente o bien porque los asientos no son asumibles.

Las condiciones de utilización de los pilotes in situ son:

- a) No existe firme en una profundidad alcanzable con zapatas o pozos ($h \geq 5 \text{ m}$).
- b) Se quiere reducir o limitar los asientos de la estructura.
- c) La permeabilidad u otras condiciones del terreno impiden la ejecución de cimentaciones superficiales.
- d) Las cargas son muy fuertes y concentradas.

También puede ser necesario ejecutar una cimentación profunda debido a la permeabilidad u otras condiciones del terreno que impiden el realizar cimentaciones superficiales.

Las cargas grandes y concentradas como puede ser en el caso de torres sobre pocos pilares, hacen necesario el utilizar cimentaciones profundas.

6.1. FORMAS DE TRABAJO Y SOLICITACIONES DE LOS PILOTES

ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS PILOTES

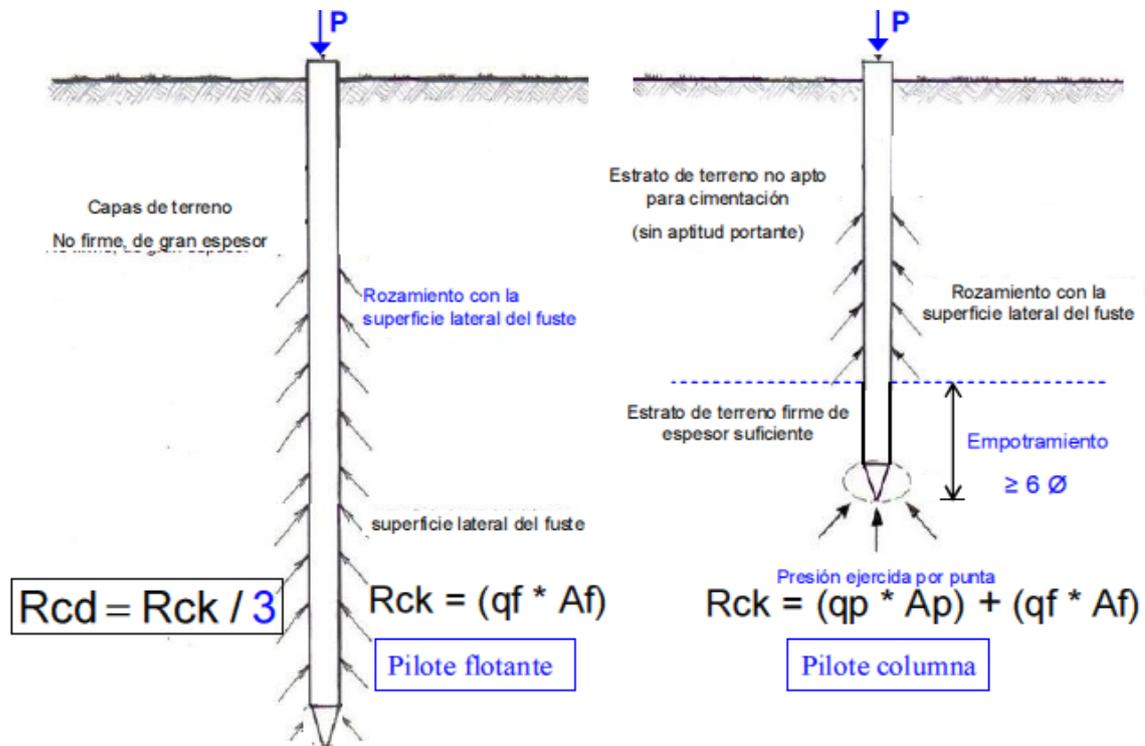


Ilustración 2. Formas de trabajo de un pilote

Hay dos formas fundamentales de trabajo y por lo tanto de transmitir las cargas al terreno:

a) Pilotes flotantes: inmersos en terrenos de resistencia media a baja sin que se pueda llegar a un estrato profundo suficientemente resistente. La carga que transmite al terreno en su mayor parte es por rozamiento del fuste.

b) Pilotes columna: empotrados en una base mucho más resistente que el terreno superior y que trabaja predominantemente por punta.

Para la elección del tipo de pilote, es fundamental conocer la clase de terreno que debemos atravesar, para ello es necesario disponer de un buen estudio geotécnico.

Las variables que hay que considerar son:

ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS
PILOTES

a) Cohesión de las diferentes capas. Este es un parámetro que nos indica la estabilidad del terreno. Cuanto mayor sea la cohesión mayor será la estabilidad del terreno.

b) Dureza del terreno. Cuando existen capas de alta dureza del terreno como pueden ser las rocas, estas pueden condicionar el tipo de pilote que elijamos. Los pilotes ejecutados con barrena y prefabricados pueden no estar indicados para este tipo de terrenos.

c) Compacidad de los suelos arenosos, arcillo-arenosos y arcillosos. La compacidad nos puede indicar la estabilidad del suelo, cuanto mayor sea la compacidad mayor será la estabilidad.

d) Porcentaje de finos en suelos granulares. Cuanto mayor sea el porcentaje de finos del terreno mayor será la estabilidad, la cohesión está relacionada con la cantidad de materia arcillosa que contiene, y el porcentaje de finos mide la cantidad de arcilla y limos, de esta forma cuanto mayor sea el porcentaje de finos mayor será el grado de cohesión y mayor la estabilidad.

e) Existencia de agua. El agua puede reducir la estabilidad del terreno. Es importante saber si el agua está en un nivel freático estable o por el contrario tiene una gran variabilidad o existen corrientes subterráneas.

Una vez conocidas todas estas variables hay que averiguar si el terreno es estable o no, o en que capas lo es y en que capas no es estable. Determinada la estabilidad del terreno podremos elegir el tipo de pilote a ejecutar.

Si el terreno es suficientemente estable, el pilote más económico es el CPI-7. Para terrenos más inestables se utilizará los pilotes CPI-4, CPI-5, CPI-6 y CPI-8.

Según el CTE para utilizar pilotes CPI-8 se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para definir si un terreno es inestable:

1. Terrenos uniformes no cohesivos con coeficiente de uniformidad inferior a 2 ($D_{60}/D_{10} < 2$) por debajo del nivel freático.
2. En terrenos flojos no cohesivos con ensayos SPT para $N < 7$.

ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS
PILOTES

3. En terrenos muy blandos cohesivos con resistencia al corte no drenada, C_u , inferior a 15 KPa.

El CTE también indica algunas condiciones constructivas como son:

a) Los pilotes hormigonados al amparo de 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 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.

Esta consideración es muy importante para evitar que posibles desprendimientos del terreno contaminen el hormigón y se produzca un corte total o parcial en el pilote. Conforme se va subiendo la camisa, esta protege al hormigón y una vez se retire, el hormigón ejerce suficiente presión en las paredes del terreno que impide los desprendimientos.

b) 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 se debe considerar la posibilidad de dejar una camisa perdida.

La existencia de corrientes subterráneas puede hacer inviable la ejecución de un pilote si no se protege adecuadamente ya que puede arrastrar todos los finos y cemento del hormigón, con lo que invalidaría el pilote por completo; por eso es importante el considerar la utilización de una camisa perdida cuando sospechemos que pueda haber una corriente de agua subterránea.

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

La variación del nivel freático podría alterar la estabilidad de las paredes, por lo que si existiera sería necesario realizar el hormigonado nada más terminar la excavación

ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENOS DONDE SE UTILIZAN LOS
PILOTES

d) 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.

La utilización de lodos tixotrópicos debe contemplarse cuando el terreno pueda alterarse y su estabilidad sea cuestionable y la utilización de camisas sea complicada. Hay que tener en cuenta que la utilización de lodos implica la necesidad de instalaciones de producción y recogida de lodos, así como su tratamiento posterior, lo que puede encarecer la ejecución del pilote.

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

f) 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.

Si se producen atascos en la conducción será necesario parar el hormigonado, y dependiendo de cuando se reanude éste puede ser imposible coser una tongada con otra y produce un corte en el pilote. También podrían producirse coqueras en el interior del pilote, lo mismo que sucedería si se mezclan los lodos con el hormigón. Por todo esto es muy importante que no se interrumpa el hormigonado en ningún momento.

7. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES HORMIGONADOS " IN SITU "

Según el procedimiento de ejecución de pilotes, podemos considerar dos grandes grupos

1. Pilotes de desplazamiento
2. Pilotes de extracción

Se denominan pilotes de desplazamiento aquellos que se introducen dentro del terreno, desplazando este, mediante vibración o hincas o percusión con golpes de maza. Los pilotes de desplazamiento son prefabricados, pudiendo ser de diferentes materiales (hormigón prefabricado, acero madera, etc.).

Los pilotes de extracción son aquellos que se perfora el terreno hasta alcanzar la profundidad requerida en el proyecto, y una vez alcanzada esta, se introducen las armaduras y se hormigona.

Las NTE-1977, hace la siguiente clasificación:

- a) CPI-2 Pilote de desplazamiento con azuche.
- b) CPI-3 Pilote de desplazamiento con tapón de gravas.
- c) CPI-4 Pilote de extracción con entubación recuperable.
- d) CPI-5 Pilote de extracción con camisa perdida.
- e) CPI-6 Pilote perforado sin entubación con lodos tixotrópicos.
- f) CPI-7 Pilote barrenado sin entubación.
- g) CPI-8 Pilote barrenado y hormigonado por tubo central de barrena.

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES HORMIGONADOS " IN
SITU "

Dado que los dos primeros CPI-2 y CPI-3 no son hormigonados " in situ", que son los pueden dar problemas de continuidad, prescindimos de su descripción centrándonos en los restantes.

7.1. CPI-4 PILOTE DE EXTRACCIÓN CON ENTUBACIÓN RECUPERABLE

Normalmente se utiliza como pilotaje de poca profundidad trabajando por punta apoyado en roca.

También se puede usar como pilotaje trabajando por fuste en terrenos coherentes de consistencia firme, cuando este es suficientemente homogéneo.

El proceso de ejecución es el siguiente:

1. Perforación a rotación al amparo de entubación recuperable.
2. Limpieza del fondo del pilote y colocación de la armadura.
3. Hormigonado por el procedimiento de tubería tremie.
4. Extracción de la entubación recuperable durante el hormigonado.
5. Pilote terminado.

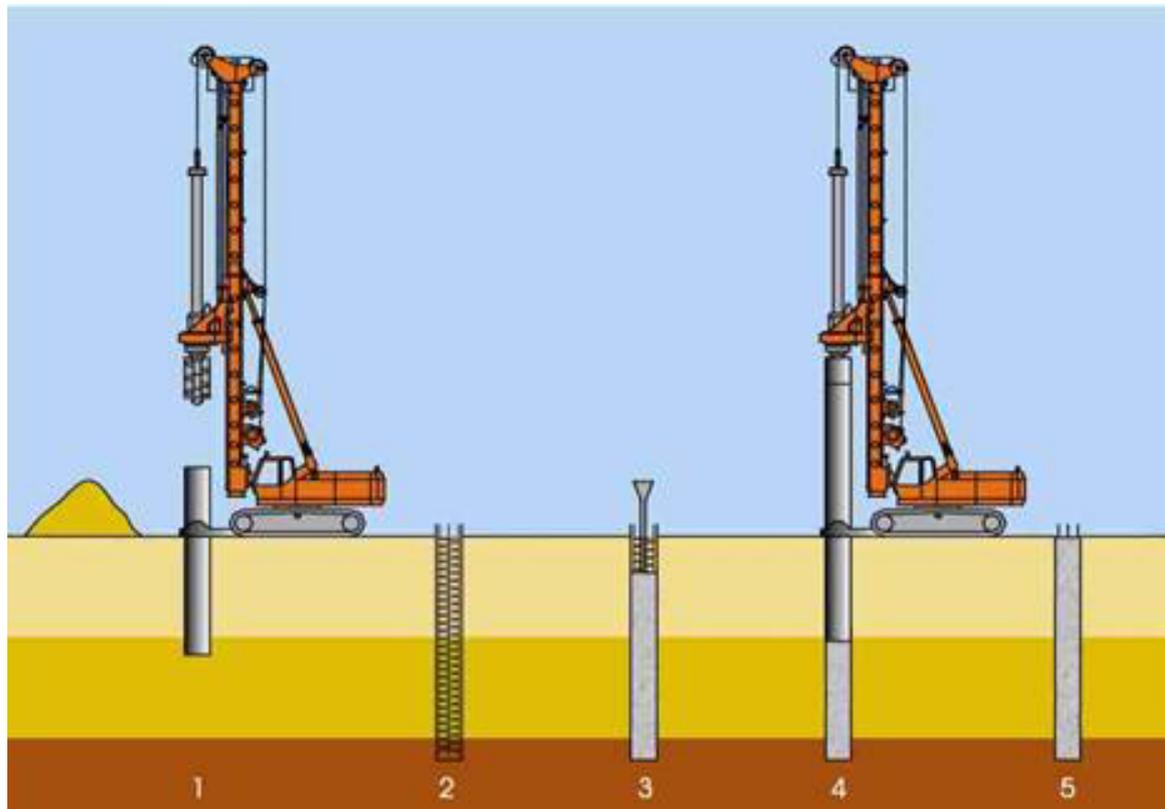


Ilustración 3. Ejecución de pilotes de extracción con entubación recuperable

7.2. CPI-5 PILOTE DE EXTRACCIÓN CON CAMISA PERDIDA

Se utiliza como pilotaje trabajando por punta apoyado en roca o capas duras de terreno y siempre que se atraviesen capas de terreno incoherente fino en presencia de agua, o exista flujo de agua y en algunos casos con capas de terreno coherente blando, o cuando existan capas agresivas al hormigón fresco.

La camisa se utiliza para proteger el tramo de los pilotes que quede expuesto a la acción de un terreno agresivo al hormigón fresco o a un flujo de agua.

El proceso de ejecución es similar al del CPI-4, pero sin retirar la camisa:

1. Perforación a rotación al amparo de entubación recuperable.
2. Limpieza del fondo del pilote y colocación de la armadura.
3. Hormigonado por el procedimiento de tubería tremie.
4. Pilote terminado.

7.3. CPI-6 PILOTE PERFORADO SIN ENTUBACIÓN CON LODOS TIXOTRÓPICOS

Es un pilote que trabaja normalmente por punta, apoyando en roca o capas duras del terreno. Cuando se atraviesan capas blandas que se mantengan sin desprendimientos por efecto de los lodos.

El proceso de ejecución es el siguiente:

1. Perforación a rotación con suministro continuo de lodo.
2. Limpieza del fondo del pilote.
3. Colocación de la armadura y desarenado del lodo.
4. Hormigonado por el procedimiento de tubería tremie.
5. Fin del pilote.

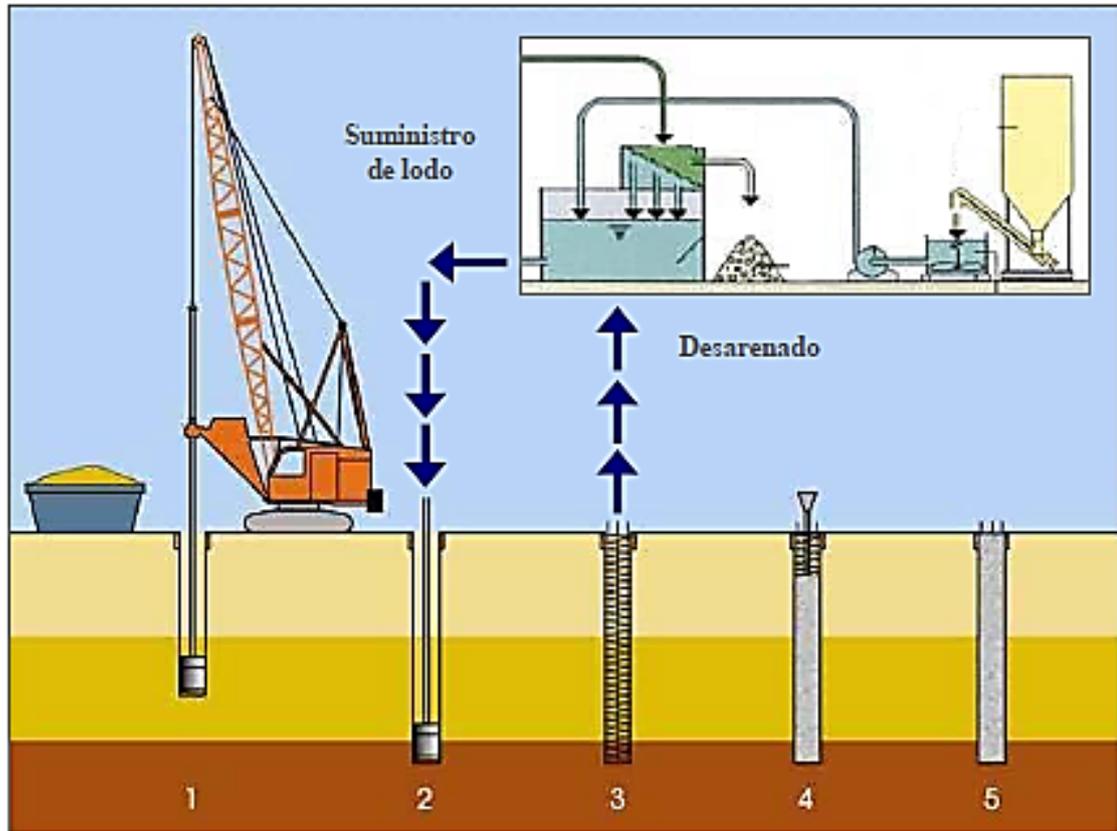


Ilustración 4. Ejecución de pilotes a rotación con lodos de perforación

7.4. CPI-7 PILOTE BARRENADO SIN ENTUBACIÓN

Se utiliza como pilote trabajando por punta, apoyado en capa de terreno coherente duro. También puede trabajar por fuste en terrenos coherentes de consistencia firme prácticamente homogéneo o coherente de consistencia media en el que no se produzcan desprendimientos de las paredes.

El proceso de ejecución es el siguiente:

1. Perforación con barrena continua.
2. Hormigonado por el procedimiento de tubería tremie..
3. Colocación de la armadura después del hormigonado.

4. Fin del pilote.

7.5. CPI-8 PILOTE BARRENADO Y HORMIGONADO POR TUBO CENTRAL DE BARRENA

Suele ser un pilote trabajando por punta, apoyado en roca con capas duras de terreno. También como pilotes trabajando por fuste y punta en terrenos de compacidad o consistencia media, o en terrenos de capas alternadas coherentes y granulares de alguna consistencia.

El proceso de ejecución es el siguiente:

1. Perforación con barrena continúa.
2. Hormigonado por bombeo a través de la barrena
3. Colocación de la armadura después del hormigonado.
4. Fin del pilote.

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES HORMIGONADOS " IN
SITU "

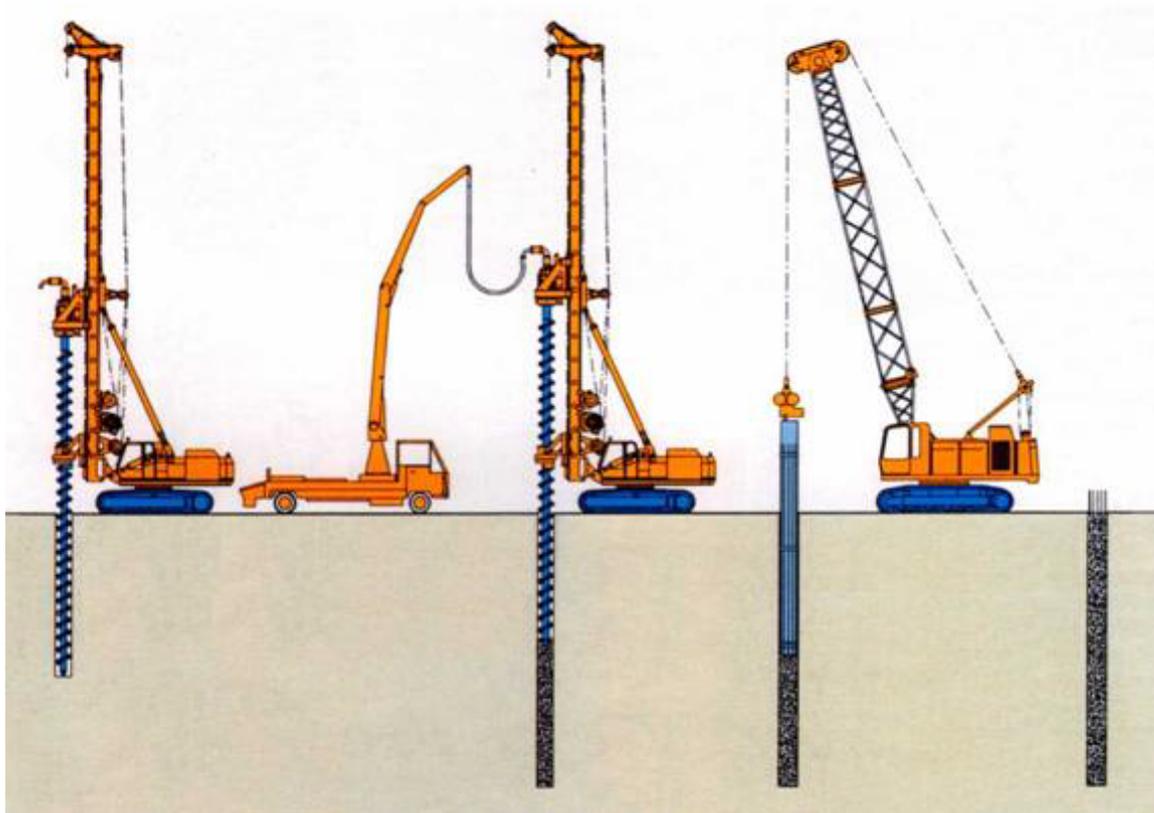


Ilustración 5. Ejecución de pilotes barrenados sin entubación y hormigonado a través de la barrena

8. CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL PILOTE

Disposición de cargas

Para el cálculo del pilote se va a utilizar las características del terreno y estructura del estribo 1 del Puente de Orzales.

Las características del terreno se han obtenido del estudio geotécnico llevado a cabo para la construcción del citado puente.

Las dimensiones del estribo 1 y de los pilotes están definidas en el plano correspondiente. Las cargas a que están sometidos los pilotes son las indicadas a continuación, cuya disposición aparecen en el croquis siguiente:

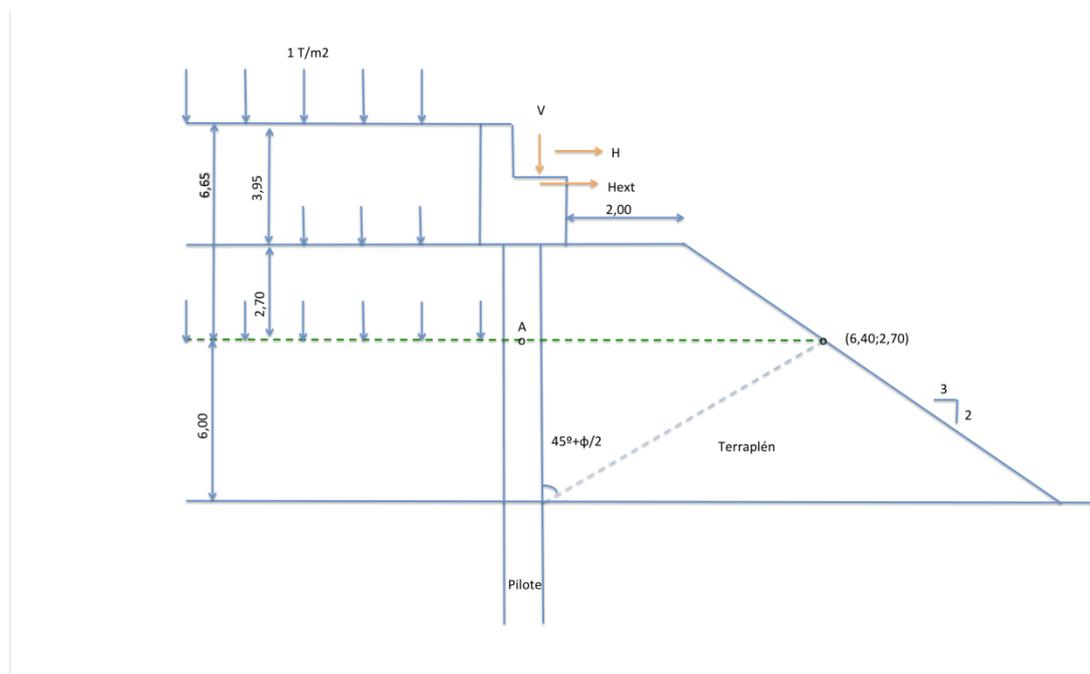


Ilustración 6. Cargas en estribo

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

Simplificando la situación real, obtenemos el croquis anterior con la hipótesis simplificada. El punto (A) se obtiene como intersección de la recta que define el talud y la recta el ángulo del $45^\circ + \varphi/2$. La ecuación de la primera recta es

$$\left. \begin{array}{l} x_1=2,40 \quad y_1=0,00 \\ x_2=5,40 \quad y_2=2,00 \end{array} \right\} y=0,67 x - 1,60$$

La ecuación de la segunda recta es

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 0,00 \quad y_1 = 6,00 \\ x_2 = 3,84 \quad y_2 = 4,00 \end{array} \right\} y = -0,52x + 6$$

El punto de intersección es

$$0,67x - 1,60 = -0,52x + 6,00$$

$$x_A = 6,39 \cong 6,40$$

$$x_A = 2,68 \cong 2,70$$

Tomamos (6,40; 2,70)

Desde este punto A se empieza a considerar la cuña pasiva entera para un ángulo de rozamiento interno de $\varphi=35^\circ$.

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

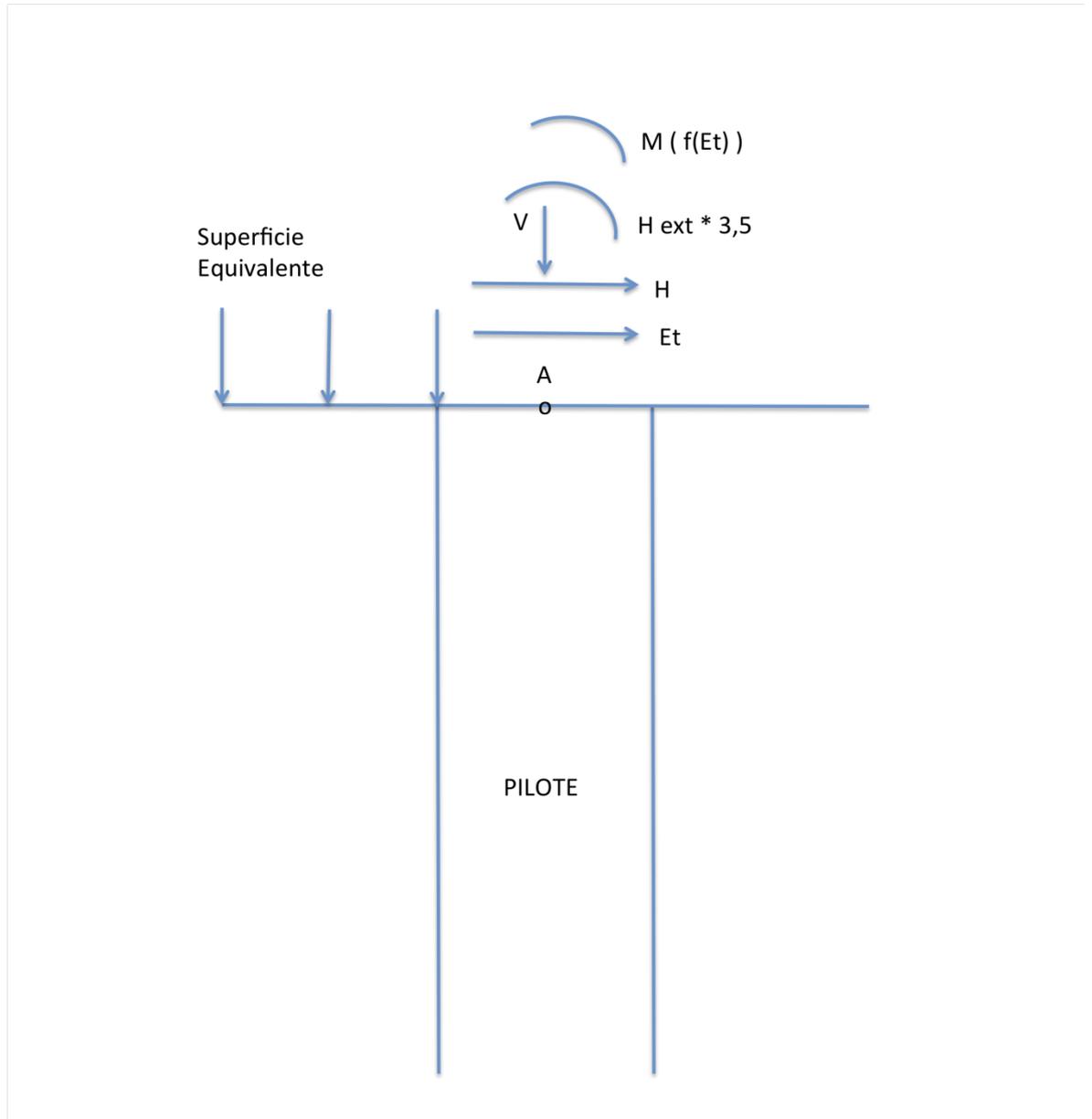


Ilustración 7. Esquema simplificado de carga en pilote

Finalmente tendremos

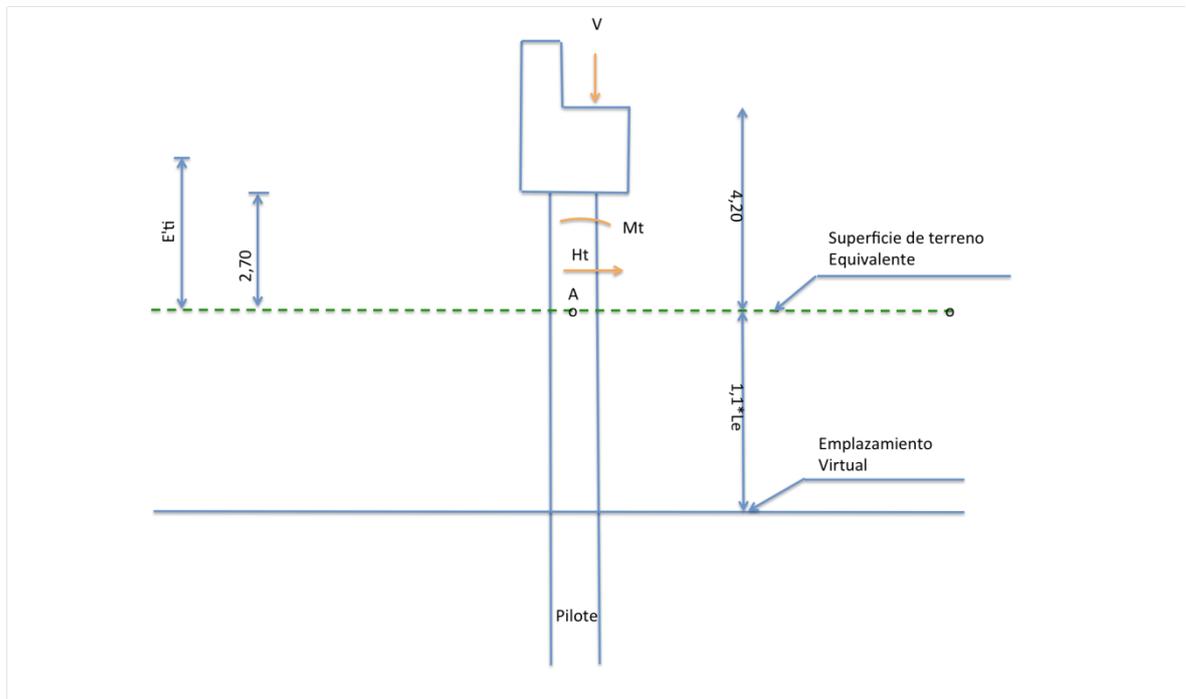


Ilustración 8. Esquema definitivo cargas en pilote

Características del terreno:

Terraplén

$$\varphi = 35^\circ$$

$$\gamma = 2 \text{ T/m}^3$$

El terreno está formado por:

- a) Un recubrimiento aluvial de espesor variable del orden de 2-2,5 m. Se trata de materiales generalmente arcillosos y blandos, aunque a veces son arenas flojas.

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

- b) Un sustrato cretácico inferior constituido por bancos de areniscas y conglomerados a veces con capas alternadas más carbonatados (calizas).

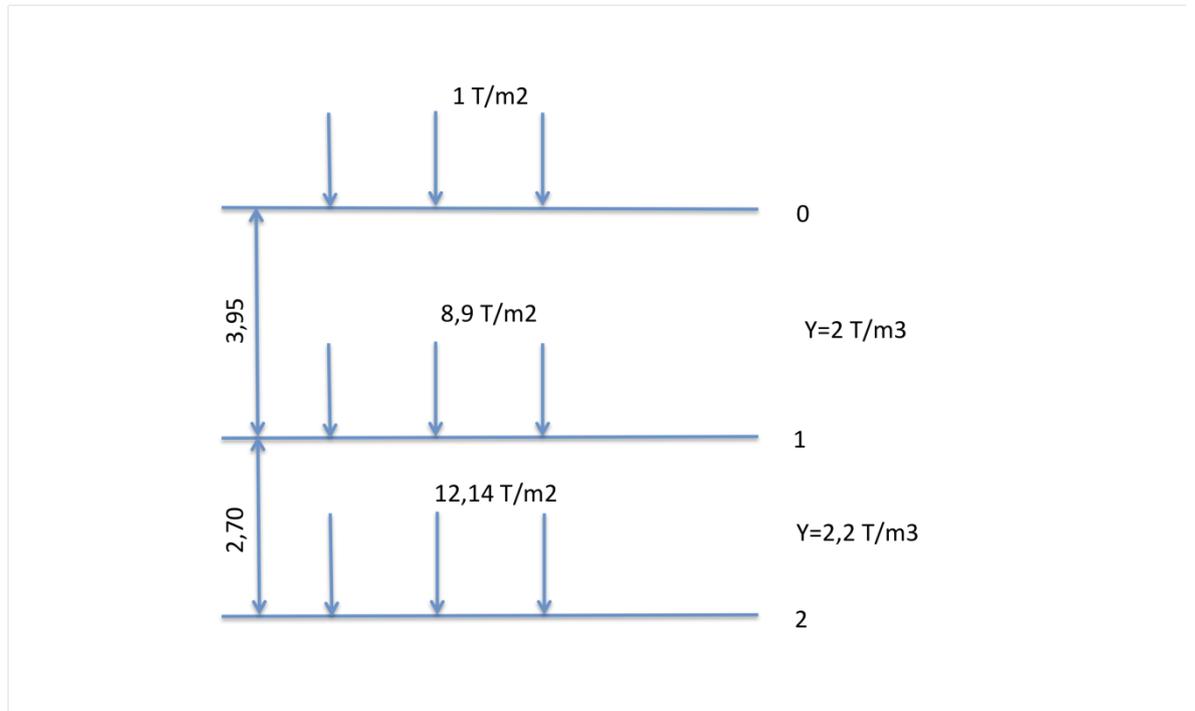


Ilustración 9. Cargas sobre el terreno y densidades

$$\sigma_1 = 1 + 3,95 \cdot 2 = 8,9 \text{ T} / \text{m}^2; u_1 = 0 \Rightarrow \sigma_1' = 8,9 \text{ T} / \text{m}^2$$

$$u_2 = 2,70 \text{ T} / \text{m}^2; \sigma_2 = 8,9 + 2,7 \cdot 2,2 = 14,84 \text{ T} / \text{m}^2$$

$$\sigma_2' = \sigma_2 - u_2 = 14,84 - 2,70 = 12,14 \text{ T} / \text{m}^2$$

Obtención de las cargas:

Cargadero

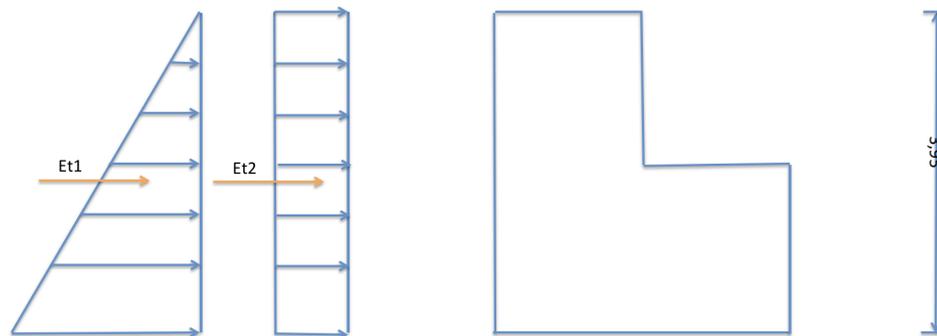


Ilustración 10. Empuje sobre cabecero estribo

Pilote hasta punto A

$$E_{T_1} = 1/2 \gamma K_A h_1^2 \cdot L_1 = 1/2 \cdot 2 \cdot 0,27 \cdot 3,95^2 \cdot 4 = 16,85T$$

$$E_{T_2} = 1 \cdot K_A \cdot h \cdot L_1 = 1 \cdot 0,27 \cdot 3,95 \cdot 4 = 4,26T$$

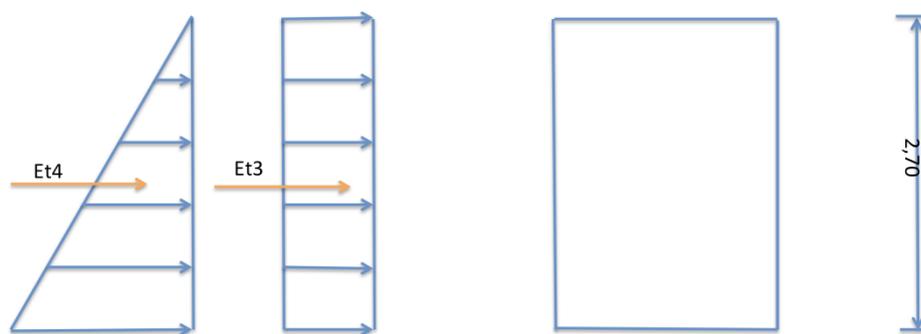


Ilustración 11. Empuje sobre estribo

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

$$E_{T_3} = 8,9 \cdot K_A \cdot h \cdot L_1 = 8,9 \cdot 0,27 \cdot 3,95 \cdot 4 = 37,97T$$

$$E_{T_4} = 1/2 \lambda K_A h_2^2 \cdot L_1 = 1/2 \cdot 2 \cdot 0,27 \cdot 2,7^2 \cdot 4 = 7,87T$$

$$E_T = \Sigma E_{T_i} = 66,95T$$

$$M_{ET} = \Sigma E_{T_i} \cdot a_i = 16,85 \cdot (3,95/3 + 2,70) + 4,26 \cdot (3,95/2 + 2,70) \\ + 37,97 \cdot 2,7/2 + 7,87 \cdot 2,7/3 = 67,68 + 19,92 + 51,26 + 7,08 = 145,94T \cdot m$$

El momento debido al empuje de tierras según los datos del proyecto hay una carga horizontal en cabeza del pilote $H_{ext} = 5,68T$ de las reacciones del tablero

$$M_{H_{ext}} = H_{ext} \cdot 2,7 = 5,68 \cdot 2,7 = 15,33Tm$$

$$M_T = 145,94 + 15,33 = 161,27Tm$$

$$H_T = H_{ext} + E_T = 5,68 + 66,95 = 72,63T$$

$V = 475 T$ obtenida de los datos del proyecto

Una vez obtenidos las cargas en el punto (A) vamos a calcular:

- Tope estructural del pilote
- Carga de hundimiento de un pilote aislado en función de su longitud
- Armaduras del pilote
- Predimensionamiento del encepado para que sea rígido
- Longitud del pilote necesario
- Armaduras del encepado

Materiales a usar:

Hormigón HA-30/F/17/IIa+H+F ; $\gamma_c = 1,50$

Acero B500 S ; $\gamma_s = 1,15$

Coefficiente de mayoración global de $\gamma = 1,5$

Recubrimiento min. $r_{min} = 7$ cm.

a) Tope estructural del pilote

En nuestro caso los pilotes se hormigonarán in situ con camisa de chapa perdida en toda su longitud, por lo que no es de aplicación el Art. 59.6 y tomamos el diámetro nominal $d_{nom} = d_{cal}$. El diámetro del pilote es de 1,80 m por ser encamisado se toma el valor nominal. Para calcular el tope estructural

$$TE = S_d * C$$

Se realizará el cálculo considerando únicamente el hormigón y despreciando la contribución del acero, estando del lado de la seguridad.

$$S_d = \frac{\varphi^2_{cal} \cdot \pi}{4} = \frac{1,8^2 \cdot 3,14}{4} = 2,54m^2 = 2540 \cdot 10^3 mm^2$$

C= 3,5 MPa por hormigonarse con agua

$$TE = S_d * C = 2540 * 10^3 * 3,5 = 8,89 * 10^6 N = 8890kN$$

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

b) Carga de hundimiento de un pilote aislado en función de su longitud

La carga del hundimiento vendrá dada por

$$Q_h = Q_f + Q_p$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

$$Q_f = \int_0^L \pi D \tau_f dz$$

Q_p =Contribución de la
carga por punta

Q_f =Contribución de la
carga por fuste

A_p =Área de la punta

Para la carga de hundimiento por fuste se
analiza la contribución de cada estrato del terreno.

Obtención de las resistencias unitarias sin minorar (E-1)

Se han obtenido del proyecto.

	$\tau_1 = 3T / m^2$
Arenas con gravas 0,30-1,70 m	$q_p = 100T / m^2$
	$K_h = 160T / m^3$

	$\tau_f = 47,5T / m^2$
Areniscas y conglomerados 1,70-6,00 m	$q_p = 1900T / m^2$
	$K_h = 8870T / m^3$

	$\tau_f = 8,6T / m^2$
Argilitas 6,00-9,53 m	$q_p = 540T / m^2$
	$K_h = 1666T / m^3$

$$\begin{aligned} \tau_f &= 17T / m^2 \\ \text{Conglomerados 9,53-14,65} \quad q_p &= 684T / m^2 \\ K_h &= 19515T / m^3 \\ K_{30} &= 55400T / m^3 \end{aligned}$$

c) Valores de cálculo (aplicados factores de seguridad)

Coefficientes de seguridad $\gamma_f = 1,5$; $\gamma_p = 3$

$$\begin{aligned} \tau_f &= 1,5T / m^2 & \phi &= 35^\circ \\ \text{Arenas con gravas 1,40 m} \quad q_p &= 33,3T / m^2 \\ K_h &= 160T / m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_f &= 23,8T / m^2 \\ \text{(R) Areniscas y conglomerados 4,30 m} \quad q_p &= 634T / m^2 \\ K_h &= 8870T / m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_f &= 4,3T / m^2 \\ \text{(R) Argilitas con grava 3,53} \quad q_p &= 180T / m^2 \\ K_h &= 1666T / m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_f &= 8,5T / m^2 \\ \text{(R) Conglomerados 5,12} \quad q_p &= 228T / m^2 \\ K_h &= 19515T / m^3 \\ K_{30} &= 55400T / m^3 \end{aligned}$$

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

Arenas con gravas h=1,40 m

$$Q_F = \int_0^L \pi D \tau_f dz = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 1,5 \cdot 1,4 = 11,87T$$

Areniscas y conglomerados h=4,30 m

$$Q_F = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 23,8 \cdot 4,30 = 578,42T$$

Argilitas con grava h=3,53 m

$$Q_F = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 4,3 \cdot 3,53 = 85,79T$$

Conglomerados h=5,12 m

$$Q_F = 3,14 \cdot 1,8 \cdot [1,4 \cdot 1,5 + 23,8 \cdot 4,3 + 4,3 \cdot 3,53 + 8,5 \cdot (L - 9,23)] = 232,33 + 48,04L$$

$$Q_P = A_p \cdot q_p = 3,14 \cdot 0,9^2 \cdot 228 = 579,90T$$

$$Q_h = 579,90 + 232,33 + 48,04L = 812,23 + 48,04L$$

$$Q_d = \frac{Q_h}{F} = \frac{812,23 + 48,04L}{3} = 270,74 + 16,01Lm$$

Esta carga tiene que ser menor que el tope estructural calculado en el apartado

a)

$$889T \geq 270,74 + 16,01L \Rightarrow L = 38,61m$$

Realmente la longitud de los pilotes ha sido 20 m por lo que la

$$Q_d = 270,74 + 16,01 \cdot 20 = 590,94T$$

d) Armaduras del pilote

Para simplificar el cálculo del pilote se ha supuesto el pilote aislado con la única carga vertical (N)

Los pilotes llevan armadura longitudinal y transversal. Para las armaduras longitudinales la EHE-08 indica:

$$HA - 25 \quad N_d = 475T \cdot 1,6 = 760T = 7600KN$$

$$B400S \quad f_{yd} = 40KN / cm^2$$

$$f_{cd} = 2,5KN / cm^2$$

$$A_s f_{yd} \geq 0,1 N_d$$

$$A_s f_{yd} \leq f_{cd} A_c$$

$$A_s \geq 0,5\% A_c \quad \text{Norma UNE-EN 1536}$$

$$A_s \geq 0,0025 A_c m^2$$

$$r = 90 \text{ cm}$$

Si consideramos la más restrictiva

$$A_s \geq 0,0025 A_c = 0,0025 \cdot 3,14 \cdot 90^2 = 63,59cm^2$$

$$A_s = \frac{0,1 \cdot N_d}{40 / 1,15} = \frac{0,1 \cdot 4750 \cdot 1,6}{40 / 1,15} = 21,85cm^2$$

$$P_{A_c} = 2 \cdot \Pi \cdot 90 = 565,2cm$$

CÁLCULO DE UN PILOTE PARTIENDO DE LAS CARGAS CONOCIDAS EN LA CABEZA DEL
PILOTE

Para el área A_s de 21,85 se necesitan 11 $\emptyset 16$ pero como la separación máxima armadura longitudinal no puede ser mayor de 20 cm según la EHE-08, tomamos 30 $\emptyset 16$ por separación máxima.

La armadura transversal pueden ser cercos del orden de los 2/5 del de la longitudinal, y no menor de 6 mm, además debe cumplir:

$$\emptyset t \geq 1/4 \emptyset p$$

$$s_t \leq 15 \emptyset p$$

Por lo tanto se disponen cercos simples $\emptyset 8$ mm cada 20 cm.

9. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉ- TODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES

La problemática planteada con los diferentes métodos de ejecución de pilotes deriva de la imposibilidad de ver como se está ejecutando las diferentes fases por las que tiene que pasar un pilote hormigonado "in situ", al trabajar a grandes profundidades.

La incertidumbre se manifiesta en las siguientes fases:

- a) Excavación
- b) Limpieza del fondo
- c) Colocación de armaduras
- d) Colocación y extracción de camisa de chapa
- e) Control de flujos de agua en el interior de la excavación del pilote
- f) Hormigonado del pilote
- g) Control de las diferentes capas del terreno atravesadas por el pilote

9.1. PROBLEMÁTICA EN LA EXCAVACIÓN

Para la buena ejecución de un pilote es necesario tener muy bien caracterizado el terreno previamente mediante sondeos. Esto no garantiza que durante la excavación nos encontraremos con los mismos estratos que en el sondeo pero nos ayuda a hacernos una idea del terreno que podemos encontrarnos. Los sondeos pueden no haber detectado capas de terreno agresivo al hormigón, posibles flujos de agua, terrenos coherentes blandos, diferentes tipos de roca de más o menos dureza, etc. To-

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS
DE EJECUCIÓN DE PILOTES

dos estos inconvenientes hacen que durante la excavación tengamos que replantearnos qué tipo de pilote ejecutamos.

Visto lo anterior, si inicialmente habíamos previsto realizar un pilote tipo CPI-4 (Pilote de extracción con extracción recuperable), es posible que al atravesar una capa no prevista de material coherente flojo o un flujo de agua, sea necesario replantearnos el tipo de pilote y utilizar un CPI-5 (Pilote de extracción con camisa perdida) o un pilote CPI-6 (Pilote perforado sin entubación con lodos tixotrópicos). La excavación es una parte muy importante en la ejecución de pilotes, ya que el terreno condiciona los medios utilizados. Así podemos utilizar hélice, cuchara de almeja, trepano, cuchara rotatoria, cazo o cubo de perforación o barrera continua.

Es posible que durante la excavación tengamos que cambiar de útil de perforación al atravesar capas de terrenos más duras o blandas que las anteriores.

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES

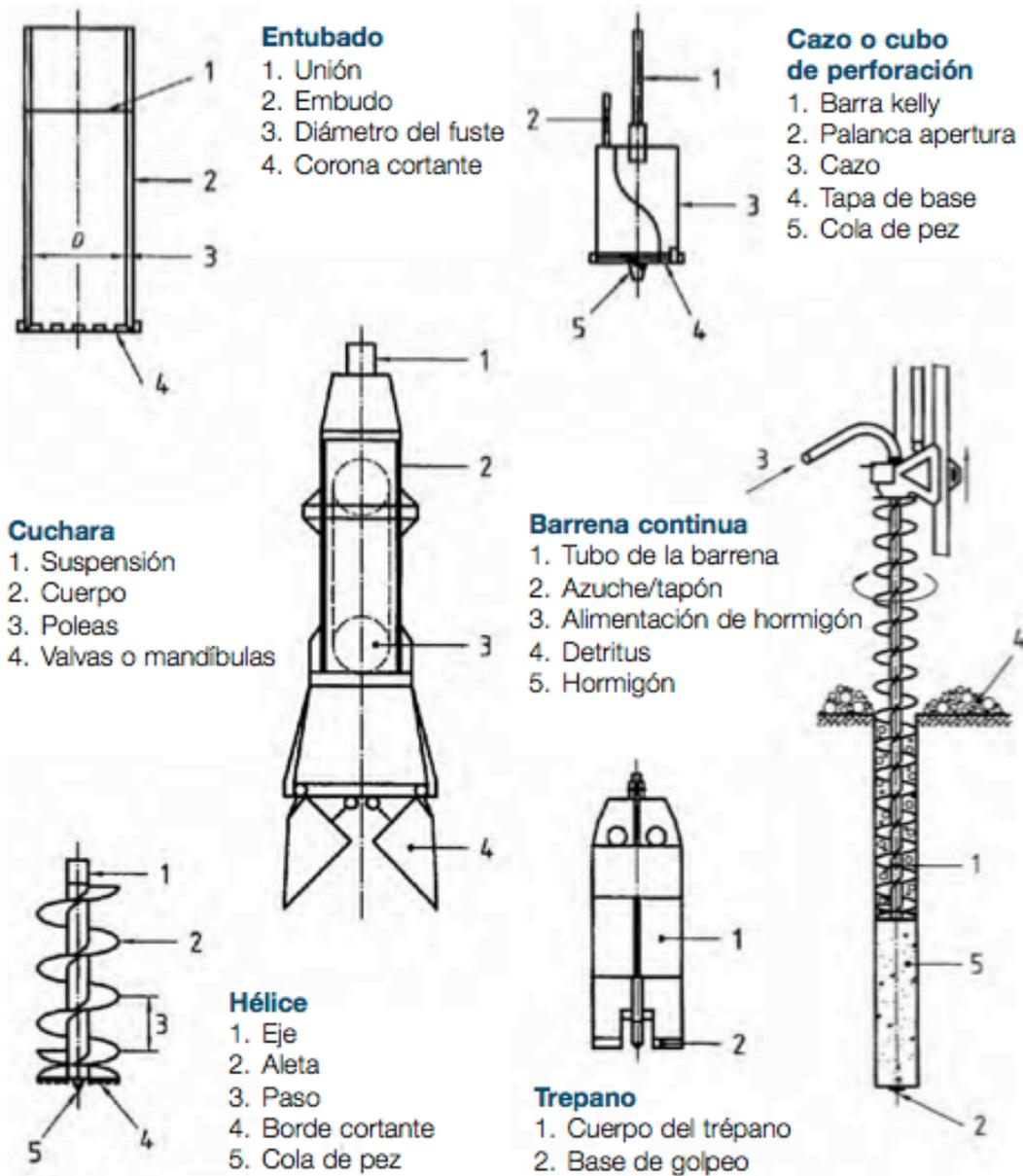


Ilustración 12. Elementos de excavación

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS
DE EJECUCIÓN DE PILOTES

Otro punto muy importante es la verticalidad del pilote, que en gran medida depende de la adecuada elección de elemento de excavación.

9.2. PROBLEMÁTICA DE LA LIMPIEZA DEL FONDO

En los pilotes que trabajan por punta o por punta y fuste, es fundamental la limpieza del fondo de los posibles restos de excavación que impidan un contacto directo con el fondo de excavación y el hormigón del pilote. Si no se limpia correctamente el fondo de excavación, las cargas no se transmiten directamente sobre el terreno y pueden presentarse asientos no previstos en el pilote que podrían afectar a la estructura. La limpieza se suele realizar con un cazo (bucket).

En algunos casos se puede aportar unos 15 cm de gravilla libre de arena a fin de que el pilote tenga un apoyo firme.

9.3. PROBLEMÁTICA DE LA COLOCACIÓN DE LA ARMADURA

Debido a las grandes profundidades que se alcanza en algunos pilotes, las armaduras tienden a pandear, lo que puede producir que en unas zonas no se alcance los recubrimientos mínimos requeridos, además debido a las irregularidades del terreno también puede provocar que los recubrimientos no sean los correctos. Para evitar este defecto es necesario la colocación correcta de separadores en cantidad suficiente que garanticen el recubrimiento mínimo de proyecto. En el caso de los pilotes tipo CPI- 8 (pilote barrenado y hormigonado por tubo central de barrena) en que la armadura se coloca después del hormigón, dificulta más el centrado de la misma y el recubrimiento en toda la longitud del pilote.

9.4. COLOCACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA CAMISA DE CHAPA

La decisión de colocación o no de una camisa de chapa viene determinada por el tipo de terreno que tiene que atravesar la excavación. Como ya se ha indicado existen dos tipos de pilotes, el CPI-4 (pilote de extracción con entubación recuperable), utilizado para pilotes de poca profundidad trabajando por punta apoyado en roca, o para pilotes trabajando por fuste en terrenos coherentes de consistencia firme, si es suficientemente homogéneo. En este tipo de pilotes siempre cabe la posibilidad de encontrarnos lentejones de arena o terreno coherente flojo que se desprende cuando retiramos la camisa, quedando contaminado el hormigón, creando una discontinuidad en el pilote que tendremos que reparar con el coste que supone y la dificultad técnica de su realización.

El pilote de tipo CPI-5 (Pilote de extracción con camisa perdida) se utiliza como pilote trabajando por punta apoyado en roca o capas duras de terreno y siempre que se atraviesan capas de terreno incoherente fino en presencia de agua, o exista flujo de agua y en algunos casos con capas de terreno coherente blando, o cuando existan capas agresivas al hormigón fresco.

En este tipo de pilote se garantiza que el hormigón no se contaminará por el terreno, ni se lavará o será arrastrado por ninguna corriente de agua. Tiene el inconveniente que disminuye el rozamiento para el trabajo por fuste del pilote. Para mejorar el rozamiento por fuste se puede realizar inyecciones con lechada de cemento con dosificaciones 1:1 en el espacio entre la camisa y el terreno.

9.5. PROBLEMÁTICA DEL CONTROL DE FLUJOS DE AGUA EN EL INTERIOR DE LA EXCAVACIÓN DEL PILOTE

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS
DE EJECUCIÓN DE PILOTES

La detección de los posibles flujos de agua en el interior de la excavación de un pilote es complicada, ya que puede estar enmascarada con el nivel freático.

Las corrientes de agua pueden provocar erosiones en la excavación que se depositarán en el fondo de la misma, si la excavación no se protege con camisa de chapa puede producir contaminación del hormigón con parte del terreno, provocando la no continuidad del pilote, siendo necesario su reparación o abandono dependiendo del tamaño de la contaminación. Para evitar que las posibles corrientes incidan en el pilote es necesario la utilización de camisa metálica. Si es recuperable se corre el riesgo de que al retirarla se produzca la contaminación o exista pérdida de hormigón por arrastre. Si por cualquier motivo se sospecha que puede haber corrientes en el interior de la excavación, será necesario utilizar pilotes tipo CPI-5 (Pilote de extracción con camisa perdida).

9.6. PROBLEMÁTICA DEL HORMIGONADO DEL PILOTE

El hormigón utilizado para los pilotes in situ debe cumplir unas condiciones particulares para evitar en lo posible defectos en su ejecución. Así el código técnico de la edificación en su Documento Básico SE-C cimientos indica que 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 de cemento para vertido en seco será mayor a 325 kg/m² . La relación agua/ cemento debe ser inferior a 0,6. El contenido de finos $d < 0,125\text{mm}$ (inclui-

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EJECUCIÓN DE PILOTES

do el cemento). Para árido grueso $d > 8$ mm el contenido de cemento será mayor a 400 kg/m³ y para árido grueso $d \leq 8$ mm será mayor de 450 Kg/m³.

La consistencia del hormigón debe cumplir

<u>Asiento de cono Abrams (cm)</u>	<u>Condiciones uso</u>
$13 \leq H \leq 18$	Hormigón vertido en seco
$H \geq 16$	Hormigón bombeado o bien hormigón sumergido vertido bajo agua con tubo tremie
$H \geq 18$	Hormigón sumergido vertido bajo fluido estabilizador con tubo tremie

Siendo H el asiento en el cono de Abrams. Según se recoge en la EHE-08 en su artículo 29 (Aditivos), el uso de aditivos superplastificantes es fundamental en los hormigones autocompactables. Para evitar problemas de segregación, atascos en tuberías, cortes en la continuidad de los pilotes, coqueras, falta de compactación y contaminación del hormigón, es necesario cumplir con las recomendaciones anteriores y además utilizar el método de hormigonado con tubo tremie.

El método tremie de llenado por flujo inverso, se usa para verter hormigón cuando existe nivel freático o en excavaciones donde se emplean lodos tixotrópicos. El hormigón es bombeado de forma continua, a través de una tubería llamada tremie deslizándose hacia el fondo y desplazando el agua e impurezas hacia la superficie. El tubo tremie debe llegar hasta el fondo de la perforación antes de iniciarse el vertido del hormigón. Al principio se debe elevar algunos centímetros para iniciar el flujo del hormigón y asegurar un buen contacto entre el hormigón y el fondo de la perforación. Se debe evitar el contacto con el agua. Una vez que la descarga de hormigón haya comenzado, el tubo tremie estará siempre inmerso en, por lo menos, 3 m en el hormigón fresco. El hormigonado debe ser continuo sin interrupciones para evitar la formación de juntas frías y conseguir una buena continuidad en el pilote. Antes de retirar el tubo tremie completamente se debe verter en superficie suficiente hormigón como para desplazar todo el agua y el hormigón diluido.

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS
DE EJECUCIÓN DE PILOTES

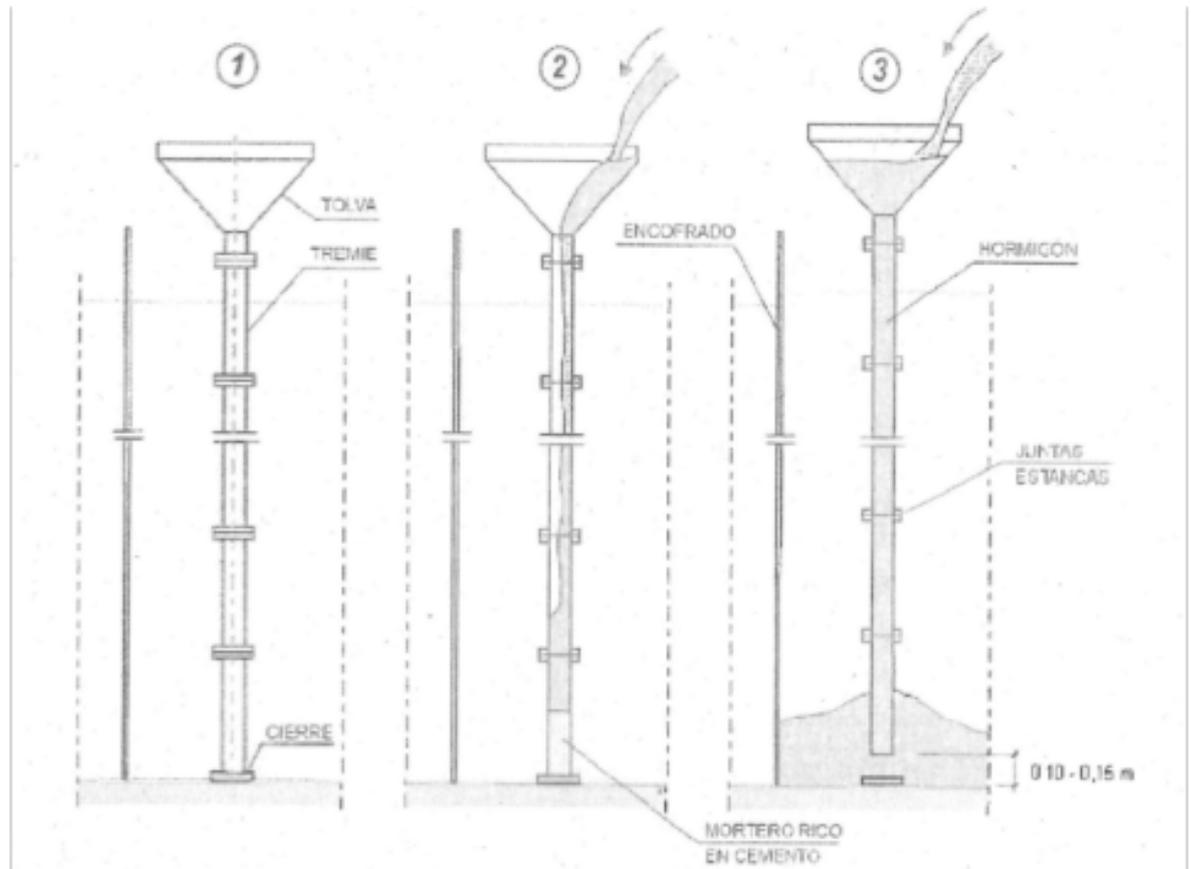


Ilustración 13. Método de ejecución con tubo Tremie

9.7. PROBLEMÁTICA DEL CONTROL DE LAS DIFERENTES CAPAS DEL TERRENO ATRAVESADAS POR EL PILOTE.

La caracterización del terreno se consigue mediante una campaña de sondeos. Cuanto mayor sea el número de perforaciones, mayor será la probabilidad de conseguir un buen perfil del terreno.

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA CON LOS DIFERENTES MÉTODOS
DE EJECUCIÓN DE PILOTES

Si es posible lo ideal será realizar un sondeo en el mismo lugar donde se ha previsto ejecutar cada pilote. Además es conveniente que los sondeos se realicen con extracción continua de testigo. Esto nos permitirá conocer el terreno que nos vamos a encontrar, con los espesores de cada capa y las posibles vías de agua, así como delimitar el nivel freático.

Cuando el presupuesto de la obra nos impide realizar un número suficiente de sondeos deberíamos procurar que sean lo más próximos al lugar del mayor número de pilotes, de manera que nos permita realizar un perfil geológico lo más parecido a la realidad.

10. DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

Los diferentes ensayos de integridad proporcionan información sobre las dimensiones, materiales y posibles defectos de ejecución de los pilotes. Estos ensayos no reemplazan a los ensayos estáticos de carga, sino que los complementan. Permiten detectar defectos en los pilotes de una forma rápida y económica. Con estos ensayos una vez detectada una anomalía se pueden utilizar otros ensayos para determinar las causas y su extensión y decidir si el pilote es apto, se puede reparar o hay que rechazarlo.

Los ensayos complementarios para determinar el alcance del defecto son básicamente la excavación alrededor del pilote (solo cuando la profundidad es pequeña y los sondeos con extracción de testigo continuo del fuste del pilote).

La interpretación de los resultados de los ensayos debe realizarse por técnicos experimentados debido a la dificultad que conlleva. Uno de los problemas de la información obtenida con los ensayos de integridad para la validación de pilotes es la interpretación de los mismos que puede variar según la persona que los analiza. Para realizar una buena interpretación de los resultados de los ensayos es necesario conocer los principios físicos en los que se basa cada ensayo. Es importante no ejecutar los encepados hasta que se hayan llevado a cabo los ensayos previstos que garantizan la idoneidad de los pilotes.

Las pruebas de carga permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, someténdolos a cargas superiores a las que trabajarán en la estructura.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

10.1. ENSAYOS

Los ensayos más utilizados para comprobar la integridad de un pilote, y por tanto su aceptación o no son:

- a) Ensayo sónico
- b) Ensayo de impedancia mecánica
- c) Ensayo Cross-Hole ultrasónico
- d) Ensayos de carga
 - 1. Estático
 - 2. Estático de penetración constante
 - 3. Ensayo de carga rápida
 - 4. Dinámico
 - 5. Ensayo con celda de carga bidireccional

A continuación pasamos a describir cada uno de los ensayos.

10.1.1. Ensayo sónico

Es el más utilizado por su sencillez y economía. Consiste en golpear en la cabeza del pilote, una vez descabezado, con un martillo de mano y obtener mediante instrumentación el movimiento de la cabeza del pilote como consecuencia de la onda de tensión generada. El impulso mecánico genera un tren de ondas que se transmite a lo largo del pilote que dependerá de las características del material.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

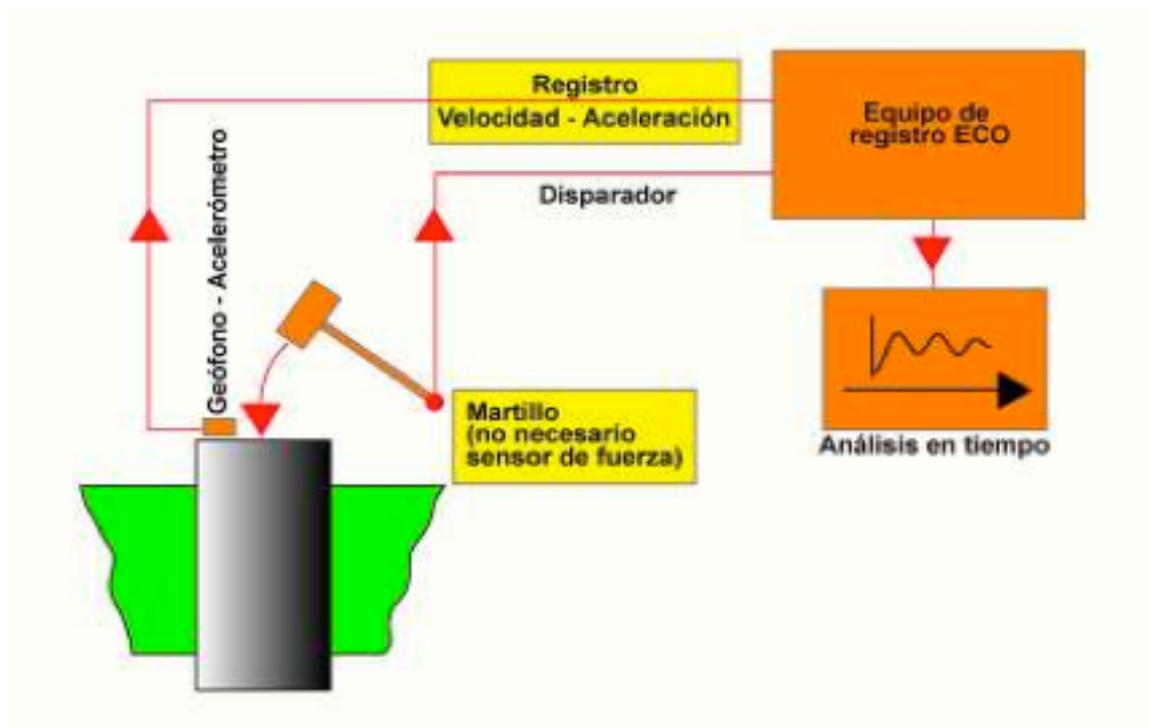


Ilustración 14. Esquema del Ensayo Eco

La onda se transmite hasta la punta del pilote donde parte de la energía se transmite al terreno bajo la punta del pilote y parte se refleja. El análisis de la onda reflejada (Eco) permite obtener información sobre los cambios de características mecánicas a lo largo del pilote y como consecuencia los posibles defectos. Las características geométricas del pilote o las propiedades del material que permiten diagnosticar el estado del pilote son:

- Área de la sección transversal del pilote (A)
- Densidad del material (ρ)
- Modelo de elasticidad o velocidad de la onda en el material (E)

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

La impedancia o resistencia viene definida por:

$$Z = \rho \cdot c \cdot A = E \cdot A / c$$

$$C = \sqrt{E / \rho}$$

C= velocidad de propagación de la onda, que para el hormigón puede variar entre 3500 y 4000 m/s.

En un pilote sin defectos, en un terreno homogéneo, la impedancia (Z) cambiara en la punta del pilote.

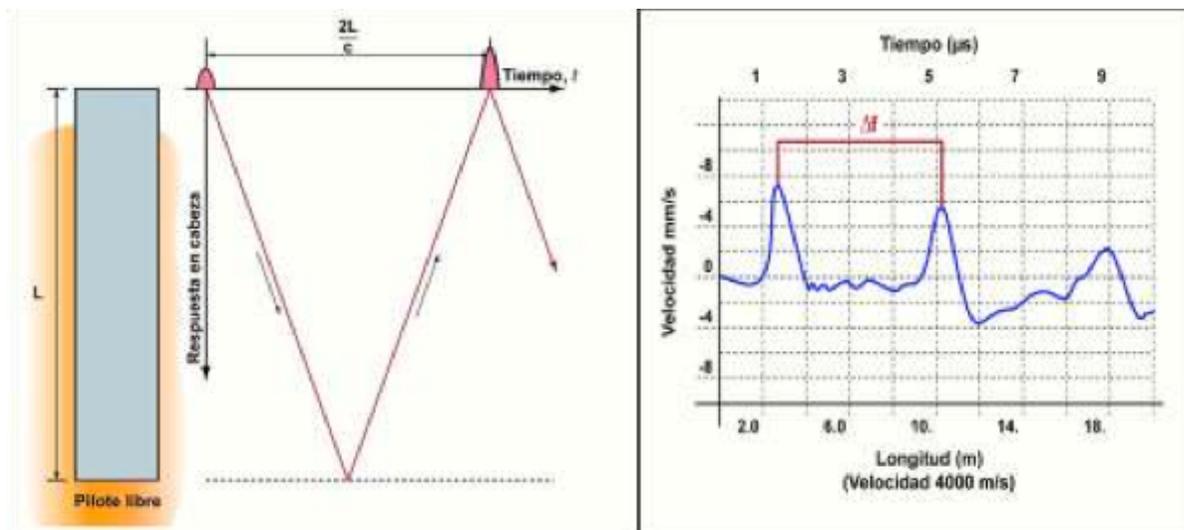


Ilustración 15. Curva Eco teórica de pilote en condiciones de punta libre

Cualquier modificación de la impedancia antes de llegar a la punta del pilote, indicara una anomalía. Como es necesario suponer una velocidad, la determinación de la longitud no es muy exacta. Su cálculo se realiza mediante la fórmula.

$$L = c \cdot t / 2$$

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

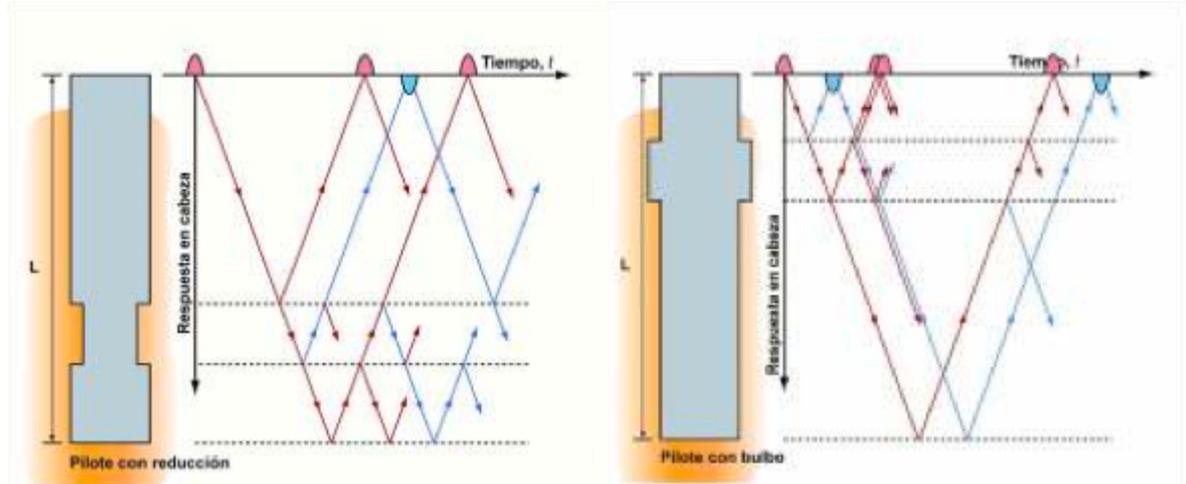


Ilustración 16. Curva Eco teórica de pilote con aumento y disminución de sección

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

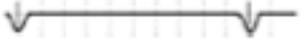
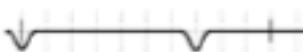
FORMA DEL PILOTE	DESCRIPCIÓN	CURVA DE ECO
	Pilote íntegro, punta libre longitud similar a la esperada.	
	Pilote íntegro, punta empotrada y longitud similar a la esperada	
	Pilote íntegro, punta libre y longitud inferior a la esperada	
	Aumento de impedancia	
	Disminución de impedancia	
	Aumento localizado de impedancia	
	Disminución localizada de impedancia	
	Esbeltez del pilote alta o fuerte atenuación que oculta la reflexión de la punta	
	Reflexiones múltiples por una discontinuidad intermedia que impide detectar la punta.	
	Perfil muy irregular del pilote en profundidad.	

Ilustración 17. Interpretación de curvas teóricas de Eco (Joram M. Amir)

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

10.1.2. Ensayo de impedancia mecánica

Este ensayo también se realiza mediante el impacto de un martillo en la cabeza del pilote, no obstante es más fácil explicar esta técnica como método vibratorio. Dos resonancias consecutivas, se producen a intervalos de frecuencia Δf :

$$\Delta f = c / 2L$$

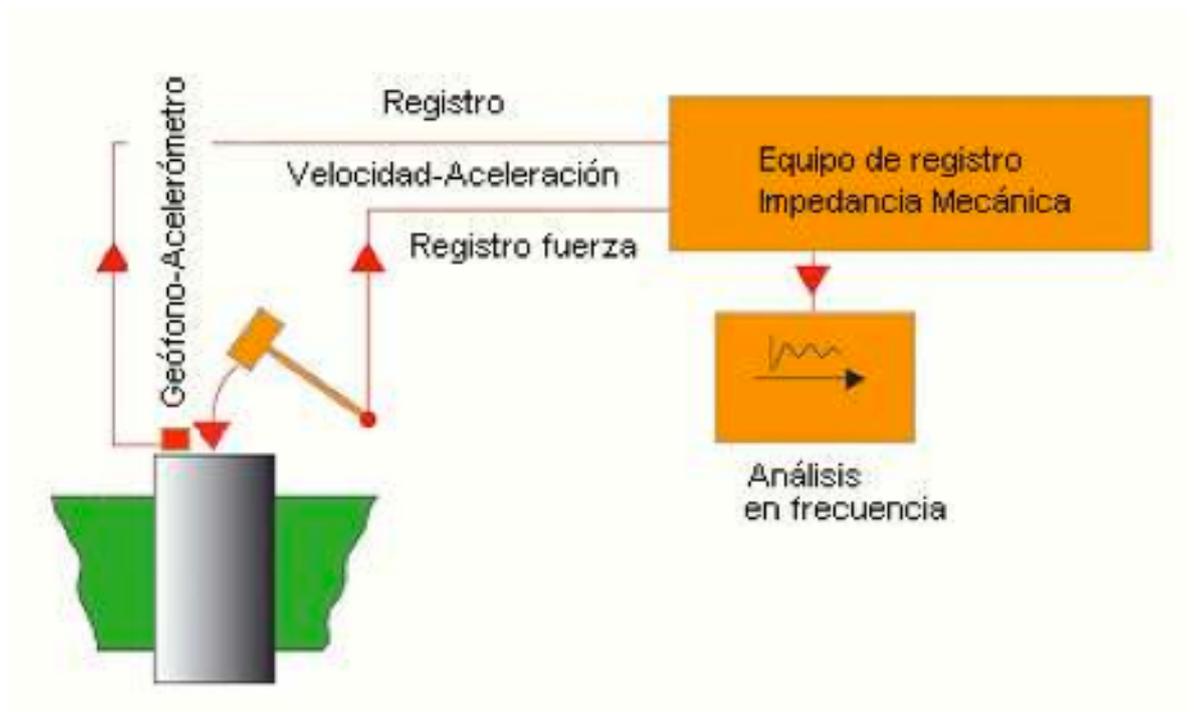


Ilustración 18. Esquema del ensayo de impedancia mecánica

Conocido el valor Δf entre dos resonancias consecutivas y la velocidad de propagación de la onda del pilote, es posible calcular la distancia a la que se produce la reflexión de la onda. La longitud del pilote coincide con la profundidad a la que se está produciendo la reflexión de la onda

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

$$L = c / 2\Delta f$$

En este ensayo el análisis se realiza en base a la curva de movilidad donde se obtienen rigidez, flexibilidad y admitancia característica. El valor medido de la admitancia característica (inversa de la impedancia) de un pilote se puede comparar con su valor teórico y así poder obtener una estimación de la calidad del hormigón o un aumento o disminución de la sección. Una admitancia característica baja respecto a la teórica es un indicador de un ensanchamiento en cabeza y una admitancia alta significa una mala calidad del hormigón en cabeza o una reducción de la sección sobre la teórica.

Este ensayo aporta más datos que el Ensayo Sónico, como son la rigidez dinámica y la admitancia característica. Cuando se realiza el Ensayo de Impedancia es conveniente analizar simultáneamente la curva del Ensayo Sónico para obtener unos resultados más fiables.

10.1.3. Ensayo Cross-Hole ultrasónico

El ensayo Cross-Hole consiste en hacer descender por dos tubos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote o pantalla, un emisor y un receptor que envían y reciben señales, registrando el tiempo que tardan estas señales en recorrer la distancia entre ellos. Este ensayo provoca una baja deformación en el pilote. Requiere que previamente al hormigonado se dejen dos o más tubos embebidos en el hormigón o perforar a posterior el fuste , lo que implica un mayor coste.

Los tubos deben ser preferiblemente de acero de 50 mm de diámetro. Los extremos superiores deben cerrarse y sobresaldrán al menos 40 cm del hormigón del pilote.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

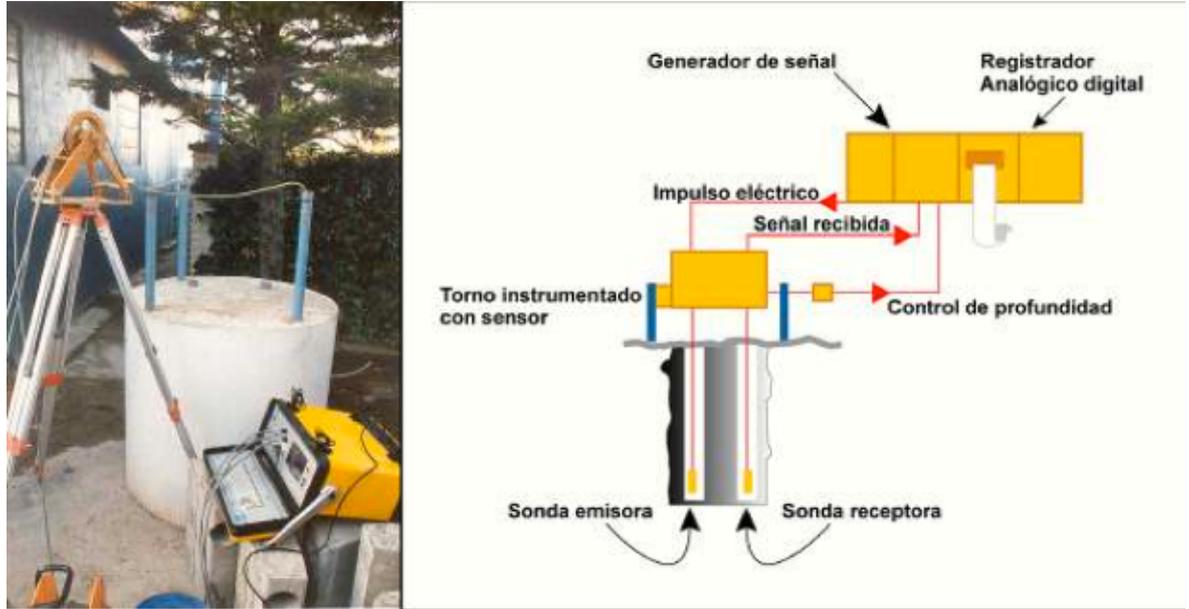


Ilustración 19. Equipo y esquema del ensayo Cross-Hole



Ilustración 20. Esquema de medida y equipo utilizado

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

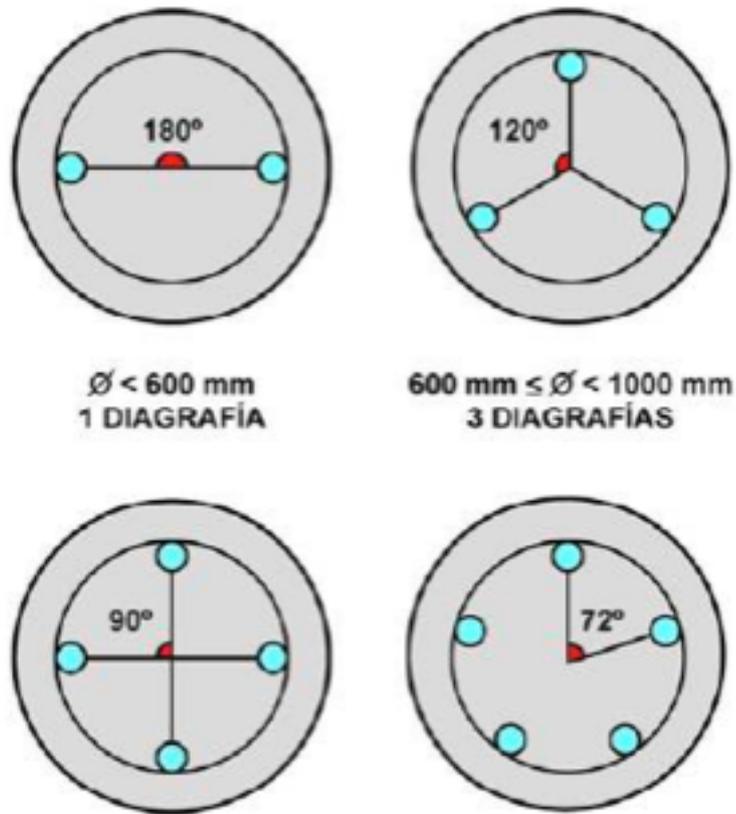


Ilustración 21. Diferentes disposiciones de los tubos de auscultación para el ensayo Cross-Hole

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

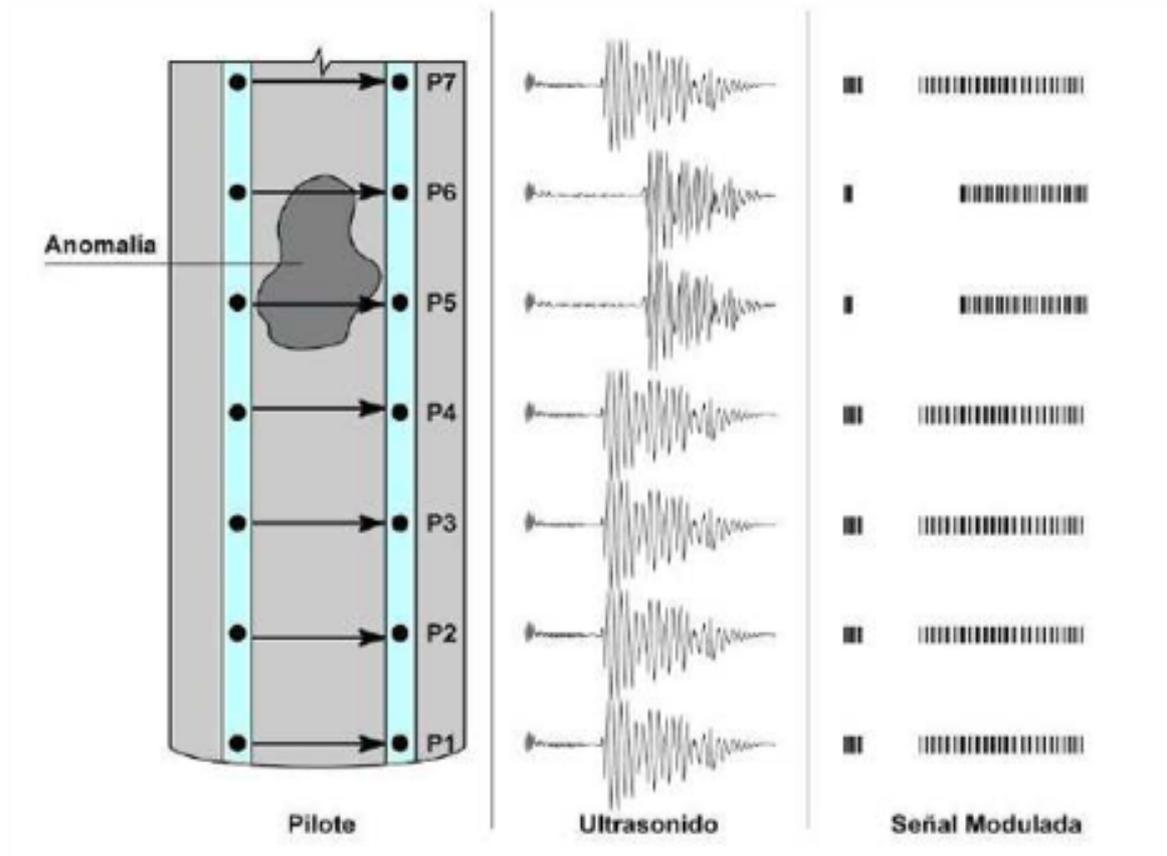


Ilustración 22. Resultados del ensayo

Para la ejecución del ensayo el emisor y receptor se desplazan simultáneamente por los dos tubos paralelos sujetos a la armadura del pilote, realizando un barrido desde la parte inferior del pilote hasta el borde superior de los tubos. En un hormigón homogéneo, la velocidad de propagación de las ondas de presión es constante y varía entre 3500 y 4000m/s dependiendo de la calidad del hormigón. La velocidad disminuye de manera notable en las secciones con distintas características del material como hormigón de baja calidad, coqueras, inclusiones de terreno, etc., al tener un mayor tiempo de transmisión.

Se obtiene un registro continuo a lo largo del fuste del pilote que permite determinar a cualquier profundidad si el hormigón es homogéneo o heterogéneo. La diagra-

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

fía registrada puede presentar retrasos o irregularidades que se interpretan como anomalías y que indican la presencia de posibles defectos. Si aparecen defectos en el recorrido de las ondas tales como inclusiones de tierra, coqueras u otros que alarguen el tiempo, en la gráfica del ensayo queda reflejada la variación y la profundidad a la que se ha producido la anomalía. El equipo necesario para realizar este ensayo esta compuesto por:

- Dos sondas piezoeléctricas emisora y receptora de ultrasonidos
- Una unidad de control constituida por un generador de impulsos, un osciloscopio y un sistema de registro, visualización y almacenamiento de señales.
- Un registrador de profundidad
- Unas bobinas de cable para conectar las sondas y el torno con la unidad de control.

Hay algunos aspectos que pueden afectar de manera significativa a los resultados de la medición, como son:

- Las sondas en el interior del tubo no deben moverse lateralmente
- Las sondas deben mantenerse en la misma profundidad a lo largo de todo el recorrido
- En ocasiones los tubos no mantienen las distancias en toda la profundidad
- La edad del hormigón debe ser de al menos 7 días

Como limitaciones del ensayo podemos citar que:

- Es necesario realizar la instrumentación antes de ejecutar el pilote
- El análisis se limita al interior de las armaduras y dentro del recorrido de la onda sónica
- Si se produce un incremento del tiempo de llegada de la señal, el ensayo no permite determinar claramente si esta provocado por un aumento del espacio recorrido o por una reducción de la velocidad de propagación.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

Las heterogeneidades que se observan no suelen ser puntuales ni planas. El método es el más recomendable para evaluar la integridad de los pilotes en toda su longitud.

Previamente al ensayo es necesario medir la longitud del tubo que sobresale del hormigón y las distancias entre tubos para poder identificar los perfiles del ensayo. En pilotes con 4 tubos, se realizan 6 ensayos, cuatro en las parejas de tubos diagonalmente opuestos.

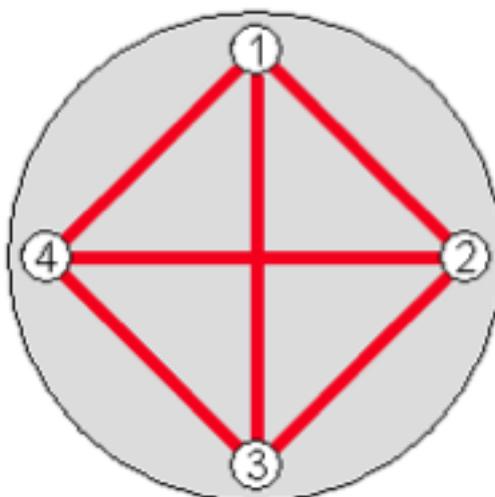


Ilustración 23. Perfiles ensayados en un pilote con 4 tubos

Antes de iniciar el ensayo los tubos deben estar llenos de agua dulce.

10.1.4. Ensayos de carga

Estas pruebas permiten una evaluación estructural y geotécnica, obteniendo así su capacidad de carga. Los ensayos de carga se hacen para determinar la carga máxima de falla de un pilote o grupo de pilotes o para determinar si un pilote o grupo de pilotes es capaz de soportar una carga sin asentamiento excesivo o continuo.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES



Ilustración 24. Ensayo de carga

La capacidad de carga en todos los pilotes, excepto los hincados hasta la roca, no alcanza su valor máximo hasta después de un periodo de reposo. Los resultados de los ensayos de carga no son una buena indicación del funcionamiento de los pilotes, a menos que se hagan después de un periodo de ajustes. En el caso de pilotes hincados en suelo permeable este periodo es de dos o tres días, pero para pilotes rodeados total o parcialmente por limo o arcilla, puede ser de más de un mes.

Los ensayos de carga se pueden hacer construyendo una plataforma o cajón en la cabeza del pilote o grupo de pilotes, en la cual se coloca la carga, que puede ser arena, hierro, bloques de concreto o agua. Para hacer un ensayo más seguro y más fácilmente controlable, se usan, para aplicar la carga, gatos hidráulicos de gran capacidad cuidadosamente calibrados.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

El inconveniente de este tipo de ensayos es el alto coste y la dificultad de su preparación. Tienen la ventaja de que mediante este tipo de ensayos puede conocerse el comportamiento real de los pilotes en el terreno. Los ensayos de Carga Rápida son menos costosos que los de ensayos Estáticos.

Es necesario preparar la cabeza del pilote previamente a la realización del ensayo, mediante un recocado de hormigón dentro de una camisa metaliza, en el que se colocan los sensores de velocidad y deformación, con una superficie plana en el extremo superior protegida por una chapa metálica y una sufridera sobre la que se produce el impacto.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

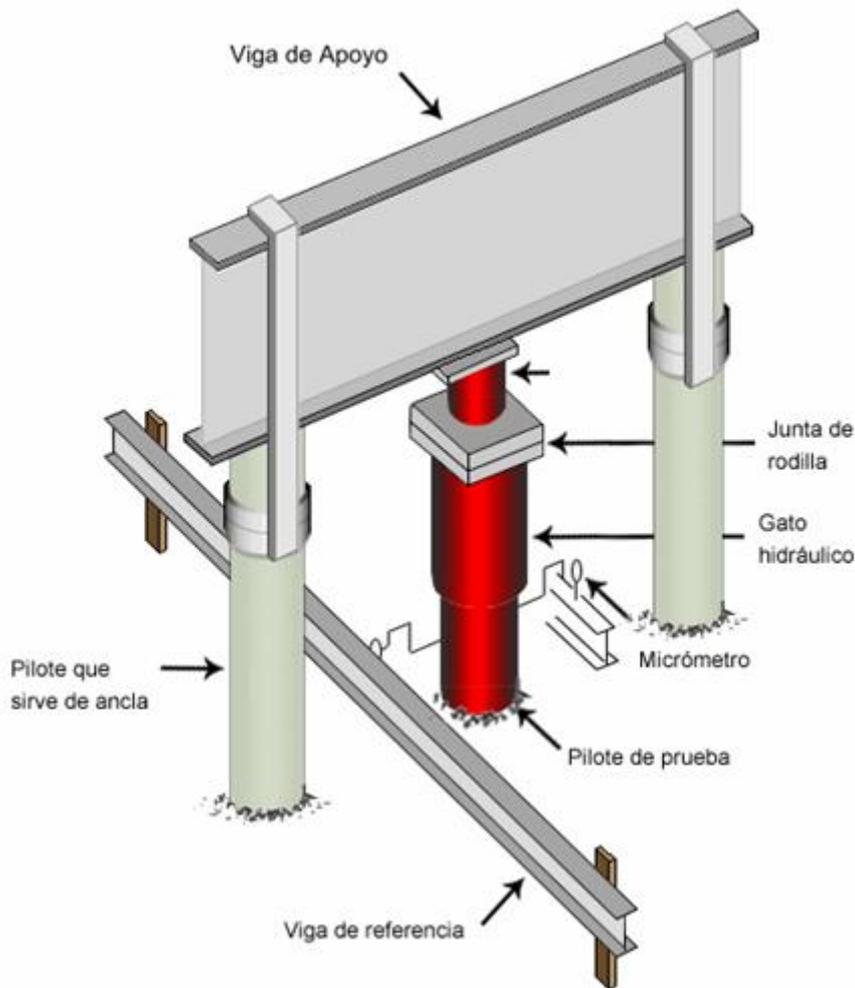


Ilustración 25. Croquis ensayo de carga

Es práctica habitual realizar al menos un ensayo estático de carga de tipo convencional en un pilote ensayado dinámicamente para poder correlacionar la resistencia estática con la dinámica del pilote.

Para los pilotes hormigonados in situ se elige una carga con un peso entre el 1 y 1,5 % de la carga de prueba estática y una altura de caída aproximada entre 2 y 3 cm. Los diferentes tipos de ensayos de carga se diferencian entre sí por la duración en la aplicación de la carga aplicada al pilote y por la deformación inducida en el mismo.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

Las cargas se aplican en incrementos que sean un quinto o un cuarto de la carga del pilote que se haya fijado para el proyecto, hasta que se produzca la falla o se alcance una carga igual a dos veces la fijada para el proyecto

Tipo de ensayo	Sistema de reacción	Carga máxima	Ventajas	Inconvenientes
Estático	Pilotes de reacción	30 MN	Sirve para todas las condiciones de suelo y tipo de pilotes. Posibilidad de sistemas manuales o automáticos. Se puede instrumentar los pilotes.	Se requiere la instalación de pilotes de reacción o plataformas con pesos (caras). Montaje y desmontaje involucra trabajos en altura. Larga duración.
	Plataforma de pesos	3 MN		
	Celda de carga bidireccional	27 MN	Cargas importantes alcanzables sin sistema de reacción	Se sustenta en una instrumentación sofisticada del pilote y su análisis. Sólo sirve para pilotes perforados. Relativamente costoso y de larga duración.
Estático de penetración constante	Como el estático	Como el estático	Sirve para todos los tipos de pilotes. Disponibilidad de sistemas manuales y automatizados	Se requiere la instalación de pilotes de reacción o plataformas con pesos (caras). Limitado a suelos cohesivos. Puede sobrestimar la carga última.
Ensayo de carga Rápido	Cámara de combustión	30 MN	No necesita sistema de reacción. Muy rápido. Adecuado para ensayo de grupos de pilotes y pilotes con perfil de fuste desconocido (pilotes CFA ó pilotes antiguos readecuados)	Puede requerir calibración con el ensayo estático. Requiere precauciones en suelos cohesivos y margas. No adecuado para pilotes de más de 40 metros de profundidad
Dinámico	Martillo de hincas Caída de masa	3 MN Puede ser mayor. El peso del martillo debe ser del 1 a 2% de la carga de prueba	Rápido y relativamente barato. Adecuado para pilotes perforados e hincados. Correlación con ensayos estáticos en pilotes perforados generalmente buena.	Puede requerir calibración con resultados estáticos. Puede no ser representativo en suelos con relajación. Correlación de resultados estáticos y dinámicos en pilotes en suelos cohesivos y margas deben considerar efectos reológicos y la longitud del pilote ensayado

Ilustración 26. Tipos de ensayos de carga

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

8.1.4.1. Ensayos de carga rápida

Hay dos tipos de ensayo:

a) Ensayo de carga rápida: También llamado de cámara de combustión. Se utiliza una cámara de combustión colocada en la cabeza del pilote, en la que se produce la ignición de un combustible levantándose unos contrapesos y por reacción una compresión sobre el pilote, obteniéndose directamente por instrumentación la carga aplicada y el desplazamiento producido.

b) Para el tipo de ensayo dinámico la carga se eleva con una grúa y se deja caer sobre el pilote registrando la fuerza y la velocidad en la cabeza del pilote en función del tiempo. Se suele aplicar 4 o 5 golpes con altura de caída creciente.

8.1.4.2 Ensayos estáticos

Se aplica una carga, según un determinado procedimiento y registro de los desplazamientos provocados por dicha carga. Las pruebas de carga estáticas permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, sometidos a cargas generalmente superiores a las de servicio. Las cargas de prueba se aplican con gatos hidráulicos, y los asentamientos de la cabeza del pilote se miden con dispositivos electrónicos y mecánicos. También es habitual medir el estado tensional del pilote a diferentes profundidades para comprobar la transferencia de carga al terreno por fuste y por punta.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA
INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES



Ilustración 27. Ensayo de carga estática de compresión axial con anclajes de reacción

8.1.4.3. Ensayo de celda de carga horizontal

Es otro tipo de ensayo de carga que consiste en colocar una celda hidráulica en la punta del pilote, y hacer que la misma reaccione en ambos sentidos. Se aplica una carga de compresión que moviliza la punta del pilote, y usa como reacción en sentido contrario, el peso propio junto con al fricción lateral del pilote.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO PARA COMPROBAR LA INTEGRIDAD DE LOS PILOTES, ESTUDIANDO SUS PUNTOS FUERTES Y DÉBILES

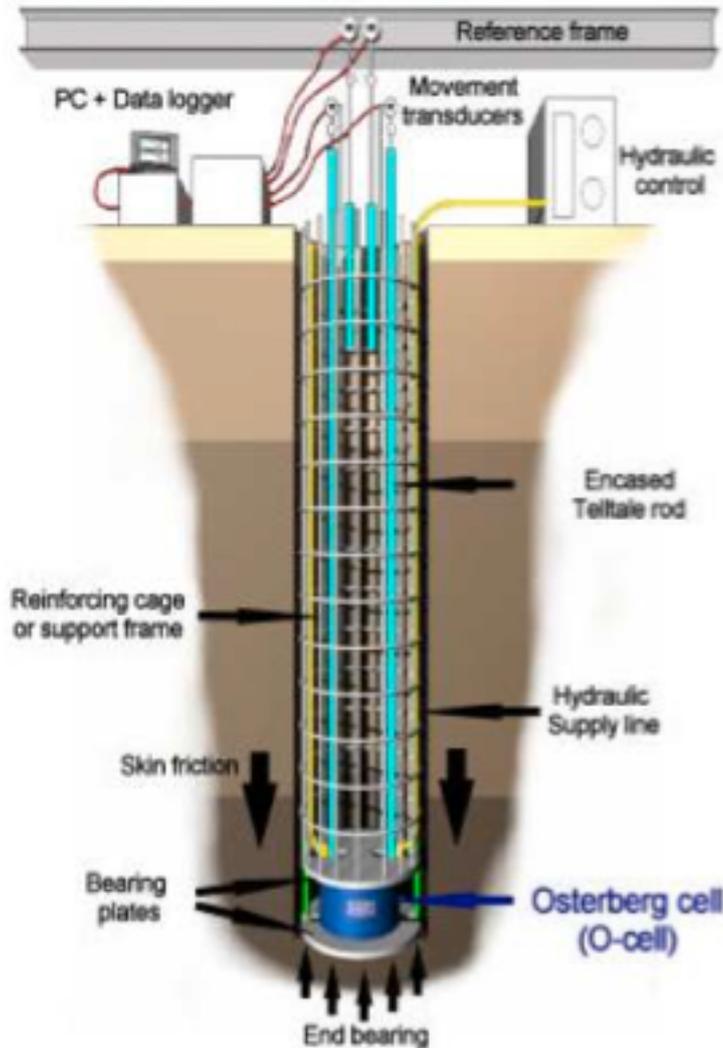


Ilustración 28. Ensayo de celda de carga horizontal

8.1.4.4. Ensayo de penetración constante

Es similar al estático. Se utiliza unos pilotes de reacción, plataforma de pesos y celda de carga bidireccional. Sirve para todo tipo de pilotes. Se deben limitar a suelos cohesivos.

11. POSIBLE COMBINACIÓN DE MÉTODOS QUE GARANTICEN UNA INFORMACIÓN MÁS FIABLE DE LA SITUACIÓN DEL PILO- TE UNA VEZ HORMIGONADO

El problema que se plantea cuando ejecutamos un pilote "in situ" es que está enterrado y no podemos ver como ha quedado su terminación. En el apartado 10 se ha descrito los diferentes métodos de ensayo que nos permiten evaluar si existe alguna anomalía en alguna sección del pilote. Pero si analizamos estos métodos vemos que en todos hay que interpretar los resultados con un cierto grado de incertidumbre y en la mayor parte de los casos no nos suministran suficiente información sobre la cantidad exacta de la sección o longitud del pilote afectada.

Para poder cuantificar con mayor exactitud la anomalía presentada puede ser interesante combinar varios ensayos de los descritos anteriormente.

El ensayo sónico permite a través del estudio de la impedancia (Z) detectar posibles anomalías pero no permite determinar con exactitud la longitud del pilote y por lo tanto puede variar el punto donde creemos que se ha producido la anomalía. Para mejorar la interpretación de este ensayo es conveniente realizarlo en combinación con el ensayo de impedancia mecánica. Este ensayo se basa en el estudio de la admitancia (inversa de la impedancia) y permite obtener más datos como es la rigidez, esto hace que la combinación de los dos nos aumente la fiabilidad en los resultados e interpretación de los mismos.

Debido al bajo coste de estos ensayos los hace idóneos para obras de bajo presupuesto y poco comprometidas. Tienen el inconveniente de que no dan información suficiente sobre el porcentaje de sección afectada, por lo que deben utilizarse en pilotes de poco diámetro (300-400 mm).

POSIBLE COMBINACIÓN DE MÉTODOS QUE GARANTICEN UNA INFORMACIÓN MÁS
FIABLE DE LA SITUACIÓN DEL PILOTE UNA VEZ HORMIGONADO

El ensayo Cross-Hole por si solo da información a lo largo de toda la longitud del pilote, con el inconveniente de que esa información es solo del interior de las armaduras y no del exterior de las mismas. Además, cuanto mayor sea el número de tubos instalados en el interior del pilote mayor serán los posibles combinaciones de lecturas y por lo tanto mayor será la posibilidad de detectar anomalías y cuantificarlas.

Uno de los mayores problemas de este ensayo es la interpretación de las diagráfias ya que estas indican a que profundidad se ha producido la anomalía pero no el tipo ni la superficie afectada. Para obtener un buen resultado del ensayo es necesario que el técnico que interprete las diagráfias tenga suficiente experiencia y el número de tubos sea el mayor posible para poder estudiar el mayor numero de secciones. Este ensayo es ideal para pilotes de grandes diámetros (mayores de 1.200 mm).

Este ensayo puede complementarse una vez detectada la anomalía con la introducción de cámaras de televisión a través de una perforación el pilote, para delimitar la cuantía de la anomalía e incluso su reparación.

Siempre que se pueda sería conveniente dejar unos tubos introducidos en el pilote para poder realizar este tipo de ensayo. Por ejemplo si utilizamos los ensayos sónico y de impedancia y tenemos dudas en los resultados, con el ensayo Cross-Hole podemos confirmarlos o descartarlos. El coste de los tubos es mínimo y solo se utilizaría si fuera necesario.

En obras con alto presupuesto se utilizan ensayos de carga rápido o dinámico. Ambos son rápidos de realizar y no muy caros, pero es necesario calibrarlos con un ensayo estático.

El ensayo estático es más caro y se necesita mucho tiempo para su realización, por lo que si podemos hacer este ensayo, podemos prescindir de los dos de carga rápida o dinámico., ya que estos nos dan menos información y en algunos tipos de terrenos como suelos cohesivos y margas no son suficientemente efectivos. Existen innumerables correlaciones entre los ensayos estáticos y dinámicos, de manera que siempre que podamos se deben combinar ambos ensayos para obtener más información de la situación del pilote. Así si hemos realizado un ensayo dinámico y los resultados no son concluyentes o dejan dudas, será necesario hacer un ensayo estático.

12. ESTUDIO DE SOLUCIONES CUANDO SE PRESENTA UN PROBLEMA EN EL PILOTE, DETECTADO CON LOS MÉTODOS DE COMPROBACIÓN

Una vez que se ha detectado una anomalía en un pilote es necesario evaluarla y cuantificarla para decidir si se repara o rechaza el pilote.

A continuación se describan diversos métodos de reparación una vez que se ha decidido aceptar el pilote puesto que se ha visto que puede trabajar con un coeficiente de seguridad suficiente para no comprometer la estructura.

-Caso 1: Se detecta una anomalía próxima a la cabeza del pilote. Se excava alrededor del pilote hasta la profundidad de la anomalía, se replica la zona afectada para sanear el hormigón defectuoso y se procede a aplicar una resina de unión de hormigón nuevo-hormigón viejo y a continuación se aplica un mortero de reparación.

-Caso 2: Al perforar nos encontramos con arenas flojas en la punta. Es necesario aumentar la capacidad portante de las mismas. Para ello se dejan uno o dos tubos de \varnothing 4" unidos a la armadura del pilote. Se perfora el terreno hasta 2 m por debajo de la punta colocando manguitos cada metro. Después de instalar la tubería metálica con manguitos y de rellenar el hueco entre ella y el taladro con lechada, se procederá a la primera fase de inyección con un límite de 150 l/m y una presión de 15 bares. Si fuera necesario, en la segunda fase se mantendrá esa admisión pero con una presión de 25 bares.

Cuando se hace esto en arenas se suele aumentar su capacidad portante en hasta un 50 %.

ESTUDIO DE SOLUCIONES CUANDO SE PRESENTA UN PROBLEMA EN EL PILOTE,
DETECTADO CON LOS MÉTODOS DE COMPROBACIÓN

-Caso 3: Pilotes CPI-5 de extracción con camisa perdida. Aunque este no es un caso estrictamente de anomalía en el pilote, si se utiliza con motivo de un mal terreno, para mejorar la estabilidad durante la excavación. La camisa perdida que se utiliza durante la excavación y posterior hormigonado puede hacer que el rozamiento pilote-terreno disminuya, por lo que puede plantearse mejorar dicho rozamiento mediante inyecciones de lechada.

Para ello se procederá a realizar 4 perforaciones alrededor del pilote a 30 cm de su perímetro, situado en dos diámetros perpendiculares hasta 1 m por encima de la punta del pilote. En esos taladros se instalarán tuberías metálicas con manguitos cada 2,0 m. Después se rellenará el hueco entre el tubo y la perforación, 3 días después del fraguado de la lechada se inyectará de abajo a arriba, con los obturadores adecuados. En una primera fase de inyección se limitará el proceso de inyección al alcanzar 100 l/m o una presión de 5 bares. En función de los resultados, se procederá a inyectar una segunda fase hasta una admisión similar y una presión de inyección de 8 bares.

-Caso 4: Detección de anomalía en el interior del pilote. Si la anomalía consiste en una oquedad en el interior del pilote se pueden plantear dos alternativas de reparación.

a) Lograr la continuidad del hormigón mediante micropilotes metálicos inyectados que absorben la carga vertical y los momentos de flexión, empotrándose en el hormigón suficientemente resistente, por encima y debajo de la zona alterada.

b) Si la oquedad está delimitada en profundidad y volumen, se puede realizar una perforación en el pilote hasta la parte superior del hueco y mediante aire a presión limpiar perfectamente el hueco y rellenar con una lechada rica en cemento. Para comprobar que el hueco se ha rellenado por completo es conveniente realizar otro sondeo paralelo al primero por el que salga la lechada. En este caso puede ser conveniente la utilización de cámaras de televisión que permita ver el estado de la anomalía y decidir la mejor manera de actuar.

13. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones podemos destacar las siguientes:

1.- La localización de irregularidades en los pilotes hormigonados "in situ" es muy difícil al ser cimentaciones profundas que no pueden verse durante la ejecución.

2.-Siempre que sea posible hay que evitar realizar cimentaciones profundas primero porque suelen ser más costosas y segundo porque son más complicadas de comprobar su buena ejecución.

3.- Los métodos de ensayos para detectar discontinuidades o anomalías son diversos y la interpretación de los resultados en general es complicada.

4.-El técnico que interpreta los resultados debe tener mucha experiencia para que estos sean lo más exactos posible.

5.-Existen múltiples motivos para que se presenten discontinuidades o anomalías en un pilote hormigonado "in situ" en las diferentes fases de su ejecución.

- a) Excavación
- b) Limpieza del fondo
- c) Colocación de armaduras
- d) Colocación y extracción de camisa de chapa
- e) Control de flujos de agua en el interior de la excavación del pilote
- f) Hormigonado del pilote
- g) Control de las diferentes capas del terreno atravesadas por el pilote

6.-Dependiendo del presupuesto de la obra se pueden realizar unos u otros métodos de ensayo para verificar la existencia o no de anomalías, incluso se puede plantear la combinación de varios métodos para complementar la información.

7.-Una vez detectada una anomalía mediante los diferentes métodos de ensayo es necesario comprobar exactamente su localización y magnitud para determinar la viabilidad de su reparación o el rechazo del pilote, ejecutando uno nuevo.

8.-Si la anomalía esta en el interior del pilote una buena manera de cuantificar y localizar la anomalía es mediante una peroración del pilote y la posterior introducción de una cámara de TV.

9.-Se plantean varios métodos de reparación según la anomalía detectada.

-Si la anomalía es una coquera se puede perforar desde la cabeza del pilote y rellenar con un mortero de reparación.

-Otra forma seria realizar micropilotes en el pilote para restituir la capacidad portante del pilote.

-Si la animalia está en la superficie exterior del pilote y se encuentra en la parte próxima a la cabeza se puede excavar y llegar hasta la anomalía y reparar el desperfecto con mortero de reparación.

-En los pilotes con camisa metálica perdida es recomendable realizar inyecciones entre la camisa y el terreno mediante perforaciones a lo largo del pilote.

10.- El tipo de terreno condiciona extraordinariamente el método de ejecución del pilote y si no es el más adecuado para cada terreno o terrenos que atraviesa el pilote se pueden presentar discontinuidades o defectos en el pilote.

11.- La manera de ejecutar el pilote es muy importante siendo crítica la fase de hormigonado. La empresa que realiza los trabajos de pilotaje debe tener suficiente experiencia y el personal estar especializado en este tipo de trabajos.

12.-La detección precoz de posibles vías de agua o corrientes es fundamental para determinar cuál es el tipo de pilote más adecuado.

13.- Los ensayos no indican el tipo de anomalía existente, solo señalan que hay defectos en el pilote, que es necesario averiguar.

14. ANEXOS

Anejo 1. Cimentación del nuevo puente sobre el Embalse del Ebro en Orzales (Cantabria)

15. BIBLIOGRAFIA

Código técnico de edificación (CTE).Ministerio de Vivienda (marzo 2006).

Instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Ministerio de Fomento (2008).
ISBN-978-84-498-0825-8.

Blog de wordPress.com

Fernández Tadeo, Carlos y Téllez García, Emilio.Los ensayos de integridad es-
tructural de pilotes. Situación actual en España y perspectivas. (2000).

Gómez García, Daniel. Estudio sobre ensayos de integridad estructural de pilo-
tes: Métodos y ejemplos de interpretación de resultados. (Febrero 2010).

Fernández Tadeo, Carlos y Téllez García, Emilio. Ensayos sónicos de integridad
mediante martillo de mano. CFT & Asociados.

Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE). Acondicionamiento del terreno. Mi-
nisterio de Fomento. (1998).

Salesa Bordanaba, Ángel. Apuntes de la asignatura de Estructuras de Cimenta-
ción Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (EUPLA). (Febrero 2013).

Pérez Carballo, Pedro. Implementación informática para el cálculo de pilotes de
hormigón " in situ " según el CTE. (Marzo 2010).

Pérez García, R. La química del agua, 3ª Ed. Madrid: Alianza Editorial. (1988).

Jiménez Salas, José A. y otros. Geotecnia y Cimientos, Mecánica del suelo y de
las rocas., Editorial Rueda Madrid. (1981)

Guía técnica de seguridad Asociación de empresas de la tecnología del suelo y
subsuelo (AETESS). Pilotes in situ

Ferreras, Román. Manual de hormigón armado conforme con la Instrucción (EHE
1999) 7ª edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN 84-
380-0153-X.

Oteo Mazo, Carlos. Informe sobre los problemas de cimentación en el nuevo puente sobre el Pantano del Ebro en Orzales. (Agosto 2010).

Oteo Mazo, Carlos. Nota sobre la construcción de los pilotes de cimentación en el nuevo puente sobre el Pantano del Ebro en Orzales. (Noviembre 2010).

López brea, Amadeo y Ocaña Morán, Antonio. Proyecto del nuevo puente de Orzales sobre el Embalse del Ebro. (Julio 2010).

Oteo Mazo, Carlos. Informe sobre la reparación del pilote derecho del estribo 2 del nuevo puente sobre el pantano del Ebro en Orzales. (Febrero 2011).

Nota técnica sobre inyecciones en pilotes puente en Orzales. Rodio Kronsa. (Agosto 2010).

Watanabe Cabrera, Jorge A. Pruebas de carga

Cabrera, Tomás. Cimentaciones profundas: Pilotaje in situ. Escuelas Técnica Superior de edificación de Madrid.

López Gómez, Fernando y Gil Gibaja, Óscar. Informe técnico auscultación de pilotes. Estribo 1- Soningeo. Laboratorios de Control de Calidad, Edificación y Obra civil. (Julio 2010).

Cimentaciones. Grupo de Ingeniería Gráfica y simulación. Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales . Universidad Politécnica de Madrid.

Ordoñez, Jorge, Análisis espectral de propagación de ondas para análisis de pruebas de integridad de pilotes. Ingeniería y Universidad. ISSN: 0123-2126.