



Universidad
Politécnica
de Cartagena



TRABAJO FIN DE GRADO

CIMENTACIONES PROFUNDAS.
EJECUCIÓN DE PILOTES DE EXTRACCIÓN

Autor: Ignacio J. López Rodríguez

Curso 2012/13

Director del TFG: Carlos J. Parra Costa

Agradecer a mi tutor Carlos por los consejos aportados para la realización de este trabajo, a mis padres por su apoyo en esta segunda incursión universitaria y especialmente a M^a Ángeles que me ha sabido animar en este “annus horribilis” sin ella esto no hubiera sido posible.

INDICE

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	
1.1	Objetivo del trabajo	6
1.2	Aspectos y definiciones generales	6
2.	<u>CIMENTACIONES PROFUNDAS</u>	
2.1	Definición	9
2.2	Clasificación cimentaciones profundas	9
2.3	Tipologías de pilotes	10
2.3.1	Según su forma de trabajo	11
2.3.2	Según el tipo de material	13
2.3.3	Según su forma de sección transversal	17
2.3.4	Según su procedimiento constructivo	18
2.4	Configuración geométrica de los pilotes	24
2.5	Criterios de selección del pilote	24
2.6	Elementos del sistema de cimentación	25
3.	<u>EJECUCIÓN DE PILOTES DE EXTRACCIÓN</u>	
3.1	Definición	29
3.2	Tipo de pilote y terreno aconsejable	29
3.3	Ejecución de cimentación por pilotes	39
3.3.1.	Tareas previas	39
3.3.2.	Movimiento de tierra y replanteo	39
3.3.3.	Perforación	40
3.3.4.	Colocación de las armaduras	41
3.3.5.	Hormigonado	43
3.3.6.	Descabezado	44
3.3.7.	Armado de encepado y correas	45
3.4	Planificación de la ejecución.	45
3.5	Maquinaria	47
3.5.1	Maquinaria empleada en pilotaje	47
3.5.2	Maquinaria y medios auxiliares comunes	50
3.6	Materiales	51
3.6.1	Hormigón	51
3.6.2	Acero	55
4.	<u>EJERCICIO PRÁCTICO</u>	
4.1	Introducción	60
4.2	Cálculo de pilote aislado	60
4.3	Grupo de pilotes	63
4.4	Ejercicios prácticos	66
4.5	Rozamiento negativo	125
4.6	Asiento pilotes	127
4.7	Empuje laterales del terreno	127

5. <u>CONTROL DE EJECUCIÓN</u>	
5.1. Análisis del proyecto	130
5.2. Control de la ejecución	134
5.2.1. Control de calidad	134
5.2.2. Control de plazos	136
5.2.3. Control económico	136
5.2.4. Control de seguridad	136
5.3. Control según EHE 08	137
5.4. Control ejecución de pilotes perforados	140
6. <u>TOLERANCIAS, ENSAYOS Y PRUEBAS A REALIZAR</u>	
6.1. Tolerancia	150
6.2. Ensayos y pruebas a realizar	151
7. <u>SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL PILOTE</u>	
7.1. Protección Individual	156
7.2. Protección colectiva	156
8. <u>PATOLOGÍAS</u>	
8.1. Causas intrínsecas de fallos de cimentación	159
8.2. Causas extrínsecas de fallos de cimentación	161
9. <u>DEFECTOS DE EJECUCIÓN</u>	
9.1. Reconocimiento geológico insuficiente. Condicionantes Geol.	165
9.1.1 Intercalación arcillosa en material rocoso/ Estrato compresible por debajo de donde apoya la punta del pilote.	165
9.1.2. Pilote apoyado sobre piedra de gran tamaño	166
9.2. Replanteo incorrecto	166
9.3. Excavación excesiva	166
9.3.1. En presencia de agua	166
9.3.2. En seco (sin freático)	168
9.4. Sedimentos en punta de pilote	169
9.5. Extracción de la entubación provisional	169
9.6. Exceso de armado en el pilote	170
9.7. Flujo de agua o nivel freático.	170
9.8. Uso inadecuado del fluido de estabilización	170
9.9. Perforación de un pilote cerca de otro recién hormigonado	171
9.10. Tránsito en terreno blando, cerca de un pilote recién h.	171
9.11. Problemas durante la perforación	171
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	174

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 Objetivo del trabajo
- 1.2 Aspectos y definiciones generales

1.1 Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo “Cimentaciones Profundas. Ejecución de pilotes de extracción” es describir los distintos tipos de cimentaciones profundas para edificaciones, y estudiar pormenorizadamente la ejecución de pilotes de extracción.

Este proyecto pretende ser de fácil lectura, sencillo en su desarrollo para que pueda ser comprendido por cualquier persona que quiera acercarse al tema de las cimentaciones profundas, más concretamente en la ejecución de pilotes de extracción.

1.2 Aspectos y definiciones generales

Este manual se centra, como se ha mencionado anteriormente en la ejecución de pilotes de extracción, pero antes de adentrarnos en este tema, deberemos empezar por conocer el término de cimentación, y sus distintas clasificaciones.

Empezaremos definiendo cimentación, como la parte del edificio que está debajo de tierra y sobre la que estriba toda la fábrica¹.

Clasificaremos las cimentaciones en:

- **Cimentaciones directas:** Son aquellas que reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal², y que generalmente se construyen a poca profundidad bajo la superficie. Las cimentaciones directas se clasifican de la siguiente manera (Tabla 1):

¹ Definición de la Real Academia Española (RAE)

² Definición del Código Técnico DB SE

Tipo de cimentación	Empleo	Elementos que sostiene
Zapata asilada	En terrenos firmes, válidas para asientos pequeños y moderados	Pilar independiente, en esquina, medianero o central.
Zapata combinada	Terreno con poca capacidad y cuando encontremos pilares próximos entre sí.	Dos o más pilares contiguos.
Zapata corrida	Mismos criterios que las zapatas combinadas.	Tres o más pilares en hilera, incluso muros.
Pozo de cimentación	Cuando las condiciones del terreno lo permita y sea una opción ventajosa.	Un pilar independiente.
Emparrillado	Para terrenos con baja capacidad de carga y levada deformabilidad o si se prevén asientos elevados.	Un conjunto de muros y pilares distribuidos formando una parrilla.
Losa	Si el área cubierta por posibles cimentaciones aisladas cubre un gran porcentaje de terreno, y es más económico la ejecución de una losa.	Conjunto de pilares y muros.

Tabla 1. Clasificación de las cimentaciones superficiales

- **Cimentaciones profundas:** se considerará que una cimentación es profunda si su extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho³.

³ Definición Código Técnico DB SE

2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

- 2.1. Definición
- 2.2. Clasificación cimentaciones profundas
- 2.3. Tipología de pilotes
 - 2.3.1. Según su forma de trabajo
 - 2.3.2. Según el tipo de material
 - 2.3.3. Según la forma de sección transversal
 - 2.3.4. Según su procedimiento constructivo
- 2.4. Configuración geométrica de los pilotes
- 2.5. Casos en los que se usa un pilote
- 2.6. Criterios de selección del pilote
- 2.7. Elementos del pilote

2.1. Definición

Como se ha mencionado anteriormente el código técnico nos define la cimentación profunda como aquella que en su extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho.

Solemos emplear este tipo de cimentaciones en los siguientes casos:

- Cuando debamos construir un edificio con dos o más sótanos.
- Cuando existan capas de gran espesor de suelos blandos próximos a la superficie, impidiéndonos de esta manera el apoyo de una cimentación superficial.
- Por la presencia de nivel freático cercano a la superficie.
- Por la existencia de cavidades cársticas.
- Por la necesidad de reducir los asentos del edificio.
- Cuando necesitemos apoyar una carga aislada sobre un terreno sin firme o difícilmente accesible por los medios habituales.

Y en resumen siempre que no podamos construir una cimentación superficial debido a la mala calidad del terreno próximo a la superficie, esto es, cuando la realización de una cimentación superficial no sea técnicamente viable.

2.2. Clasificación cimentaciones profundas

Las cimentaciones profundas se pueden clasificar en los siguientes tipos⁴:

a. Pilotes: Elemento de gran esbeltez y escasa sección, muy similar a los pilares:

a.1. *Pilotes aislados:* aquel que debido a su distancia con otros pilotes no tiene *interacción geotécnica* alguna con ellos. En caso de que empleemos pilotes "in situ", deben tener un diámetro mínimo de 50 cm para absorber *esfuerzos horizontales* y momentos. Podremos emplear pilotes prefabricados de menor diámetro solo cuando los momentos sean nulos.

a.2. *Grupo de pilotes:* Es la solución más usual. En este caso la carga del pilar se transmite a varios pilotes a través de un encepado rígido que entrelaza sus cabezas.

a.3. *Zonas pilotadas:* Son pilotes de poca capacidad portante individual que se encuentran colocados estratégicamente con el fin de reducir asentos o mejorar la seguridad frente al hundimiento de las cimentaciones.

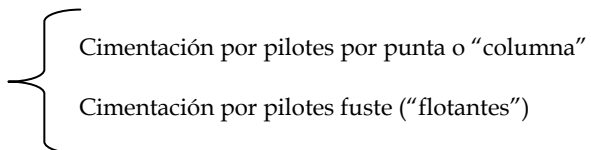

⁴ Código Técnico de la edificación. Seguridad estructural. Cimentaciones Profundas.

a.3. *Micropilotes*: Son pilotes de pequeño diámetro, empleados en aquellos lugares en los que no es posible la ejecución de los pilotes convencionales.

2.3. Tipología de pilotes.

Elegir entre los distintos tipos de soluciones que aporta el pilotaje, debe de ser una tarea concienzuda, esta elección depende de las necesidades de la estructura, las condiciones del lugar y del suelo, por los materiales de que se dispone y por supuesto de la competencia económica; por ello se limita estrechamente la selección a muy pocos y a veces a uno solo de los muchos tipos posibles.

Aún así existen una gran variedad de tamaños, formas y materiales para adaptarse a cualquier caso, por lo que debemos distinguir los diferentes tipos en función de:

- Según su forma de trabajo 
 - Cimentación por pilotes por punta o "columna"
 - Cimentación por pilotes fuste ("flotantes")
- Según el tipo de pilote 
 - *Por el tipo de material*
 - *Según la forma de sección transversal*
 - *Según su procedimiento const.*

2.3.1. Según la forma de trabajo

2.3.1.1. Cimentación por Pilotes por punta o “columna”

En terrenos donde el extracto más resistente se encuentra a cierta profundidad alcanzable por el pilote, los cuales transmiten las cargas fundamentalmente por punta.

En esta forma de trabajo las puntas de los pilotes se empotran en terreno firme confiando de esta manera en el apoyo en ese estrato, aunque hubiese rozamiento del fuste al atravesar estratos menos resistentes.

La acción lateral del terreno elimina el riesgo de *pandeo*.

Es el mejor apoyo y el más seguro, al apoyarse el pilote en un terreno de gran resistencia.(Fig.1)

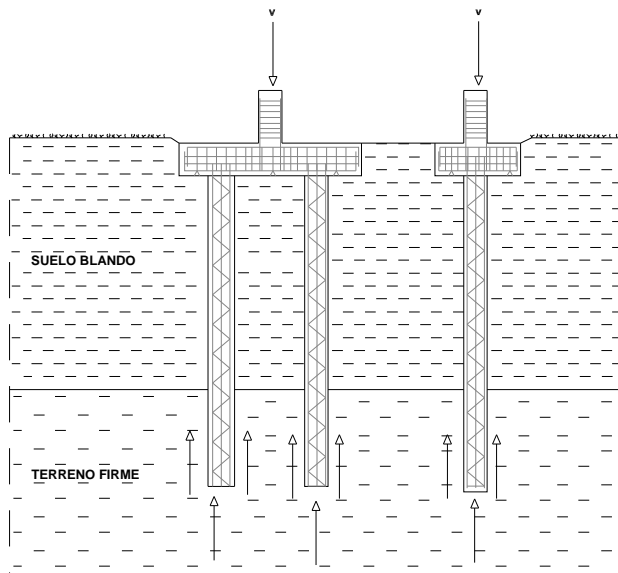


Fig.1. Pilotes por punta.⁵

⁵ Figura extraída del Documento Básico SE-C Cimientos. Cimentaciones Profundas

2.3.1.3. Cimentación por Fuste (Pilotes “flotantes”)

Cuando al encontrarse en un terreno donde no existe claramente un nivel más resistente al que transmitir la carga, quedan hincados en terreno suave, de resistencia media-baja, transmitiendo su carga por rozamiento lateral a través del fuste.(Fig.2)

La resistencia de estos pilotes depende de la profundidad a la que estén hincados, de su diámetro, y de la naturaleza del terreno.

Para conocer la longitud del pilote debemos tener en cuenta la resistencia del mismo, sin olvidar que aquel pilote cuya longitud sea inferior al ancho de la obra, no soportará las cargas transmitidas por ésta.

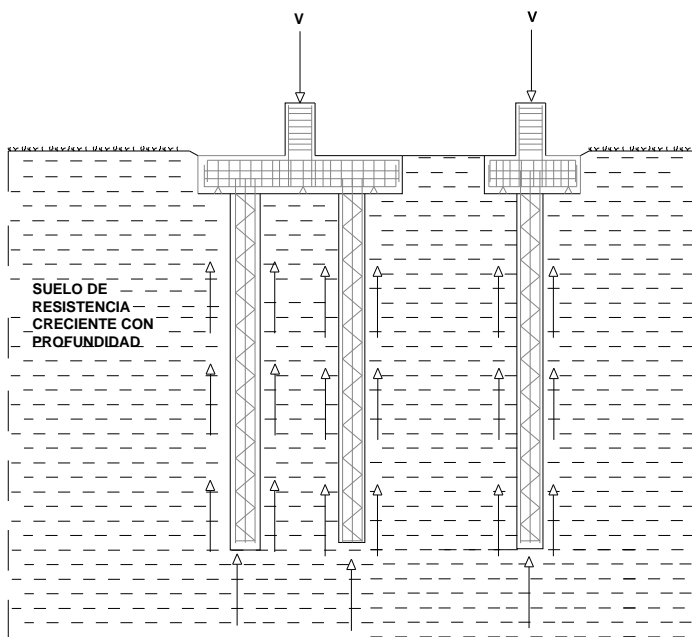


Fig. 2. Pilote semirrígido.⁶

⁶ Figura extraída del Documento Básico SE-C Cimientos. Cimentaciones Profundas

2.3.2. Según el tipo de material

2.3.2.1. Hormigón “In situ”

Dentro de los pilotes de hormigón podemos destacar los de hormigón “in situ”, que es aquel en el cual se vierte el hormigón y se coloca la armadura directamente en el terreno formando el pilote, y que se ejecutará mediante excavación previa, aunque también podrán realizarse mediante desplazamiento del terreno o con técnicas mixtas;

2.3.2.2. Hormigón Prefabricado

Pilotes de hormigón prefabricado (Fig.3), pudiendo ser éste *pretensado* o *armado* (hormigones de alta resistencia).



Fig. 3. Pilotes prefabricados de hormigón con punta piramidal⁷.

⁷ Imagen extraída de la Pág.: <http://www.ingeniero-de-caminos.com/2011/07/pilotes-hincados-hinca-de-pilotes.html>

2.3.2.3. Acero

Tienen un buen comportamiento y una serie de ventajas que presenta frente al resto, como son:

- Resisten hincas difíciles sin experimentar agrietamiento alguno.
- Al hincarse en un estrato duro adquiere una gran capacidad de carga.
- Si fuese necesario aumentar su longitud se puede efectuar muy rápidamente, sin apenas demorar la hinca, mediante soldadura de otros tramos adicionales.
- Si durante el manejo sufre golpes o caídas, generalmente no sufre daño alguno.
- Tienen una buena resistencia a flexión y a los esfuerzos laterales.
- Los pilotes huecos pueden rellenarse de hormigón, aumentando de este modo su resistencia.

Para su colocación se deberá consultar con especialistas ya que pueden haber dudas en su empleo por la *corrosión* que podrían experimentar si existiese nivel freático o cualquier corriente de agua, incluso en el empleo en el mar y en algunos rellenos debido a la existencia de oxígeno atrapado.

Una forma muy eficiente y económica de impedir la corrosión es el uso de la protección catódica por medio de *ánodos de sacrificio* (de zinc) o de corriente impresa.

Los pilotes de acero se pueden clasificar por:

- Su forma, en:
 - *Perfiles tubulares*: Se emplean mucho como pilotes los tubos de acero rellenos de hormigón, estos tubos tendrán un diámetro de entre 25 y 75 cm. El espesor de las paredes no suele ser inferior a 2,5mm, siendo el espesor normal empleado el de 4,5 mm. Si el espesor de las paredes está entre 2,5 y 3,2 mm se considera que el acero participa con el hormigón soportando las cargas. Estos tubos se suelen hincar con mandril.
 - *Perfiles en doble U* (caja): Consiste en dos perfiles en “U” unidos mediante soldadura formando una especie de caja, la que se podrá rellenar posteriormente de hormigón al igual que en los tubulares. (Fig.4)



Fig. 4. Ejemplo de pilote en forma caja⁸.

- *Perfiles en H*: Se emplean cuando las condiciones requieran un hincado violento, longitudes demasiado grandes o elevadas cargas de trabajo por pilote. Debido a que el desplazamiento que provoca en el suelo es muy pequeño estos pilotes son bastante útiles en los lugares en que un levantamiento del terreno dañaría las propiedades vecinas.
- La forma de hincas:
 - *Los pilotes roscados* son los que se colocan con un movimiento circular y penetran atornillándose en el suelo con su punta provista de un tornillo de Arquímedes. Estos pilotes se emplean en terrenos sujetos a cambios de humedad y sequedad.
 - *Pilotes hincados* se realiza percusión. Para evitar el deterioro y cambio de forma de la cabeza del pilote, se lo recubre con un sombrerete adecuado, donde golpea la maza del martinete. La hincas se puede efectuar mediante percusión y también mediante inyección. Los pilotes que van a ser alojados por hincas acaban en punta de disco, que se denomina así por la plancha circular colocada en su punta, la cual está formada por una serie de nervios, y por un agujero central por el que se inyecta agua a presión para hacer el foso en el terreno donde se introducirá el pilote.

⁸ Imagen extraída de la Pág.: <http://www.7735.com/es/sale/pilotes-de-acero-kd562>

2.3.2.4. Madera

Estos pilotes son muy usados debido a su bajo coste y a la facilidad de obtener y manipular, empleándose sobre todo en terrenos blandos y amplios. La longitud de dichos pilotes es limitada, ya que depende de la altura de los árboles disponibles, comúnmente entre 10 y 20m, siendo su diámetro de 20 a 30 cm., aunque dependiendo del tipo de pilote y su uso:

- Pilotes clase A, se usan para soportar cargas pesadas. El diámetro mínimo del fuste debe ser de unos 35 cm.
- Pilotes clase B se usan para cargas medias. El diámetro mínimo del fuste debe ser de entre 20 y 30 cm.
- Pilotes de clase C se usan para trabajos provisionales de construcción, generalmente cuando todo el pilote esta debajo del nivel freático. El diámetro del fuste debe ser de 30cm.

Si se necesitan mayores longitudes de pilotes pueden empalmarse, siempre y cuando éste empalme no quede cerca de la mitad del pilote, ya que en caso de pandeo esta sería la zona más afectada, pudiendo de este modo quebrarse la unión.

Podemos empalmar los pilotes de dos maneras diferentes:

- Mediante unos **manguitos de acero tubular**:
Este método consiste en un tubo metálico hueco por ambos lados en el que quedarán alojados ambos fustes. Estos manguitos tendrán una longitud de al menos cinco veces el diámetro del pilote.
- Mediante placas o **chapas metálicas con tornillos**:
Consiste en una serie de chapas metálica rectangulares que quedarán atornilladas uniendo ambos extremos de los dos fustes a unir.

2.3.2.5. Mixtos

Estos tipos de pilotes combinan dos o más materiales durante su ejecución, aprovechándose de las ventajas que cada uno de ellos le brindan. Como ejemplo de este tipo de pilote podemos destacar los de acero tubular rellenos de mortero o los de acero con punta de madera. (Fig.5)

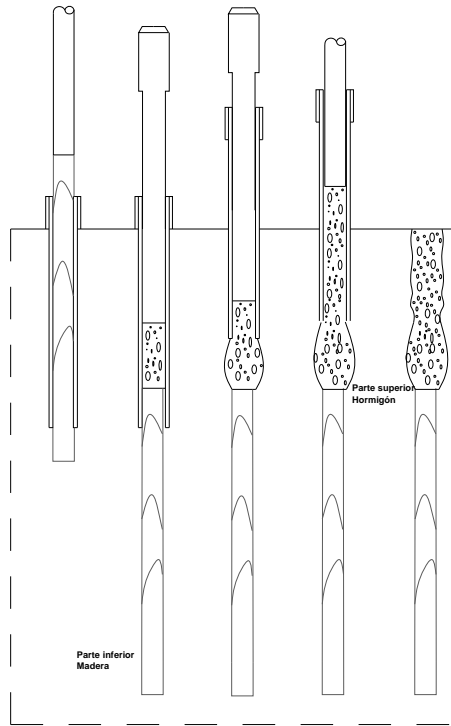


Fig.5. Proceso constructivo pilote mixto madera hormigón.⁹

2.3.3 Según la forma de 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 .

⁹ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

2.3.4 Según el proceso constructivo

2.3.4.1 Prefabricados hincados

Llamamos pilotes prefabricados a aquellos que se construyen en taller y son transportados a obra para su colocación mediante hincas por *percusión, presión o vibración*; pudiéndose colocar también en perforaciones previamente ejecutadas.

Pueden estar fabricados mediante tramos que se empalman entre sí, o mediante un solo tramo, y son relativamente caros ya que se encuentran fuertemente armados con la intención de que resistan los esfuerzos durante el transporte y sobretodo durante el hincado.

En cuanto a su forma y tamaño, podemos encontrar pilotes prefabricados de sección circular, cuadrada (30x30 o 45x45) y raras veces octogonal. En la siguiente tabla (Tabla 1) se recogen los tipos de pilotes prefabricados y sus medidas más comunes:

Tamaño del pilote	Pequeño	Grande
Longitud	Entre 15 y 18	Aprox. 60 m
Tipo	Sólido	Entre 30 y 50 T.
Carga Típica	Entre 30 y 50 T.	Unas 200 T.

Tabla 1. Tipos de pilotes y medidas más comunes

Los pilotes prefabricados se emplean principalmente en construcciones marinas y puentes, donde es muy importante la durabilidad bajo severas condiciones de intemperie.

Podemos encontrar los pilotes de hormigón armado que son aquellos que se emplean para trabajar a compresión, y los de hormigón pretensado que funcionan bien a tracción y como tablestacado en construcciones bajo el agua.

El empleo del pretensado en pilotes permite conseguir la resistencia necesaria con paredes de espesores muy delgados, por ejemplo, se han empleado pilotes huecos de 140cm de diámetro, cuyas paredes tienen 10cm de espesor cuando se ha requerido una gran rigidez y elevada capacidad de carga.

En cuanto al armado, como la gran mayoría de los pilotes, presentan una armadura longitudinal, y una transversal. La longitudinal generalmente consta de 4 redondos de 25mm y la transversal formada por estribos de unos 8 mm. Mínimos, colocándose con una separación de 5 cm. (en una longitud aproximada de un metro) en la cabeza del pilote para reforzarla. Aunque debemos saber que estas medidas varían en función de la sección del pilote y de los requisitos que se le exijan a este.

No debemos olvidar que en caso de que los pilotes se ejecuten mediante hincado, deberán ir dotados inferiormente de un azuche que permita su hincas (Fig. 6). A efectos

del Código Técnico se considerará el pilote prefabricado hincado de directriz recta cuya profundidad de hinca sea mayor a 8 veces su diámetro equivalente.

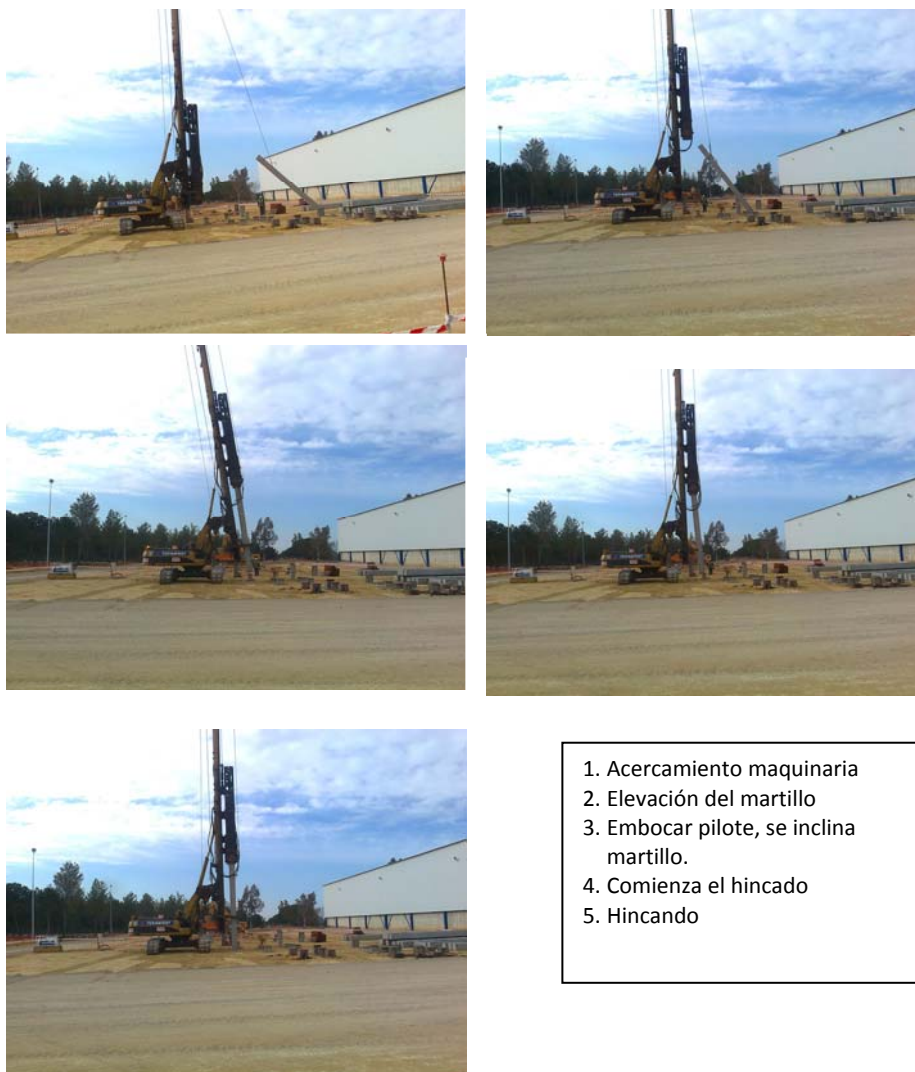


Fig. 6. Proceso de Hincado, pilote de sección cuadrada liso¹⁰.

¹⁰ Imagen extraída de la Pág.: <http://my-obra.blogspot.com.es/2012/02/pilotes-prefabricados.html>

2.3.4.2 Hormigonados “in situ”

Se dicen hormigonados in situ a aquellos que se ejecutan a pie de obra, previa excavación en el terreno. El CTE (normativa de obligado cumplimiento) diferencian varios tipos de pilotes hormigonados “in situ”, a saber:

- *Pilotes de desplazamiento con azuche* (Fig.7), se hinca una *entubación* metálica o de hormigón inferiormente cerrada, no recuperable y acabada en un azuche de punta cónica o plana, con un diámetro exterior 5cm mayor que el pilote, este método se suele emplear cuando el terreno es resistente para soportar el hincado, pero poco estable para sostenerse por sí mismo una vez perforado. Por el tipo de terreno en el que se usan estos pilotes, se emplearan pilotes de diámetros pequeños (entre 30 y 65 cm. aproximados). Para la hinca se usa el Martinete, consiste en un mazo mecánico que va dando golpes periódicos sobre la cabeza del pilote para introducirlo en el terreno.

El proceso constructivo se resume en:

- Se hinca mediante golpeo con maza o martillo, hasta alcanzar la profundidad prevista.
- Se colocan las armaduras, cuidando los recubrimientos.
- Comienza el hormigonado. El hormigón tendrá una consistencia fluida.
- Vibrado del hormigón.

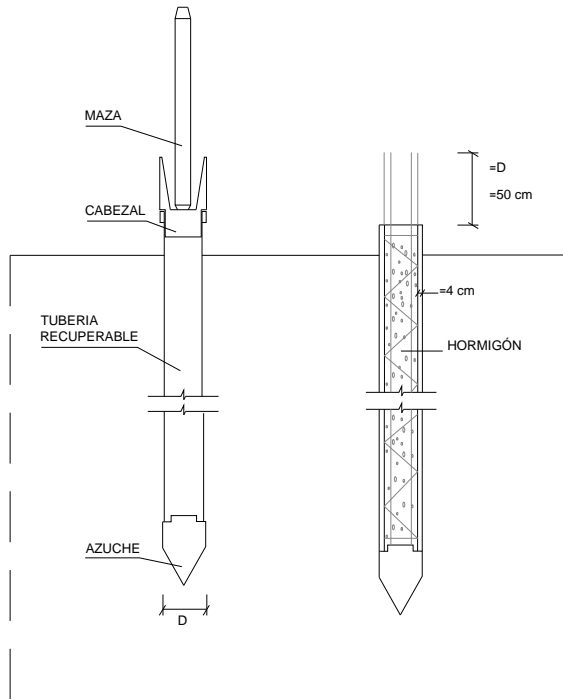


Fig. 7. Pilote "in situ" con desplazamiento de azuche.¹¹

- *Pilote de desplazamiento con tapón de grava (Fig.8), para realizar la penetración del pilote lo que se hinca mediante golpeo es un tapón de gravas u hormigón previamente introducido en la entubación, aquí la camisa esta abierta por su parte inferior así que podemos recuperarla, este método se usa en suelos blandos e inestables con presencia de agua, tendrá un acabado liso debido al empleo de la camisa, excepto la punta formada por el tapón de gravas, que tendrá mayor adherencia con el terreno. El método de hinca será similar al pilote de desplazamiento con azuche.*

¹¹ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

El proceso constructivo consiste en:

- Se forma en el interior de la camisa un tapón de gravas. Se vierte el hormigón (de consistencia 0 en el cono de Abrams) en tongadas, compactándolo hasta conseguir un tapón de espesor 3 veces el diámetro de la camisa.
- Se introduce la camisa en el terreno mediante golpeo con martillo o maza del tapón de gravas.
- Una vez introducida la camisa a la profundidad requerida, seguimos golpeando el tapón hasta desalojarlo, quedando como punta dicho tapón.
- Introducimos la armadura cuidando el recubrimiento mínimo.
- Hormigonamos por tongadas apisonando o vibrando cada una de ellas. extrayendo la entubación simultáneamente.

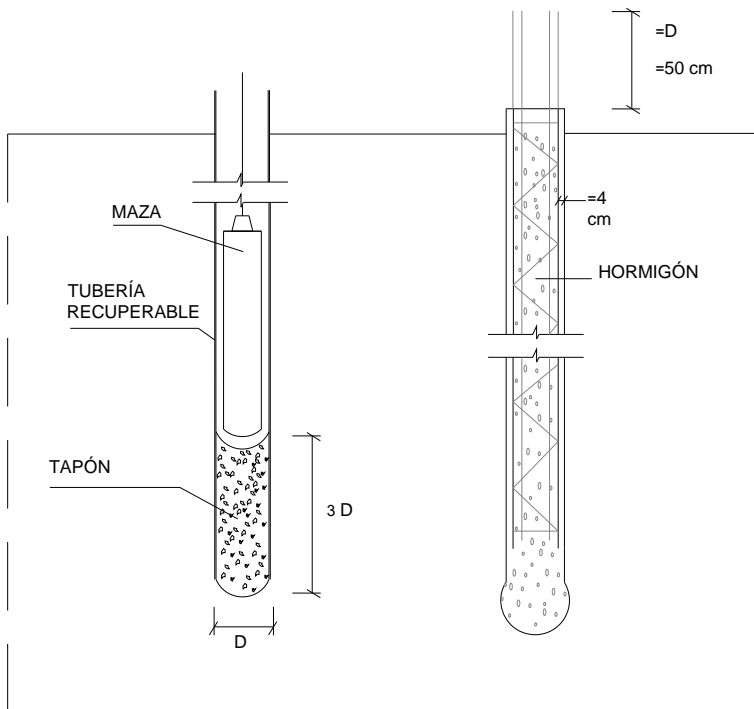


Fig. 8. Pilote "in situ" con desplazamiento con tapón de grava.¹²

¹² Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

- *Pilote de extracción con entubación recuperable*, los definimos como los pilotes de extracción como aquellos ejecutados “in situ” en un terreno previamente excavado, en este caso con una entubación que se puede recuperar una vez se ha hormigonado. Estos pilotes son los más utilizados en el mercado gracias al importante desarrollo de la maquinaria actual. Este apartado se desarrollara en el capitulo siguiente de manera más pormenorizada.
- *Pilotes de extracción con camisa perdida*, igual que en punto anterior son ejecutados “in situ” en un terreno previamente excavado, en este caso con una van provistos de una camisa que se queda dentro del terreno. Este tipos serán también tratados en el capitulo siguiente en el que se estudiaran los pilotes de extracción.
- *Pilote de extracción sin entubación con lodos tixotrópicos*, se excava sin vibración y se sostienen las paredes mediante los lodos, este apartado también se desarrollara en el capitulo siguiente.
- *Pilotes barrenados sin entubación*, se excava, se coloca la armadura y se hormigona, es económico por su rapidez y sencillez, se estudia más adelante con los demás tipos de pilotes de extracción.
- *Pilotes barrenados*, excavación del pilote se hace mediante una barrena helicoidal, en el próximo capitulo se desarrolla este punto.
- *Pilotes hormigonados por el tubo central de la barrena*, estos pilotes son hormigonados por la zona central de la barrena que pose un tubo por el que sale el hormigón mientras va saliendo del hueco que ha realizado.
- *Pilotes de desplazamiento por rotación*

De la misma forma para pilotes hormigonados “in situ” el Código Técnico nos indica que se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Para pilotes con 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.
- b) Para pilotes con $0,45$ m $<$ diámetro $<$ 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados siempre que se realice un arriostamiento en dos direcciones ortogonales y se asegure la integridad del pilote en toda su longitud.
- c) Para pilotes con diámetro $>$ 1,00 m; se podrán realizar pilotes aislados sin necesidad de arriostamiento siempre y cuando se asegure la integridad del pilote en toda su longitud y el pilote se arme para las excentricidades permitidas y momentos resultantes.

2.4 Configuración geométrica de los pilotes

Para una correcta disposición de la cimentación por pilotes, se realizara en fase de proyecto un tanteo de las diferentes disposiciones de pilotes hasta alcanzar una situación óptima. A la hora de analizar el comportamiento de un pilote aislado son los datos geométricos los que tienen mayor interés, estos son, la longitud dentro del terreno y su diámetro (en caso de que el pilote no fuera constante en su diámetro tendría que usarse la ley de variación de su diámetro).

Para el caso de los grupos de pilotes será necesario tener en cuenta además de la distribución geometría que comentábamos ante la separación entre ellos.

2.5. Criterios para la selección del pilote

Cuando tenemos la certeza de la utilización de los pilotes como cimentación, debemos decidir cual es el tipo que será el más adecuado para nuestras necesidades; esta elección es de considerable importancia y requiere también de cierta experiencia.

Se debe pues, conocer los factores que intervienen en la elección del tipo de pilote, siendo:

- Agresividad del terreno, rozamiento negativo, existencia de fuerzas horizontales...
- Cargas a transmitir
- Espesor del terreno que se debe atravesar, y por tanto la longitud del pilote necesaria.
- Naturaleza de las capas del terreno y su resistencia.
- Volumen de pilotaje.

Aun considerando todos los factores pudiera ser que nos encontráramos con la idoneidad de varios tipos de pilotes para una misma edificación, complicando el criterio de elección, para ello indicamos una serie de recomendaciones:

- Terreno arenoso flojo: lo que interesa es la compactación y mejora del terreno, se aconseja emplear pilotes prefabricados hincados. Si el terreno es compacto deberemos efectuar una previa excavación mantenida con lodos bentoníticos, aunque sería muy extraño emplear pilotes en un suelo granular compacto.
- Cuando podamos alcanzar terreno firme a profundidades razonables debemos emplear pilotes por punta empotrados en dicho firme.

- En caso de que en el terreno existan grandes bolos, restos de cimentaciones y demás, dado que es muy difícil la hinca en estas capas, recurriremos a pilotes perforados con entubación, y generalmente de gran diámetro.
- Si en nuestro terreno hay presencia de agua no emplearemos pilotes excavados sin entubación, ya que esta agua podría causar inestabilidades en las paredes del pilote, dañando el hormigón.
- En terrenos cohesivos compactos con poca agua emplearemos pilotes “in situ” perforados, sin entubación.
- Nunca emplearemos pilotes hincados cuando los impactos producidos puedan causar asientos o inestabilidad en edificios cercanos.

2.6. Elementos del sistema de cimentación

Podemos dividir esta cimentación profunda que estamos estudiando en distintos elementos, a saber:

- *Soporte o pilar*: Elemento estructural vertical, que arranca del encepado. Realmente el pilar aunque forma parte de dicha cimentación, no se considera como tal, sino que es considerado como parte de la estructura.
- *Encepado*: Es un elemento constructivo robusto y fuertemente armado, que tiene como función enlazar los pilotes aislados o grupos de pilotes con los pilares o muros estructurales. Es de hormigón armado muy similar a una zapata aislada, que se ejecuta una vez descabezados los pilotes. La forma de trabajo consiste en recibir las cargas de los soportes, y transmitir las a los pilotes. El encepado trabaja de forma diferente según el número de pilotes que recoja.
 - Un solo pilote: Debe encontrarse arriostrado en ambas direcciones, el encepado únicamente transmite la carga puntual del pilar al pilote. En este caso el encepado podría ir armado inferiormente, como si se tratase de una zapata aislada, pero en ocasiones dependiendo de las cargas que va a soportar se decide armarlo completamente.
 - Dos o más pilotes: El encepado recibe una carga que quedará dividida en dos cargas de igual intensidad, produciendo de esta manera una reacción en cada pilote igual a la mitad de la carga recibida por el encepado. De esta manera se generarán tracciones en la parte superior del encepado, y compresiones en la parte inferior, por lo que el encepado irá armado tanto superior como inferiormente.

- *Vigas riostras o de atado*: Son vigas encargadas de unir entre sí los encepados para darles mayor rigidez y estabilidad. Si el encepado es de un solo pilote es obligatorio que vaya unido en las dos direcciones (X e Y), sin embargo si es de dos o más pilotes solo es obligatorio en una sola dirección, aquella perpendicular a la dirección del eje de menor inercia del encepado.
- *Fuste del pilote*: El fuste comprende la mayor parte del pilote, (excepto la punta), es el encargado de transmitir las cargas mediante rozamiento lateral con el terreno, su forma generalmente es circular, de gran longitud y pequeña sección.
- *Punta del pilote*: Extremo inferior del pilote, situado en la parte inferior del fuste. Transmite las cargas por apoyo o hinca en el terreno o estrato resistente.
- *Terreno circundante*: No se trata de un elemento como tal, no obstante es importante es este tipo de cimentaciones, ya que en función del tipo de terreno del que estemos hablando se empleará un tipo u otro de pilote y su comportamiento será diferente según el caso. La eficacia de un pilote depende de:
 - 1) El rozamiento y la adherencia entre el suelo y el fuste del pilote
 - 2) La resistencia por punta, en el caso de transmitir compresiones. Ante posibles esfuerzos de tracción, se puede ensanchar la parte inferior del pilote, de forma que trabaje el suelo superior.
 - 3) La combinación de las dos anteriores.

Por lo que el buen funcionamiento de una cimentación no solo depende del pilote, sino también del medio en el que se encuentra, ya sea tierra en este caso, o agua (mares, lagos...).

- *Armaduras*: Resultan un elemento muy importante en cualquier cimentación, ya que junto al hormigón, es lo que nos va a dar la resistencia. Debemos diferenciar los siguientes tipos de armaduras que encontramos en una cimentación por pilotaje.
 - 1) *Armaduras de pilotes*: Las armaduras son una especie de jaulas, formadas por longitudinales y transversales. Las longitudinales se colocan uniformemente en el perímetro de la sección, y el armado transversal lo constituyen una especie de zuncho en espiral o cercos de 6 mm de sección mínima. El diámetro exterior del armado será igual al diámetro de pilote dejando un recubrimiento por todo el perímetro de unos 5 cm mínimos. La cantidad de barras y el diámetro de las mismas, se calcula en función de la carga que deba soportar el pilote, debiendo cumplir siempre una serie de reglas o condiciones, (recubrimientos, separación de las barras...).

2) *Armadura de encepados*: Generalmente este armado tiene mayores secciones o menores en función de las cargas a soportar.

- **Armado principal**: La armadura superior se proyectará para resistir la tracción, mientras que la inferior sin reducir su sección, en toda la longitud del encepado. Esta armadura se anclará, por prolongación recta o mediante barras transversales soldadas, pasando por el eje de cada pilote.
- **Armado secundario**: Una armadura longitudinal dispuesta en la cara superior del encepado y extendida, en toda la longitud del mismo. Los cercos verticales irán cerrados y atarán a la armadura longitudinal superior e inferior. Los cercos horizontales atarán a la armadura vertical.

3. EJECUCIÓN DE PILOTES DE EXTRACCIÓN

3.1 Definición

3.2 Tipo de pilote y terreno aconsejable

3.3 Ejecución de cimentación por pilotes

3.1. Tareas previas

3.2. Movimiento de tierra y replanteo

3.3. Perforación

3.4. Colocación de las armaduras

3.5. Hormigonado

3.6. Descabezado

3.7. Armado de encepado y correas

3.4 Planificación de la ejecución.

3.5 Maquinaria

3.5.1 Maquinaria empleada en pilotaje

3.5.2 Maquinaria y medios auxiliares comunes

3.6. Materiales

3.6.1 Hormigón

3.6.2 Acero

3.1. Definición

Su ejecución consiste en la excavación del foso donde irá ejecutado el pilote con diferentes medios y maquinaria en función del tipo de pilote a ejecutar. La perforación se puede realizar con la siguiente maquinaria:

- Con barrena helicoidal.
- Con hélice.
- Con cuchara bivalva.

3.2. Tipo de pilote y terreno aconsejable

El acabado de este tipo de pilote suele ser rugoso, para mejorar la adherencia del fuste al terreno, ya que al haberse vaciado el terreno previamente no existe ningún tipo de rozamiento pilote-terreno, lo que podría ocasionar una pérdida de la resistencia del pilote. En cuanto a longitud y tamaño, todo dependerá de la profundidad del firme, las cargas a soportar...

En función de la estabilidad de las paredes surgen distintos métodos de ejecución, y por tanto diferentes tipos de pilotes, a saber:

a. Pilotes de extracción:

- Barrenados sin entubación, la extracción de la tierra se ejecuta mediante una barrena helicoidal, que va girando sobre su eje realizando la perforación, como si de un taladro se tratase. En este caso el pilote se ejecutará sin camisa, ni ningún tipo de sujeción del terreno, es decir se ejecutará en seco. Este tipo de pilote es el mejor para cualquier obra por varios motivos. Es fácil de hacer. Es rápido. Económico. Puedes controlar la verticalidad durante la perforación y corregirla si es necesario. Además se puede perforar cualquier terreno por muy duro que esté. Empleamos este método en aquellos terrenos que presentan la suficiente estabilidad, siempre que no haya posible entrada de agua en la perforación, o en aquellos casos que a pesar de la existencia de nivel freático. Al no emplear camisa de sujeción el acabado de este pilote será bastante rugoso, lo que le permitirá una mayor adherencia, y por tanto rozamiento con el terreno.

El proceso constructivo se reduce en:

- Perforación mediante barrena
- Extracción de la barrena simultáneamente al vertido del hormigón.
- Colocación de la armadura.
- Hormigonado y vibrado del hormigón.

- Con *entubación recuperable* (Fig.1), Este es un método de pilotes de extracción que permite conseguir grandes profundidades, y en el que se empleará una cuchara bivalva o hélice para realizar la excavación, para posteriormente ejecutar el pilote "in situ", además se empleará una camisa de sujeción, pero que podrá ser recuperable. Este método se emplea en terrenos inestables, aunque puede incluso a llegarse a usar en presencia de grandes bolos y rellenos heterogéneos, aunque debemos llevar cuidado pues la presencia de una capa rocosa intermedia, interrumpiría el avance de la camisa. Este tipo de pilotes por lo general son de grandes dimensiones, con diámetros entre 45 y 125 cm. El método de perforación consistirá en una cuchara bivalva o trépano, con el que se efectuará la excavación, o bien con un trépano (tipo de barrena) en terrenos más duros, o bien mediante cuchara bivalva. Consiste en una especie de cuchara formada por dos pinzas que van extrayendo porciones del terreno.

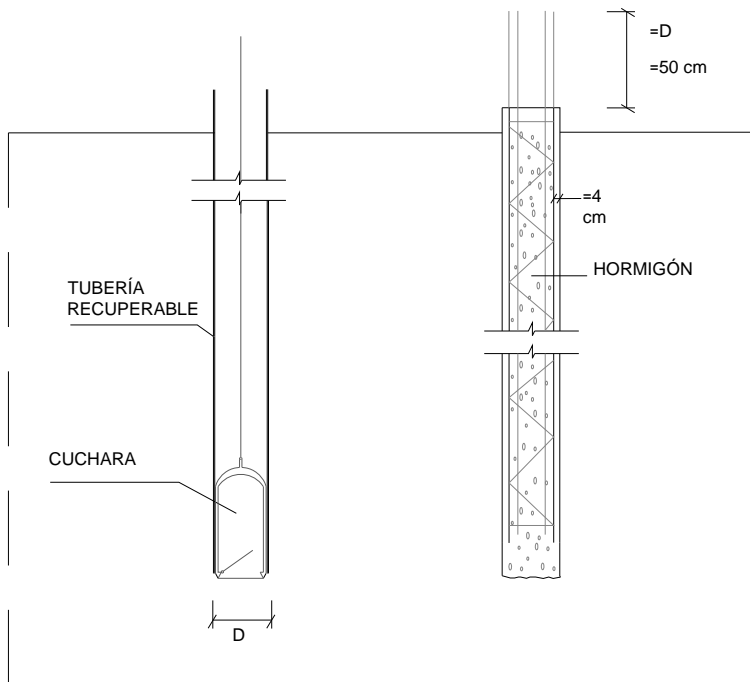


Fig. 1. Pilotes perforados con entubación recuperable.¹³

¹³ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

El proceso constructivo (Fig.2) consiste en:

- Dado que es un pilote de extracción, realizamos la excavación con cuchara en terrenos granulares, o con trépano en terrenos duros, a la vez que se va introduciendo la camisa.
- Una vez excavado y colocada la entubación se introduce la armadura, formada por una jaula compuesta de armado longitudinal y transversal.
- Se introduce el “tubo tremie” por entre las armaduras, hormigonando desde la parte inferior por tramos a la vez que se extrae la camisa hormigonamos.

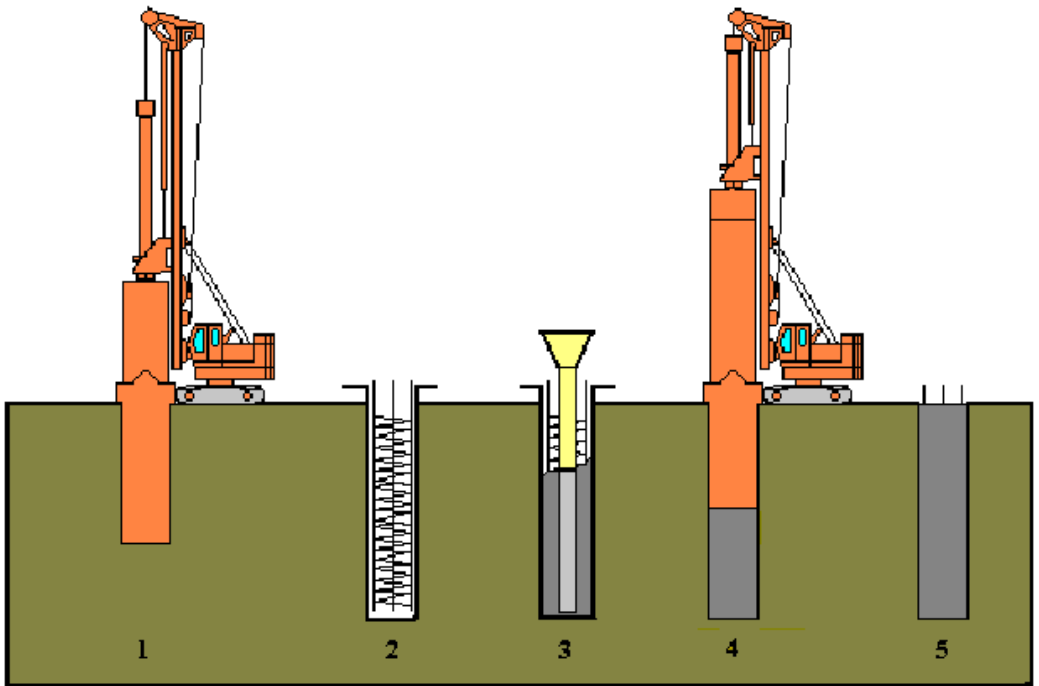


Fig. 2. Ejecución de pilotes con entubación recuperable, con pilotadora

- *Con camisa perdida* (Fig.3), En ocasiones el terreno obliga a situar una camisa metálica perdida en el pilote, suele ser necesaria cuando el nivel freático existente es de considerable importancia, o en aquellos terrenos muy agresivos para el hormigón; y se emplearán obligatoriamente en medios

líquidos (mares, lagos, ríos) como encofrado perdido. Ejecutar este pilote es complicado y costoso, no solo hay que añadirle el coste material de la camisa sino por la forma de ejecutarlo. La forma más sencilla de hacer este pilote es ejecutarlo como un pilote encamisado normal y dejar perdida la misma camisa que utiliza para contener el terreno, pero estas camisas son caras puesto que tienen un espesor de aproximadamente de 1,5 cm. ya que tienen que soportar los *esfuerzos torsores* producidos al ser introducidas.

También se podrían introducir camisas de menor espesor (según la CTE con un espesor mínimo de 2 mm.) pero no se les pueden aplicar esfuerzos. Otro método es utilizar dos camisas, una exterior que se extrae, y la interior de menor espesor que es la pérdida, aunque esto muy difícil de hacer puesto que cuando se extrae la camisa exterior se podría acodalar con la interior y sacar las dos.

Estos pilotes se suelen emplear, como se menciona arriba, cuando el terreno es inestable, en terrenos muy agresivos para el hormigón, en una importante presencia de nivel freático y sobretodo en medios líquidos, como puede ser en mares, ríos o lagos. Igual que en el punto anterior, el método de perforación será mediante la cuchara bivalva o trépano en función del tipo de terreno. De la misma forma el proceso constructivo es idéntico al anterior con la diferencia de que la camisa no se extraerá una vez hormigonado, quedando de encofrado perdido.

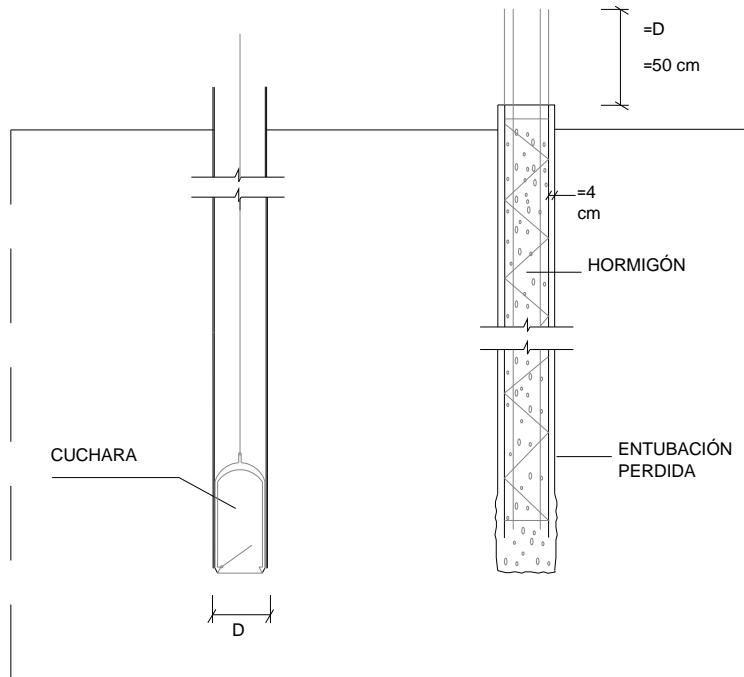


Fig. 3. Pilotes perforados con entubación perdida.¹⁴

b. Pilotes perforados

- Con lodos bentoníticos (Fig.4), Se trata de una perforación sin vibraciones, ejecutada con ayuda de un cazo y en la que se sostienen las paredes del foso mediante *lodos bentoníticos*. Los pilotes ejecutados suelen ser de acabado rugoso debido a la ausencia de camisa y de diámetro comprendido entre 65 y 220 cm. Se emplea en terrenos que no pueden excavar sin sujeción ya que no son del todo estables, pero tampoco son tan inestables como para necesitar camisa o en aquellos casos en que la capa inestable está en el fondo de la perforación y ejecutarlo con camisas puede ser muy costoso porque haya que introducir la camisa en toda la longitud del pilote. Este tipo de terreno no se puede perforar con hélice o barrena, para extraer el terreno perforado se utiliza una herramienta llamada cazo o bucket, que es muy similar a la barrena con la diferencia de que la cabeza no acaba en hélice, evitando que los lodos resbalen al extraerlos del foso. Este método es también algo más caro ya que se necesita fabricar el lodo, además de que

¹⁴ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

después deshacerse de este supone un coste extra puesto que ha de verterse de forma controlada en un vertedero.

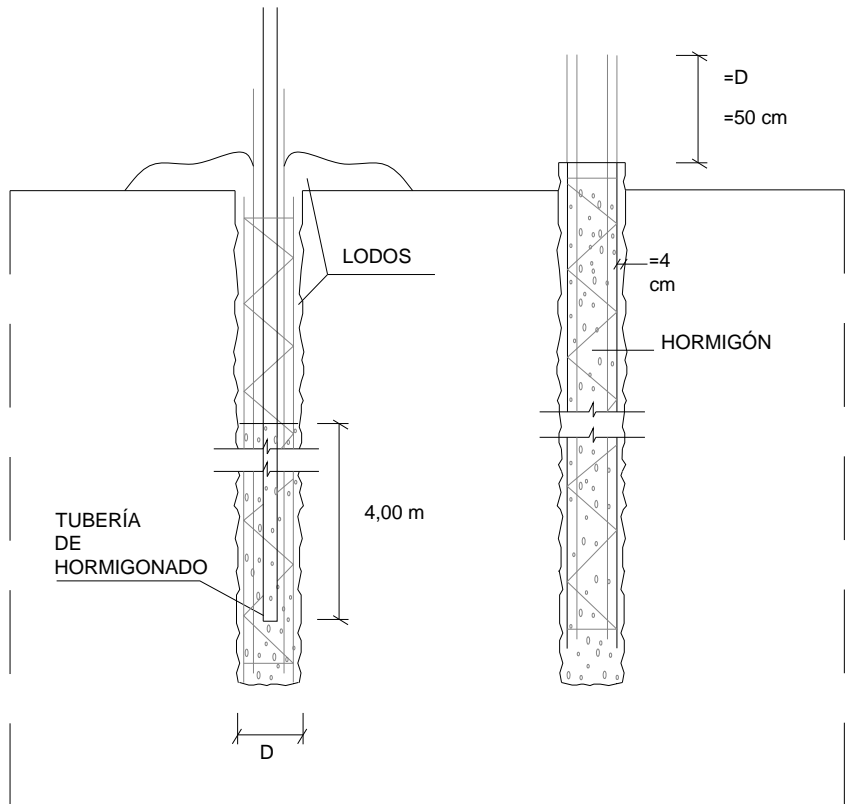


Fig. 4. Pilotes perforados mediante lodos.¹⁵

El proceso constructivo (Fig.5) consiste en:

- Se realiza la perforación mediante cazo o "Bucket", a la vez que se van introduciendo los lodos.
- A continuación una vez extraído el "Bucket", se comienza a hormigonar el pilote a la vez que se van desalojando los lodos previamente vertido en la perforación.
- Una vez hormigonado y extraídos los lodos, se introduce la armadura en el hormigón fresco.
- Hormigonado y vibrado del hormigón.

¹⁵ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

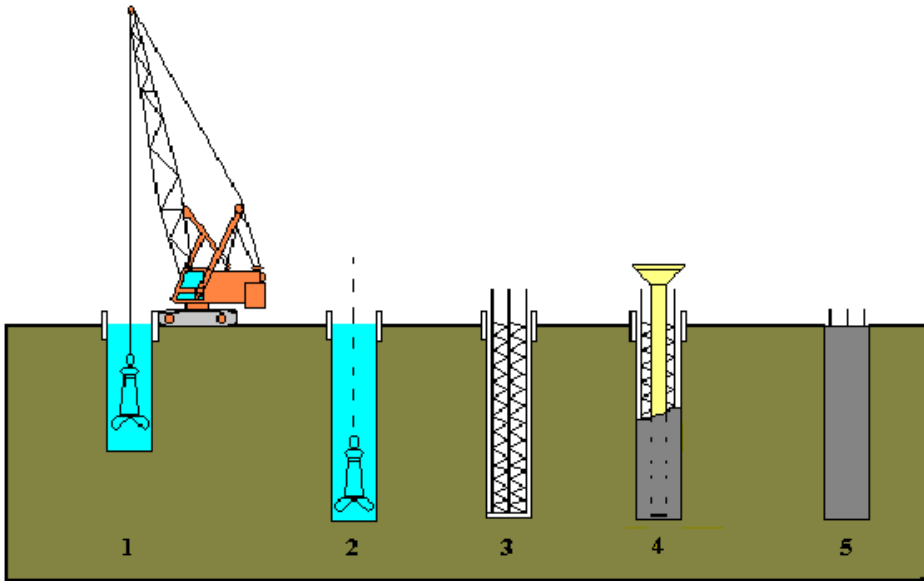


Fig. 5. Ejecución de pilotes perforados mediante lodos.

- *Barrenados con entubación* (Fig.6), Los pilotes barrenados consisten en una barrena que realiza el taladro donde ejecutaremos el pilote, en este método se emplea una camisa, para sostener las paredes de la perforación mientras introducimos el armado y el hormigonado. Solemos emplear este método en cualquier tipo de terreno, excepto en presencia de grandes bolos o piedras, o en lugares donde conozcamos la presencia de numerosas raíces pues podría dañarse la barrena e impedir el hincado de la camisa. El método de perforación será con barrena helicoidal, idéntica a los pilotes barrenados sin camisa.

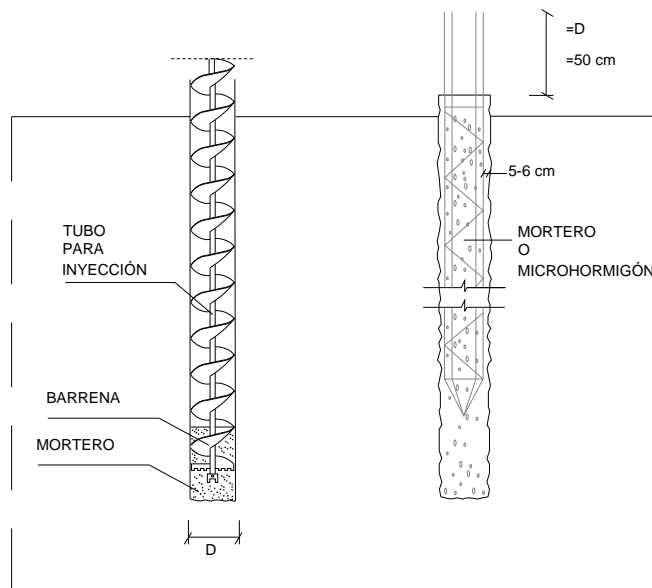


Fig. 6. Pilotes perforados con barrena continua.¹⁶

El proceso constructivo (Fig.7) se puede dividir en:

- Con ayuda de la barrena (Fig.8) se va introduciendo la camisa a medida que la barrena se introduce en el terreno.
- Una vez excavado se va retirando la barrena a la vez que se va vertiendo el hormigón.
- Se coloca la armadura
- Se extrae la camisa mediante golpeo, consiguiendo de este modo el efecto vibrado

¹⁶ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

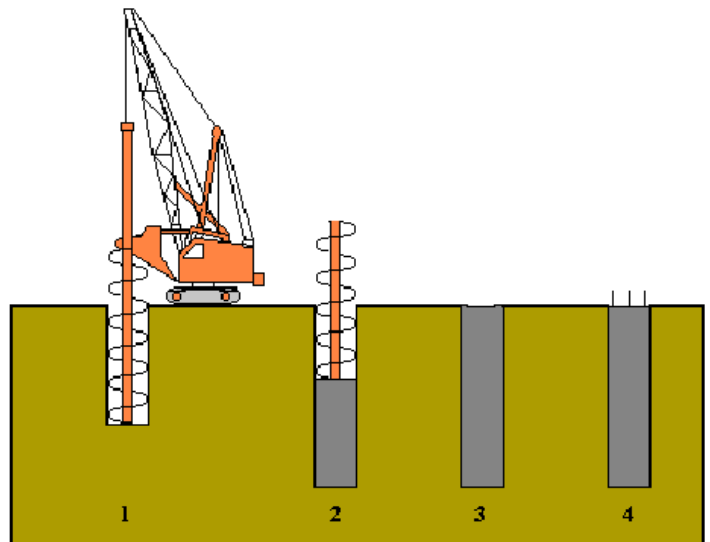


Fig. 8 y 7. Pilotadora con barrena continua y ejecución de pilotes con barrena continua.

- *Perforados con hélice* (Fig.9), Esta es una perforación muy similar a la de barrena, con la diferencia de que se emplea una hélice en lugar de barrena. Además se trata de una perforación sin vibraciones. El tipo de pilote que se suele emplear tiene un diámetro comprendido entre 45 y 220 cm y con una terminación rugosa. Este tipo de perforación se emplea en suelos estables, ya que no se va a emplear ningún tipo de sujeción del terreno. El método de perforación es una mini-barrena, consiste en un largo tramo de tubo en cuya punta lleva una hélice o taladro para efectuar la perforación.

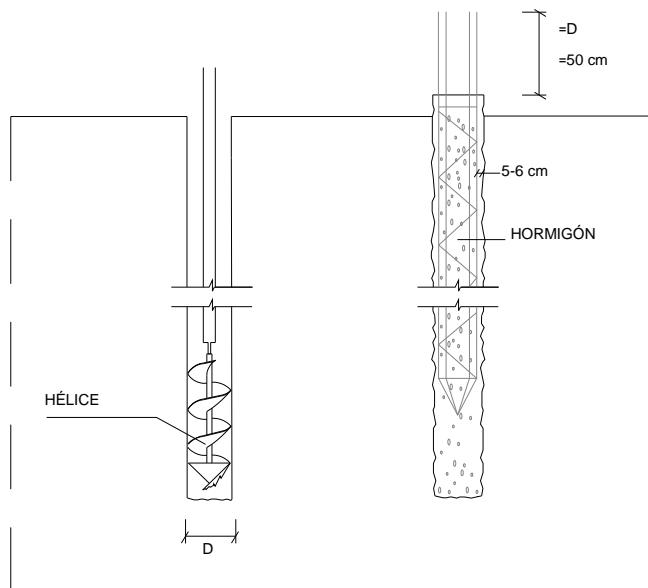


Fig. 9. Pilotes perforados con hélice.¹⁷

El proceso constructivo (Fig.10) se puede resumir en:

- Se ejecuta la perforación con hélice (Fig.11).
- Se limpia el fondo de la perforación con un cazo si fuese necesario.
- Colocamos la armadura.
- Hormigonamos el pilote con ayuda del tubo "tremie".
- Por último se vibra y se deja fraguar el pilote.

¹⁷ Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.

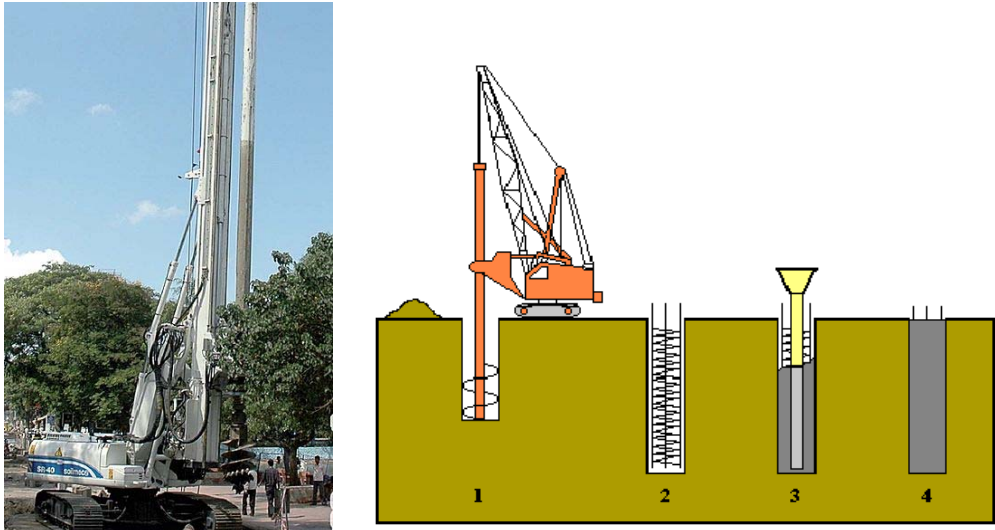


Fig. 11 y 10. Pilotadora con hélice y ejecución de pilotes perforados con hélice.

3.3. Ejecución de cimentación por pilotes

3.3.1 Tareas previas

Lo primero que se debe hacer, es un estudio geotécnico del terreno, cuando sabemos que el terreno es válido y el tipo de cimentación a ejecutar, se encargaría el proyecto.

Una vez validado ese proyecto se debe acondicionar el terreno, esto es, adaptar la parcela al tipo de trabajo que vayamos a realizar. Para ello se llevan a cabo las siguientes tareas previas:

- Vallado del solar y casetas
- Inspección de los servicios que puedan interrumpir los trabajos y sustitución o desplazamiento a un lugar en el que no molesten ni puedan ser dañadas.
- Dotación de servicios a la parcela (agua, luz...)
- Inspección de edificios colindantes y demolición si fuese necesario.

3.3.2 Movimiento de tierras y replanteo

Seguidamente se debe preparar la superficie del terreno donde asentará el edificio, realizando el movimiento de tierras. Para ello el terreno deberá permanecer limpio de

obstáculos y de material orgánico, debiendo tener también un ancho suficiente que permita las maniobras de la maquinaria.

A continuación se procederá al replanteo (Fig.12), con la ayuda de un topógrafo que generalmente empleará una *estación total* para mayor precisión. Los diámetros de los pilotes pueden marcarse con pintura, o con barras de acero corrugado que llevarán un alambre en la punta, estas marcas no se quitarán para perforar.



Fig. 12. Replanteo de pilote¹⁸

3.3.3 Perforación

Para la perforación se emplearán diferentes maquinarias, según el tipo de pilote a ejecutar: barrena, hélice, cuchara...

Lo que si debemos saber es que la perforación se ejecutará con el mismo tamaño del pilote replanteado, aplomando y realizando la perforación con la máxima precisión (Fig.13).

¹⁸ Imagen extraída de la Pág.: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>



Fig. 13. Un operario indica el lugar exacto de la perforación¹⁹.

3.3.4. Colocación de las armaduras

Se colocaran las armaduras en el caso de que los pilotes proyectados sean “in situ”, de no ser así en este paso se introduciría el pilote prefabricado con ayuda de una grúa.

Las armaduras del pilote vendrán elaboradas de fábrica, o serán elaboradas por lo trabajadores fuera de la perforación. Estas armaduras están formadas por una longitudinal y una transversal, que deberán estar perfectamente atadas o soldadas formando una jaula con la suficiente resistencia para no deformarse durante su colocación y hormigonado. Los solapes entre diferentes tramos de armado serán de 40 cm. como mínimo.

Cuando se empleen cercos como armadura transversal, los cierres se efectuarán mediante un solape de unos 8 cm mínimos, quedando perfectamente atados o soldados en toda la longitud del pilote.

¹⁹ Imagen extraída de la Pág.: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>

Una vez esta la armadura perfectamente acabada, una grúa la elevará introduciéndola en la perforación (Fig.14), que según el tipo de pilote proyectado, estará o no dotada por una camisa, o con el hormigón ya vertido. Es muy importante colocar separadores y rigidizadores para garantizar su colocación y el recubrimiento mínimo requerido.



Fig. 14. Colocación de la armadura²⁰.

²⁰ Imagen extraída de la Pág.: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>

Los recubrimientos serán diferentes según el tipo de pilote:

- Pilotes de diámetro entre 50 y 600mm: recubrimiento 60mm.
- Pilotes hormigonados con la armadura ya introducida: $r = 75\text{mm}$
- Pilotes con camisa perdida: $r = 40\text{mm}$

La armadura se colocará a 20 cm del fondo de la perforación, soportada por unas camillas auxiliares de madera, quedando fuera de la perforación de este modo, la longitud necesaria para garantizar que una vez descabezado el pilote sobresaldrá la longitud de anclaje.

3.3.5. Hormigonado

El vertido del hormigón se efectuará según el tipo de pilote ejecutado: mediante tubo tremie, bomba, a través de la barrena (Fig.15), etc.



Fig. 15. Hormigonado del pilote por el tubo central de la barrena, mientras se hormigota se va extrayendo la barrena²¹.

²¹ Imagen extraída de la Pág.: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>

Cada pilote se hormigonará de una sola vez, es decir, que no habrá ninguna junta de hormigonado a lo largo del fuste. Una vez el pilote está perfectamente hormigonado y vibrado no se deberán hincar pilotes de desplazamiento o realizar entibaciones en un área menor de 3 m alrededor del pilote, hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia mínima de 30 Kg/cm².

3.3.6. Descabezado

Una vez hormigonado y fraguado todo el pilote, se debe demoler la parte superior que sobresale de la perforación (Fig.16), de manera que la armadura longitudinal sobresalga aproximadamente unos 50 cm. del pilote (dependiendo de la longitud de solape, que será como mínimo 40 cm.) para su entrelazado con el encepado. La cabeza del pilote penetrará 10 cm. en el encepado.



Fig. 16. Descabezado de pilotes²²

²² Imagen extraída de la Pág.: <http://www.jacano.com>

Si una vez demolido ese exceso de hormigón se observa que no se ha eliminado todo el hormigón de mala calidad, se seguirá demoliendo y se reemplazará el hormigón demolido por hormigón nuevo, cuidando que logre una buena adherencia con el otro. Todos los solapes irán soldados o atados con alambre en toda su longitud, si se utilizasen cercos a modo de armadura transversal se cerrarán mediante un solape de 8 cm. como mínimo.

3.3.7 Armado de encepado y correas.

Una vez tenemos descabezado el pilote comenzamos a colocar las armaduras del encepado. En muchas construcciones las jaulas de los encepados vienen construidas de fábrica, en ese caso únicamente la colocaríamos sobre los calzos de apoyo y procedemos con el armado de las correas

En caso de que se ejecuten en obra también se construirán fuera de la zona de trabajo, se colocarían los estribos, uniendo verticales y horizontales, introduciendo posteriormente el armado horizontal principal, y atando entre sí todas las armaduras. Una vez ejecutada la jaula la colocamos sobre los calzos, y comenzamos con el armado de las correas, y lo alojamos sobre los calzos. Por ultimo se encofraría todo y se hormigonaría y vibraría.

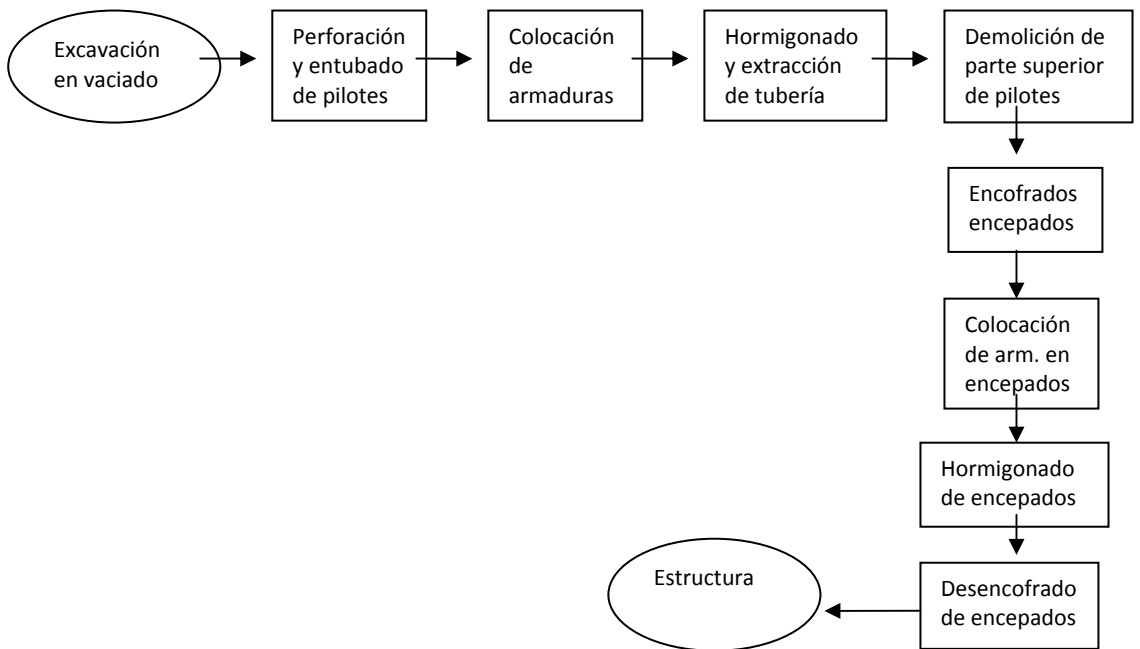
3.4. Planificación de la ejecución

Para la correcta ejecución de los pilotes debemos llevar una planificación que tenga en cuenta las siguientes actividades o tareas:

1. Perforación y eliminación de residuos de la excavación.
 - a. Entubado
 - b. Conteneda mediante lodos
 - c. Con barrena continua
 - d. No entubada
2. Ferrallado. Montaje de la armadura
3. Colocación de armaduras
4. Hormigonado
5. Extracción de entubado en su caso
6. Demolición de la parte superior de los pilotes
7. Encofrado de encepados, en su caso
8. Colocación de armaduras de los encepados y de los soportes
9. Hormigonado de los encepados
10. Desencofrados, en su caso

Suele ser frecuente que antes de proceder a la ejecución de los encepados se realice una demolición de la cabeza de los pilotes realizados "in situ" para eliminar la parte de hormigón que se ha podido contaminar con el lodo producido en la perforación. En los pilotes colocados por hinca, también se procederá a eliminar la zona de la cabeza del pilote que se haya podido deteriorar en el proceso de hincado.

Una vez establecida la lista de actividades o tareas, se relacionaran unas con otras, configurando la red de planificación que servirá de base para establecer la programación de la obra.



El siguiente paso sería estimar los tiempos de cada una de las tareas o actividades, estos tiempo son el resultado de la experiencia de la constructora para trabajos similares, el éxito o fracaso de toda la planificación está condicionado por el cálculo correcto de los rendimientos, en casos complicados de prever (como pueda ser la naturaleza y comportamiento del terreno) puede ser una opción modificar la planificación inicial al tener un conocimiento más exacto del terreno.

Si bien los trabajos de seguridad en las obras tienen el mismo tratamiento, desde el punto de vista de la planificación, que los trabajos de ejecución de las propias tareas o actividades, en las obras con cimentaciones profundas adquieren o deben de adquirir mayor importancia ya que condicionan el inicio de los trabajos de ejecución de las tareas constructivas.

3.5. Maquinaria

3.5.1. Maquinaria empleada en pilotaje

Como hemos visto anteriormente existe maquinaria específica para la perforación y hormigonado de los pilotes, a saber:

- Cazo o Bucket (Fig.17):



Fig. 17. Bucket (cazo en ingles)²³.

²³ Imagen extraída de la Pág.: http://micropilotes.blogspot.com.es/2011_05_01_archive.html

- Barrera helicoidal (Fig.18)



Fig. 18. Cabeza de barrena con dientes de botón y tubo central para hormigonado²⁴.

²⁴ Imagen extraída de la Pág.:<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>

- Tubo premie (Fig.19): Es una especie de embudo para hormigonar evitando la disgregación del árido.



Fig. 19. Tubo tremie para hormigonado²⁵.

²⁵ Imagen extraída de la Pág.: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8568/1/00.pdf>

- Hélice (Fig. 20)



Fig. 20. Hélice para ejecución de pilotes²⁶.

3.5.2. Maquinaria y medios auxiliares comunes

A parte de la maquinaria que se necesita para la realización propia de los pilotes son necesarias otras máquinas auxiliares, como son:

- Retroexcavadora
- Camión hormigonera
- Vibradores
- Tablestacados: Método de contención de tierras, que consiste en unas placas de hormigón, madera o acero que son hincadas en el terreno para facilitar el vaciado de un posterior foso.

²⁶ Imagen extraída de la Pág.: <http://www.talleresegovia.com/helices.php#pic>

3.6. Materiales

3.6.1 Hormigón

Definimos Hormigón como una piedra artificial formada por la mezcla de cemento, áridos gruesos y finos y agua, obtenido por el endurecimiento del cemento mezclado con el agua. Además de estos elementos básicos se le pueden añadir aditivos o adiciones para mejorar las características del hormigón.

En un principio se empleaba el hormigón en masa, es decir, solo la pasta, sin acero, el problema era que el hormigón únicamente es apto para resistir esfuerzos a compresión, pero no a tracción; por este motivo se introdujeron las barras de acero, que a su vez solo soportan la tracción, no la compresión. Así hemos llegado al hormigón armado capaz de resistir tanto la tracción como la compresión.

3.6.1.1 Componentes del hormigón

Podemos diferenciar los siguientes componentes dentro del hormigón:

- *Áridos*: están formados por gravas, y arenas que constituyen el esqueleto granular del hormigón, aportando a éste resistencia mecánica y densidad. La gran importancia que tienen los áridos en el hormigón es que corresponden a las 4/5 partes de éste. Se prohibirán en la fabricación del hormigón estructural, todos aquellos áridos que contengan sulfuros oxidables. Los áridos no deben ser reactivos con el cemento, ni deben descomponerse por los agentes exteriores a que estarán sometidos en obra. Por tanto, no deben emplearse áridos tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc.
- *Cemento*: El cemento actúa como conglomerante dando al hormigón la *consistencia* de una piedra. Es un material inorgánico que al mezclarse con el agua forma una pasta que *fragua* y endurece por reacciones y procesos de hidratación, y que después de endurecer mantiene su resistencia incluso bajo el agua. Está formado por pequeños granos de diferentes materiales, pero que al unirlos deben dar una pasta totalmente homogénea, estos constituyentes son:
 - El clinker de cemento Pórtland (K), obtenido por medio de la cocción de una mezcla de diferentes materiales.
 - Escoria granulada de alto horno (S), obtenida por medio de un enfriamiento rápido de una escoria en estado de fusión.
 - Materiales puzolánicos, existen dos tipos:

- Las puzolanas naturales (P): Son sustancias de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas.
- Las puzolanas industriales (Q): Son arcillas y esquistos tratados y activados térmicamente, escorias de plomo, cobre, zinc y otros productos similares.
- Cenizas volantes: Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silicoaluminosa o silicocalcárea:
 - Ceniza volante silícea (V): Es un polvo fino formado esencialmente de partículas esféricas vitrificadas con propiedades puzolánicas.
 - Ceniza volante cálcica (W): Es un polvo fino que contiene propiedades hidráulicas y/o puzolánicas.
- Esquisto calcinado (T): Se produce en un horno especial a una temperatura de unos 800 °C. Este debe tener una resistencia a compresión de al menos 25 N/mm² a los 28 días.
- Caliza (L): La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃). También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, siderita, cuarzo, etc., que modifican el color y el grado de coherencia de la roca.
- Humo de sílice (D): Consiste en partículas esféricas muy finas con un elevado contenido de sílice amorfa.
- Filler (F): Son minerales inorgánicos, naturales o artificiales, especialmente seleccionados, que mediante una adecuada preparación mejoran las propiedades físicas del cemento.
- Sulfato de calcio: El sulfato de calcio se añadirá en pequeñas cantidades a los demás constituyentes del cemento durante su fabricación para controlar el fraguado. El sulfato puede ser yeso, hemihidrato, anhidrita o una mezcla de ellos.
- Aditivos: Son constituyentes que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. La cantidad total de aditivos no excederá del 1% en masa del cemento.

Aunque el cemento más empleado suele ser el Pórtland, existen varios tipos, a saber:

- I Cemento Portland
- II Cemento Pórtland compuesto
- III Cemento de horno alto
- IV Cemento puzolánico
- V Cemento compuesto
- VI Cemento SR

Una característica muy importante del cemento para el hormigón, son sus resistencias, ya que de estas va a depender el tipo de cemento que se emplee en la fabricación del hormigón, dependiendo de las características exigibles por cada obra. Estas resistencias se dividen en 2:

- Resistencia normal: Es la resistencia a compresión de un cemento a los 28 días. Hay tres clases de resistencia normal: 32,5, 42,5 y 52,5
- Resistencia inicial: Es la resistencia a compresión a los 2 o 7 días. Para cada resistencia normal se definen dos clases de resistencia inicial:
 - Resistencia inicial ordinaria
 - Resistencia inicial elevada

Como hemos visto existen gran cantidad de cementos, su empleo en cimentaciones se encuentra normalizado por la EHE 08, recomendándonos emplear cementos de resistencia igual o superior a 32,5, siempre y cuando cumplan con la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos, sean capaces de proporcionar al hormigón las cualidades que a este se le exigen, y cumplan las limitaciones establecidas.

- *Agua*, dentro del agua que empleamos para la elaboración del hormigón debemos diferenciar tres tipos:
 - Agua de amasado: Es el agua que se aporta a la mezcla, y está formada por el agua añadida y por la humedad de los áridos. Esta agua tiene dos funciones, permitir la hidratación del cemento y que de este modo puedan tener lugar los procesos de fraguado y endurecimiento, y permitir la adecuada puesta en obra del hormigón.
Cuando mayor cantidad de agua incluyamos en la mezcla del hormigón, obtendremos mayor facilidad de puesta en obra, pero a su vez una disminución importante de las resistencias de todo tipo.
 - *Agua de curado*: Es el agua que se pone intencionadamente en contacto con el hormigón fresco para permitir los procesos de hidratación y endurecimiento de éste.
 - Aguas agresivas: Son todas aquellas que puestas en contacto con el hormigón fresco o endurecido producen alteraciones en los procesos físicos y químicos de su elaboración. Considerando el grado de acidez, se dicen agresivas las siguientes aguas:

- Aguas con pH < 7: Aguas naturales procedentes de terrenos graníticos, residuales de industrias y aquellas que contengan materias fermentantes que las puedan convertir en ácidas.
- Aguas con pH = 7: Las puras, procedentes de lluvia y del deshielo de las altas montañas. También aquellas que lleven disueltas sales, tales como aguas con sulfatos, agua de mar y residuales industriales.
- Aguas con pH >7: Las amoniacaes.

- *Aditivos/ Adiciones*, Son aquellos materiales que en pequeñas cantidades, se añaden al proceso de amasado del hormigón, a la masa de cemento, y que modifican las propiedades del hormigón fresco o endurecido. Nunca se podrá emplear en cantidades superiores al 5% en peso del cemento. Los aditivos se clasifican en 7 grupos:

	Definición	Tipos
Grupo A	Aditivos que modifican la <i>reología</i> de los hormigones, morteros y pastas en estado fresco	Plastificantes
		Reductores de agua o fluidificantes
		Superplastificantes, superfluidificantes o reductores de agua de alta trabajabilidad.
Grupo B	Modifican el fraguado y el endurecimiento del hormigón	Accelerador de fraguado
		Retardador de fraguado
		Acceleradores de endurecimiento
Grupo C	Modifican el contenido de aire u otros gases de los hormigones	Generadores de gas
		Inclusores de aire
		Generadores de espuma
		Desaireantes o antiespumantes
Grupo D	Producen expansión controlada y permanente en los H.	Generadores de expansión
Grupo E	Mejoran las resistencia a las acciones físicas o químicas de naturaleza física	Aditivos protectores contra las heladas
		Aditivos que mejoran la resistencia a la congelación o anticongelantes.
		Aditivos que incrementan la resistencia al paso del agua bajo presión de los hormigones endurecidos.
Grupo F	Mejoran la resistencia a las acciones fisicoquímicas	Inhibidores de corrosión de las armaduras
		Modificadores de la reacción álcali-áridos
Grupo G	Otros aditivos	Para el bombeo
		Para hormigones proyectados
		Para inyecciones

3.6.1.2 Control de calidad el hormigón

Este control consiste en el llenado de 4 probetas de hormigón extraído del camión hormigonera en obra. Se deja fraguar, realizándose un ensayo de resistencia a los 7 días y otro a los 28.

3.6.1.3 Tipo de hormigón empleado en cimentaciones profundas

Tanto para las cimentaciones profundas como para cualquier cimentación o elemento estructural se usara el que fije el Proyecto, pero podemos considerar que la dosificación nunca debe de ser inferior a 350 kg/m³ y el tamaño máximo de árido no será superior a 25 mm.

3.6.2 Acero

Distinguiremos entre aceros según sean para armado o para pretensazo, de la siguiente forma:

- *Aceros de armar*: Aceros cuya resistencia a tracción o carga unitaria máxima es menor de 700 N/mm².
- *Aceros de pretensar*: Aceros cuya resistencia a tracción o carga unitaria máxima es mayor de 1400 N/mm²

Dentro de estas distinciones se debe añadir:

- *Armaduras Pasivas*: Son aquellas armaduras de acero de baja resistencia mediante las cuales no se introduce la fuerza de pretensazo. Están constituidas por barras corrugadas, por mallas electro soldadas o por armaduras básicas electro soldadas en celosía.

Armaduras pasivas para Cimentaciones Profundas		
Barras corrugadas	Requisitos técnicos (EHE 08)	Diámetros nominales
	Las barras no presentarán defectos superficiales ni grietas	6/8/10/12/14/16/20/25/32/40
	La <i>sección equivalente</i> no será inferior al 95,5% de su <i>sección nominal</i>	(elegiremos en función del tamaño del elemento, cargas y esfuerzos a resistir)
	Presentan, en el ensayo de adherencia por flexión descrito en UNE 36740:98 una tensión media de adherencia <i>bm</i> y una tensión de rotura de adherencia <i>bu</i>	

Clasificación de los tipos de acero en función de la resistencia, para armaduras pasivas			
Designación	Distinción barra	Limite elástico	Resist. a la tracción
B 400 S	Están formados por dos sectores de corrugas, con una serie de corrugas en cada uno de los sectores, con el mismo ángulo y distancia de separación entre corrugas	400	440
B 500 S	Tiene dos sectores de corrugas. En uno de los sectores las corrugas tienen la misma inclinación y separación uniforme. Y en el otro sector las corrugas están agrupadas en dos series de igual separación pero distinta inclinación.	500	550
B 400 SD	Dos sectores de corrugas con una serie de corrugas en cada sector con el mismo ángulo y misma separación.	400	480
B 500 T	Está compuesto por tres sectores de corrugas, con una serie de corrugas en cada sector.	500	550

- Armaduras activas: Se denomina así al acero de alta resistencia mediante los cuales se introduce la fuerza del pretensado. Pueden ser alambres, barras o cordones.

- Alambre: Producto de sección maciza, procedente de un estirado en frío o trefilado de alambres que normalmente se suministra en rollo.
- Barra: Producto de sección maciza, que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.
- Cordón de 2 ó 3 alambres: Conjunto formado por dos o tres alambres de igual diámetro nominal, todos ellos arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común (empleados en anclajes).
- Cordón de 7 alambres: Conjunto formado por seis alambres de igual diámetro nominal d , arrollados helicoidalmente, con igual paso y en el mismo sentido de torsión, alrededor de un alambre central recto cuyo diámetro estará comprendido entre $1,02 d$ y $1,05 d$ (empleados en anclajes).

Además de el acero en barra para armado y pretensado, en las cimentaciones profundas también se emplean como ya he mencionado los perfiles en H, en doble U y tubulares para la ejecución de pilotes prefabricados.

Lo que debemos saber de este tipo de perfiles, es que se fabrican en diferentes longitudes, secciones, espesores de alma y alas, longitudes de alma y alas...

Por tanto en función del tipo de terreno y esfuerzos que necesitemos resistir, el calculista determinará que dimensiones de perfiles emplearemos para nuestros pilotes.

3.6.2.1 Control de calidad

En lo que respecta al control de calidad del acero bastara con comprobar los siguientes aspectos:

- El acero debe poseer el certificado específico de adherencia y realizar una verificación geométrica para comprobar que los resaltes o corrugas de las barras están dentro de los límites que figuran en dicho certificado.
- Deben cumplirse las características mecánicas mínimas garantizadas por el fabricante.
- No deben haber grietas después del ensayo de doblado-desdoblado sobre los mandriles.
- Comprobar las marcas de identificación establecidas relativas al tipo de acero (geometría del corrugado), país de origen (España es el número 7) y marca del fabricante.

Además de este control, existen otros tres tipos de control, a saber:

1. Control a nivel reducido: Sólo será aplicable para armaduras pasivas, se contempla en aquellos casos en los que el consumo de acero de la obra es muy reducido o cuando existen dificultades para realizar ensayos completos sobre el material. El control consiste en comprobar, sobre cada diámetro:
 - La sección equivalente, realizándose dos comprobaciones por cada partida de material suministrado a obra.
 - Que no se formen grietas o fisuras en las zonas de doblado y ganchos de anclaje, mediante inspección en obra.

2. Control a nivel normal: Este nivel de control se aplica a todas las armaduras, tanto activas como pasivas. En este control comprobaremos cada diámetro empleado y cada 20 T:
 - Sección equivalente.
 - Comprobación características geométricas del corrugado.
 - Doblado simple y doblado-desdoblado.
 - Límite elástico
 - Carga de rotura
 - Alargamiento en rotura
 - Aptitud para el soldeo.

3. Control a nivel intenso: Se efectuará el nivel normal incrementando los ensayos mecánicos. En caso de que el acero lleve sello de conformidad, reduciremos el ensayo a control normal.

4. EJERCICIOS PRACTICOS

- 4.1. Introducción
- 4.2. Cálculo de pilote aislado
- 4.3. Cálculo grupo de pilotes
- 4.4. Ejercicio practico
- 4.5. Rozamiento negativo
- 4.6. Asiento de pilote
- 4.7. Empuje laterales del terreno causados por sobrecarga

4.1 Introducción

Ya se ha visto que es un pilote, los distintos tipos de pilotes dependiendo de varias opciones, el proceso constructivo, entre otras cosas, ahora estudiaremos las acciones a considerar para el dimensionamiento del pilote, sus estados últimos y estados límites, etc. Se planteará un supuesto práctico y se desarrollarán distintas hipótesis de suelos.

4.2 Cálculo de un pilote aislado

El proceso que seguiremos para el cálculo de un pilote aislado será el predimensionamiento y posterior comprobación. Para la elección del tipo de pilote (no se colocan tipos diferentes en un mismo encepado) habrá que tener en cuenta sus aspectos constructivos, las edificaciones cercanas, el nivel freático. El número de pilotes vendrá condicionado por el tope estructural, lo ideal son 3 pilotes por encepado o apoyo, si se usan 1 ó 2, es posible que se necesite arriostramiento. En lo que respecta a la longitud habrá que elegir profundidad suficiente para la carga a soportar (en el caso de punta más fuste), si solo trabaja por punta, hay que empotrarlos en la capa resistente, de 3 a 5 veces su diámetro.

4.2.1 Estados límites últimos

Los estados límites últimos están compuestos por:

- Estabilidad global
- Hundimiento, esto es, cuando la carga vertical sobre la cabeza del pilote supere la resistencia del terreno causando asentamientos desproporcionados, se cuantifica mediante la carga de hundimiento R_{ck} .

$$R_{ck} = R_{pk} + R_{fk}$$

$$R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R}$$

- Rotura por arrancamiento
- Rotura horizontal del terreno bajo cargas del pilote
- Capacidad estructural del pilote: Se podrá producir este modo de rotura cuando la carga vertical sobre la cabeza del pilote induzca esfuerzos que puedan dañar su estructura.

4.2.2 Fórmulas analíticas para el cálculo de pilote aislado

Relacionan la carga de hundimiento co los datos del terreno:

- Terrenos Cohesivos, valido para arcillas y limos:

▪ *Corto plazo*:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Resistencia por PUNTA: } q_p = N_p \times c_u = 9 \times c_u \\ \text{Resistencia por FUSTE: } \tau_f = \frac{100 \times c_u}{100 + c_u} \end{array} \right.$$

▪ *Largo plazo*:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Resistencia por PUNTA: } q_p = f_p \times \sigma'_{vp} \times N_q \leq 20 \text{MPa} \\ \text{Donde: } f_p = 3 \text{ para p. hincados, } 2,5 \text{ para p. perforados} \\ \sigma'_v = \text{presión efectiva al nivel de la punta del p.} \\ N_q = \text{coef. de la carga de hundimiento} \\ N_q = \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \times e^{\pi \times \text{tg } \phi} \\ \text{Resistencia FUSTE: } \tau_f = c + \sigma'_v \times K_f \times f \times \text{tg } \phi \leq 100 \text{kPa} \\ \text{Donde: } \sigma'_v = \text{presión efectiva al nivel considerado} \\ K_f = \text{coef. de empuje horizontal} \\ K_f = 1 \text{ para p. hincados, } 0,75 \text{ para p. perforados} \\ f = \text{factor de reducción del rozamiento del fuste} \\ f = 1 \text{ para p. de hormigón "in situ", } 0,9 \text{ para p. prefabricados de H., } 0,8 \text{ para p. de acero en el fuste} \\ \phi = \text{Angulo de rozamiento interno del suelo} \\ c = \text{cohesión al nivel considerado} \end{array} \right.$$

- Terrenos Granulares, el CTE permite utilizar la misma fórmula que para suelos cohesivos a largo plazo, aplicable solo para suelos granulares limpios sin cohesión que no tengan mas del 30% en peso de las partículas finas mayores de 20mm.

- Resistencia por PUNTA: $q_p = f_p \times \sigma'_{vp} \times N_q \leq 20MPa$

Donde: $f_p = 3$ para p. hincados, 2,5 para p. perforados

σ'_v = presión efectiva al nivel de la punta del p.

N_q = coef. de la carga de hundimiento

$$N_q = \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \times e^{\pi \times \text{tg } \phi}$$

- Resistencia por FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \text{tg } \phi \leq 120kPa$

Donde: σ'_v = presión efectiva al nivel considerado

K_f = coeficiente de empuje horizontal

$K_f = 1$ para pilotes hincados

$K_f = 0,75$ para pilotes perforados

f = factor de reducción del rozamiento del fuste

$f = 1$ para pilotes de hormigón "in situ"

$f = 0,9$ para pilotes prefabricados de H.

$f = 0,8$ pilotes de acero en el fuste

ϕ = Angulo de rozamiento interno del suelo

Existen otra forma de hacer los cálculos de pilotes, como es mediante ensayos de penetración in situ (correlaciones empíricas), es valido para pilotes perforados e hincados en suelos granulares, sin gravas gruesas, cantos o bolos en proporción que puedan desvirtuar el resultado del ensayo (<30% de tamaño mayor de 2 cm). En este trabajo no se estudiará ya que para los ejemplos se usarán las fórmulas analíticas.

Unas de las consideraciones que se tienen que adoptar es la resistencia estructural, las acciones en el pilote pueden llegar a provocar el agotamiento de la capacidad estructural de su sección resistente. Adoptamos pues el nombre de Tope estructural o carga nominal que es el valor de cálculo de la capacidad resistente del pilote, se debe comprobar que el tope estructural no este por debajo de la carga admisible de hundimiento.

El tope se obtiene de la siguiente expresión:

$$R_{TOPE} = \sigma \times A$$

Donde: σ = la tensión resistente del pilote (tabla 5.1 del CTE)

A = el área de la sección transversal mas desfavorable

Otra consideración a tener en cuenta, es el coeficiente de seguridad para hundimiento de cimentaciones profundas, el código técnico adopta $\gamma_R = 3$, este valor se coloca para conseguir la carga de hundimiento admisible, como veíamos anteriormente (tabla 2.1 coeficientes de seguridad parciales, CTE).

4.3. Grupo de pilotes

Los pilotes aislados no resienten bien los esfuerzos horizontales ni los momentos, empleando grupos de pilotes se consigue mayor eficacia para soportar este tipo de acciones. Cuando se emplea un grupo de pilotes, se construye un encepado que los agrupa uniéndolos en cabeza, consiguiendo que se repartan las cargas; se predimensionan como rígidos, esto es el canto debe ser al menos 1,5 veces el diámetro del pilote.

Deben tenerse en cuenta que no se debe colocar un pilar importante sobre menos de 3 pilotes, y tampoco se debe colocar un muro importante sobre menos de 2 pilotes.

En el caso de los pilotes hormigonados in situ, para diámetros inferiores a 0,45 m no se deben ejecutar pilotes aislados, para diámetros entre 0,45 y 1 m se podrían realizar pilotes aislados pero siempre que se arriestren en las dos direcciones ortogonales, cuando el diámetro es mayor de 1 m se pueden realizar pilotes aislados sin necesidad de arriostramiento, armados para las excentricidades y momentos resultantes.

Cuando una serie de pilotes están “cerca” se produce una reducción de la resistencia global por interacción mutua, dando lugar a lo que se llama **eficacia de grupo**. Se puede definir el coeficiente de eficiencia como:

$$\eta = \frac{R_{ckg}}{n \times R_{ck}}$$

Donde: n=el numero de pilotes

R_{ck} =la carga de hundimiento del pilote aislado

R_{ckg} =la carga que produce el hundimiento de grupo

A partir de grupos de 4 pilotes, se puede considerar que:

- El coeficiente de eficiencia es $\eta = 0,7$, para separaciones entre ejes =1D
- Para separaciones $1D \leq s \leq 3D$ se interpola linealmente entre $0,7 \leq \eta \leq 1$
- En pilotes hincados en arenas densas o muy densas se podrá adoptar un coeficiente de eficiencia igual a 1.

Otro condicionante que influye en el conjunto es la **separación de los pilotes**, condiciona la resistencia del grupo, además una separación excesiva provoca necesidades de armado importantes en los encepados, encareciéndolos; los criterios para fijar la separación son:

- En pilotes de punta apoyados en roca o arena densa: $S_{\min} = 2 \times D$
- En pilotes por fuste (flotantes) en arcillas: $S_{\min} = 3 \times D$
- Por la necesidad de controlar la inclinación: $S_{\min} \geq \frac{L}{15}$; siendo L la longitud de los pilotes.

En un grupo de pilotes, para cada combinación de acciones se debe realizar un reparto de cargas entre los pilotes del grupo, una **distribución de esfuerzos** (Fig. 1).

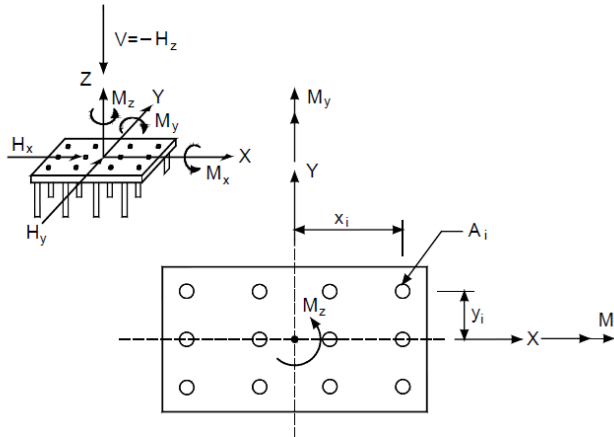


Fig. 1. Distribución de esfuerzos en la hipótesis de encepado rígido y pilotes articulados en cabeza²⁷

Este reparto depende de la naturaleza del terreno y de la rigidez de los pilotes y del encepado. Si el encepado que une los pilotes es suficientemente rígido, bastará con considerar la distribución de cargas que se obtiene al suponer que los pilotes están articulados en cabeza y que el encepado es infinitamente rígido.

²⁷ Fig. 1, DB SE-C, CTE

4.4 Ejercicios prácticos

Para una estructura de 5 plantas, resuelta con forjados reticulares, y una distribución como la de la figura 2, se propone una cimentación por pilotes, en este caso concreto nos fijaremos en la zona que aparece delimitada:

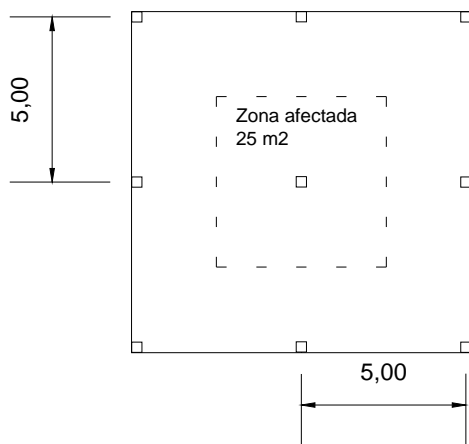


Fig. 2 Croquis planta edificio

El tipo de pilote escogido será perforado, ejecutado in situ, como hemos visto anteriormente para cálculo de pilotes aislados existen fórmulas analíticas recogidas en el CTE DB SE-C (apartado 5), que están condicionadas por el tipo de suelo, por otro lado en la EHE 08 nos aporta las fórmulas (Tabla 1 a 6) para calcular el armado de los distintos elementos, a continuación se hace un resumen a modo de ayuda para el seguimiento de los ejercicios.

SUELO COHESIVO		
CORTO PLAZO	Punta	$q_p = 9 \times Cu$
	Fuste	$\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu}$
LARGO PLAZO	Punta	$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20MPa$
	Fuste	$\tau_f = c + \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 100KPa$

Tabla 1. Fórmulas para el cálculo de pilotes en suelos cohesivos

SUELO GRANULAR	
Punta	$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20MPa$
Fuste	$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120KPa$

Tabla 2. Fórmulas para el cálculo de pilotes en suelos granulares

CARGA DE HUNDIMIENTO	$R_{ck} = R_{fk} + R_{pk}$
RESISTENCIA POR PUNTA	$R_{pk} = q_p \times A_p$
RESISTENCIA POR FUSTE	$R_{fk} = \tau_f \times A_f$
CARGA ADMISIBLE	$R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R}$
TOPE ESTRUCTURAL	$Q_{TOPE} = \sigma \times A$

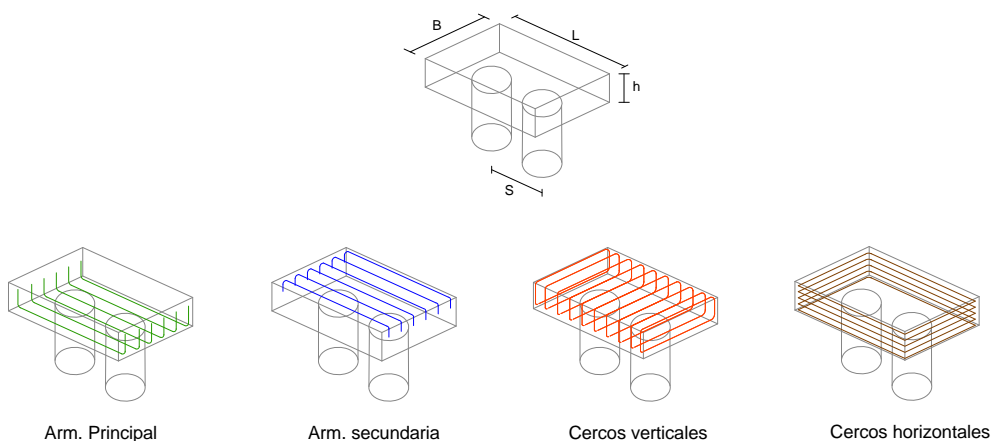
Tabla 3. Resumen fórmulas resultado

ARMADO PILOTE		
Armadura Longitudinal	Mínima geométrica	$A_s \geq 0,4\% \times A_c$
	Diámetro mínimo	12mm
	Separación máxima	200mm
	Nº mínimo de barras	6
Armadura Transversal	Diámetro mínimo	$\frac{1}{4} \times \phi \geq 6mm$
	Separación máxima	$\leq 150 \text{ mm}$

Tabla 4. Fórmulas para armado pilote

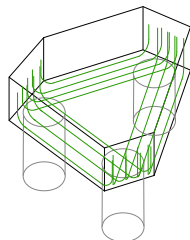
ENCEPADO DE DOS PILOTES		
Armadura principal	$A_{spl} = \frac{N_d(v + 0,25a)}{0,85 \times d \times f_{yd}}$	Nd=axil de cálculo del pilote mas cargado v=vuelo del encepado f _{yd} = L. elástico de cálculo del acero. f _{yd} =400MPa a=lado del pilar en la dimensión L del encepado
Armadura secundaria	$A_{ss} = \frac{1}{10} A_{spl}$	
Cercos verticales	$A_{scv} = \frac{4}{1000} \times L \times B^*$	L= lado del encepado B*=el menor de los siguientes valores -B -h/2
Cercos horizontales	$A_{SCH} = \frac{4}{100} \times h \times B^*$	h = canto del encepado

Tabla 5. Fórmulas para armado encepado de dos pilotes, croquis de armado de encepado.

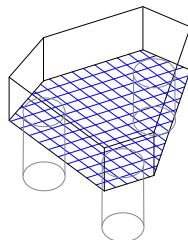


ENCEPADO DE TRES PILOTES		
Armatura principal (entre cada dos pilotes)	$A_{spl} = \frac{0,68N_d(0,58S - 0,25a)}{d \times f_{yd}}$	Nd=axil de cálculo del pilote mas cargado S=separación entre ejes de pilotes d= canto útil del encepado. d=h-0,1m a=lado del pilar en la dimensión L del encepado.
Armatura secundaria (en cada dirección)	$A_{ss} = \frac{1}{4} A_{spl}$	
Cercos verticales (entre cada 2 pilotes)	$A_{scv} = \frac{N_{ds}}{1,5n \times f_{yd}}$	N _{ds} = Axil de cálculo f _{yd} = L. elástico de cálculo del acero. f _{yd} =400MPa

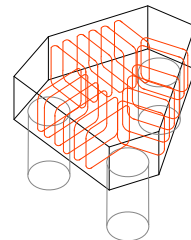
Tabla 6. Fórmulas armado encepado tres pilotes, croquis de armado de encepado



Arm. Principal



Arm. secundaria



Cercos verticales

4.4.1 Pilote aislado, en suelo granular (homogéneo en la superficie estudiada)

Con las características aportadas, se plantea un primer supuesto con las dimensiones del pilote (Fig. 3), se aplican las fórmulas correspondientes, y se decide si estas primeras medidas son correctas, si no es el caso, se vuelve a dimensionar el pilote, hasta que se consigan unas medidas optimas para las condiciones dadas.

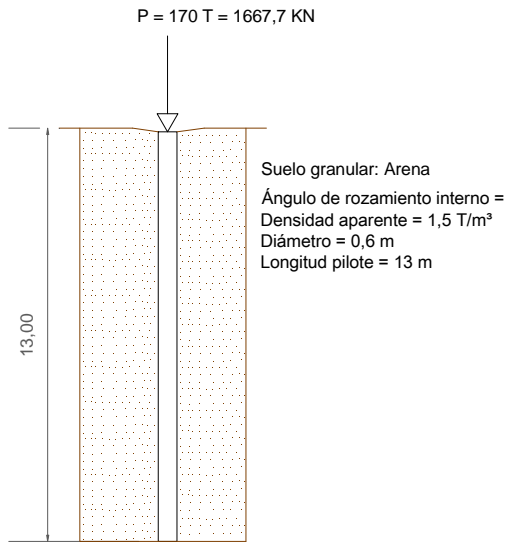


Fig. 3. Croquis de pilote con diámetro 0,6 m y longitud pilote 13 m

PUNTA: $q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20MPa$

Donde:

$$f_p = 2,5 \text{ (pilote perforado)}$$

$$N_q = \frac{1 + \text{sen}\varphi}{1 - \text{sen}\varphi} \times e^{\pi \times \text{tg}\varphi} = \frac{1 + \text{sen}30}{1 - \text{sen}30} \times e^{\pi \times \text{tg}30} = 18,39$$

σ'_v para $z=13\text{m}$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 13 = 19,5T/m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

$$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q = 2,5 \times 19,5 \times 18,39 = 896,51T/m^2 = 8794,76KN$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0,6^2}{4} = 0,282m^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 8794,76 \times 0,282 = 2480,12KN$$

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120KPa$

Donde:

$K_f=0,75$ (pilote perforado)

$f=1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z=0\text{m}$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T/m^3$, suponemos que no hay nivel

freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 19,5}{2} = 9,75T/m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi = 9,75 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 4,21T/m^2 = 41,3KN/m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 13 = 24,5m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 41,3 \times 24,5 = 1011,85KN$$

CARGA DE HUNDIMIENTO: $R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 2480,12 + 1011,85 = 3491,97KN$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{3491,97}{3} = 1163,99KN$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7KN$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

Como el anterior supuesto no cumple, se recalcula el pilote para un diámetro de 1 m y la misma longitud anterior (Fig. 4), esto es:

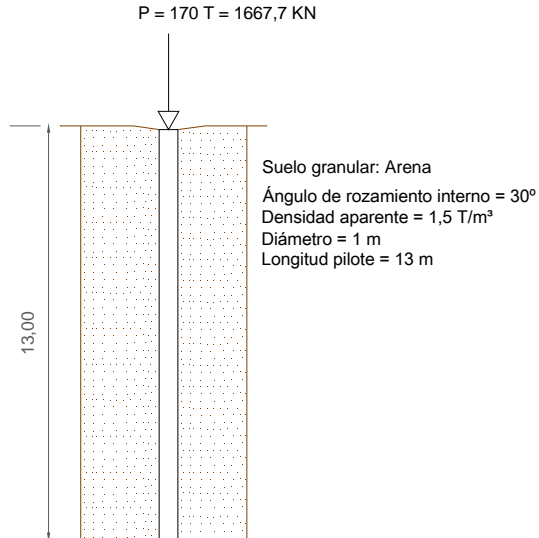


Fig. 4. Croquis de pilote con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

PUNTA: $q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20 \text{ MPa}$

Donde:

$$f_p = 2,5 \text{ (pilote perforado)}$$

$$N_q = \frac{1 + \text{sen}\varphi}{1 - \text{sen}\varphi} \times e^{\pi \times \text{tg}\varphi} = \frac{1 + \text{sen}30}{1 - \text{sen}30} \times e^{\pi \times \text{tg}30} = 18,39$$

$$\sigma'_v \text{ para } z=13\text{m} \quad \sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{ T/m}^3, \text{ suponemos que no hay nivel freático } \sigma'_v = \sigma_v$$

$$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q = 2,5 \times 19,5 \times 18,39 = 896,51 \text{ T/m}^2 = 8794,76 \text{ KN}$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 8794,76 \times 0,785 = 6903,89 \text{ KN}$$

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120KPa$

Donde:

$K_f=0,75$ (pilote perforado)

$f=1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z=0m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T/m^3$, suponemos que no hay nivel

freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 19,5}{2} = 9,75T/m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi = 9,75 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 4,21T/m^2 = 41,3KN/m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 13 = 40,84m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 41,3 \times 40,84 = 1686,69KN$$

CARGA DE HUNDIMIENTO: $R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 1686,69 + 6903,89 = 8590,59KN$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8590,59}{3} = 2863,53T$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1.667,7$ KN, como $P < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

TOPE ESTRUCTURAL: $Q_{TOPE} = \sigma \times A$, donde $\sigma = 4MPa$ suponemos pilote con control de perímetro.

$$Q_{TOPE} = \sigma \times A = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 4 \times \pi \times \frac{1^2}{4} = 3,1415MPa = 3141,5KN \quad (\text{El tope estructural no condiciona la carga de hundimiento}).$$

4.4.2 Pilote aislado, en suelo cohesivo (homogéneo en la superficie estudiada)

El proceso es el mismo que en el apartado anterior, solo que al tener un suelo cohesivo se deben aplicar otras fórmulas y además hay que tener en cuenta el corto y el largo plazo para el hundimiento del pilote, debemos quedarnos con el más supuesto más desfavorable ya que esto nos pone del lado de la seguridad.

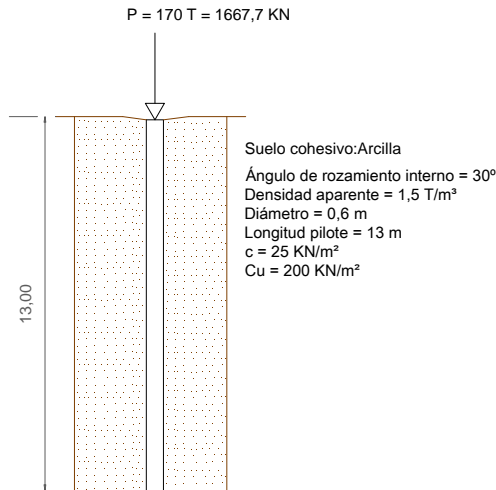


Fig. 5. Croquis de pilote con diámetro 0,6 m y longitud pilote 13 m

CORTO PLAZO:

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{ KN} / \text{m}^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0,6^2}{4} = 0,282 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,282 = 508,9 \text{ KN} / \text{m}^2$$

FUSTE: $\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 13 = 24,5 \text{ m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 24,5 = 1633,42 \text{ KN}$$

LARGO PLAZO:

$$\text{PUNTA: } q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20 \text{MPa}$$

Donde:

$$f_p = 2,5 \text{ (pilote perforado)}$$

$$N_q = \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi} \times e^{\pi \times \operatorname{tg} \varphi} = \frac{1 + \operatorname{sen} 30}{1 - \operatorname{sen} 30} \times e^{\pi \times \operatorname{tg} 30} = 18,39$$

$$\sigma'_v \text{ para } z = 13\text{m} \quad \sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{T/m}^3 \approx 191,3 \text{KN/m}^3, \text{ ,}$$

suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

$$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q = 2,5 \times 19,5 \times 18,39 = 896,51 \text{T/m}^2 = 8794,76 \text{KN/m}^2$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0,6^2}{4} = 0,282 \text{m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 8794,76 \times 0,282 = 2480,12 \text{KN}$$

$$\text{FUSTE: } \tau_f = c + \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg} \phi \leq 100 \text{KPa}$$

Donde:

$$c = 25 \text{KN/m}^2$$

$$K_f = 0,75 \text{ (pilote perforado)}$$

$$f = 1 \text{ (pilote in-situ)}$$

$$\sigma'_v \text{ para } z = 0\text{m} \quad \sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 14,72 \times 0 = 0 \text{KN/m}^3, \text{ , suponemos que no}$$

hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 191,3}{2} = 95,65 \text{KN/m}^3$$

$$\tau_f = c + \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg} \phi = 25 + 95,65 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 66,39 \text{KN/m}^2 \leq 120 \text{KPa}$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 13 = 24,5 \text{m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,39 \times 24,5 = 1626,62 \text{KN}$$

El supuesto a corto plazo es más desfavorable. Se sigue con él.

CARGA DE HUNDIMIENTO: $R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 1633,42 + 508,9 = 2142,32 \text{ KN}$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{2142,32}{3} = 714,11 \text{ KN}$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7 \text{ KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

Como el anterior supuesto no cumple, se recalcula el pilote (Fig.6) para un diámetro de 1 m y la misma longitud anterior, (usando el supuesto de corto plazo), esto es:

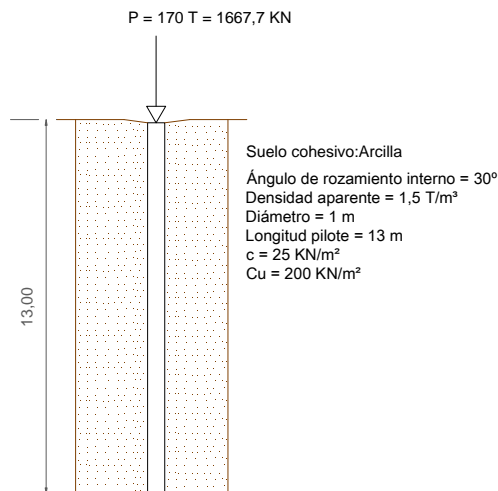


Fig. 6. Croquis de pilote con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{ KN} / \text{m}^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,785 = 1350 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{FUSTE: } \tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 13 = 40,84 \text{ m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 40,84 = 2722,36$$

$$\text{CARGA DE HUNDIMIENTO: } R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 2722,36 + 1350 = 4072,36 \text{ T}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{4072,36}{3} = 1357,45 \text{ KN}$$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7 \text{ KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**

Como el anterior supuesto no cumple, se recalcula el pilote para un diámetro de 1 m y una longitud de 16 m, (usando el supuesto de corto plazo), esto es:

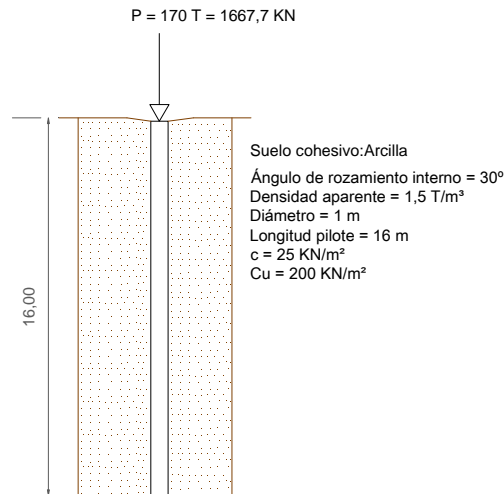


Fig. 7. Croquis de pilote con diámetro 1 m y longitud pilote 16 m

$$\text{PUNTA: } q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,785 = 1350 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{FUSTE: } \tau_f &= \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2 \\ A_f &= 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 16 = 50,26 \text{ m}^2 \\ R_{fk} &= \tau_f \times A_f = 66,66 \times 50,26 = 3350,59 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{CARGA DE HUNDIMIENTO: } R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 3350,59 + 1350 = 4700,59 \text{ KN}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{4700,59}{3} = 1566,86 \text{ KN}$$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7\text{KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**

El los distintos supuestos anteriores se ve que el diámetro es más determinante a la hora de conseguir un carga admisible mayor, por lo que esta vez se calculara el pilote con diámetros de 1,5 m y la longitud se mantiene en 16 m.(Fig.8)

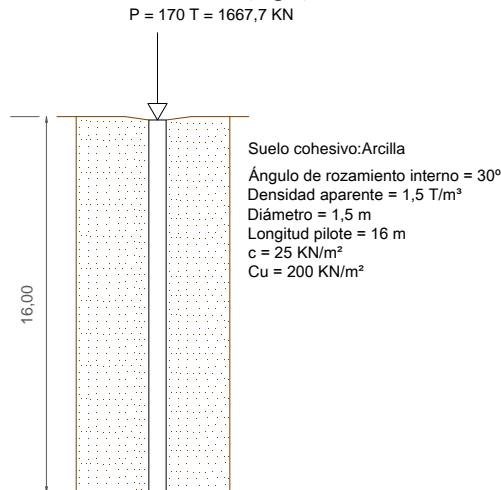


Fig. 8. Croquis de pilote con diámetro 1,5 m y longitud pilote 16 m

$$\text{PUNTA: } q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1,5^2}{4} = 1,767 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 1,767 = 3180,77 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{FUSTE: } \tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,75 \times 16 = 75,4 \text{ m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 75,4 = 5025,89 \text{ KN}$$

$$\text{CARGA DE HUNDIMIENTO: } R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 5025,89 + 3180,77 = 8206,66 \text{ T}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8206,66}{3} = 2735,55 \text{ KN}$$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7$, como $P < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**

TOPE ESTRUCTURAL: $Q_{TOPE} = \sigma \times A$, donde $\sigma = 4 \text{ MPa}$ suponemos pilote con control de perímetro.

$$Q_{TOPE} = \sigma \times A = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 4 \times \pi \times \frac{1,5^2}{4} = 7,0683 \text{ MPa} = 7068,3 \text{ KN} \quad (\text{El tope estructural no condiciona la carga de hundimiento}).$$

4.4.3 Armado de pilote aislado, en suelo granular (homogéneo en la superficie estudiada)

Con los dimensionamientos obtenidos es el hormigón el que resiste toda la carga, habrá por tanto que poner la armadura mínima.

- Primero se comprueba que:

$$\frac{N_d}{A_c} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{1667,7}{0,785} = 2124,4 \text{ KN} \leq f_{cd}$$

- Armadura Longitudinal

$$A_c = A_p = \text{área de sección del pilote} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Mínima geométrica} = 0,4\% A_c = \frac{0,4}{100} \times 0,785 = 0,00314 \text{ m}^2 = 3.140 \text{ mm}^2$$

Armado (mínimo 6 barras, separación max. 200 mm, diámetro mínimo 12mm)=
20 ϕ 16 (a 15cm aprox.)

- Armadura transversal (cercos)

Armado (separación máxima $\leq 150mm$) =Tomamos diámetro 12 a 24 cm (esto es, 15 veces diámetro 16).

4.4.4 Armado de pilote aislado, en suelo cohesivo (homogéneo en la superficie estudiada)

- Primero se comprueba que:

$$\frac{N_d}{A_c} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{1667,7}{1,767} = 943,8KN \leq f_{cd}$$

- Armadura Longitudinal

$A_c = A_p =$ área de sección del pilote = 1,767 m²

$$\text{Mínima geométrica} = 0,4\% A_c = \frac{0,4}{100} \times 1,767 = 0,007066m^2 = 7.066mm^2$$

Armado (mínimo 6 barras, separación max. 200 mm, diámetro mínimo 12mm)=
30 ϕ 16 (a 14cm aprox.)

- Armadura transversal (cercos)

Armado (separación máxima $\leq 150mm$) =Tomamos diámetro 12 a 24 cm (esto es, 15 veces diámetro 16).

4.4.5 Grupo de 2 pilotes, en suelo granular (homogéneo en la superficie estudiada)

Mantenemos los criterios anteriores, en lo que respecta a las características del suelo y añadimos a la carga puntual un momento (Fig.9).

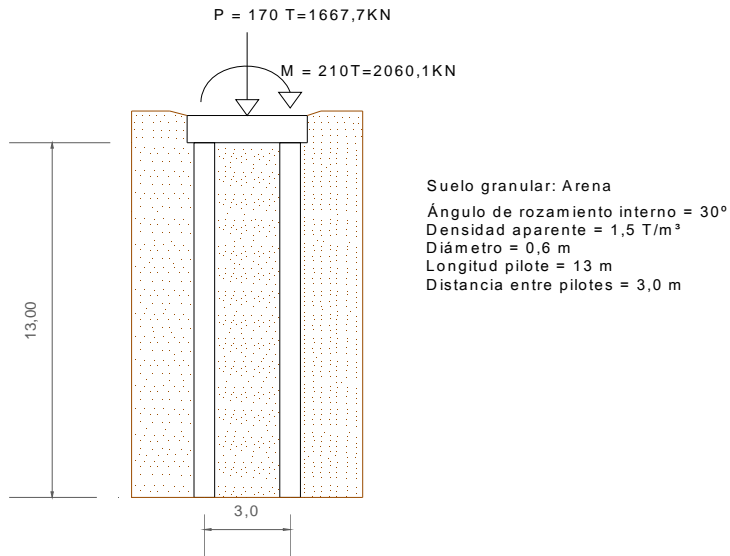
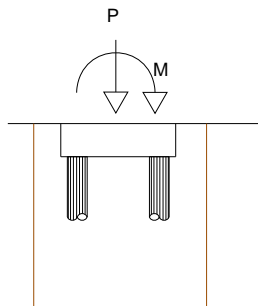


Fig. 9. Croquis de grupo de 2 pilotes con diámetro 0,6 m y longitud pilote 13 m

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

Cargas iniciales



Cargas descompuestas

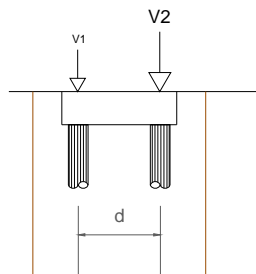


Fig.10. Cargas iniciales grupo de dos pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$P=1667,7 \text{ KN}$ La carga vertical se reparte entre ambas por igual
 $M=2060,1 \text{ KN}$ El momento descarga un pilote y recarga el otro

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060,1}{3} = 147,15 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060,1}{3} = 1520,55 \text{ KN}$$

Se tomamos la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente para el pilote aislado en suelo granular, que daba de diámetro 1 m y longitud 13 m, recordando:

CARGA DE HUNDIMIENTO: $R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 1686,69 + 6903,89 = 8590,59 \text{ KN}$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8590,59}{3} = 2863,53 \text{ T}$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no se considera el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ} \text{ pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 2 \times 8590,59 = 17181,18 \text{ KN}$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{17181,18}{3} = 5727,06 \text{ KN}$$

COMPROBACIONES:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,7 \text{ T} < \text{Resistencia de Grupo} = 1751,36 \text{ T}$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,55 \text{ KN} < \text{Carga adm. del pilote} = 2863,53 \text{ KN}$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.6 Grupo de 2 pilotes, en suelo cohesivo (homogéneo en la superficie estudiada) (Fig.11)

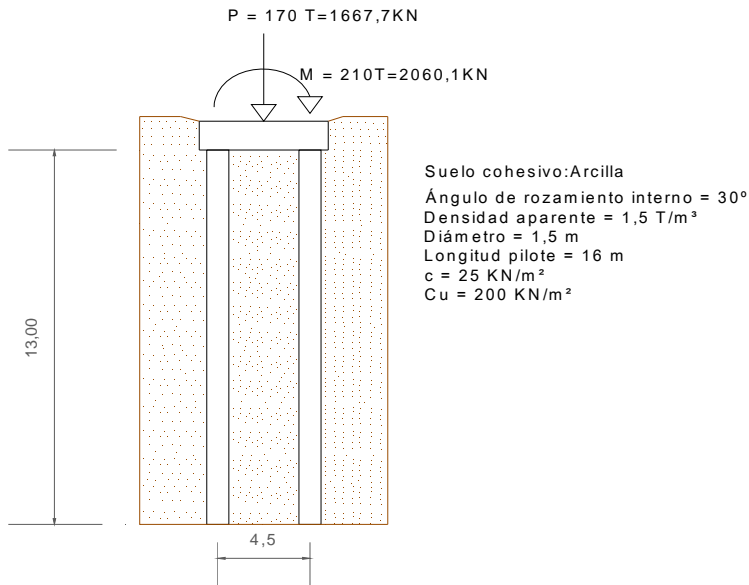


Fig. 11. Croquis de grupo de 2 pilotes con diámetro 1,5 m y longitud pilote 13 m

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

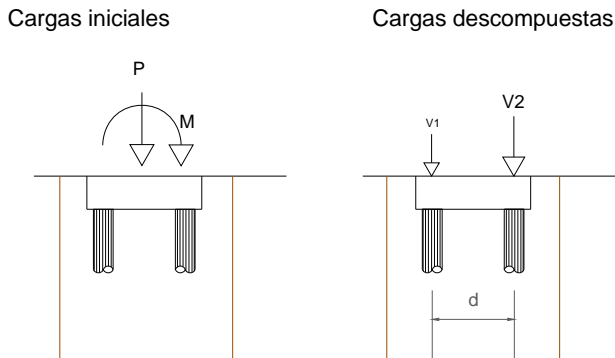


Fig.12. Cargas iniciales grupo de dos pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$P=1667,7 \text{ KN}$ La carga vertical se reparte entre ambas por igual
 $M=2060,1 \text{ KN}$ El momento descarga un pilote y recarga el otro

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060,1}{3} = 147,15 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060,1}{3} = 1520,55 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1,5 m y longitud 16 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO: $R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 5025,89 + 3180,77 = 8206,66 \text{ T}$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8206,66}{3} = 2735,55 \text{ KN}$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$.

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ} \text{ pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 2 \times 8206,66 = 16413,32 \text{ KN}$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{16413,32}{3} = 5471,11 \text{ KN}$$

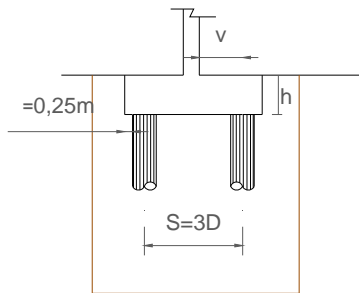
COMPROBACIONES:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,7 \text{ KN} < \text{Resistencia de Grupo} = 16.413,32 \text{ KN}$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,55 \text{ KN} < \text{Carga adm. del pilote} = 2735,55 \text{ KN}$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.7 Armado para grupo de 2 pilotes

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.7 Dimensionamiento del encepado para grupo de 2 pilotes en suelo granular (Fig.13)



Canto = h
 Vuelo = v
 Separación entre ejes de pilotes: $S=3D$
 Condición de rigidez: $v \leq 2h$

Fig.13. Dimensiones mínimas para la realización de un encepado.

Diámetro: 1m	→	$S=3D= 3m$, cumple la separación mínima entre ejes
$h=1\text{ m}$	→	$V=1,30\text{ m}$, cumple condición de rigidez
Largo encepado	→	$L=0,25+R+3D+R+0,25=0,25+0,5+3+0,5+0,25=4,50m$
Ancho encepado	→	$A=D + 2 \times 0,25= 1,50m$

4.4.8 Dimensionamiento del encepado para grupo de 2 pilotes en suelo cohesivo

Diámetro: 1,5m	→	$S=3D= 4,5m$, cumple la separación min. entre ejes
$h=1,5\text{ m}$	→	$V=2,25\text{ m}$, cumple condición de rigidez.
Largo encepado	→	$L= 0,25+R+3D+R+0,25= 0,25+0,75+4,5+0,75+0,25 = 6,5\text{ m}$
Ancho encepado	→	$A=D + 2 \times 0,25= 2m$

4.4.9 Armado del encepado para grupo de 2 pilotes en suelo granular (Fig.14)

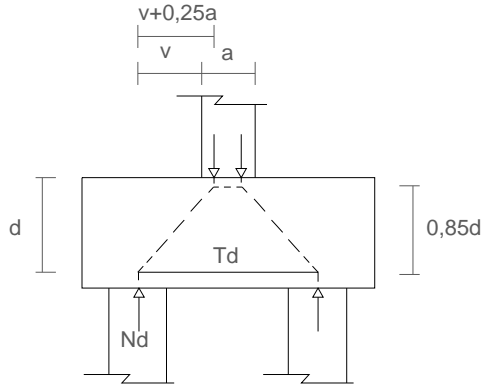


Fig.14. Reparto cargas encepado rígido para 2 pilotes.

- Tracción de cálculo:

$$\frac{N_d(v + 0,25a)}{0,85d} = \frac{155(1,30 + 0,25 \times 0,30)}{0,85 \times (1 - 0,1)} = \frac{213,12}{0,765} = 278,58T$$
- Arm.Principal = $\frac{T_d}{f_{dy}} = \frac{278.580}{4000} = 69,64cm^2 = 6964mm^2$ Arm. Inferior ($\approx 20\phi 20$)
- Armadura Secundaria = $\frac{1}{10} A_{spl} = \frac{1}{10} 6964 = 696,4mm^2$ Arm. Superior ($\approx 6\phi 12$)
- Cercos verticales = $\frac{4}{1000} \times L \times B^* = \frac{4}{1000} \times 4500 \times \frac{1000}{2} = 9000mm^2$
- Cercos horizontales = $\frac{4}{1000} \times h \times B^* = \frac{4}{1000} \times 1000 \times \frac{1000}{2} = 500mm^2$

4.4.10 Armado del encepado para grupo de 2 pilotes en suelo granular

- Tracción cálculo:

$$\frac{N_d(v + 0,25a)}{0,85d} = \frac{155(2,25 + 0,25 \times 0,30)}{0,85 \times (1,5 - 0,1)} = \frac{360,37}{1,19} = 302,83T$$
- Arm. Principal = $\frac{T_d}{f_{dy}} = \frac{302830}{4000} = 75,71cm^2 = 7.571mm^2$ Arm. Inferior ($\approx 22\phi 20$)
- Armadura Secundaria = $\frac{1}{10} A_{spl} = \frac{1}{10} 7571 = 757,1mm^2$ Arm. Superior ($\approx 8\phi 12$)
- Cercos verticales = $\frac{4}{1000} \times L \times B^* = \frac{4}{1000} \times 6500 \times \frac{1500}{2} = 19500mm^2$
- Cercos horizontales = $\frac{4}{1000} \times h \times B^* = \frac{4}{1000} \times 1500 \times \frac{1500}{2} = 4500mm^2$

4.4.11 Dimensionamiento de grupo de 3 pilotes en suelo granular

Mantenemos los criterios anteriores, en lo que respecta a las características del suelo, añadimos un pilote mas al encepado.(Fig.15)

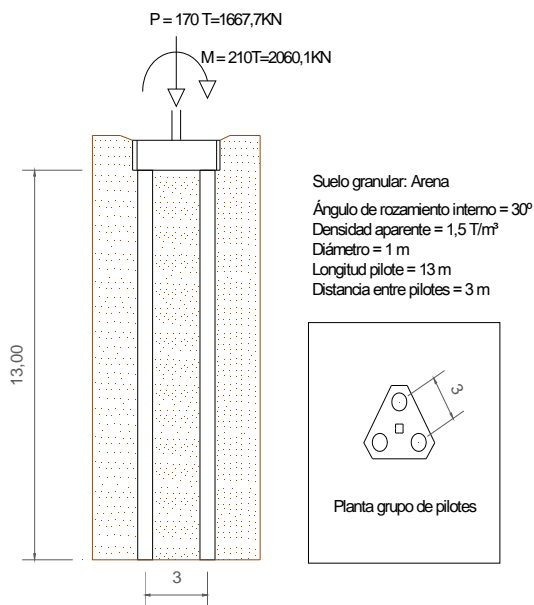


Fig. 15. Croquis de grupo de 3 pilotes con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

- Geometría del encepado:

$$A \geq 3D = 3 \times 1 = 3 \text{ m}$$

(La distancia al borde del encepado del pilote más próximo es 25 cm)

- Carga sobre cada uno de los pilotes:

Se considera que el axil se reparte entre los tres pilotes y los momentos ejercen una acción de compresión y tracción igual al valor del momento entre la distancia de pilotes (Fig. 16), esto es:

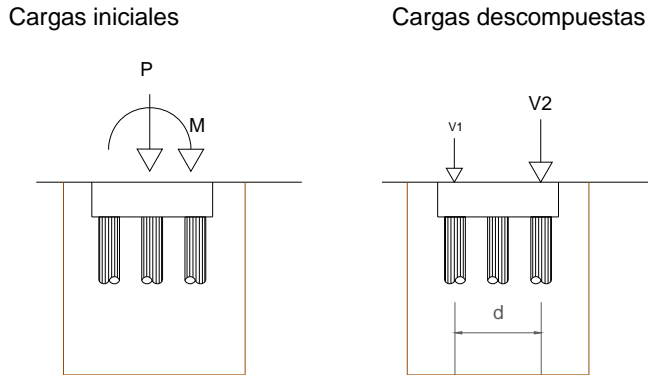


Fig.16. Cargas iniciales grupo de tres pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$$P=1.667,7 \text{ KN}$$

$$M=2.060 \text{ KNm}$$

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060}{3} = 147,13 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060}{3} = 1520,46 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 0,6 m y longitud 13 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 703,76 + 171,93 = 875,69 \text{ T} = 8590,52 \text{ KN}$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8590,52}{3} = 2863,5 \text{ KN}$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ} \text{ pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 3 \times 8590,52 = 25.771,56 \text{ KN}$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{25771,56}{3} = 8590,52 \text{ KN}$$

Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,59 \text{ KN} < \text{Resistencia de Grupo} = 25.771,56 \text{ KN}$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,46 \text{ KN} < \text{Carga adm. del pilote} = 2.863,5 \text{ KN}$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.12 Dimensionamiento de grupo de 3 pilotes en suelo cohesivo (Fig.17)

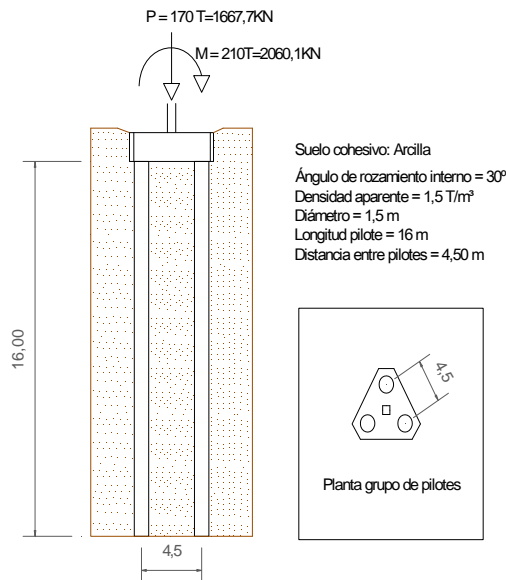


Fig. 17. Croquis de grupo de 3 pilotes con diámetro 1,5 m y longitud pilote 16 m

- Geometría del encepado:

$$A \geq 3D = 3 \times 1,5 \cong 4,5m$$

(La distancia al borde del encepado del pilote más próximo es 25 cm)

- CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

Se considera que el axil se reparte entre los tres pilotes y los momentos ejercen una acción de compresión y tracción igual al valor del momento entre la distancia de pilotes (Fig. 18), esto es:

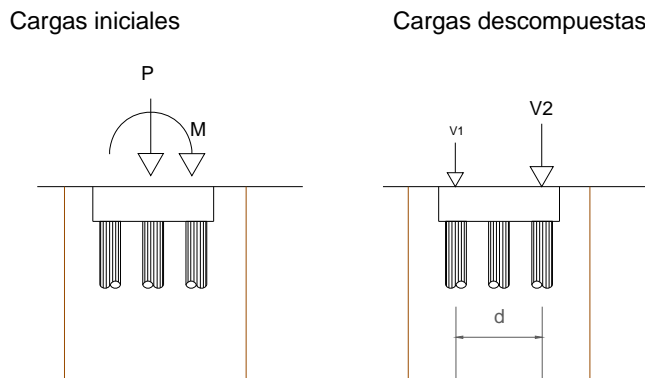


Fig.18. Cargas iniciales grupo de tres pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$$P = 1.667,7 \text{ KN}$$

$$M = 2.060 \text{ KNm}$$

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060}{4,5} = 376,02 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060}{4,5} = 1291,57 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1,5 m y longitud 16 m, recordando.

- CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fk} + R_{pk} = 512,32 + 324,23 = 836,55T = 8206,55KN$$

- CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{8206,55}{3} = 2.735,5KN$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$.

- CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ}_{pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 3 \times 8206,55 = 24.619,65KN$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{24619,65}{3} = 8.206,55KN$$

- Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,59KN < Resistencia de Grupo = 24.619,65 KN$
- Carga p. aislado: pilote más cargado $V_2 = 1.291,57 < Carga adm. del pilote = 2.735,5 KN$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.13 Armado para grupo de 3 pilotes en suelo cohesivo

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.14 Dimensionamiento del encepado para grupo de 3 pilotes en suelo granulares

$$A = d = 3D = 3\phi = 3 \times 1 = 3m$$

$$h \geq \phi \Rightarrow h \geq 1m \Rightarrow h = 1,50m$$

4.4.14 Dimensionamiento del encepado para grupo de 3 pilotes en suelo cohesivos:

$$A = d = 3D = 3\phi = 3 \times 1,5 = 4,5m$$

$$h \geq \phi \Rightarrow h \geq 1,5m \Rightarrow h = 2m$$

4.4.14 Armado del encepado para grupo de 3 pilotes en suelo granulares

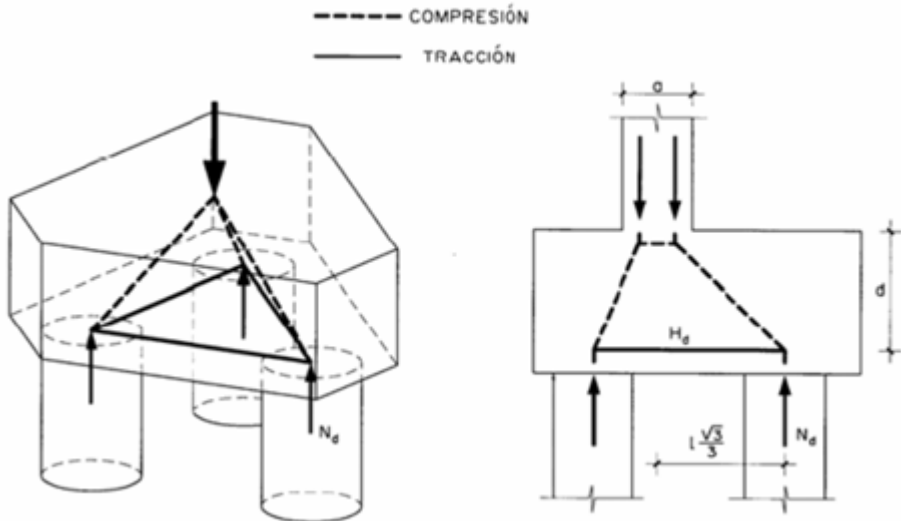


Fig.19. Reparto cargas encepado rígido para 3 pilotes.

- **Armado principal inferior entre pilotes A_{spl}** (entre cada dos pilotes), esta armadura deberá soportar la tracción, T_d :

$$T_d = \frac{0,68 \times N_d (0,58 \times A - 0,25a)}{d} = \frac{0,68 \times 1291,57 (0,58 \times 3 - 0,25 \times 0,30)}{1,5 - 0,10} = 1044,5 \text{ KN}$$

$$A_{spl} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{1044,5}{400000} = 0,002611 \text{ m}^2 = 2611 \text{ mm}^2 = 8\phi 16$$

- **Armadura secundaria inferior A_{ss} :**

$$A_{ss} = \frac{1}{4} A_{spl} = \frac{2611}{4} = 652,82 \text{ mm}^2, \text{ en cada dirección, } A_{ss} = 8\phi 10 \text{ mm / m}$$

- **Armadura longitudinal superior A_{sl} :**

$$A_{sl} = \frac{1}{10} A_{spl} = \frac{2611}{10} = 261,1 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 10 \text{ mm}$$

- **Armadura cercos verticales entre pilotes A_{scv} :**

$$A_{scv} = \frac{N_{ds}}{1,5n^\circ \times f_{yd}} = \frac{1667,7}{1,5 \times 3 \times 400000} = 0,0009265 \text{ m}^2 = 926,5 \text{ mm}^2 \text{ a distribuir en}$$

$$\text{cercos de dos ramas} \Rightarrow \frac{926,5}{2} = 463,25 \text{ mm}^2 \Rightarrow 8\phi 10 \text{ mm distribuidos entre pilotes}$$

4.4.15 Armado del encepado para grupo de 3 pilotes en suelo cohesivos

- **Armado principal inferior entre pilotes A_{spl}** (entre cada dos pilotes), esta armadura deberá soportar la tracción, T_d :

$$T_d = \frac{0,68 \times N_d (0,58 \times A - 0,25a)}{d} = \frac{0,68 \times 1291,57 (0,58 \times 4,5 - 0,25 \times 0,30)}{2 - 0,10} = 1171,79 \text{ KN}$$

$$A_{spl} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{1171,79}{400000} = 0,002929 \text{ m}^2 = 2929 \text{ mm}^2 = 8\phi 16$$

- **Armadura secundaria inferior A_{ss} :**

$$A_{ss} = \frac{1}{4} A_{spl} = \frac{2929}{4} = 732,25 \text{ mm}^2, \text{ en cada dirección, } A_{ss} = 8\phi 10 \text{ mm / m}$$

- **Armadura longitudinal superior A_{sl} :**

$$A_{sl} = \frac{1}{10} A_{spl} = \frac{2929}{10} = 292,9 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 10 \text{ mm}$$

- **Armadura cercos verticales entre pilotes A_{scv} :**

$$A_{scv} = \frac{N_{ds}}{1,5n^\circ \times f_{yd}} = \frac{1667,7}{1,5 \times 3 \times 400000} = 0,0009265 \text{ m}^2 = 926,5 \text{ mm}^2 \text{ a distribuir en}$$

$$\text{cercos de dos ramas} \Rightarrow \frac{926,5}{2} = 463,25 \text{ mm}^2 \Rightarrow 8\phi 10 \text{ mm distribuidos entre pilotes}$$

4.4.16 Pilote aislado, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

A partir de este apartado se plantea un suelo heterogéneo, es decir una mezcla de suelo granular y cohesivo, se cambiara su ubicación para ver como afecta al dimensionamiento de los pilotes (Fig. 20). El proceso de cálculo es similar, con un sumatorio para calcular la carga de hundimiento, solo que ahora habrá dos datos para el fuste.

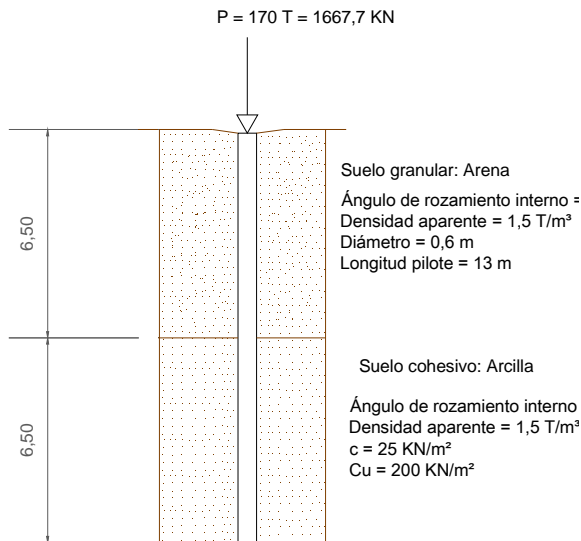


Fig. 20. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 0,6 m y longitud pilote 13 m

- **Tramo Suelo Granular**

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120 KPa$

Donde:

$K_f=0,75$ (pilote perforado)

$f=1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z = 6,5m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 6,5 = 9,75T / m^3$, suponemos que no

hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

σ'_v para $z=0m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T / m^3$, suponemos que no hay nivel

freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 9,75}{2} = 4,87T / m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi = 4,87 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,11T / m^2 = 20,69KN / m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 6,5 = 12,25m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 20,69 \times 12,25 = 253,49KN$$

▪ Tramo Suelo Cohesivo

Se hacen los cálculos con el supuesto de corto plazo por ser el más desfavorable

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800KN / m^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0,6^2}{4} = 0,282m^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,282 = 508,9KN$$

FUSTE: $\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66KN / m^2$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 6,5 = 12,25m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 12,25 = 816,71KN$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 816,71 + 253,49 + 508,9 = 1.579,1KN$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{1579,1}{3} = 526,36KN$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7KN$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

Como con los supuestos adoptados el pilote no cumple, se recalcula el pilote para un diámetro de 1 m y la misma longitud anterior (Fig. 21), esto es:

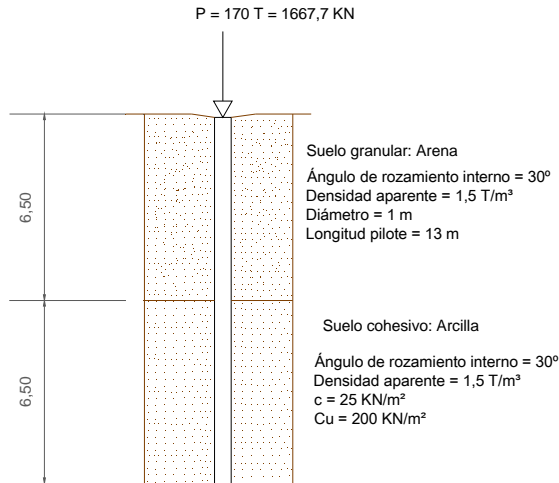


Fig. 21. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

▪ **Tramo Suelo Granular**

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120KPa$

Donde:

$K_f=0,75$ (pilote perforado)

$f=1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z=6,5m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 6,5 = 9,75T/m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

σ'_v para $z=0m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T/m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 9,75}{2} = 4,87T/m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi = 4,87 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,11T/m^2 = 20,69KN/m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 6,5 = 20,42m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 20,69 \times 20,42 = 422,48 \text{KN}$$

▪ **Tramo Suelo Cohesivo**

Se hacen los cálculos con el supuesto de corto plazo por ser el más desfavorable

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{KN} / \text{m}^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,78 \text{m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,78 = 1404 \text{KN}$$

FUSTE: $\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{KN} / \text{m}^2$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 6,5 = 20,42 \text{m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 20,42 = 1361,2 \text{KN}$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 1361,2 + 422,48 + 1404 = 3187,68 \text{KN}$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{3187,68}{3} = 1062,56 \text{KN}$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7 \text{KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

Se recalcula el pilote para un diámetro de 1 m y una longitud de 16 m (Fig.22), (usando el supuesto de corto plazo), esto es:

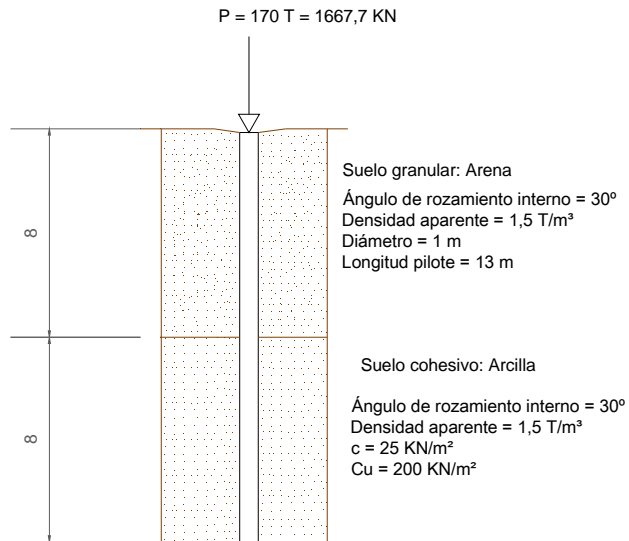


Fig. 22. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 1 m y longitud pilote 16 m

▪ **Suelo granular:**

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi \leq 120KPa$

Donde:

$K_f=0,75$ (pilote perforado)

$f=1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z = 8m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 8 = 12T / m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

σ'_v para $z = 0m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T / m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 12}{2} = 6T / m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times tg\phi = 6 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,59T / m^2 = 25,47KN / m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 8 = 25,13m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 25,47 \times 25,13 = 640,12 \text{ KN}$$

▪ **Suelo Cohesivo:**

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800 \text{ KN} / \text{m}^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 0,785 = 1350 \text{ KN} / \text{m}^2$$

FUSTE: $\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 8 = 25,13 \text{ m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 25,13 = 1675,3 \text{ KN}$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 1675,3 + 640,12 + 1350 = 3.665,42 \text{ KN}$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{3665,42}{3} = 1.221,8 \text{ KN}$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7 \text{ KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

El los distintos supuestos se ve que el diámetro es más determinante a la hora de conseguir un carga admisible mayor (Fig.23), por lo que esta vez se calculara el pilote con diámetros de 1,5 m y la longitud de 16 m

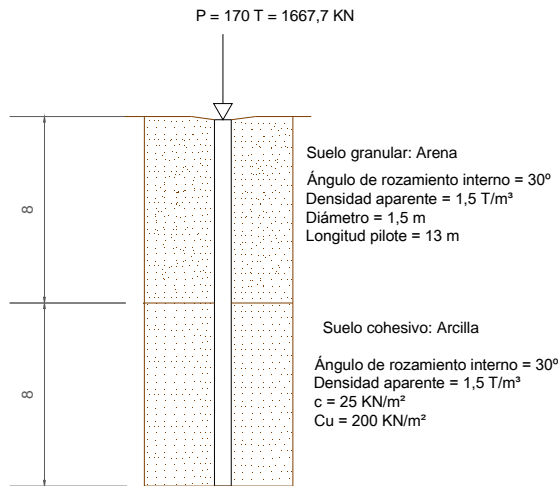


Fig. 23. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 1,5 m y longitud pilote 16 m

▪ **Suelo granular:**

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \text{tg}\phi \leq 120 \text{ KPa}$

Donde:

$K_f = 0,75$ (pilote perforado)

$f = 1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z = 8 \text{ m}$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 8 = 12 \text{ T/m}^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

σ'_v para $z = 0 \text{ m}$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0 \text{ T/m}^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 12}{2} = 6 \text{ T/m}^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \text{tg}\phi = 6 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,59 \text{ T/m}^2 = 25,47 \text{ kN/m}^2 \leq 120 \text{ KPa}$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,75 \times 8 = 37,7m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 25,47 \times 25,13 = 960,17KN$$

▪ **Suelo Cohesivo:**

PUNTA: $q_p = 9 \times Cu = 9 \times 200 = 1800KN / m^2$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1,5^2}{4} = 1,767m^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 1800 \times 1,767 = 3180,77KN / m^2 = 324,23T$$

FUSTE: $\tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66KN / m^2$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,75 \times 8 = 37,7m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 37,7 = 2510,29KN$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 2510,29 + 960,17 + 3180,77 = 6653,89KN$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{836,55}{3} = 2217,96KN$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7KN$, como $P < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**

TOPE ESTRUCTURAL: $Q_{TOPE} = \sigma \times A$, donde $\sigma = 4MPa$ suponemos pilote con control de perímetro.

$$Q_{TOPE} = \sigma \times A = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 4 \times \pi \times \frac{1,5^2}{4} = 7,0683MPa = 7068,3KN \quad (\text{El tope estructural no condiciona la carga de hundimiento}).$$

4.4.17 Armado pilote aislado, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

Con los dimensionamientos obtenidos es el hormigón el que resiste toda la carga, habrá por tanto que poner la armadura mínima.

- Armadura Longitudinal

$$A_c = A_p = \text{área de sección del pilote} = 1,767 \text{ m}^2$$

$$\text{Mínima geométrica} = 0,4\% A_c = \frac{0,4}{100} \times 1,767 = 0,007066 \text{ m}^2 = 7.066 \text{ mm}^2$$

Armado (mínimo 6 barras, separación max. 200 mm, diámetro mínimo 12mm)=
 $30\phi 16$ (a 14cm aprox.)

- Armadura transversal (cercos)

Armado (separación máxima $\leq 150\text{mm}$) = Tomamos diámetro 12 a 24 cm (esto es, 15 veces diámetro 16).

4.4.18 Pilote aislado, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

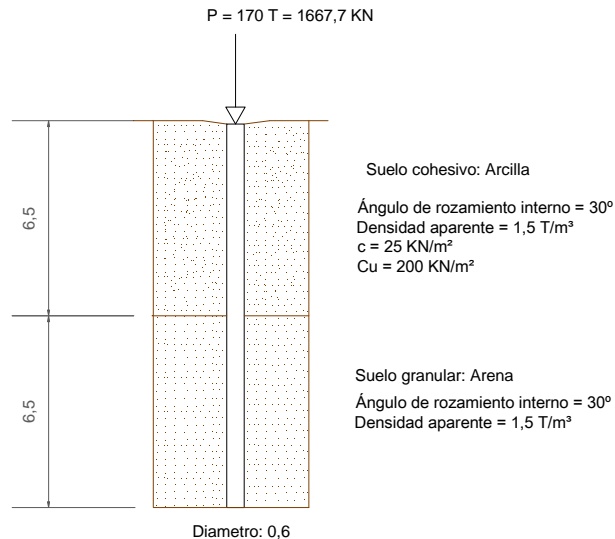


Fig. 24. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 0,6 m y longitud pilote 13 m

▪ **Tramo Suelo Granular**

PUNTA: $q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20MPa$

Donde:

$$f_p = 2,5 \text{ (pilote perforado)}$$

$$N_q = \frac{1 + \operatorname{sen}\varphi}{1 - \operatorname{sen}\varphi} \times e^{\pi \times \operatorname{tg}\varphi} = \frac{1 + \operatorname{sen}30}{1 - \operatorname{sen}30} \times e^{\pi \times \operatorname{tg}30} = 18,39$$

σ'_v para $z = 6,5m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 6,5 = 9,75T/m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$

$$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q = 2,5 \times 9,75 \times 18,39 = 448,25T/m^2 = 4397,39KN/m^2$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0,6^2}{4} = 0,282m^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 4397,39 \times 0,282 = 1240,06KN$$

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg}\phi \leq 120KPa$

Donde:

$K_f = 0,75$ (pilote perforado)

$f = 1$ (pilote in-situ)

σ'_v para $z = 0m$ $\sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T/m^3$, suponemos que no hay nivel freático $\sigma'_v = \sigma_v$. Sacamos el valor medio de σ'_v , esto es:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 9,75}{2} = 4,87T/m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg}\phi = 4,87 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,11T/m^2 = 20,69KN/m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 6,5 = 12,25m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 20,69 \times 12,25 = 253,49KN$$

▪ **Tramo Suelo Cohesivo**

Se hacen los cálculos con el supuesto de corto plazo por ser el más desfavorable

$$\text{FUSTE: } \tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,3 \times 6,5 = 12,25 \text{m}^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 12,25 = 816,71 \text{KN}$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkg} = 816,71 + 253,49 + 1240,06 = 2310,26 \text{KN}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{2310,26}{3} = 770,07 \text{KN}$$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7\text{KN}$, como $P > R_{cd}$ implica que el pilote **no cumple**.

Se recalcula el pilote para un diámetro de 1 m y una longitud de 16 m (Fig.25), esto es:

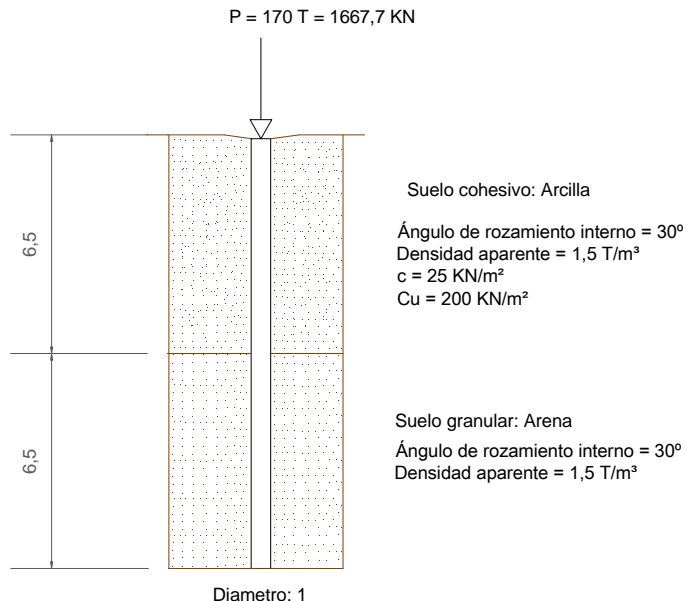


Fig. 25. Croquis de pilote en suelo heterogéneo con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

- **Tramo Suelo Granular**

PUNTA: $q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q \leq 20MPa$

Donde:

$$f_p = 2,5 \text{ (pilote perforado)}$$

$$N_q = \frac{1 + \operatorname{sen}\phi}{1 - \operatorname{sen}\phi} \times e^{\pi \times \operatorname{tg}\phi} = \frac{1 + \operatorname{sen}30}{1 - \operatorname{sen}30} \times e^{\pi \times \operatorname{tg}30} = 18,39$$

$$\sigma'_v \text{ para } z = 6,5\text{m} \quad \sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 6,5 = 9,75T/m^3, \text{ suponemos que no hay nivel freático } \sigma'_v = \sigma_v$$

$$q_p = f_p \times \sigma'_v \times N_q = 2,5 \times 9,75 \times 18,39 = 448,25T/m^2 = 4397,39KN/m^2$$

$$A_p = \pi \times \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{1^2}{4} = 0,785m^2$$

$$R_{pk} = q_p \times A_p = 4397,39 \times 0,785 = 3451,95KN$$

FUSTE: $\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg}\phi \leq 120KPa$

Donde:

$$K_f = 0,75 \text{ (pilote perforado)}$$

$$f = 1 \text{ (pilote in-situ)}$$

$$\sigma'_v \text{ para } z = 0\text{m} \quad \sigma_v = \gamma_{ap} \times L = 1,5 \times 0 = 0T/m^3, \text{ suponemos que no hay nivel freático } \sigma'_v = \sigma_v. \text{ Sacamos el valor medio de } \sigma'_v, \text{ esto es:}$$

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sigma'_{v0} + \sigma'_{v13}}{2} = \frac{0 + 9,75}{2} = 4,87T/m^3$$

$$\tau_f = \sigma'_v \times K_f \times f \times \operatorname{tg}\phi = 4,87 \times 0,75 \times 1 \times 0,577 = 2,11T/m^2 = 20,69KN/m^2 \leq 120KPa$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 6,5 = 20,42m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 20,69 \times 20,42 = 422,48KN$$

▪ **Tramo Suelo Cohesivo**

Se hacen los cálculos con el supuesto de corto plazo por ser el más desfavorable

$$\text{FUSTE: } \tau_f = \frac{100 \times Cu}{100 + Cu} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \text{ KN} / m^2$$

$$A_f = 2\pi \times R \times L = 2\pi \times 0,5 \times 6,5 = 20,42 m^2$$

$$R_{fk} = \tau_f \times A_f = 66,66 \times 20,42 = 1361,18 \text{ KN}$$

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkg} = 1361,18 + 422,48 + 3451,56 = 5235,22 \text{ KN}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{5235,22}{3} = 2617,61 \text{ KN}$$

CARGA SOBRE EL PILOTE: $P=1667,7 \text{ KN}$, como $P < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

TOPE ESTRUCTURAL: $Q_{TOPE} = \sigma \times A$, donde $\sigma = 4 \text{ MPa}$ suponemos pilote con control de perímetro.

$$Q_{TOPE} = \sigma \times A = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 4 \times \pi \times \frac{1^2}{4} = 3,1415 \text{ MPa} = 7141,5 \text{ KN} \quad (\text{El tope estructural no condiciona la carga de hundimiento}).$$

4.4.19 Armado pilote aislado, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

Con los dimensionamientos obtenidos es el hormigón el que resiste toda la carga, habrá por tanto que poner la armadura mínima.

▪ Armadura Longitudinal

$$A_c = A_p = \text{área de sección del pilote} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\text{Mínima geométrica} = 0,4\% A_c = \frac{0,4}{100} \times 0,785 = 0,00314 \text{ m}^2 = 3.140 \text{ mm}^2$$

Armado (mínimo 6 barras, separación max. 200 mm, diámetro mínimo 12mm)=
20φ16 (a 15cm aprox.)

- Armadura transversal (cercos)

Armado (separación máxima $\leq 150\text{mm}$) = Tomamos diámetro 12 a 24 cm (esto es, 15 veces diámetro 16)

4.4.20 Dimensionamiento de grupo de pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

Vamos ahora, manteniendo los supuestos anteriores, a calcular las dimensiones de un grupo de pilotes para un suelo heterogéneo (Fig.26), esto es:

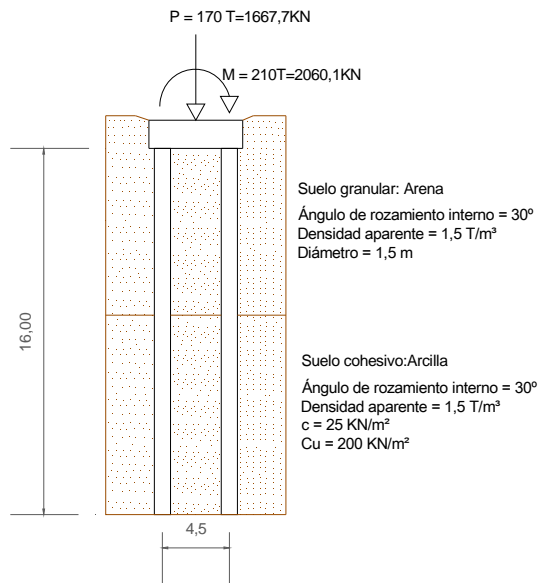


Fig. 26. Croquis de grupo de 2 pilotes en suelo heterogéneo con diámetro 1,5 m y longitud pilote 16 m

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

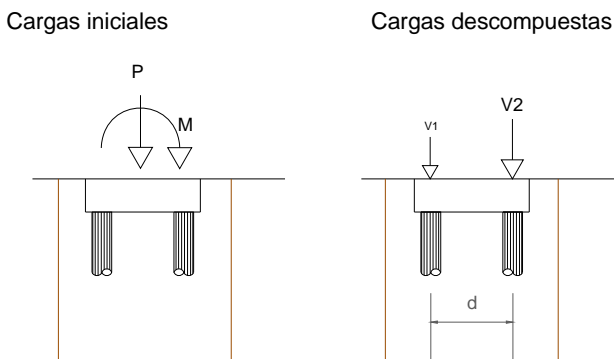


Fig.27. Cargas iniciales grupo de dos pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$P=170 T= 1667,7 \text{ KN}$ La carga vertical se reparte entre ambas por igual
 $M=210 T= 2060,1 \text{ KN}$ El momento descarga un pilote y recarga el otro

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060,1}{3} = 147,15 T$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{170}{2} + \frac{210}{3} = 1520,7 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1,5 m y longitud 16 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 2510,29 + 960,17 + 3180,77 = 6653,89 \text{ KN}$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{6653,89}{3} = 2217,96 \text{ KN}$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ}_{pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 2 \times 6653,89 = 13307,78T$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{13307,78}{3} = 4435,93KN$$

Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,85KN < Resistencia de Grupo = 13307,78 KN$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,7 KN < Carga adm. del pilote = 2217,96 KN$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.21 Armado de grupo de pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.22 Dimensionamiento de encepado para grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

Diámetro: 1,5m	→	$S=3D= 4,5m$, cumple la separación min. entre ejes
$h=1,5 m$	→	$V=2,25 m$, cumple condición de rigidez.
Largo encepado	→	$L= 0,25+R+3D+R+0,25= 0,25+0,75+4,5+0,75+0,25 = 6,5 m$
Ancho encepado	→	$A=D + 2 \times 0,25= 2m$

4.4.23 Armado de encepado para grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

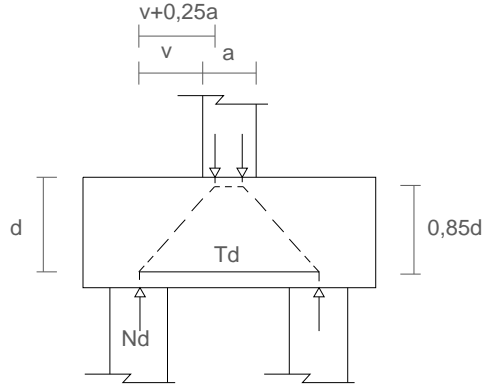


Fig.28. Reparto cargas encepado rígido para 2 pilotes.

- Tracción cálculo:

$$\frac{N_d(v + 0,25a)}{0,85d} = \frac{155(2,25 + 0,25 \times 0,30)}{0,85 \times (1,5 - 0,1)} = \frac{360,37}{1,19} = 302,83T$$
- Arm.Principal = $\frac{T_d}{f_{dy}} = \frac{302830}{4000} = 75,71cm^2 = 7.571mm^2$ Arm. Inferior ($\approx 22\phi 20$)
- Armadura Secundaria = $\frac{1}{10} A_{spl} = \frac{1}{10} 7571 = 757,1mm^2$ Arm. Superior ($\approx 8\phi 12$)
- Cercos verticales = $\frac{4}{1000} \times L \times B^* = \frac{4}{1000} \times 6500 \times \frac{1500}{2} = 19500mm^2$
- Cercos horizontales = $\frac{4}{1000} \times h \times B^* = \frac{4}{1000} \times 1500 \times \frac{1500}{2} = 4500mm^2$

4.4.24 Dimensionamiento de grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior) (Fig.29)

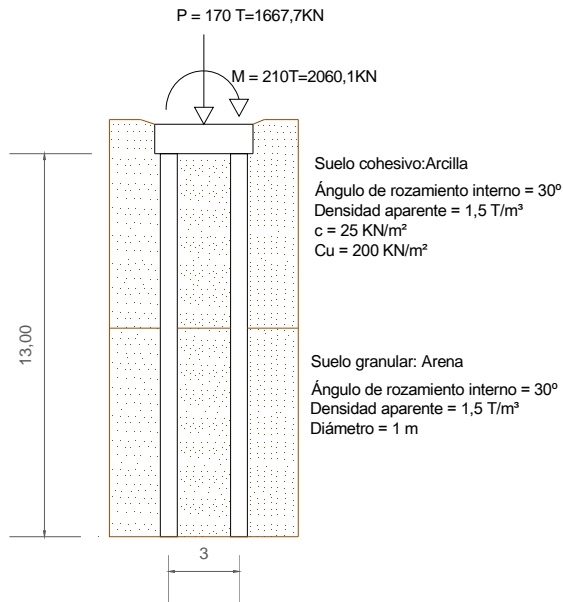
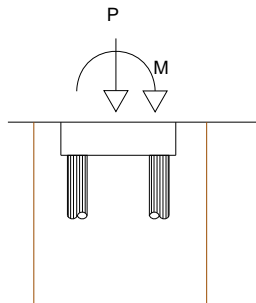


Fig. 29. Croquis de grupo de 2 pilotes en suelo heterogéneo con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

Cargas iniciales



Cargas descompuestas

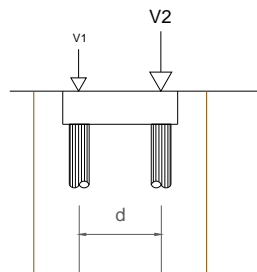


Fig.30. Cargas iniciales grupo de dos pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$P=170$ T= 1667,7 KN La carga vertical se reparte entre ambas por igual
 $M=210$ T= 2060,1 KN El momento descarga un pilote y recarga el otro

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060,1}{3} = 147,15T$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{170}{2} + \frac{210}{3} = 1520,7KN$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1 m y longitud 13 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkg} = 1361,18 + 422,48 + 3451,56 = 5235,22KN$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{5235,22}{3} = 2617,61KN$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ}_{pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 2 \times 5235,22 = 10470,44KN$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{10470,44}{3} = 3490,15KN$$

Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,85KN < Resistencia de Grupo = 10470,44 KN$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,7 KN < Carga adm. del pilote = 2617,61 KN$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.25 Armado de grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.26 Dimensionamiento de encepado de grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

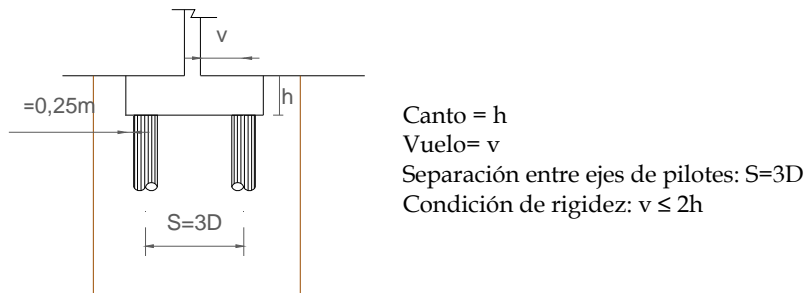


Fig.31. Dimensiones mínimas para la realización de un encepado.

Diámetro: 1m	→	$S=3D= 3m$, cumple la separación mínima entre ejes
$h=1 m$	→	$V=1,30 m$, cumple condición de rigidez
Largo encepado	→	$L=0,25+R+3D+R+0,25=0,25+0,5+3+0,5+0,25=4,50m$
Ancho encepado	→	$A=D + 2 \times 0,25= 1,50m$

4.4.26 Armado de encepado de grupo de 2 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

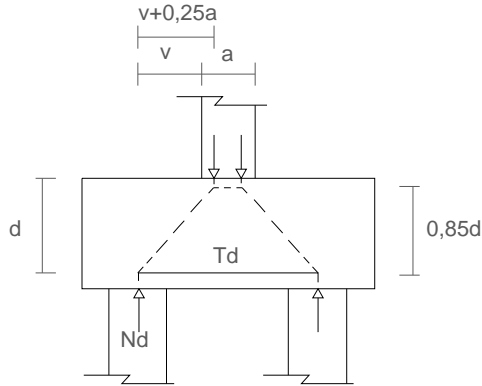


Fig.32. Reparto cargas encepado rígido para 2 pilotes.

- Tracción de cálculo:

$$\frac{N_d(v + 0,25a)}{0,85d} = \frac{155(1,30 + 0,25 \times 0,30)}{0,85 \times (1 - 0,1)} = \frac{213,12}{0,765} = 278,58T$$
- Arm.Principal = $\frac{T_d}{f_{dy}} = \frac{278.580}{4000} = 69,64cm^2 = 6964mm^2$ Arm.Inferior ($\approx 20\phi 20$)
- Armadura Secundaria = $\frac{1}{10} A_{spl} = \frac{1}{10} 6964 = 696,4mm^2$ Arm. Sup. ($\approx 6\phi 12$)
- Cercos verticales = $\frac{4}{1000} \times L \times B^* = \frac{4}{1000} \times 4500 \times \frac{1000}{2} = 9000mm^2$
- Cercos horizontales = $\frac{4}{1000} \times h \times B^* = \frac{4}{1000} \times 1000 \times \frac{1000}{2} = 500mm^2$

4.4.27 Dimensionamiento de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

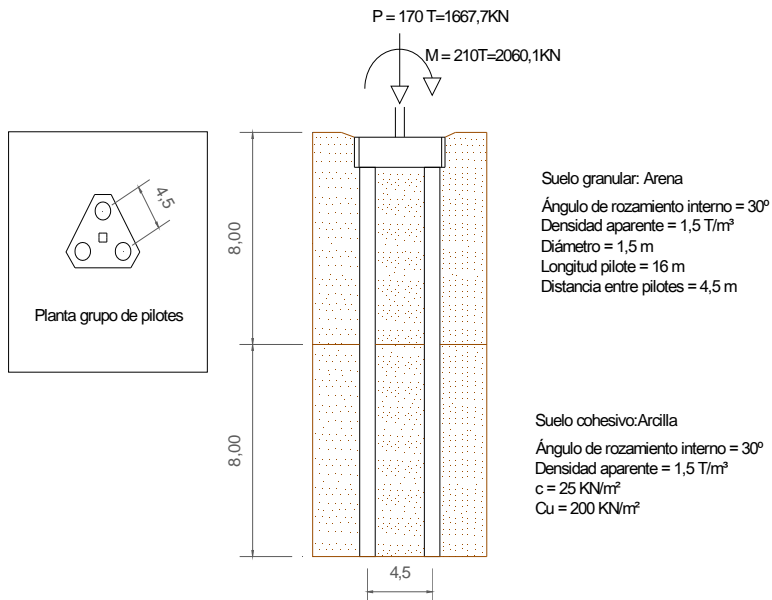


Fig. 33. Croquis de grupo de 3 pilotes en suelo heterogéneo con diámetro $1,5 \text{ m}$ y longitud pilote 16 m

Geometría del encepado:

$$A \geq 3D = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ m}$$

(La distancia al borde del encepado del pilote más próximo es 25 cm)

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

Se considera que el axil se reparte entre los tres pilotes y los momentos ejercen una acción de compresión y tracción igual al valor del momento entre la distancia de pilotes, esto es:

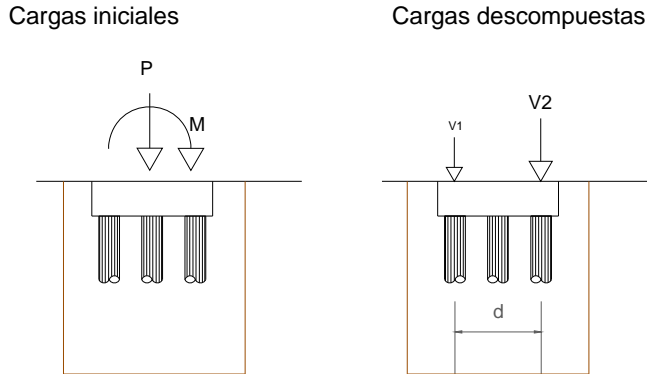


Fig.34. Cargas iniciales grupo de dos pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$$P=1.667,7 \text{ KN}$$

$$M=2.060 \text{ KNm}$$

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060}{3} = 147,13 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060}{3} = 1520,46 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1,5 m y longitud 16 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkc} = 2510,29 + 960,17 + 3180,77 = 6653,89 \text{ KN}$$

CARGA ADMISIBLE: $R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{836,55}{3} = 2217,96 \text{ KN}$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ}_{pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 3 \times 6653,89 = 19.961,67 \text{ KN}$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{19961,67}{3} = 6653,89 \text{ KN}$$

Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,59 \text{ KN} < \text{Resistencia de Grupo} = 19.961,67 \text{ KN}$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,46 \text{ KN} < \text{Carga adm. del pilote} = 2.217,96 \text{ KN}$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.28 Armado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.29 Dimensionamiento de encepado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

$$A = d = 3D = 3\phi = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ m}$$

$$h \geq \phi \Rightarrow h \geq 1,5 \text{ m} \Rightarrow h = 2 \text{ m}$$

4.4.30 Armado de encepado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (granular zona superior, cohesivo inferior)

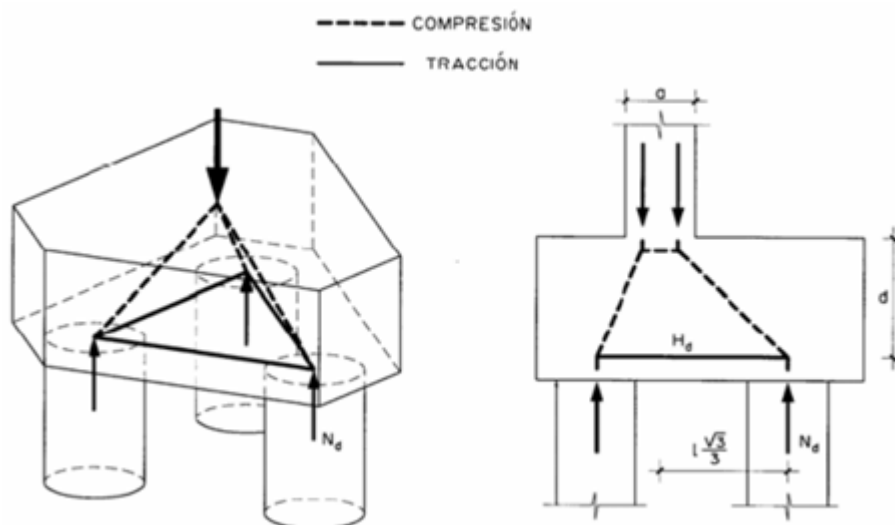


Fig.35. Reparto cargas encepado rígido para 3 pilotes.

- **Armado principal inferior entre pilotes A_{spl}** (entre cada dos pilotes), esta armadura deberá soportar la tracción, T_d :

$$T_d = \frac{0,68 \times N_d (0,58 \times A - 0,25a)}{d} = \frac{0,68 \times 1291,57 (0,58 \times 4,5 - 0,25 \times 0,30)}{2 - 0,10} = 1171,79 \text{ KN}$$

$$A_{spl} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{1171,79}{400000} = 0,002929 \text{ m}^2 = 2929 \text{ mm}^2 = 8\phi 16$$

- **Armadura secundaria inferior A_{ss} :**

$$A_{ss} = \frac{1}{4} A_{spl} = \frac{2929}{4} = 732,25 \text{ mm}^2, \text{ en cada dirección, } A_{ss} = 8\phi 10 \text{ mm / m}$$

- Armadura longitudinal superior A_{sl} :

$$A_{sl} = \frac{1}{10} A_{spl} = \frac{2929}{10} = 292,9 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 10 \text{ mm}$$

- Armadura cercos verticales entre pilotes A_{scv} :

$$A_{scv} = \frac{N_{ds}}{1,5n^{\circ} \times f_{yd}} = \frac{1667,7}{1,5 \times 3 \times 400000} = 0,0009265 \text{ m}^2 = 926,5 \text{ mm}^2 \text{ a distribuir en}$$

cercos de dos ramas $\Rightarrow \frac{926,5}{2} = 463,25 \text{ mm}^2 \Rightarrow 8\phi 10 \text{ mm}$ distribuidos entre pilotes

4.4.31 Dimensionamiento de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

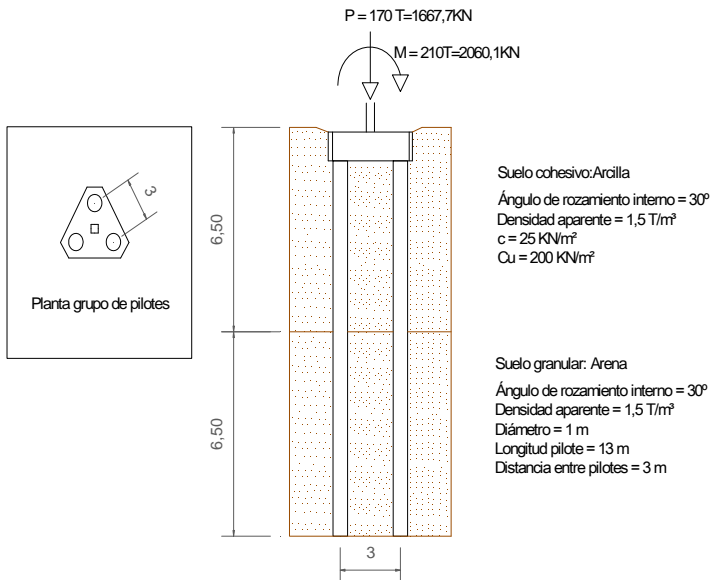


Fig. 35. Croquis de grupo de 3 pilotes en suelo heterogéneo con diámetro 1 m y longitud pilote 13 m

Geometría del encepado:

$$A \geq 3D = 3 \times 1 = 3m$$

(La distancia al borde del encepado del pilote más próximo es 25 cm)

CARGA SOBRE CADA UNO DE LOS PILOTES:

Se considera que el axil se reparte entre los tres pilotes y los momentos ejercen una acción de compresión y tracción igual al valor del momento entre la distancia de pilotes, esto es:

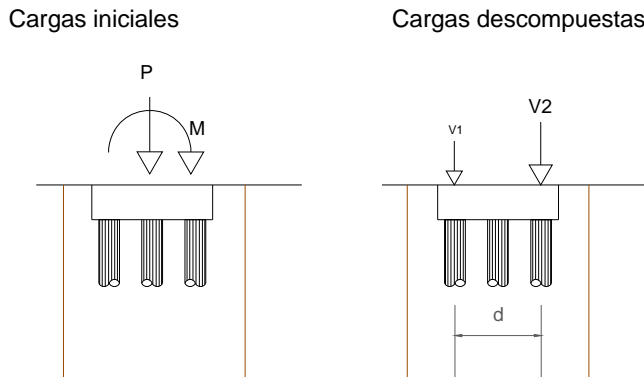


Fig.36. Cargas iniciales grupo de tres pilotes y cargas descompuestas para cálculo.

$$P = 1.667,7 \text{ KN}$$

$$M = 2.060 \text{ KNm}$$

$$V_1 = \frac{P}{2} - \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} - \frac{2060}{3} = 147,13 \text{ KN}$$

$$V_2 = \frac{P}{2} + \frac{M}{e} = \frac{1667,7}{2} + \frac{2060}{3} = 1520,46 \text{ KN}$$

Se toma la carga más grande V_2 y se compara con los datos obtenidos anteriormente con un pilote de diámetro 1 m y longitud 13 m, recordando.

CARGA DE HUNDIMIENTO:

$$R_{ck} = R_{fkc} + R_{fkg} + R_{pkg} = 1361,18 + 422,48 + 3451,56 = 5235,22 \text{ KN}$$

$$\text{CARGA ADMISIBLE: } R_{cd} = \frac{R_{ck}}{\gamma_R} = \frac{5235,22}{3} = 2617,61 \text{ KN}$$

$V_2 < R_{cd}$ implica que el pilote **cumple**.

Según el CTE al tratarse de un grupo de menos de 4 pilotes no hay que considerar el efecto de grupo, así que $\eta = 1$

CARGA DE HUNDIMIENTO Y ADMISIBLE DEL GRUPO DE PILOTES:

$$R_{ckGrupo} = \eta \times n^{\circ} \text{ pilotes} \times R_{ckAislado} = 1 \times 3 \times 5235,22 = 15705,66 \text{ KN}$$

$$R_{cdGrupo} = \frac{R_{ckGrupo}}{\gamma_R} = \frac{15705,66}{3} = 5235,22 \text{ KN}$$

Comprobaciones:

- Carga de Grupo $V_{tot} = 1667,59 \text{ KN} < \text{Resistencia de Grupo} = 15.705,66 \text{ KN}$
- Carga p. aislado: p. más cargado $V_2 = 1520,46 \text{ KN} < \text{Carga adm. del pilote} = 2.617,61 \text{ KN}$
- El pilote descargado no trabaja a tracción.

4.4.32 Armado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

La armadura de los pilotes será similar a la calculada para los pilotes aislados, ya que es la mínima por ser el hormigón el que soporta la carga.

4.4.32 Dimensionamiento de encepado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

$$A = d = 3D = 3\phi = 3 \times 1 = 3m$$

$$h \geq \phi \Rightarrow h \geq 1m \Rightarrow h = 1,50m$$

4.4.33 Armado de encepado de grupo de 3 pilote, en suelo heterogéneo (cohesivo zona superior, granular inferior)

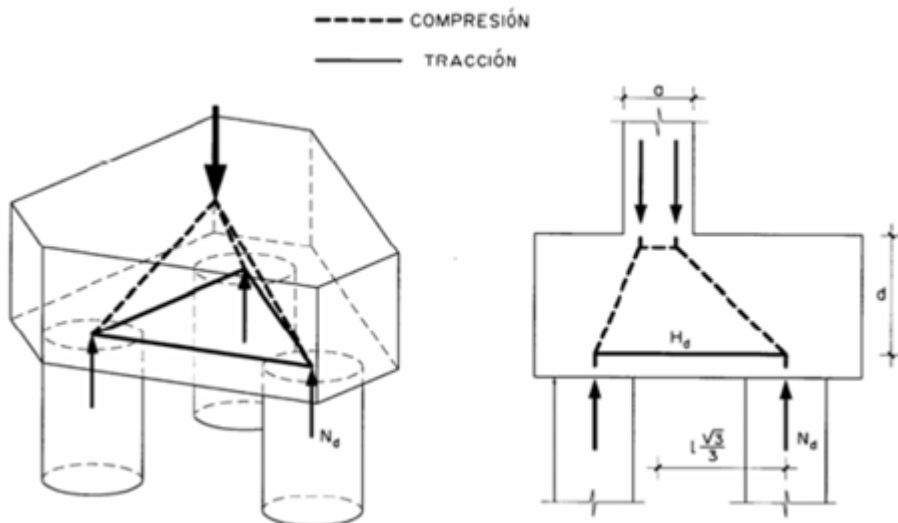


Fig.37. Reparto cargas encepado rígido para 3 pilotes.

- **Armado principal inferior entre pilotes A_{spl}** (entre cada dos pilotes), esta armadura deberá soportar la tracción, T_d :

$$T_d = \frac{0,68 \times N_d (0,58 \times A - 0,25a)}{d} = \frac{0,68 \times 1291,57 (0,58 \times 3 - 0,25 \times 0,30)}{1,5 - 0,10} = 1044,5 \text{ KN}$$

$$A_{spl} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{1044,5}{400000} = 0,002611 \text{ m}^2 = 2611 \text{ mm}^2 = 8\phi 16$$

- **Armadura secundaria inferior A_{ss} :**

$$A_{ss} = \frac{1}{4} A_{spl} = \frac{2611}{4} = 652,82 \text{ mm}^2, \text{ en cada dirección, } A_{ss} = 8\phi 10 \text{ mm / m}$$

- **Armadura longitudinal superior A_{sl} :**

$$A_{sl} = \frac{1}{10} A_{spl} = \frac{2611}{10} = 261,1 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4\phi 10 \text{ mm}$$

- **Armadura cercos verticales entre pilotes A_{scv} :**

$$A_{scv} = \frac{N_{ds}}{1,5n^{\circ} \times f_{yd}} = \frac{1667,7}{1,5 \times 3 \times 400000} = 0,0009265 \text{ m}^2 = 926,5 \text{ mm}^2 \text{ a distribuir en}$$

cercos de dos ramas $\Rightarrow \frac{926,5}{2} = 463,25 \text{ mm}^2 \Rightarrow 8\phi 10 \text{ mm}$ distribuidos entre pilotes.

4.5. Rozamiento negativo

Se produce rozamiento negativo cuando el asiento del terreno circundante al pilote es mayor que el asiento del pilote. El pilote soporta, además de las acciones de la estructura, parte del peso del terreno y aumenta su carga de compresión.

Las posibles causas que lo provocan son:

- Consolidación por su propio peso de rellenos recientes o posteriores
- Consolidación de niveles compresibles bajo sobrecargas superficiales
- Variaciones del nivel freático
- Humectación de niveles colapsables
- Asientos de materiales granulares por cargas dinámicas (vibraciones, sismo)
- Subsidiencias por excavaciones o disolución de materiales profundos

Es suficiente una pequeña diferencia de asientos (del orden de 1cm) para que se produzca rozamiento negativo. Actúa sobre el fuste, y puede calcularse como:

$$F_{s,neg} = \sum_{i=1}^n \beta_i \times \sigma'_{vi}$$

Donde: $\beta = 0,25$ en arcillas y limos blandos

$\beta = 0,1$ en arenas flojas

$\beta = 0,8$ en arenas densas

σ'_{vi} = la tensión efectiva en el punto de fuste considerado

Su efecto puede reducirse notablemente en pilotes prefabricados tratándolos mediante pinturas bituminosas.

4.6. Asiento de pilotes

4.6.1 Asiento de pilote aislado

Se supone que el asiento de un pilote aislado bajo carga vertical es igual al máximo admisible por razones de hundimiento, esto es, el 1% de su diámetro mas el acortamiento elástico del pilote. El asiento del pilote individual aislado (s_i), se estima como:

$$S_i = \left(\frac{D}{40 \times R_{ck}} + \frac{l_1 + \alpha \times l_2}{A \times E} \right) \times P$$

Donde: P= carga sobre la cabeza

D= diámetro del pilote (equivalente si no es circular)

L₁= Longitud del pilote fuera del terreno

L₂= Longitud del pilote dentro del terreno

A= Área de la sección transversal del pilote

E= Modulo de elasticidad del pilote

α = parámetro según el tipo de transmisión de cargas al terreno

$\alpha=1$ para pilotes que trabajan principalmente por punta

$\alpha=0,5$ para pilotes flotantes

Para situaciones intermedias: $\alpha = \frac{1}{R_{ck}} (0,5 \times R_{fk} + R_{pk})$

4.6.2 Asientos de grupos de pilotes

En los grupos de pilotes, debido a la interferencia de las cargas, el asiento de cada pilote puede ser mayor, para tenerlo en cuenta se adoptan las siguientes simplificaciones:

- Para pilotes columna por punta en roca, separados mas de tres diámetros, el efecto grupo se considera despreciable.
- Para otras situaciones, se supone que toda la carga del grupo está uniformemente repartida en un plano situado a la profundidad bajo la superficie del terreno:

$$Z = \alpha \times l_2$$

- Con las dimensiones transversales $B_1 * L_1$ dadas por:

$$B_1 = B_{grupo} + (1 - \alpha) \times l_2$$

$$L_1 = L_{grupo} + (1 - \alpha) \times l_2$$

Donde: B_{grupo} y L_{grupo} las dimensiones del grupo, formado por planos exteriores tangentes a los pilotes externos del grupo.

- El cálculo del asiento se estima entonces como el de las cimentaciones directas.

4.7. Empujes laterales del terreno causados por sobrecargas

En los suelos cohesivos blandos, como consecuencia de la aplicación de sobrecargas al terreno, pueden transmitirse empujes horizontales a lo largo del fuste del pilote, cuyo valor puede obtenerse en función del valor de la sobrecarga aplicada y la resistencia al corte sin drenaje de la arcilla.

En el caso de que la máxima componente de los empujes horizontales sea superior al 10% de la carga vertical compatible con ella, se deberán calcular los pilotes frente a los esfuerzos horizontales.

El empuje horizontal se estimara de acuerdo con la siguiente expresión:

$$p_h = p_v - 2c_u$$

Donde: p_v = la presión vertical en la parte superior del estrato blando considerando un reparto a 30° de las presiones en superficie.

c_u = la resistencia al corte sin drenaje

Se supondrá que cada pilote soporta una carga por unidad de longitud P_p igual al menor valor de los siguientes:

$$P_p = p_h \times S, \text{ siendo } S \text{ la separación entre ejes de pilotes}$$

$$P_p = p_h \times 3D, \text{ siendo } D \text{ el diámetro del pilote}$$

$$P_p = p_h \times H, \text{ siendo } H \text{ el espesor del estrato blando}$$

Una vez calculado el valor de P_p , se calcularán los momentos del pilote como una viga según las condiciones de apoyo siguiente:

- Empotramiento en la cabeza
- Empotramiento a 0,5 m en la capa resistente inferior
- Empotramiento a 1 m en capas resistentes situadas por encima si su espesor es superior a 8 diámetros.
- Articulación (apoyo) en capas resistentes situada por encima cuando su espesor es inferior a 8 diámetros.

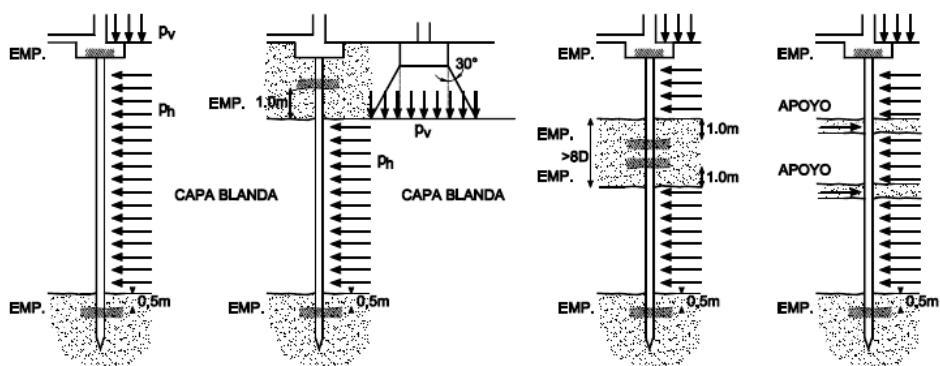


Fig. 38. Condiciones de apoyo para el cálculo de esfuerzos horizontales en los pilotes²⁸

²⁸ Figura 5.4 DB SE-C, CTE

5. CONTROL DE EJECUCIÓN

- 5.1. Análisis del proyecto
- 5.2. Control de la ejecución
 - 5.2.1. Control de calidad
 - 4.2.2. Control de plazos
 - 4.2.3. Control económico
 - 4.2.4. Control de seguridad
- 5.3. Control según EHE
- 5.4. Control ejecución de pilotes prefabricados
- 5.5. Ensayos y pruebas a realizar

5.1 Análisis de proyecto

El proyecto es el mejor vehículo para la definición y exigencia de los adecuados niveles de calidad de la obra. La calidad del proyecto aumenta en grado exponencial la calidad de la obra ejecutada.

Control de recogida de datos previos a la redacción del proyecto. Estudio geotécnico. (Tabla 1)

Datos	Recogidos	No recogidos	No procede
Localización en el solar los puntos de ensayo			
Naturaleza de los estratos			
Capacidad mecánica			
Espesor de los estratos			
Profundidad de los estratos			
Profundidad del plano de apoyo			
Tensión admisible			
Buzamientos			
Heterogeneidades			
Oquedades			
Situación del nivel freático			
Sustancias agresivas			
Asientos admisibles			
Observaciones			

Tabla 1. Análisis del estudio geotécnico

Ficha de chequeo: memoria del proyecto de ejecución

	Datos	Sí	No	No procede
1. Información sobre edificios próximos				
2. Información sobre el terreno				
Conclusiones del estudio geotécnico				
3. Tipo de Pilote				
4. Justificación de la elección del pilote				
5. Características de los materiales empleados				
Hormigón				
-Tipo				
-Componentes				
-Nivel de control				
Acero				
-Tipo				
-Niveles de control				
Tipo de acción				
-Nivel de control				
Durabilidad				
-Clase de exposición				
-Recubrimiento				
-Máxima relación agua/cemento (a/c)				
-Mínimo contenido en cemento (kg/m ²)				
-Resistencia mínima (N/mm ²)				
-Valor max. abertura de fisura (mm)				
6. Anejo de cálculo				
-Cumplimiento normativa aplicable				
-Solicitaciones que se transmiten				
-Carga admisible (N/mm ²)				
-Profundidad del cimiento				
-Método de cálculo				
-Simplificaciones adoptadas				
-Cálculo de los elementos del pilote				
Geometría				
Tipo de hormigón				
Armado				
-Dimensiones pilote				
-Encepados				
Observaciones:				

Ficha de chequeo: planos del proyecto de ejecución

Datos del pilote	Pilote	Datos	Si	No	No procede
1. Planta					
Identificación de pilote					
Cotas					
Centros de grupo de pilotes					
Nº de pilotes por grupo					
Encepados					
Dimensiones					
Canto					
Armaduras					
Recubrimiento					
Cuadro de características de los materiales					
-Hormigón					
Tipo					
Nivel de control					
Coficiente parcial de seguridad					
Resistencia de cálculo					
Recubrimiento mínimo					
-Acero					
Tipo					
Nivel de control					
Coficiente parcial de seguridad					
Resistencia de cálculo					
-Ejecución					
Coficientes parciales de seguridad					
Nivel de control					
Observaciones					

Ficha de chequeo: pliego de condiciones técnicas del proyecto de ejecución

Datos del pilote	Pilote	Datos	Si	No	No procede
1. Características de los mat.					
Hormigón: tipo, componentes...					
Acero: tipo					
Otros					
Normativa					
Sellos de calidad					
2. Control de recepción					
2.1. Hormigón					
Nivel de control					
Muestras					
-Nº lote					
-Nº amasadas/lote					
-Nº probetas/amasada					
Ensayos					
-Resistencia					
-Consistencia					
-Durabilidad					
Criterios aceptación y rechazo					
2.2. Acero					
Nivel de control					
Muestreo: numero de lotes					
Ensayos:					
C. reducido:sección, no formación de fisuras en zona de doblado					
C. normal: sección equivalente, caract. geométricas, doblado y desdob., Límite E. y soldabilidad					
Criterios aceptación o rechazo					
3. Control de ejecución					
Replanteos					
Actividades de inspección					
Criterios aceptación o rechazo					
4. Criterios medición las distintas ud. de obra					
5. Condiciones de uso y mantenimiento					
Observaciones					

5.2 Control de ejecución

El control de ejecución debe tener como finalidad conseguir que la obra ejecutada tenga la calidad prevista en el proyecto y, en su caso, en las modificaciones al proyecto aprobadas por la dirección facultativa y la propiedad. El control de ejecución está basado fundamentalmente en el control de calidad. Sin embargo en la fase de ejecución no hay que olvidar otros aspectos que también influyen en la calidad de la obra ejecutada como son: control de plazos, control económico de los costos y control de seguridad.

5.2.1. Control de calidad

Existen algunas normativas que fijan el control de calidad que se debe llevar a cabo en determinadas unidades de obra, en el caso de las cimentaciones por ejemplo, tenemos la EHE 08 (instrucción de hormigón estructural), que establece las condiciones de control, especialmente para los materiales constituyentes: hormigón, acero, etc.

Sin embargo hay otros aspectos que quedan más al margen y que son de gran importancia para la calidad del sistema constructivo, a continuación presentamos una serie de fichas de control que pueden servir para aplicar el control de calidad.

Ficha de control durante la ejecución: actividades previas

Actividades objeto de comprobación	Inspeccionado			Correcto	
	Si	No	No procede	Si	No
Directorio de agentes involucrados					
Existencia libros de registro y ordenes reglamentarios					
Existencia de archivo de certificados de materiales, hojas de suministro, resultados de control, documentos de proyecto y sist. de clasificación de cambios de proyecto o información complementaria					
Revisión de planos y documentos contractuales					
Existencia de c. de calidad de materiales de acuerdo con los niveles específicos					
Comprobación general de equipos : certificado de tarado en su caso					
Suministro y certificados de aptitud de materiales					
El asiento es conforme con lo previsto en el proyecto					
Replanteo de pilares y muros					
Replanteo de zapatas y otros elementos de cimientos: cotas, niveles, geometría, tolerancias					
Observaciones:					

Ficha de control durante la ejecución

Actividades	Dato	Inspeccionado			Correcto	
		Si	No	No procede	Si	No
1 Pilotes "in situ"						
1.1. Control de recepción de materiales						
Hormigón, según EHE 08						
Acero, según EHE 08						
1.2. Control de ejecución. Comprobación:						
Replanteo						
Proceso de perforación						
Continuidad del pilote						
Profundidad						
Verticalidad						
Longitud de solapo de armaduras						
Longitud de anclaje de la armadura al encepado						
Entrega de los pilotes al encepado						
Recubrimiento de las armaduras						
Consumo de hormigón						
Presión de hormigonado						
1.3. Condiciones de aceptación o rechazo, según la EHE 08						
2. Encepados						
2.1. control de recepción de materiales						
Hormigón, según EHE 08						
Acero, según EHE 08						
2.2. control de ejecución						
Dimensiones						
Canto						
Distancia de la cara del pilote a la del encepado						
Nivelación y ligera compactación del fondo						
Disposición de la armadura correcta						
Recubrimiento de las armaduras						
2.3. Condiciones de aceptación y rechazo						
Observaciones:						

5.2.2. Control de plazos

El control de plazos de ejecución exige como mínimo la existencia de un plan general de obra en el que se plantee un programa de trabajo que establezca el desarrollo de las distintas actividades en el tiempo y la existencia de un plan de recursos por parte de la empresa constructora para el cumplimiento del plan general de obra. El control de plazo puede hacerse con periodicidad mensual, quincenal, semanal e incluso diaria, de manera que se garantice el cumplimiento de objetivos concretos.

Con este control se conoce la marcha de la obra en el tiempo, una disminución de plazos no prevista con antelación puede derivar en una disminución de la calidad debida a la supresión de actividades o por la disminución de los tiempos de espera necesarios en la ejecución de determinadas unidades de obra.

5.2.3. Control económico

El objetivo del control económico es evitar la existencia de desviaciones en la ejecución de la obra con respecto al presupuesto. La ausencia de control sobre los costes de un capitulo, como nuestro caso es el pilotaje, puede ocasionar una disminución de la calidad a que para mantener el precio final, la calidad de las ultimas unidades puede verse disminuida.

Aunque la cimentación sea una de las primeras partidas a ejecutar, es necesario controlar las mediciones y las desviaciones de con suficiente antelación.

5.2.4. Control de seguridad

El control de seguridad tiene como objetivo la disminución de los accidentes laborales, tomando una serie de medidas para la prevención de riesgos. La disminución del riesgo lleva consigo la disminución del número y gravedad de los accidentes, ya que el riesgo nulo no existe.

Cuando se ponen las medidas de seguridad adecuadas la calidad de la ejecución aumenta.

5.3. Control de calidad según la EHE 08

A continuación recogemos las indicaciones fijadas en la instrucción EHE 08 para el control de calidad en las obras de hormigón.

5.3.1 Control de recepción del hormigón

Es necesario comprobar al llegar a obra que cada amasada de hormigón esté acompañada por una hoja de suministro que recoja los siguientes apartados:

Nombre de la central de fabricación de hormigón	
Nº de serie de la hoja de suministro	
Fecha de entrega	
Nombre del peticionario y del responsable de la recepción	
Especificación del hormigón:	
1. En caso de que el hormigón se designe por propiedades	Designación
	Contenido de cemento en kg/m ³ de hormigón con una tolerancia de aprox. 15 kg.
2. En caso de que el hormigón se designe por dosificación	Relación agua /cemento del hormigón con una tolerancia de aprox. 0,02
	Contenido de cemento por metro cúbico de hormigón
	Relación agua/cemento del hormigón con una tolerancia de aprox. 0,02
	El tipo de ambiente
	Tipo, clase y marca de cemento
	Consistencia
	Tamaño máximo del árido
	Tipo de aditivo, si no lo hubiese indicación expresa de que no lo hay
Procedencia y cantidad de adición si la hubiese, si no lo hubiese indicación expresa de que no lo hay	
Designación específica del lugar de suministro (nombre y lugar)	
Cantidad de hormigón que compone la carga, expresada en m ² de hormigón fresco	
Identificación del camión y de la persona que proceda a la descarga	
Hora límite para el uso del hormigón	

El control de consistencia será en función de las especificaciones del pliego de prescripciones técnicas particulares o el indicado en su momento por la dirección de obra.

Se determina el valor de consistencia mediante el cono de Abrams de acuerdo con la UNE 83313.90 en los siguientes casos:

- Siempre que se fabriquen probetas para controlar su resistencia
- En los casos previstos en el artículo 88.2
- Cuando lo ordene la dirección de obra

Si la consistencia se ha definido por su tipo, la media aritmética de los dos valores obtenidos tiene que estar comprendidas dentro del intervalo correspondiente.

Si la consistencia se ha definido por su asiento, la media de los dos valores debe estar comprendida dentro de la tolerancia.

Los ensayos a realizar para el control de resistencia del hormigón se indica en el artículo 88, estos ensayos se realizarán de acuerdo con los siguientes datos:

Tipo de ensayo	De control
Ejecución de probetas	En obra
Conservación de las probetas	En agua o cámara húmeda
Tipo de probeta	Cilíndrica de 30x15 cm
Edad de probeta	28 días
Nº mínimo de probetas	Según art. 88
Obligatoriedad	Siempre perceptivos

Con respecto a los controles de las especificaciones relativas a la durabilidad del hormigón se llevarán a cabo los siguientes controles:

Control documental de las hojas de suministro con objetivo de comprobar el cumplimiento de las limitaciones de la relación a/c y del contenido de cemento.

Control de profundidad de penetración de agua, en casos especificados en 37.3.2 y de acuerdo con el procedimiento descrito en 85.2.

En caso de hormigones fabricados en central la dirección de obra podrá eximir de la realización del ensayo de la profundidad de penetración del agua cuando el suministrador presente antes del inicio de la obra la documentación que permita el control documental de la idoneidad de la dosificación a emplear.

Los ensayos de control de la resistencia del hormigón son preceptivos en todos los casos tienen por objeto comprobar a lo largo de la ejecución que la resistencia característica del hormigón de la obra es igual o superior a la prescrita en proyecto.

Dependiendo de los resultados de los controles de resistencia realizados al hormigón se deben de tomar una serie de decisiones, a saber:

Si	Decisión
$f_{est} \geq 0,9 f_{ck}$	El lote se acepta
$F_{est} < 0,9 f_{ck}$	Queda a cargo de la dirección de obra

5.3.2 Control de recepción del acero

No podrán utilizarse partidas de acero que no lleguen acompañadas de certificado de garantía del fabricante, firmada por persona física. Para estos casos en control debe realizarse antes de la puesta en servicio de la estructura.

En caso de existir empalmes por soldadura, se deberá comprobar que el material posee la composición química apta para la soldabilidad así como comprobar la aptitud del procedimiento de soldeo.

Las condiciones de aceptación o rechazo de los aceros se ajustaran a los siguientes criterios:

En el control a nivel reducido (en caso de las armaduras pasivas), consiste en la comprobación de la sección equivalente. Si las dos comprobaciones son satisfactorias se aceptara, si las dos no resultan satisfactorias la partida se rechazara. Si se registra un resultado no satisfactorio, se comprobaran cuatro nuevas muestras de la misma partida, si alguna de estas nuevas comprobaciones resulta no satisfactoria la partida será rechazada.

En el control a nivel normal se comprobara la sección equivalente, de la misma forma que en el caso de nivel reducido. Además se comprobaran las características geométricas, se harán los ensayos de tracción para determinar el limite elástico, la carga de rotura y el alargamiento en rotura y los ensayos de soldeo.

Para el control de ejecución existen tres niveles, a saber:

Control a nivel intenso, además del control externo se exige que el constructor posea un sistema de calidad, para esto se exigen la realización de al menos tres inspecciones por cada lote en las que se ha dividido la obra.

Control a nivel normal es de aplicación general y exige la realización de al menos dos inspecciones por cada lote.

Control a nivel reducido, es aplicable cuando no existen un seguimiento continuo de la obra, exige la realización de al menos una inspección por lote.

5.4. Control de la ejecución de pilotes perforados

El control de la ejecución de los pilotes perforados comprende las siguientes fases:

- a. Control del proceso de construcción de los pilotes:

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Ejes Principales	Investigación	Replanteo	Al inicio	
Plataforma de trabajo	Investigación Inspección visual	Cota, horizontalidad, tamaño, estabilidad		
Ejecución pilote Inclinación pilote	Investigación (cinta métrica, plomada, nivel de burbuja)	Tolerancias	Por pilotes: -Antes del inicio de la perforación. -Después de la perforación -Después de la terminación	

Tabla 2. Control de replanteo

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Suministro, acopio	Comprobación	Aporte en línea con el consumo	Continuamente	Aporte/acopio debe prever pérdidas imprevistas
Nivel en la perforación	Comprobación	Estabilidad de perforación	Continuamente	
Características de la suspensión	-Densidad Consistencia Pérdida de agua libre -Contenido de arena -Alcalinidad	Conformidad con las especificaciones respecto a lodos de contención.	-Por pilote -Lodo fresco Antes del hormigonado Tras el desarenado Antes de reutilizarlo.	

Tabla 3. Control del lodo de contención

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Emboquillado	Diámetro/espesor	Estabilidad de la cabeza de perforación no entubada	Por pilote	Puede omitirse en p. circulares si $d < 0,6$ m
Caract. y dim. de herramientas, entubadas	Inspección visual Medición	Aptitud	Antes y durante la utilización	
Empleo de herramientas (general)	Ritmo de excavación Eficiencia Sobre excavación	Supervisión Investigación de caract. terreno. Profundidad Tiempos Sustitución herramientas	Continuamente	
Empleo de herramientas (sumergidas)	Ritmo de excavación Eficiencia Sobre excavación Rendimiento	Previsión efecto embolo	Continuamente	
Colocación entubada	Medición	Avance del entubado durante la perforación	Continuamente	
Nivel freático	Medición	Estabilidad de la perforación	Continuamente	
Material excavado	Inspección visual	Reconocimiento Estratos Alternancias de suelo	Continuamente	Conservar muestras según necesidades
Profundidad del pilote	Medidas de la profundidad Med. de la pendiente (estrato portante inclinado)	Conformidad con el proyecto	Por pilote	
Ensanchamiento	Medición (control operacional de equipos) Cuchara Saneado	Tamaño Inclinación paredes Conformidad base Comportamiento pilote	Por ensanchamiento Por pilote	
Agua embalsada en la base	Cinta métrica Inspección visual	Conformidad con el proyecto Evitar descomposición	Por pilote	

Tabla 4. Control de la perforación

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Suministro de materiales	Documentación entregada Dimensiones	Conformidad	Por entrega	
Dimensiones	Medición	Conformidad	Aleatoria	
Colocación de las jaulas	Dimensiones Espaciamiento de redondos longitudinales Espaciamiento de redondos transversales Atado Rigidez	Conformidad	Por jaula	En soldaduras, comprobar de acuerdo con las especificaciones del acero
Separadores	Material Tamaño Cantidad Distribución	Conformidad Tolerancia de colocación	Por jaula	
Colocación de las jaulas	Inspección Medición	Tolerancia de colocación	Por jaula	
Tubo/elemento de armado	Inspección Medición	Tolerancia de colocación	Por tubo o elemento	
Armadura especial	Según proceso especial	Conformidad	Según proceso especial	
Empotramiento Toma muestras sónicas Dispositivos de control Cajones	Situación Profundidad Uniones con la jaula Protección durante la colocación y vertido del hormigón.	Conformidad Aptitud	Por jaula	

Tabla 5. Control de las armaduras

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Continuidad del aporte	Comprobación	Continuidad del vertido	Antes del vertido	
Hormigón Grado Composición	Documentación de entrega	Conformidad	Por camión	
Consistencia	Cono de Abrams o mesa de sacudida	Conformidad	Por camión por cada m ³	
Temperatura ambiente	Termómetro	Protección del pilote recién moldeados	Cuando se especifique	
Temperatura del hormigón	Termómetro	Conformidad	Cuando se especifique	En caso de duda se incrementa la frecuencia
Periodo de trabajabilidad	Ensayo de trabajabilidad en hormigón fresco	Comprobación del periodo de trabajabilidad con relación a la duración de colocación	Cuando se especifique o en caso de duda	Ensayo realizado paralelamente a la colocación del hormigón

Tabla 6. Control del hormigón fresco

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Tubería hormigonado				
Características	Inspección visual	Limpieza Estanqueidad Ausencia de rugosidad	Cada tubería antes o durante la colocación	
Diámetro interior Dimensiones exteriores	Comprobación de la medición	Compabilidad de tamaño del árido Libre circulación en la armadura	Cada conjunto de tuberías Cada tamaño de pilote	
Composición (longitudes por tramos)	Comprobación y medición	Preparación para recuperación	Cada conjunto de tuberías	
Profundidad de colocación	Medición	Evitar la descomposición al comienzo del vertido	Cada conjunto de tuberías	
Separación de hormigón y grúa dentro del tremie	Comprobación	Evitar la descomposición	Cada pilote	Uso, por ejemplo: Tapas Bolas Piezas de poliestireno de fondo
Inmersión del tremie durante vertido y recuperación	Comprobar la profundidad hormigón en relación por longitud tremie	Mantenimiento de la inmersión suficiente	Continuamente	Suficiente inmersión también durante la recuperación de los premies
Entubado				
Inmersión durante la recuperación	Comprobar profundidad de hormigón en relación con cabeza del entubado	Mantenimiento de inmersión suficiente Evitar estrechamiento Evitar la contaminación del hormigón	Cada pilote	
Hormigonado				
Cota de hormigonado	Medición de la profundidad	Altura suficiente por encima de la cota de descabezado	Cada pilote	

Relleno de la perforación sin hormigonar	Comprobar	Seguridad de obra	Cada pilote	
Volumen de hormigón	Comprobar consumo con volumen teórico de excavación	Detectar sobre excavación o estrechamiento excesivo	Cada pilote	Puede precisarse un control mas detallado incluso partes con desplome de hormigón durante la extracción del entubado
Cabeza de pilote después de entubado	Inspección visual	Detector de flujo excesivo de agua	Cada pilote (si fuera posible)	Siempre se producirá exudación por compactación propia del hormigón, exudación excesiva puede indicas un fuste defectuoso.

Tabla 7. Control del vertido del hormigón

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Estado y dimensiones de la hélice	Inspección visual Mediciones	Aptitud	Antes del inicio de la perforación	Fuste defectuoso
Proceso de excavación	Comprobar: velocidad de giro y de penetración	Limite sobre excavación	Continuamente	
Profundidad de excavación/estrato portante	Comprobar: Velocidad de giro Penetración Materiales Profundidad	Conformidad	Cada pilote	Algunos datos pueden ser relativos y no concluyentes
Antes del hormigonado	Comprobar ausencia de agua en el eje central	Estanqueidad Evitar la descomposición	Cada pilote cuando se emplee eje largo abierto	No aplicable cuando el hormigón es bombeado
Inicio de hormigonado	Comprobar aporte hormigón	Conformidad	Cada pilote	
Hormigonado	Comprobar: Presión de hormigón Flujo y consumo de hormigón Retirada pertinente de la hélice	Conformidad	Cada pilote continuamente.	

Tabla 8. Control de los pilotes realizados con hélice continua

Concepto	Control	Finalidad	Frecuencia	Observaciones
Limpieza de la excavación	Comprobar medición	Conformidad	Cada pilote	
Tubería de inyección	Diámetro Numero Profundidad de colocación	Siempre que el proceso de inyección previsto sea posible	Cada pilote	Se recomienda algunas pruebas para verificar la penetración de la lechada y la distribución de las tuberías de inyección
Áridos	Tamaño Medición	Rellenar completamente de la perforación	Cada pilote	
Propiedades de la lechada	Composición Consistencia Periodo de trabajabilidad (tiempo de curado) Exudación	Conformidad	Cada tongada	P
Proceso de inyección	Caudal de bombeo Presión Consumo Retirada de las tuberías de inyección	Distribución de la lechada Garantiza fuste continuo	Cada pilote continuamente	
Resistencia de la lechada	Resistencia a la compresión	Conformidad	Cada pilote	

Tabla 9. Control de los pilotes inyectados

- b. Información al responsable sobre cualquier falta de conformidad
- c. Entrega de los partes de control dentro del plazo estipulado y conservación de la obra hasta que se produzca la finalización completa de los trabajo de pilotaje
- d. Cuando los pilotes se encuentren en si estado final, preparados para el servicio estructural, se confeccionara un plano de la obra tal y como se ha realizado, mostrando la situación y dimensiones de los pilotes, además de las cotas de la cabeza y del fondo.

Para asegurarnos que la cimentación esta realizada según proyecto y que podrá soportar las cargas para la que esta calculada, hay que realizar un control de ejecución que consistirá en:

- Identificar el pilote con todos los datos que encontremos, a saber, mediante el tipo el diámetro, la localización del pilote en su punto de replanteo, la profundidad, etc.
- Conocer la longitud de la entubación en caso de ser un pilote entubado.
- Corroborar con el proyecto las dimensiones del terreno, el diámetro del pilote, la armadura, la entubación, etc.
- Comprobar, en la medida de lo posible, que el terreno que se va sacando de la excavación coincide con el que estaba plasmado en el proyecto, de la misma forma comprobar la existencia de agua, sus niveles si la hubiera.
- Identificar el armado del pilote (diámetro, tipo, longitud, etc.), así como el hormigón utilizado (tipo, características, etc.).
- Hacer un seguimiento de los tiempos de ejecución de la perforación, de hormigonado y colocación de armadura).
- Habrá también que reflejar cualquier incidencia durante las operaciones de perforación y hormigonado.
- Cuando se este hormigonando hay que asegurarse que el tubo Tremie no descansa sobre el fondo, sino que debe de quedar elevado aproximadamente unos 20 cm. para permitir la salida del hormigón.

6. TOLERANCIAS, ENSAYOS Y PRUEBAS A REALIZAR

- 6.1 Tolerancias
- 6.2 Ensayos y pruebas a realizar:
 - 6.2.1 Ensayo de integridad a lo largo del pilotes
 - 6.2.2 Ensayo de carga

6.1 Tolerancias

Para pilotes hormigonado “in situ”, si no se especifica otra cosa en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, los pilotes deberán cumplir las siguientes tolerancias:

- a) Posición de los pilotes a nivel de la plataforma de trabajo:

	Para pilotes con $D_{eq} \leq 1,5$ m	Para pilotes de $D_{eq} > 1,5$ m
$e < e_{max}$	$E_{max} = 0,1 \times D_{eq}$	$E_{max} = 0,15$ m

Siendo D_{eq} el diámetro equivalente del pilote.

- b) Inclinación:

	$\Theta \leq 4^\circ$	$\Theta > 4^\circ$
$i < i_{max}$	$i_{max} = 0,02$ m/m	$i_{max} = 0,04$ m/m

Siendo Θ el ángulo que forma el eje del pilote con la vertical.

En el caso de los pilotes prefabricados hincados los requisitos a cumplir serán:

- a) Posición de los pilotes a nivel de la plataforma de trabajo en tierra $e < e_{max}$, cuando el valor mayor entre el 15% del diámetro equivalente o 5 cm en agua, de acuerdo con las especificaciones definidas en el proyecto.

- b) Inclinación:

	$\Theta \leq 4^\circ$	$\Theta > 4^\circ$
$i < i_{max}$	$i_{max} = 0,02$ m/m	$i_{max} = 0,04$ m/m

Siendo Θ el ángulo que forma el eje del pilote con la vertical.

En los casos en que las tolerancias sean más estrictas que las comentadas anteriormente deberá establecerse los criterios en el pliego de condiciones técnicas. Para la medida de las desviaciones de ejecución se considerará que el centro del pilote es el centro de gravedad de las armaduras longitudinales, o el centro del mayor círculo inscrito en la sección de la cabeza del pilote para los no armados.

6.2. Ensayos y pruebas a realizar

Los ensayos se pueden realizar para estimar los parámetros de cálculo, estimar la capacidad portante, probar las características resistente-deformacionales en el rango de las acciones especificadas, comprobar el cumplimiento de las especificaciones, probar la integridad del pilote.

Los ensayos por pilotes pueden consistir en:

1. Ensayos de carga estática o dinámica

Las pruebas de carga permiten una evaluación estructural y geotécnica, obteniendo así la capacidad de carga, el inconveniente de este método es que necesita una masa de impacto considerable en su ensayo dinámico y resulta muy caro, por lo que sólo se suele utilizar en obras de presupuesto alto. Por ello estas pruebas de carga han sido reemplazadas por **Pruebas Rápidas de Carga** de costes inferiores que permiten efectuar este ensayo en obras de presupuestos medios.

Estas pruebas de carga se emplean cuando los pilotes son sometidos a cargas superiores a las de servicio, y mediante ellas puede conocerse el comportamiento real de los pilotes en el terreno, pudiendo llegar a un diseño más ajustado del pilote.

Antes del ensayo se prepara la cabeza del pilote realizando un recrecido de hormigón dentro de una camisa metálica donde se colocan los sensores de velocidad y deformación, en la parte superior se deja una superficie plana protegida con una chapa metálica sobre la que se realiza el impacto. Los pilotes prefabricados no requieren de preparación especial pues la carga se aplica directamente con el mismo martillo de hinca.

Los ensayos rápidos más usados son los Ensayos Dinámicos, que se efectúan en función de la fuerza y la velocidad, dejando caer una masa de peso importante sobre la cabeza del pilote protegida con la chapa metálica.

La carga se eleva con una grúa y se deja caer sobre la cabeza del pilote, registrando en un ordenador la fuerza y la velocidad empleada. Se aplicarán cuatro o cinco golpes con altura de caída decreciente, anotando los parámetros de respuesta para su posterior comprobación. Mediante un programa informático, se registran los resultados empleando diferentes métodos y fórmulas que calcularán la capacidad de carga; de esta manera se obtiene un resultado rápido que puede ser calculado en la propia obra.

El número y la naturaleza de los ensayos se fijarán en el Pliego de condiciones del proyecto y se establecerán antes del comienzo de los trabajos. 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.

2. Ensayos de integridad (a lo largo del pilote), tienen por objeto verificar la continuidad del fuste del pilote y la resistencia mecánica del hormigón. Pueden ser, de tres tipos diferentes:

2.1. Ensayos sónicos de integridad mediante martillo de mano

Este es un ensayo económico y sencillo el cual consiste en detectar defectos importantes en la masa y calidad del pilote. Para poder efectuar este ensayo el hormigón debe adquirir una cierta resistencia, los pilotes deben estar contruidos más de una semana, y deben estar descabezados y con la zona accesible y exenta de agua.

Este método tiene una serie de inconvenientes, ya que se necesita la interpretación de un especialista, además de que cuando la esbeltez del pilote es importante o tiene varios cambios en su sección, en la punta del pilote no se detecta claramente este ensayo.



Fig. 1. Ensayo impedancia mecánica en pilotes in situ

El ensayo consiste en un martillo de mano que al golpear en la cabeza del pilote (Fig.1) produce una onda sónica que se va desplazando desde la cabeza hacia la punta, a lo largo de todo el fuste, advirtiendo cualquier defecto o discontinuidad que pueda existir.

A la hora de aceptar o rechazar el pilote debemos tener en cuenta una serie de *reflexiones* producidas en él. Si se notan reflexiones insignificantes de la onda en alguna parte del fuste, y una reflexión importante en la punta, aceptaremos el pilote. En el caso de que no se note esa reflexión de la onda sónica en la punta, que como se ha dicho anteriormente ocurre en pilotes muy esbeltos, el especialista decide a que profundidad de ensayo se considerará válido el pilote. Cuando las reflexiones significativas de la onda se noten por encima de la punta del pilote, el especialista dará una interpretación evaluando los defectos de éste. Cuando la evaluación efectuada llega a la conclusión de que el defecto detectado reduce significativamente la capacidad estructural, el pilote es rechazado.

Si las gráficas resultan complicadas y de difícil lectura, se califica al pilote como cuestionable. Los pilotes cuestionables pueden ser sometidos a otras pruebas y ensayos complementarios, como pruebas de carga o ensayos ultrasónicos cross-hole o, en el caso en que el defecto no esté a gran profundidad, se efectúa una excavación perimetral para realizar una comprobación visual.

Una vez conocemos los defectos se deben reparar, si se encuentran por la parte inferior los repararemos con inyecciones de hormigón a través de unas perforaciones, y si se encuentran en la parte superior del pilote se demolerá la zona y se volverá a construir. Una vez reparado se vuelve a realizar el ensayo sónico. Estos ensayos se realizarán según la norma ASTM D5882-96.

2.2 Sondeos mecánicos a lo largo del pilote

2.3 Ensayos ultrasónicos de integridad mediante cross-hole en tubos introducidos en el hormigón del pilote

Este método suele usarse en pilotes hormigonados in situ de diferentes longitudes y secciones, siempre y cuando los pilotes estén construidos más de una semana. Y dado que el ensayo funciona mediante la introducción de unos tubos en el hormigón, no podrá usarse en pilotes prefabricados. La ventaja de este método es que pueden identificarse los defectos con certeza a cualquier profundidad.

Para poder efectuar el ensayo se necesita dejar instalados dentro de los pilotes los tubos para poder introducir sondas hasta la profundidad que se quiera ensayar. Estos tubos se introducen previamente al hormigonado por lo general son de acero, aunque en pilotes cortos se pueden emplear de plástico, pero no son aconsejables pues se deterioran con mayor rapidez. Sus diámetros están entre 40 y 50mm, siendo preferible el mayor, y su longitud será tal que sobresalga unos 40cm mínimos del hormigón del pilote.

Siempre que sea necesario empalmar varios tubos, los empalmes se realizan con manguitos roscados, nunca usaremos uniones soldadas pues dejan *rebabas* que dificultan el paso de las sondas o perjudican los cables. Tanto el extremo inferior, como el superior de cada tubo se cerrarán con tapones metálicos totalmente herméticos, de manera que no puedan penetrar elementos extraños y que no haya pérdida de agua durante el ensayo.

El número de tubos a emplear depende del diámetro del pilote:

- 2 tubos para \varnothing de pilote igual o menor a 60 cm.
- 3 tubos para \varnothing de pilote hasta 120 cm.
- tubos para \varnothing de pilotes mayores a 120 cm.

Antes de empezar el ensayo se pasará una plomada por cada tubo midiendo su longitud y comprobando que no haya obstrucciones, a continuación se llenarán con agua limpia para comprobar que no haya obstrucciones ni pérdidas de agua.

El ensayo consiste en introducir y hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos de los tubos huecos del interior del fuste del pilote, quedando registrado el tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos.

Si se encontraran defectos en el paso de las ondas, como oquedades, *coqueras*, inclusiones de tierras u otro problema que alargue el tiempo de recorrido, quedará reflejado en la gráfica de ensayo en la cual quedará reflejada la profundidad donde se ha encontrado.

El ensayo comienza a realizarse cuando se han bajado las sondas hasta el fondo de los tubos, levantando ambas al mismo tiempo después de asegurarse de que se encuentren en el mismo plano horizontal.

Una vez efectuado el ensayo se comprobara si el pilote es o no aceptable, para ello tendremos en cuenta la gráfica obtenida durante dicho ensayo.

Si los pilotes muestran una gráfica uniforme de tiempo de llegada de la onda ultrasónica en toda su longitud serán aceptados, en cambio cuando uno o varios de los ensayos realizados muestran retrasos importantes o pérdidas de la señal a una o varias profundidades, especialista evaluará los defectos probables del pilote.

7. SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN DE PILOTES

7.1. Protección individual

7.2. Protección colectiva

Tanto para la realización de este tipo de pilote como en otros trabajos de construcción es muy importante la seguridad y salud en obra. Por ello debemos hacer un estudio previo del plan de seguridad antes de comenzar con nuestra cimentación.

El plan de seguridad definirá el tipo de protección a colocar en los diferentes tipos de trabajo, en nuestro caso habrá que dirigirse a la parte de cimentaciones, dentro de la protección podemos diferenciar dos tipos:

- Protección individual: Se considera cualquier dispositivo que va a llevar una persona con objeto de que la proteja contra los riesgos que puedan amenazar su seguridad y salud. Se emplearán en aquellos casos que no sea posible emplear una protección colectiva.

Se clasifican de la siguiente manera:

- Protección del cráneo: cascos, sombreros o gorras.
 - Protección de la cara: Gafas, pantallas contra proyecciones y radiaciones.
 - Protección del aparato auditivo: Tapones y cascos auriculares.
 - Protección de las extremidades superiores: Guantes y manoplas.
 - Protección de las extremidades inferiores: Botas o sandalias de seguridad.
 - Protección de las vías respiratorias: Mascarillas.
 - Equipos contra riesgos eléctricos: Guantes, botas y cascos dieléctricos.
- Protección colectiva: Es cualquier equipo destinado a proteger una determinada zona o plataforma de trabajo.

Dentro de las protecciones colectivas encontramos:

- Barandillas
- Marquesinas
- Redes
- Andamios
- Arnés
- Encofrados

A continuación relacionaremos los riesgos que se producen al ejecutar una cimentación por pilotes con sus medidas de prevención, estas medidas deben de mantenerse durante toda la ejecución del pilote.

Riesgo	Trabajo	Medidas Preventivas
Proyección de partículas	<ul style="list-style-type: none"> -Perforación -Hinca de camisa -Empleo de radial en ejecución de armado - Descabezado de pilotes y muros 	Emplear siempre los EPIs necesarios, gafas, guantes, casco...
Caídas al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Preparación de plataforma de trabajo. - Replanteo - Ejecución de armado 	La zona debe estar limpia de obstáculos sea cual sea el tipo de trabajo a efectuar.
Atropellos con maquinaria	<ul style="list-style-type: none"> - Perforación de pilotes o micropilotes. - Perforación de pantallas. -Movimiento de tierras -Hormigonado. -Preparación de la zona de trabajo. 	Debemos mantener siempre el contacto visual con el maquinista, prestando atención a las señales luminosas y sonoras producidas por los vehículos. No debemos pasar por detrás de las máquinas en movimiento y emplear ropa reflectante.
Golpes, cortes y atrapamientos	<ul style="list-style-type: none"> - Ejecución de ferrallado. - Colocado de armaduras 	Debemos comprobar que los aparatos se encuentren en buen estado, y emplear siempre guantes, y la ropa y calzado de trabajo.
Ruido	<ul style="list-style-type: none"> - Perforaciones - Soldaduras 	Utilizar protección auditiva cuando se señalice en la obra.
Desprendimiento de cargas suspendidas	<ul style="list-style-type: none"> - Izado de armaduras, camisas, encofrados... 	No deberemos permanecer nunca debajo de una carga en suspensión, además se debe revisar periódicamente todos los elementos de izado, y nunca sobrepasar la carga máxima permitida.
Caídas a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> - En perforaciones de pilotes o muros pantallas. - Terraplenes <p>Subidas y bajadas de los equipos.</p>	Las perforaciones deberán estar perfectamente valladas y señalizadas. Y aquellos trabajadores que vayan a estar a más de 2 m de altura, deberán llevar arnés de seguridad y por supuesto el casco.

8. PATOLOGIAS

8.1. Causas intrínsecas de fallos de cimentación:

- a. Defectos de proyecto
- b. Defectos de ejecución

8.2. Causas extrínsecas de fallos de cimentación

- a. Variaciones en las hipótesis de proyecto
- b. Variaciones en las condiciones de proyecto

Las patologías que puede sufrir una edificación ligadas a las cimentaciones son sin duda las que mayores costes suponen a la hora de subsanarlas. Por tanto es imprescindible conocer las causas por las que se producen estos problemas, para conseguirlo habrá que analizar los síntomas de la patología, básicamente son:

- Las grietas producidas.
- El tipo de movimientos sufridos por el edificio (giros, asientos, desplazamientos, etc.)

Una vez conocidos los síntomas habrá que deducir que mecanismo ha sido el que origina la patología estudiada.

Con la información obtenida, viendo la cimentación existente, conociendo el comportamiento geotécnico del terreno de apoyo, se podría deducir el origen de la patología que se ha producido.

Conocida la causa se diseñarán las medidas reparadoras a adoptar. Éstas pueden ir desde la actuación sobre la estructura propiamente dicha, a las modificaciones de las propiedades geotécnicas del terreno (tratamientos de mejora y refuerzo), pasando por los conocidos recalces de la cimentación existente.

Una clasificación de las causas que producen la patología en una edificación sería:

- 1) Causas intrínsecas:
 - a) Defecto de proyecto.
 - b) Defecto de ejecución.
- 2) Causas extrínsecas:
 - a) Variaciones en las hipótesis de proyecto.
 - b) Variaciones en las condiciones del entorno.

8. 1. 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 afectada.

8.1.1 Defectos de proyecto

Son los errores de concepción, de diseño o cálculo del proyecto. Errores previsibles por lo que si se tienen en cuenta en el diseño y cálculo de la edificación, el riesgo a provocar daños se minimiza. A continuación se enumeran algunas de las posibles causas de problemas derivadas del proyecto:

- Falta de capacidad de carga: cimentación insuficiente o capacidad de carga del suelo insuficiente.
- Esfuerzos no contemplados, por ejemplo por olvido de algunas sobrecargas de explotación.
- Conocimiento insuficiente del suelo. Pueden ser varios los motivos, a saber, escasez de reconocimientos previos del terreno, mala interpretación de los mismos, no consideración de los fenómenos de agresividad, etc. Este punto cobra importancia en terrenos con características especiales, como son:
 - Arcillas expansivas
 - Suelos colapsables
 - Rellenos antrópicos
 - Suelos blandos naturales
- Infravaloración del riesgo geotécnico. Como por ejemplo 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: asientos calculados no tolerables por la estructura, esfuerzos parásitos en pilotes (olvido del efecto de asiento de terrenos flojos o rellenos recientes), etc.
- Efecto grupo en pilotes: defectuosa estimación del efecto grupo en pilotes flotantes, no consideración de los esfuerzos laterales o del rozamiento negativo, etc.
- Ausencia de consideración del bulbo de tensiones de la cimentación propia, y su alcance, pero también de las cimentaciones colindantes.
- Ignorancia de las condiciones de contorno, es decir no consideración de las condiciones del entorno de la estructura proyectada: posibles socavaciones, arrastres, descalces, agotamientos, rebajamientos de nivel freático, etc.
- Heterogeneidades: distribución irregular de las cargas, o excesiva excentricidad de las mismas a nivel de cimentación.

8.1.2 Defectos de ejecución

Normalmente responden a un deficiente control de calidad, este punto esta desarrollado en páginas anteriores en el apartado de control de ejecución.

8.2. Causas extrínsecas de fallos de cimentación

Son las derivadas de la actividad humana a lo largo del tiempo, así que son variables por definición y difícilmente previsibles. 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.

8.2.1. Variaciones en las hipótesis de proyecto.

En este caso tratamos con las modificaciones al proyecto del propio edificio que pueden afectar a la cimentación. Y esto puede ocurrir de varias formas, entre ellas:

- Aumento del número de plantas sobre rasante.
- Necesidad de profundizar la cimentación en toda o parte de la estructura, para ganar sótanos o bien fosos industriales, cámaras acorazadas, etc.
- Incrementos de sobrecargas de uso. Aumento de la actividad que precise la aparición de elementos no previstos o bien un cambio de actividad y consecuentemente de las cargas. Incluso solicitudes dinámicas de maquinaria, no previstas inicialmente.
- Cese de la actuación de fuerzas que disminuían o contrarrestaban las cargas.
- Rehabilitación o adecuación al uso sobre todo en plantas bajas. Cambio de función de la estructura que normalmente conlleva una redistribución de cargas.

8.2.2. Variaciones en las condiciones del entorno.

Se trata aquí de las variaciones del entorno que afectan a la cimentación que tienen su origen en la actividad del hombre y por tanto no previsibles en proyecto. Es imposible prever en el proyecto inicial modificaciones futuras y menos aún del entorno. Sin embargo muchos de estos problemas se evitarían de tenerse en cuenta adecuadamente cuando se proyectan esas actuaciones posteriores, es decir, muchas veces estaríamos ante defectos del proyecto de la actuación posterior.

Enumeramos aquí algunas posibles variaciones del entorno:

- Cargas adyacentes: alteración general producida por construcción en las inmediaciones.
- Inducción de movimientos complementarios: asientos, desplazamientos y giros.
- En cimentaciones por pilotes: empujes horizontales y rozamiento negativo.
- Fenómenos de inestabilidad y deslizamiento: por socavaciones, arrastres, erosiones ...
- Inestabilidades y deslizamientos inducidos:
 - Excavación y desmonte al pie de laderas
 - Excavaciones en la base de muros
 - Socavación
 - Supresión de la vegetación
 - Modificación de la escorrentía superficial
- Excavaciones próximas al aire libre o subterráneo. Produciendo una disminución de la capacidad de carga de la cimentación.

9. DEFECTOS DE EJECUCIÓN

- 9.1. Reconocimiento geológico insuficiente.
 - Condicionantes geológicos.
 - 9.1.1 Intercalación arcillosa en material rocoso/
Estrato compresible por debajo de donde apoya la punta del pilote.
 - 9.1.2. Pilote apoyado sobre piedras de gran tamaño
- 9.2. Replanteo mal ejecutado
- 9.3. Excavación excesiva
 - 9.3.1. En presencia de agua
 - 9.3.2. En seco (sin freático)
- 9.4. Sedimentos en punta de pilote
- 9.5. Extracción de la entubación provisional
- 9.6. Exceso de armado en el pilote
- 9.7. Flujo de agua o nivel freático.
- 9.8. Uso inadecuado del fluido de estabilización
- 9.9. Perforación de un pilote cerca de otro recién hormigonado
- 9.10. Tránsito en terreno blando, cerca de un pilote recién hormigonado
- 9.11. Problemas durante la perforación

En este capítulo se enumeraran los defectos más comunes (Fig. 1 y 2) que se pueden cometer en la ejecución de los pilotes, ya sea por un desconocimiento del terreno, por un mal replanteo, una mala dosificación del hormigón, etc, todos ellos se pueden evitar con un trabajo previo y con una cuidadosa ejecución al ser un trabajo que conlleva un gran coste de ejecución, y que una vez cometido el error es de difícil subsanación.



Fig. 1 y 2. Vista excavación perimetral a pilote y detalle de este con corte en la zona inferior por mala ejecución del mismo²⁹.

²⁹ Imagen extraída de la Pág.: <http://fernandeztadeo.com>

9.1. Reconocimiento geológico insuficiente. Condicionantes geológicos

Cuando se adopta la opción del pilotaje es debido a que las características del terreno son deficientes, resulta evidente la necesidad de disponer de un estudio geotécnico completo. Este es un hecho importante por dos causas, la primera se refiere a los datos que utilizará el calculista para el diseño de la cimentación y la segunda, para que el contratista que hará la obra, escoja el sistema de ejecución más conveniente a la vista de los resultados obtenidos de la interpretación del modelo geológico.

Como hemos visto cada tipo de pilote se adapta mejor que a una serie de condicionantes y no es inusual, empezar la ejecución de la obra con un sistema que a los pocos días se observa como inadecuado o poco productivo, con las consecuencias que suponen tanto para el ejecutor como para la propiedad, un prejuicio económico totalmente evitables y previsible con la información adecuado antes del inicio de los trabajos.

Si se parte de un modelo geológico erróneo, debido a una campaña de prospección insuficiente, por falta de un número adecuado de sondeos, profundidad corta alcanzada... obtendremos una solución para la cimentación errónea.

A continuación veremos dos condicionantes geológicos, que nos muestran la importancia de un cuidadoso reconocimiento del terreno:

9.1.1 Intercalación arcillosa en material rocoso/ Estrato compresible por debajo de donde apoya la punta del pilote

El supuesto de que exista nivel arcilloso compresible por debajo de la punta del pilote es posible ya que aunque durante la campaña de prospección siempre se debe profundizar varios diámetros por debajo de la cota del fondo del pilote, puede pasar que la intercalación no se haya detectado.

La presencia de la arcilla modifica el comportamiento en la punta del pilote, creando una zona de posible rotura. El efecto final dependerá del nivel arcilloso, de su distancia a la base del pilote y de su compresibilidad.

En el caso de un grupo de pilotes, la afección por la presencia de la veta arcillosa será mayor, esto se debe a que el diámetro de la base del grupo es mayor que en un pilote individual y por tanto hay una mayor proporción de la carga transmitida al subsuelo que se realiza a través de la punta. Por tanto, al tener un diámetro equivalente mayor el grupo de pilotes, la reducción en la capacidad de la base será superior.

9.1.2. Pilote apoyado sobre piedras de gran tamaño

Se encuentra en aquellos depósitos que tienen un origen glacial, donde es usual la presencia de piedras de gran tamaño. El efecto que se desencadenará en el pilote, es que de entrada tenderá a comportarse como si tuviera una base mayor, pero teniendo una capa compresible por debajo. En el momento que se realiza el ensayo de carga, el fondo del pilote se separa de la piedra de gran tamaño y se provoca un salto. Si esto ocurre en un pilote dentro de un grupo, este último experimentará un desplazamiento lateral y un asentamiento irregular.

9.2. Replanteo mal ejecutado

Lo usual es indicar el centro del pilote mediante una estaca o varilla a continuación deben replantearse dos ejes ortogonales que se cortan en el centro del pilote y que tienen como longitud el diámetro de este.

Este replanteo puede realizarse fácilmente con dos operarios, situados en los extremos de una cinta métrica, marcando convenientemente en el suelo. A pesar de que la maquinaria actual, indica en la pantalla de la cabina del operador la verticalidad de la torre de la pilotadora, es conveniente al inicio de la excavación colocar un regle de nivelación en las paredes del útil de perforación. (Ver tolerancias geométricas admitidas en fichas técnicas).

9.3. Excavación excesiva

9.3.1. En presencia de agua

Se produce principalmente durante el proceso de perforación, también puede ocurrir durante la colocación del revestimiento provisional (en caso de existir) o por la colocación de la armadura (Fig. 3).



Fig. 3. Presencia de agua en pilote³⁰

Durante la ejecución del pilote, se pueden encontrar niveles inestables por debajo del nivel freático. En estas zonas es frecuente la aparición de sobre excavaciones (Fig.4), siendo especialmente necesaria la utilización de entubación provisional o perdida (según las necesidades), para ejecutar el pilote.

³⁰ Imagen extraída de la Pág.:

<http://vialidadyaccesibilidadencumana.blogspot.com.es/2011/07/viernes-15072011-trabajos-de.html>

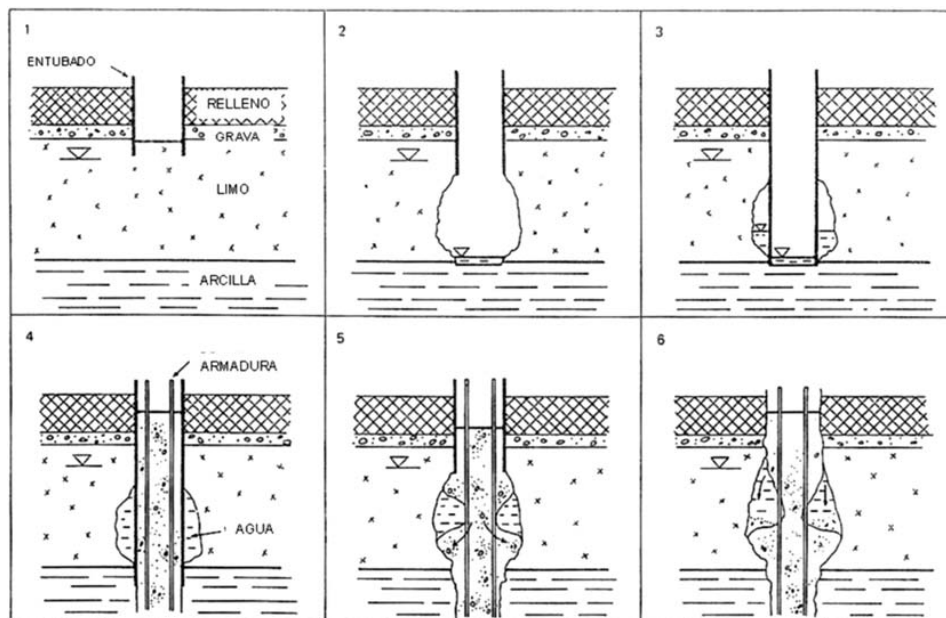


Fig. 4. Formación y efecto de cavidades.³¹

Si la entubación provisional produce un correcto sellado a la entrada del nivel freático desde los estratos superiores, entonces se colocará la armadura y el hormigón, en condiciones relativamente estancas. Cuando se ha colocado una suficiente cantidad de hormigón, esto es, cuando la columna de presión que este produce permite contrarrestar la presión exterior del agua, entonces se retira lentamente el revestimiento provisional, no siendo determinante la técnica de extracción como causa de posibles deficiencias.

9.3.2. En seco (sin freático)

Se puede producir excavación excesiva en condiciones secas, por ejemplo al atravesar pequeños niveles de material granular. Es de vital importancia que el hormigón circule adecuadamente, para que desplace el aire que ocupa la cavidad. En estos casos, se obtiene una adecuada continuidad del hormigón en el pilote, a pesar de presentarse un ancho excesivo en la sección del fuste.

El mayor problema se puede encontrar cuando la sobre excavación se encuentra cerca de la cabeza del pilote. En caso de que el volumen de la sobre excavación sea grande en relación al volumen de hormigón introducido durante la extracción de la entubación provisional, se puede producir una rápida pérdida del hormigón hacia el agujero existente.

³¹ Imagen extraída de artículo en Obras Urbanas, octubre 2010.

También hay problemas similares, cuando el pilote se perfora en toda su totalidad en seco (CPI-7³²) y ocurren desprendimientos en las paredes de materiales granulares. La única corrección posible consiste en utilizar entubación provisional o lodos de estabilización.

9.4. Sedimentos en punta de pilote

Se pueden desprender de las paredes pequeños fragmentos de rocas fisuradas y material suelto en la perforación en tramos donde se entuba parcialmente. Es una buena práctica, comprobar el fondo antes del hormigonado.

Acciones como la limpieza mediante el cazo o el saneado del fondo mediante aspiración (air lifting), se hacen imprescindibles. También es importante reducir al máximo los tiempos entre la limpieza, la colocación de la armadura y el hormigonado.

El tema es de especial trascendencia, en aquellos pilotes que trabajan por punta, ya que si la carga no se transmite directamente al estrato resistente, se requiere un asiento importante para desarrollar plenamente la transferencia en punta.

9.5. Extracción de la entubación provisional

En el caso del pilote tipo CPI-5³³ (con entubación perdida), se utiliza una entubación exterior temporal y una interior perdida. Durante el hormigonado, este se aloja en el interior de la tubería perdida, previamente a la extracción del revestimiento provisional que se encuentra exteriormente. Es importante que el estado del interior del revestimiento sea liso y sin restos de materiales que permitan al hormigón que se adhiera.

Otro problema que puede aparecer con el entubado provisional, es cuando el avance de perforación sea ligeramente mayor en diámetro que el resto de la sección de la tubería, con lo que no se produce un contacto directo entre el revestimiento y el terreno, cabiendo la posibilidad de perder buena parte de rozamiento lateral en la zona revestida; de manera que el fuste no tenga apenas rozamiento, por falta de presión entre el hormigón y el subsuelo.

³² Denominación de Pilote perforado con barrena, según la Norma Tecnológica (NTE-CPI).

³³ Denominación de Pilote perforado con barrena con entubación de camisa perdida, según la Norma Tecnológica (NTE-CPI).

9.6. Exceso de armado en el pilote

Es cuando las armaduras no presentan suficiente espacio para que el hormigón circule sin obstáculos, debido a un armado excesivamente denso. El problema se agrava si además, el hormigón suministrado es poco fluido. En líneas generales, una apertura entre armaduras longitudinales y transversales de 20 cm es suficiente para que el hormigón fluya sin oposición.

Todo aquello que dificulte el desplazamiento del hormigón, incrementara la probabilidad de que se queden atrapados entre las paredes de la excavación y la armadura. Es una buena practica durante el hormigonado, observar si existen diferencias remarcables entre la cota del hormigón por dentro y por fuera de la armadura, es aceptable que haya una diferencia de unos 50 cm más baja en el exterior.

9.7. Flujo de agua o nivel freático.

Es el caso de aquellos pilotes que se han ejecutado correctamente y que posteriormente a la extracción del entubado pueden presentar problemas por la presencia del nivel freático. Se encuentra allí donde está presente un elevado gradiente hidráulico en terrenos altamente permeables, por ejemplo en zonas sometidas a mareas. El efecto es una rápida entrada de agua que erosiona el cemento en el hormigón fresco y un lavado del árido, permitiendo el ataque químico del agua a la armadura del pilote. Ante tal situación, la solución pasa por la colocación de una camisa perdida (pilote CPI-5).

9.8. Uso inadecuado del fluido de estabilización

En los pilotes denominados CPI-6³⁴, se utiliza fluido de estabilización a la vez que se efectúa la perforación. El fluido puede ser principalmente, de origen mineral del tipo bentonita (el más usual), sepiolita (para ambientes marinos o salobres), o bien, artificial como es el caso del polímero (pudiéndose utilizar los del tipo acrílico o vinílico). La utilización de este tipo de pilote, vendría limitado en el caso de terrenos de muy alta permeabilidad donde el fluido fluye rápidamente y en terrenos especialmente blandos donde no es posible ejercer la suficiente capacidad de soporte.

La técnica de perforación así como los útiles utilizados, condicionan las irregularidades presentes en las paredes del pilote, las cuáles también vendrán influenciadas por los diferentes estratos atravesados. En el caso del pilote que presenta irregularidades en las paredes, se producirá una resistencia adicional.

³⁴ Denominación de Pilote perforado con barrena con ayuda de lodos bentoníticos, según la Norma Tecnológica (NTE-CPI).

Las velocidades del fluido y la succión local, pueden concluir con un considerable sobre-ancho, que depende de la geología de los estratos que se atraviesan, las dimensiones del pilote y del equipo que se use.

9.9. Perforación de un pilote cerca de otro recién hormigonado

Cuando se perforara un pilote al lado de otro con hormigón fresco una parte del soporte lateral del hormigón se pierde. El hormigón fluido del fuste del primer pilote, se desplaza hacia el terreno desprendido en el fuste del segundo recién escavado, pudiendo mover la armadura y creando cavidades. Como buena práctica, habrá que considerar al menos una distancia entre pilotes de 5 diámetros, para no crear interferencias entre pilotes ejecutados con hormigón en proceso de curado y pilotes por ejecutar.

9.10. Tránsito en terreno blando, cerca de un pilote recién hormigonado

En este supuesto el pilote se ha ejecutado correctamente, nos encontramos con el hormigón aun tierno, cuando se desplaza maquinaria pesada (la misma pilotadora) por la zona de trabajo y el terreno tiene poca capacidad portante ($< 1\text{kg/cm}^2$), puede ocasionar que se deforme lateralmente la cabeza del pilote. A menos que sea muy evidente, el problema se suele detectar mediante comprobación topográfica. Es evitable efectuando una mejora general de la plataforma de trabajo. Otra medida recomendada es la de planificar de antemano una secuencia de trabajo para evitar influir en los pilotes adyacentes.

9.11. Problemas durante la perforación

En un pilote perforado con hélice continua (CPI-8³⁵) o en seco (CPI-7), en presencia de arcillas, al extraer el útil de excavación, disminuyen en gran proporción el rozamiento lateral. Para prevenir el fenómeno, se aconseja utilizar útiles especialmente diseñados para la limpieza de las paredes antes del hormigonado. Un problema similar se encuentra en el fondo del pilote, por ejemplo en presencia de materiales granulares, al final de la perforación. También se aconseja una limpieza de la base con un útil con la geometría adecuada y suficientemente estanco.

³⁵ Denominación de Pilote perforado con hélice continua, según la Norma Tecnológica (NTE-CPI).

Se presenta a continuación, un resumen sobre los tipos y causas de defectos en pilotes perforados, así como su prevención:

Tipo de defecto	Causa del defecto	Medida Preventiva
Agujeros y discontinuidades en el fuste del pilote asociados con bulbos cerca del agujero o cerca de cavidades.	Sobre excavación en terreno inestable.	1.- Avance de la entubación provisional por delante del cazo o la hélice, (CPI-4). 2.- Utilización de fluidos de estabilización, (CPI- 6). 3.- Utilización de entubación perdida, (CPI-5).
Parte del terreno embebido en el hormigón, cerca de la cabeza del pilote.	Sobre excavación cerca de la superficie, produciendo una rápida pérdida de hormigón al retirar completamente el entubado	Avance de la entubación provisional por delante del cazo o la hélice, (CPI-4).
Material suelto en la base del pilote.	Caída de fragmentos y terreno suelto de las paredes de la perforación, a veces debido al retraso en el suministro del hormigón o por la misma inestabilidad del sustrato.	1.- Suministro y puesta en obra del hormigón lo más rápido posible. 2.- Entubación provisional, (CPI-4). 3.- Utilización de fluidos de estabilización, (CPI-6). 4.- En todos los casos limpieza del fondo mediante "air-lifting" y/o mediante cazo.
Material suelto embebido en el pilote.	Falta de cuidado o de entubación provisional en la superficie del pilote.	Colocación de entubación provisional en la superficie del pilote, a modo de murete-guía.
Disminución local de la sección del pilote, asociada con bulbos a mayores profundidades.	Confinamiento insuficiente del hormigón.	1.- Extracción lenta y cuidadosa del entubado. 2.- Utilización de entubación perdida, (CPI-5).
Disminución local de la sección del pilote, no se producen bulbos a mayores profundidades.	Carga hidrostática del hormigón durante la extracción del entubado	Altura adecuada del hormigón en la entubación.
Discontinuidades en el fuste del pilote,	Baja trabajabilidad del hormigón o	1.- Utilización de hormigones con una dosificación adecuada.

<p>principalmente por inclusiones del terreno.</p>	<p>fraguado demasiado rápido o tiempo excesivo entre fabricación del hormigón y extracción del entubado.</p>	<p>2.- Cuidado especial ante elevadas temperaturas. 3.- Correcta planificación en el servicio de hormigón y utilización de retardantes.</p>
<p>Falta de hormigón por el exterior de la armadura.</p>	<p>Armadura demasiado densa para el paso del hormigón. Hormigón de baja trabajabilidad.</p>	<p>1.- Utilización de mayor sección de armadura en las barras preferiblemente a un mayor número pero con menor espaciamiento entre ellas. 2.- Correcta dosificación del hormigón.</p>
<p>Discontinuidad en el fuste del pilote (normalmente, separación total en el hormigón).</p>	<p>Hormigón de baja trabajabilidad.</p>	<p>1.- Correcta dosificación del hormigón. 2.- Minimizar el tiempo en el suministro del hormigón.</p>
<p>Dilución del hormigón y formación de zonas blandas.</p>	<p>Penetración de agua en el pilote debido a una dosificación del hormigón inadecuada.</p>	<p>Correcta dosificación del hormigón.</p>
<p>Inclusión de fragmentos arcillosos en el pilote.</p>	<p>Restos arcillosos adheridos a la entubación, desplazados por el hormigón viscoso e incorporados en el cuerpo del pilote.</p>	<p>Utilización de entubación limpia.</p>
<p>Segregación del hormigón con dilución del cemento, a veces con aparición de arena y grava en el cuerpo del pilote.</p>	<p>Ascenso de la tubería de hormigonado por encima de la sup. del hormigón, accidentalmente o por obstrucción. Entrada importante de flujo de agua a través de estrato permeable.</p>	<p>1.- Correcto control y seguimiento de la longitud de tubería introducida en el hormigón. 2.- Correcta fluencia del hormigón a través de la tubería de hormigonado. 3.- Utilización de entubación perdida, (CPI-5).</p>

BIBLIOGRAFIA

- CTE (Código técnico de la edificación)
- NTE (Normas Tecnológicas de la edificación)
- Autor: Méndez Lloret, Manuel.
Titulo: Diccionario básico de la construcción.
Ediciones CEAC. Barcelona, 2004.
- Autores: De La Plaza Escudero, Lorenzo. Morales Gómez, Adoración. Bermejo López, María Luisa. Martínez Murillo, José María.
Titulo: Diccionario visual de términos arquitectónicos.
Editorial Cátedra. 2009
- Autor: Díaz del Río, Manuel.
Titulo: Manual de maquinaria de construcción.
Editorial McGraw-Hill. 2007
- Autores: García Valcarce, Sacristán. Fernández, Pascual.
Titulo: Manual de edificación: Mecánica de los terrenos y cimientos.
Editorial Dossat. 2003
- Autor: Tomlinson, Michael John
Titulo: Diseño y construcción de cimientos.
Editorial: URMO, Ediciones. 1982

Otra documentación:

- Autor: José Ramón Diez de Revenga
Apuntes Cimentaciones y viales
UPCT
- Autor: Antonio Tomas Espín
Apuntes Curso de Cimentaciones profundas, muros y pavimentos
UPCT