

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE PILOTES
SEGÚN LA PRÁCTICA DE EMPRESAS ESPECIALIZADAS EN
EL PERÚ**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

Mayra Alejandra Rodríguez Villegas
Freddy Adrián Torpoco Huayllani

ASESOR: Jorge Zegarra Pellanne

Lima, diciembre de 2015

ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación	3
1.4 Alcances	3
1.5 Aspectos metodológicos.....	3
Capítulo 2: Marco teórico.....	5
2.1 Introducción a las cimentaciones.....	5
2.2 Clasificación de las cimentaciones.....	6
2.2.1 Cimentaciones superficiales	6
2.2.1.1 Zapatas aisladas o individuales.....	6
2.2.1.2 Zapatas corridas o continuas.....	7
2.2.1.3 Zapatas combinadas	7
2.2.1.4 Zapatas conectadas	8
2.2.1.5 Plateas o losas de cimentación	8
2.2.2 Cimentaciones profundas	9
2.2.2.1 Pilotes	10
2.2.2.2 Micropilotes	14
2.2.2.3 Pilotes para densificación.....	17
2.2.2.4 Pilares	17
2.2.2.5Cajones de cimentación o Caissones.....	18
Capítulo 3: Consideraciones generales.....	19
3.1 Información previa	19
3.2 Técnicas de investigación de campo.....	19
3.3 Ensayos in situ y de laboratorio	20
3.4 Resultados del EMS	23
3.5 Criterios para la elección de cimentaciones	23
3.5.1 Influencia tipológica entre la cimentación y el edificio	24
3.5.2 Influencia del tipo de estructura	24
3.5.3 Factor económico	25
3.5.4 Condicionantes impuestos por los edificios próximos	25
3.5.5 Condiciones de utilización de los distintos tipos de cimentación	26
3.6 Ensayos de verificación.....	28
3.6.1 Pruebas de carga	28
3.6.2 Ensayos diversos.....	28

3.7 Inspección de la construcción y limitaciones	28
Capítulo 4: Estudio de empresas.....	29
4.1 Sustento clasificatorio	29
4.2 Empresas seleccionadas.....	33
4.2.1 Descripción general	33
4.2.2 Proyectos destacados y cantidad de material utilizado	35
4.3 Servicios brindados	39
4.4 Normas de diseño empleadas	44
4.5 Método de construcción e instalación.....	46
4.6 Control de calidad.....	54
4.7 Tipo de maquinaria involucrada.....	58
Capítulo 5: Elección del proceso constructivo en función al tipo de suelo y alternativa como pantalla de sostenimiento.....	71
5.1 Tipo de construcción de pilotes según el terreno	71
5.2 Uso de pilotes como pantalla de sostenimiento	78
5.2.1 Método de construcción de pantalla de pilotes separados y tangentes	78
5.2.2 Método de construcción de pantalla de pilotes secantes	80
5.2.3 Proyectos desarrollados en el medio con pantalla de pilotes	82
Capítulo 6: Conclusiones.....	84
6.1 Conclusiones.....	84

Bibliografía

Lista de tablas

- Tabla 2.1 - Tipos de maderas en el Perú
- Tabla 3.1 - Ensayos de laboratorio
- Tabla 3.2 - Ensayos *in situ*
- Tabla 4.1 - Relación de trabajadores por empresas en los últimos dos años
- Tabla 4.2 - Ingenieros responsables de cada empresa
- Tabla 4.3 - Proyectos destacados Pilotes Franki Peruana
- Tabla 4.4 - Proyectos destacados PSV Constructores
- Tabla 4.5 - Proyectos destacados Pilotes Terratest Perú
- Tabla 4.6 - Proyectos destacados Mota Engil Perú
- Tabla 4.7 - Proyectos destacados DSI
- Tabla 4.8 - Resistencia a cargas normales de Pilotes Franki
- Tabla 4.9 - Características generales de pilotes Franki y valores típicos recomendados
- Tabla 4.10 - Servicios brindados de las empresas estudiadas
- Tabla 4.11 - Resultados de ensayos de prueba de carga a pilotes Franki Estándar
- Tabla 4.12 - Diagnósticos del ensayo PIT
- Tabla 4.13 - Pruebas de calidad brindadas por las empresas estudiadas
- Tabla 4.14 - Características generales del equipo Franki tipo XXIX
- Tabla 4.15 - Información técnica de las características de la máquina SOILMEC R-12C
- Tabla 4.16 - Información técnica de las características de la herramienta de perforación de la máquina SOILMEC R 12C
- Tabla 4.17 - Información técnica de las características de la máquina pilotera BAUER BG 20H
- Tabla 4.18 - Información técnica de las características de la máquina pilotera BAUER BG 22H

Tabla 4.19 - Información técnica de las características de la máquina pilotera BAUER BG 24H

Tabla 4.20 - Información técnica de la máquina pilotera SOILMEC SR80

Tabla 4.21 - Información técnica de la máquina KR 805-2

Tabla 4.22 - Información técnica de los gatos DYWIDAG empleados en la empresa

Tabla 4.23 - Información técnica de los gatos huecos de fibra CFRP empleados en la empresa

Tabla 5.1 – Adaptación de la clasificación de pilotes en función al procedimiento constructivo del CPI

Tabla 5.2 – Adaptación de la puntuación básica de los tipos de pilotes en función al terreno de cimentación para $P > 3F$

Tabla 5.3 – Adaptación de la puntuación básica de los tipos de pilotes en función al terreno de cimentación para $P \leq 3F$

Tabla 5.4 – Adaptación de los sumandos correctores para tipos de pilotes en función a los estratos que atraviesan antes de llegar a capas portantes o en las mismas

Tabla 5.5 – Adaptación de los sumandos correctores para tipos de pilotes en función a las características de un proyecto

Lista de figuras

- Fig. 2.1 – Clasificación de cimentaciones
- Fig.2.2 - Vista en corte y planta de una zapata
- Fig. 2.3 - Tipos de cimentaciones de zapatas aisladas
- Fig. 2.4 - Vista en corte y planta de una zapata para un muro
- Fig. 2.5 - Vista en corte de una zapata combinada para una hilera de columnas poco espaciadas
- Fig. 2.6 - Vista en corte de una zapata cantiliver
- Fig. 2.7 - Vista en corte de una zapata conectada
- Fig. 2.8 - Vista en corte y planta de una losa de cimentación
- Fig. 2.9 - Recalce de cimentaciones
- Fig. 2.10 - Estabilización contra sub-presión
- Fig. 2.11 - Estabilización posicional
- Fig. 2.12 - Cortina de micropilotes debajo de estribo de puente
- Fig. 3.1 - Esquema gráfico de profundidad mínima de exploración para cimentaciones profundas
- Fig. 3.2 - Diagrama orientativo de elección de cimentaciones
- Fig. 4.1 - Comparación de cantidad de trabajadores por empresas en los últimos dos años
- Fig. 4.2 - Proceso de Vibrosustitución
- Fig. 4.3 - Proceso constructivo del Pilote Franki Estándar
- Fig. 4.4 - Proceso constructivo del Pilote hincado
- Fig. 4.5 - Proceso constructivo de un pilote en seco
- Fig. 4.6 - Proceso constructivo de un pilote con lodo bentonítico
- Fig. 4.7 – Proceso constructivo de pilote encamisado
- Fig. 4.8 - Proceso constructivo de micropilote
- Fig. 4.9 – Características de la prueba de Crosshole

- Fig. 4.10 – Equipo Franki tipo XXIX
- Fig. 4.11 – Máquina pilotera SOILMEC R-12C
- Fig. 4.12 – Máquina pilotera BAUER BG 20H
- Fig. 4.13 – Equipo Bauer BG-22 Pedro
- Fig. 4.14 – Equipo Bauer BG-24
- Fig. 4.15 – Máquina pilotera SOILMEC SR80
- Fig. 4.16 – Máquina KR 805-2
- Fig. 5.1 – Forma de trabajo del pilote
- Fig. 5.2 - Proceso constructivo de pantalla de pilotes separados y tangentes
- Fig. 5.3 - Vista en planta del proceso constructivo de pantalla de pilotes secantes
- Fig. 5.4 - Proceso constructivo de pantalla de pilotes secantes
- Fig. 5.5 – Perforación de pilote: Intercambio Vial a Desnivel Benavides
- Fig. 5.6 - Esquema Proyecto: Intercambio Vial a Desnivel Benavides
- Fig. 5.7 - Proyecto: Vía Parque Rímac
- Fig. 5.8 - Esquema Proyecto: Vía Parque Rímac

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

En el Perú se realizaron aproximadamente 212 170 construcciones durante el año 2011 (INEI, 2012), de las cuales algunas requieren el uso de cimentaciones profundas y una parte de ellas pilotes. Se podría considerar despreciable en términos estadísticos; sin embargo, esto no indica que no exista requerimiento de este tipo de cimentaciones en el país.

Para los casos en los que se necesite utilizar esta infraestructura existe poca información al respecto debido a que la bibliografía local es escasa y fue publicada alrededor de hace 30 años atrás. Por otro lado, el contenido de ésta muestra patentes obsoletas (actualmente en desuso) o que no se utilizan en el territorio nacional.

Junto con los problemas mencionados anteriormente se añade que la cantidad de empresas dedicadas a brindar el servicio de construcción e instalación de pilotes en el país es reducida y, de las pocas que existen, el subcontrato que se emplea en los proyectos se ha convertido en un monopolio de las empresas más reconocidas.

Este estudio tiene como uno de sus principales objetivos presentar la variedad de empresas que existen en el Perú que puedan resolver la necesidad del uso de pilotes en un proyecto y recomendar el proceso de construcción de estos en función al tipo de suelo según las condiciones de obra. Por otro lado, también se analiza la factibilidad de utilizar cimentaciones profundas como herramientas de sostenimiento de terreno.

Finalmente, el estudio contempla la descripción de las pruebas de calidad de carga e integridad que se ofrecen en nuestro medio y que deben realizarse de forma obligatoria (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

1.2 Objetivos

El proyecto desarrollado involucra una investigación sobre las principales empresas especializadas en la construcción e instalación de cimentaciones profundas en nuestro medio, para este caso en particular: pilotes y micropilotes. Previamente a la

presentación de las distintas compañías, se desarrolló la clasificación de cimentaciones para obtener un panorama general del contexto y en medida que se avanzó el documento, se profundizó el tema referido a pilotes y micropilotes.

El proyecto se encargó de estudiar a cinco empresas que brindan el servicio de construcción e instalación de cimentaciones profundas. A partir de esta información se procedió a analizar los tipos de pilotes con los que se cuenta en nuestro medio y en qué tipo de terrenos es conveniente su uso.

Asimismo, se analizó la viabilidad del uso de cimentaciones profundas como pantallas de sostenimiento de terreno en lugar del uso de muros pantalla. Por último, como cualquier estructura se describen todas las pruebas de calidad que ofrecen estas empresas.

Este estudio se llevó a cabo por medio de entrevistas con los ingenieros responsables de las empresas seleccionadas, las cuales consistieron en el esclarecimiento de una serie de preguntas técnicas que se formularon a lo largo del desarrollo del trabajo y así se pudo definir un estándar de condiciones importantes en obra para escoger el tipo de pilote adecuado. También, se utilizaron diversos artículos, publicaciones, libros y normas para justificar debidamente lo expuesto.

1.2.1 Objetivo general

Producir un documento útil para la mejor elección del proceso constructivo de cimentaciones profundas en el territorio nacional de acuerdo a las condiciones en obra y disponibilidad de recursos en el medio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Presentación de empresas que brindan el servicio de construcción e instalación de pilotes y micropilotes en el Perú.
- Análisis del proceso constructivo de cimentaciones profundas en función a las condiciones de obra.
- Descripción de maquinaria involucrada.
- Descripción de ensayos de calidad ofrecidos en el medio.

1.3 Justificación

El motivo de la investigación se debe a que la metodología de diseño, construcción e instalación de cimentaciones profundas en el país no se encuentra muy difundida debido a la falta de información acerca de las empresas que brindan este servicio en el medio, además del escaso conocimiento de cuando es o no necesario utilizar este tipo de cimentaciones. Se produjo un documento que reunió toda la información necesaria para que, según el proyecto a realizar, se opte por aquella opción que sea más factible en cuanto a la calidad del suelo que se tenga y el proceso constructivo que se siga en el proyecto.

1.4 Alcances

El presente trabajo se inicia con una breve introducción a las cimentaciones y su clasificación, el desarrollo se centra en la descripción de las cimentaciones profundas (pilotes y micropilotes), al ser estos el objeto de estudio fundamental de este documento. Seguidamente, se presentan los requerimientos previos para la elección del tipo de cimentación que se tenga que utilizar. Asimismo, se presentan a las empresas que brindan el servicio de construcción e instalación de cimentaciones profundas en el país, esta información abarca: soluciones ofrecidas, metodología de construcción, maquinaria utilizada y ensayos de calidad. Todo ello para poder realizar un análisis del tipo de cimentación a utilizar de acuerdo a condiciones en obra (tipo de suelo o proceso constructivo).

1.5 Aspectos metodológicos

El presente documento se desarrolló desde un campo general de las cimentaciones hacia uno en específico: pilotes y micropilotes. Para ello se hizo uso de libros y publicaciones que ayuden a conocer y desarrollar las soluciones existentes para las cimentaciones de construcciones en la actualidad.

Se comenzó por conocer el objetivo principal que tienen las cimentaciones, los tipos y funciones existentes, los estudios previos necesarios para definir el uso necesario de cimentaciones profundas, las ventajas y desventajas que poseen este tipo de soluciones. Toda esta información se agrupó de tal modo que se pueda conocer la

amplia variedad de soluciones frente a la demanda de problemas ingenieriles concernientes a este tema.

Para recopilar los datos de las empresas, se formuló una serie de preguntas técnicas que se abordaron durante las entrevistas a los ingenieros responsables de cada compañía. Esta investigación incluye los tipos de pilotes y micropilotes que ofrecen al mercado, su metodología de construcción e instalación, maquinaria involucrada y pruebas de calidad. Con esta información, ya recopilada, se realizó un análisis del tipo de cimentación profunda en función al proceso constructivo y tipo de suelo presente en obra.



Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Introducción a las cimentaciones

Se comienza por definir algunos conceptos fundamentales, tales como:

¿Qué es una cimentación?

Una cimentación es un elemento estructural de cualquier construcción, el cual tiene como principal función transmitir las cargas de servicio al terreno de apoyo a través de cargas axiales y momentos mediante su base sin que estos superen la capacidad admisible indicada en los estudios de suelos.

¿Cómo se clasifican las cimentaciones?

Existen dos tipos de cimentaciones, las cuales son superficiales y profundas. A continuación, se presenta un esquema acerca de ellas y la variedad que incluyen.

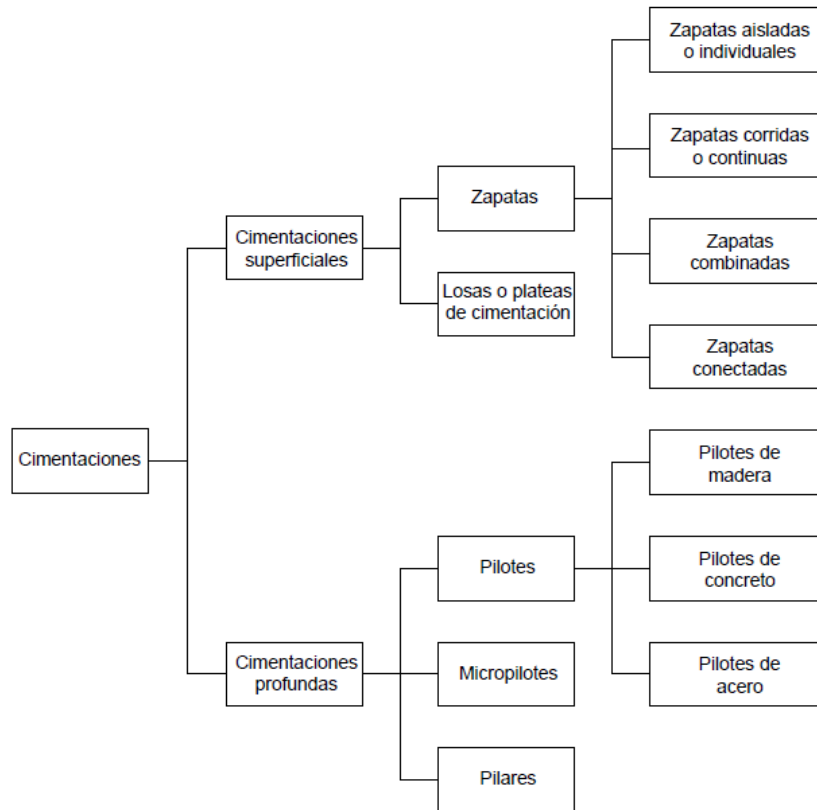


Fig. 2.1 – Clasificación de cimentaciones

2.2 Clasificación de las cimentaciones

2.2.1 Cimentaciones superficiales

Son elementos de cimentación en los que la carga es transmitida al terreno, predominantemente por las presiones distribuidas sobre su base derivadas de una columna o muro. Su relación profundidad/ancho (D_f/B) es menor igual a 5 (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006).

Zapatas: elementos de cimentación superficial de concreto o concreto armado, dimensionado de modo tal que resista las cargas axiales y las tensiones de tracción, resisten principalmente por flexión; además de prevenir el agrietamiento. Generalmente son de forma rectangular o cuadrada; no obstante, su geometría podría variar de acuerdo a las condiciones del proyecto.

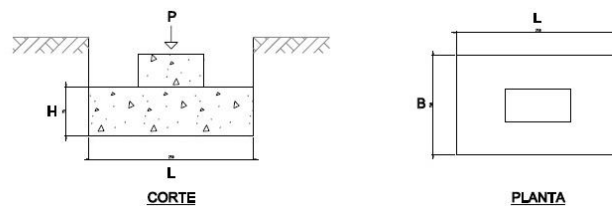


Fig.2.2 - Vista en corte y planta de una zapata (Albuquerque, 2014)

2.2.1.1 Zapatas aisladas o individuales: son estructuras simples que soportan una sola columna. Según su forma, pueden ser circulares, cuadradas o rectangulares. Por otro lado, puede ser de grosor uniforme, escalonado o en pirámide (Tomlinson, 1996).

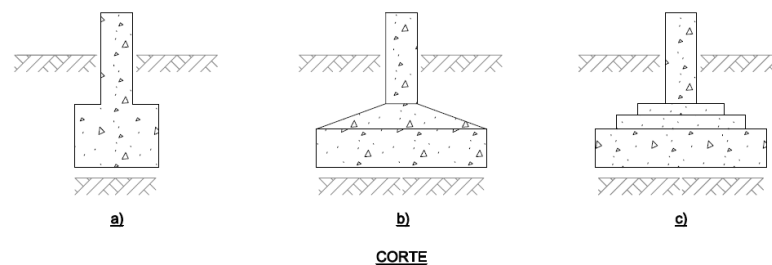


Fig.2.3 - Tipos de cimentaciones de zapatas aisladas. a) Masa de concreto de espesor uniforme, b) concreto reforzado con forma de pirámide, c) Concreto escalonado reforzado (Peck, 1988)

2.2.1.2 Zapatas corridas o continuas: estructuras que son construidas para soportar los esfuerzos bajo un muro.

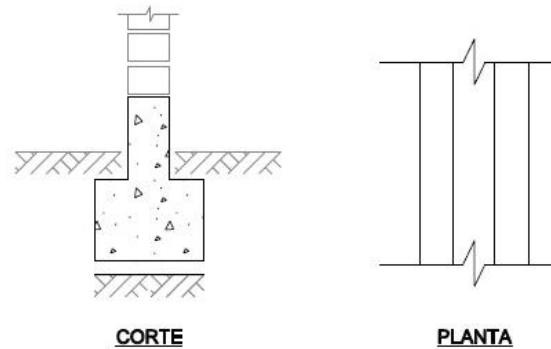


Fig.2.4- Vista en corte y planta de una zapata para un muro (Peck, 1988)

2.2.1.3 Zapatas combinadas: zapatas que se construyen cuando existe una serie de columnas que se encuentran muy cerca o sus áreas de acción se superponen. Se recomienda implementarlas cuando la capacidad de carga del suelo es baja. También se denominan zapatas en cantiliver en el caso que una columna transmita su carga a una zapata que se encuentra en el límite de propiedad siendo esta una carga no centrada (Tomlinson, 1996; Peck, 1988).

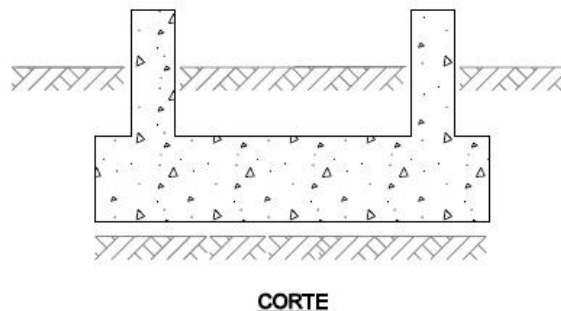


Fig.2.5 - Vista en corte de una zapata combinada para una hilera de columnas poco espaciadas.

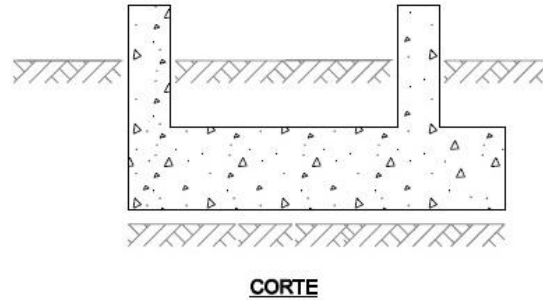


Fig.2.6 - Vista en corte de una zapata cantiliver

2.2.1.4 Zapatas conectadas: unión de dos zapatas aisladas conectadas por una viga de cimentación que permite la disminución de presiones ejercidas sobre el suelo (Blanco, 2015).

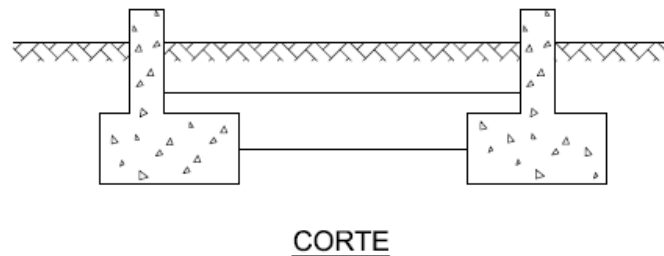


Fig.2.7 - Vista en corte de una zapata conectada (Blanco, 2015)

2.2.1.5 Plateas o losas de cimentación: se emplean cuando el área de zapata ocupa cerca del 50% o más del área de construcción, cuando se desea reducir el asentamiento diferencial máximo, si la presión admisible del suelo es muy pequeña o donde haya variación considerable de carga entre columnas adyacentes. Este tipo de cimentación envuelve gran volumen de concreto y es relativamente costosa, ya que su área se aproxima considerablemente al área total de la estructura (Albuquerque, 2014; Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006).

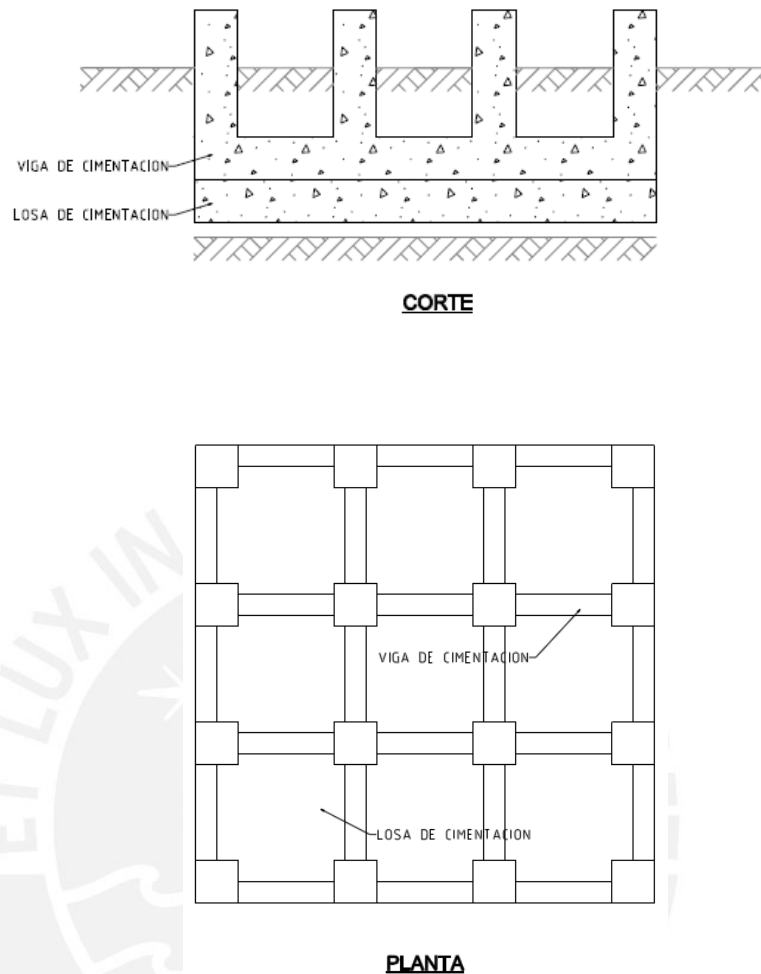


Fig.2.8 - Vista en corte y planta de una losa de cimentación (Peck, 1988)

2.2.2 Cimentaciones profundas

Elemento de cimentación que transmite carga al terreno por la base (resistencia de punta), por la superficie lateral (resistencia de fricción lateral) o por la combinación de ambas. Se utiliza cuando la resistencia del suelo al que se suele construir una zapata o losa de cimentación es insuficiente y no proporciona el soporte adecuado, por lo que las cargas deben transmitirse a un estrato resistente a mayor profundidad. Esto se basa en que la relación profundidad/ancho (D_f/B) es mayor a 5, siendo D_f la profundidad de la cimentación y B el ancho o diámetro de la misma. Este tipo de

cimentaciones incluye a los pilotes, micropilotes, pilotes para densificación, pilares y cajones de cimentación (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006).

2.2.2.1 Pilotes

Son elementos en forma de columna que funcionan como una cimentación de pequeña sección transversal. Son caracterizados por soportar grandes esfuerzos de compresión y cargas horizontales. Además, su función principal es la de transferir la carga de una estructura a través de un estrato débil o agua a un suelo más resistente o roca. Otra utilidad de los pilotes es para mejorar las condiciones físicas del terreno. Por otro lado, a pesar de que la capacidad admisible del suelo sea buena, también se pueden utilizar pilotes, pero como elementos de sostenimiento de terreno en procesos constructivos (pantalla de sostenimiento).

En general son utilizados individualmente o en grupo, para este último caso son unidos por un bloque de concreto en la parte superior. Estos pueden ser de distintos materiales: madera, acero, concreto pre-fabricado, concreto vaciado *in situ* o una combinación de estos.

- Pilotes de madera

Son los pilotes más antiguos en el mundo debido a su simplicidad, relativa seguridad y bajo costo. Su longitud está limitada por la altura de los árboles. No pueden soportar muchos esfuerzos de hincado sin sufrir daño, estos pueden reducirse si se refuerza la punta con un revestimiento de acero. Debido a este problema, la carga que soporta es limitada en 25 toneladas o menos.

Los pilotes de madera deben de reunir las siguientes condiciones:

- Ser de madera sana y de clase que resista el hincado y cortados sobre la parte más alta del terreno en que se encuentra el árbol.
- Libres de dobleces, nudos grandes o sueltos, abolladuras, rajaduras y podredumbre.
- Ser lo más rectos posibles y que adelgacen uniformemente de la cabeza a la punta.

Los tipos de madera presentes en el Perú con los cuales se podrían diseñar pilotes según el “Manual de diseño para maderas del grupo andino” se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tipos de maderas en el Perú (Manual de diseño para maderas del grupo andino, 2000).

Nombre Científico	Nombre común
<i>Apeiba aspera</i>	Maquizapa ñagcha
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	Pumaquiro
<i>Brosimum uleanum</i>	Manchinga
<i>Brosimum utile</i>	Panguana
<i>Carianiana domestica</i>	Cachimbo
<i>Caryocar coccineum</i>	Almendro
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Tornillo
<i>Ceiba samauma</i>	Huimba
<i>Copaifera officinalis</i>	Copaiba
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
<i>Hura crepitans</i>	Catahua amarilla
<i>Hymenaea courbaril</i>	Algarrobo
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Estoraque
<i>Nectandra sp.</i>	Moena negra
<i>Ocotea sp.</i>	Casho moena
<i>Ormosia coccinea</i>	Huayruro
<i>Podocarpus sp.</i>	Diablo fuerte
<i>Pseudolmedia laevis</i>	Chimicua
<i>Pterocarpus sp.</i>	Palo sangre amarillo
<i>Pterocarpus sp.</i>	Palo sangre negro
<i>Sclerolobium sp.</i>	Ucshaquiro blanco
<i>Simarouba amara</i>	Marupa

En nuestro país, el uso de este tipo de estructuras es común en las zonas de alta atenuación sísmica (selva y ceja de selva), ya que se cuenta con una gran variedad de tipos de madera, además, que el suelo es heterogéneo, pues presenta arcillas, limos y arenas, razón por la cual existe una gran posibilidad de licuefacción en él, es así que se hace necesaria la utilización de este recurso.

Estos se encuentran sujetos a problemas de pudrirse en zonas de saturación, variación del nivel freático o destruirse por termitas. Es por ello que deben ser protegidos con creosota o algún otro revestimiento para evitar su descomposición y si se encuentran en agua salada, deben ser protegidos contra su destrucción por animales marinos. En su manipuleo se deben evitar someterlos a esfuerzos de flexión y golpes,

especialmente en los pilotes que han sido tratados. Sin embargo, son fáciles de manejar y cortar antes y después de su instalación, además de la indefinida vida que pueden tener en caso que las condiciones de exposición sea favorables.

- Pilotes de concreto

Estos son los pilotes más comunes en el mundo. Existe una gran variedad de pilotes de concreto, estos se pueden clasificar básicamente en dos: vaciados *in situ* y prefabricados, estos dependen del tipo de construcción y el espacio que se tenga dentro de ella.

Los pilotes vaciados *in situ* pueden utilizar camisas metálicas o fluidos para evitar el desmoronamiento del terreno. Para el primer caso en el que se usan ademes (forro o tubo metálico delgado), estos se pueden dejar en el terreno o extraer mientras se vacía el concreto. Para el segundo, los fluidos cumplen la misma función que los revestimientos metálicos: evitar el colapso del terreno, estos pueden ser lodos bentoníticos, lechada de cemento u otros polímeros. Estos elementos requieren la extracción del suelo previa a su instalación, este proceso se puede realizar con barreno u otros instrumentos mecánicos. De otro modo, los pilotes Franki también son vaciados *in situ*; sin embargo, no requieren una excavación previa, pues la instalación de su camisa de protección se realiza por un proceso de hincado que compacta el terreno ya que esta tiene en su base un tapón que será expulsado una vez alcanzada la profundidad requerida.

En la actualidad, se tiene una amplia gama de patentes para la fabricación de estos elementos, tales como el sistema Mechanical Auger, Prestcore, Franki, Raymond, etc. No obstante, no se cuenta con todos estos procedimientos en el territorio nacional, es por ello que solo se describieron los disponibles dentro del desarrollo de este documento.

Por otro lado, se cuenta con pilotes prefabricados, los cuales deben reforzarse para soportar el transporte y colocación del mismo mediante el hincado, estos pueden ser de una longitud ya establecida o seccionados. Asimismo, los pilotes prefabricados pueden ser pretensados, estos tratan de reducir las grietas debidas al manejo e hincado del pilote, además de proporcionar mayor resistencia a esfuerzos por flexión y compresión.

Estas estructuras de concreto pueden llegar a deteriorarse por altas concentraciones de magnesio o sulfato de sodio y en menor proporción en los pretensados debido a la disminución de grietas. Son muy duraderos contra incendios y en situaciones en las que estén sumergidos en sustancias mencionadas anteriormente si es que en su construcción se utilizó cemento portland tipo V (con bajo contenido de aluminato tricálcico <5%) tal como se indica en la tabla 4.4 de la Norma E.060 de Concreto armado.

- Pilotes de acero

Los pilotes de acero en el Perú se emplean en menor proporción comparados con los pilotes de madera y concreto. Sin embargo, no por ello dejan de ser comercializados. Estos pueden ser empleados como tubos de acero hincados que luego pueden ser vaciados con concreto, arena o grava; también existen los de sección H en caso las condiciones lo requieran, ya que penetran fácilmente y pueden llegar a estratos de gran capacidad de carga. Existe la posibilidad de generarse dobleces en los pilotes debido a excesivos esfuerzos de hincado, por lo que deberán ser reforzados en la punta. Durante su hincado se deberá tener mucho cuidado para que estos se coloquen en la posición correcta según las especificaciones. Para el caso de los tubos de acero estos pueden ser hincados con el extremo abierto y tienen que ser limpiados previo al vaciado de concreto, aquellos con el extremo inferior cerrado son más comunes, ya que no albergan material dentro de él durante el proceso de hincado mientras que los de extremo abierto sí.

Los problemas que se pueden presentar generalmente son los de corrosión en el caso de rellenos en los que quede atrapado aire, para este caso los pilotes de acero son revestidos para evitar la oxidación. Estos son más vulnerables en la zona superior al nivel del suelo y al estrato inmediatamente inferior debido al ataque de sales en casos de mareas de agua de mar.

Son muy convenientes para ser hincados en terrenos duros y hasta roca blanda. Tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Se pueden obtener en longitudes según las necesidades de construcción.
- ✓ Las uniones desarrollan toda su resistencia a la compresión y el 100% de la resistencia a la flexión se obtiene por soldadura.

- ✓ Dado su pequeño desplazamiento del terreno al hincarlos, son los únicos que se pueden hincar a la profundidad deseada sin necesidad de recurrir al *jetting*¹. Se pueden hincar muy próximos a estructuras existentes ya que producen pequeños desplazamientos y vibraciones en el terreno.
- ✓ Se utilizan para resistir grandes esfuerzos laterales, para el caso de sismos su resistencia a la flexión es de gran valor.
- ✓ Suelen necesitar menor espacio para su transporte y almacenaje que los de madera o concreto prefabricados.
- ✓ Al igual que los pilotes de concreto, poseen inmunidad a los ataques de los animales marinos, termitas y podredumbre.
- Pilotes compuestos

Existen dos tipos de pilotes compuestos, aquellos que son por unión de secciones superiores e inferiores de distintos materiales, pero debido al costo y dificultad de lograr las uniones se han dejado de emplear y aquellos que utilizan forros, tubos o ademes combinados con otros componentes más empleados como rellenos de concreto, arena o grava, cuya utilización depende de las condiciones del terreno.

2.2.2.2 Micropilotes

Definidos como elementos similares a los pilotes, cuya diferencia reside en que estos soportan grandes cargas de tracción que oscilan entre los 50 y 500 KN y su diámetro es considerablemente menor (entre 50 y 300 mm) debido a que el material predominante en su funcionamiento es el acero.

Los principales usos de los micropilotes son los siguientes:

- ✓ Cimentaciones especiales y recalce: resiste fuerzas de compresión producidas por la misma estructura.

¹*Jetting*: expulsión a presión de algún fluido como aire o agua.

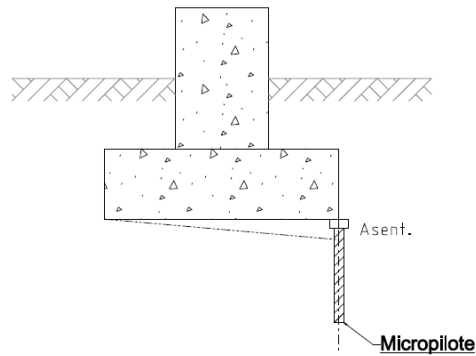


Fig. 2.9 - Recalce de cimentaciones (Fuente propia, 2015)

- ✓ Estabilización contra sub-presión: resiste fuerzas a tracción producidas por la cantidad de agua presente en el terreno.

Losas: el anclaje de micropilotes en losas disminuye la presión ejercida y ayuda en la reducción del espesor de esta.

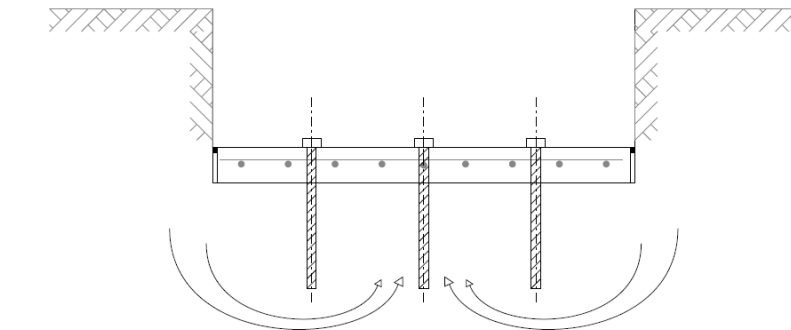


Fig. 2.10 - Estabilización contra sub-presión (Fuente propia, 2015)

- ✓ Estabilización posicional: mantiene el talud de un terreno por ejemplo el caso de carreteras.

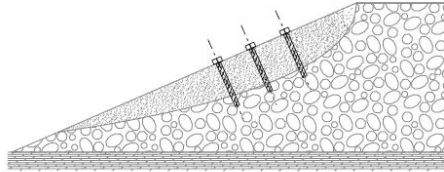


Fig. 2.11 - Estabilización posicional (Fuente propia, 2015)

- ✓ Construcción de presas y puentes: proporción de cortina de pilotes para ayudar en la estabilidad a la cimentación de las estructuras.

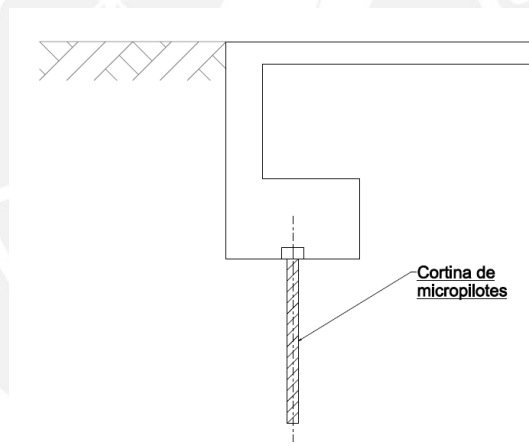


Fig. 2.12 - Cortina de micropilotes debajo de estribo de puente (Fuente propia, 2015)

Las ventajas de este tipo de solución son las siguientes:

- Se requiere poco espacio durante su instalación.
- Los equipos de ejecución son ligeros y compactos.
- Las longitudes del micropilote pueden adaptarse según condiciones de obra.
- Utiliza materiales fáciles de transportar.

No obstante, como cualquier estructura esta presenta algunas desventajas:

- En terrenos arcillosos como es en el caso de la Selva, los micropilotes tienen problemas de adherencia.
- La longitud también es un limitante de este sistema, ya que existe la posibilidad de que no se encuentre un estrato resistente a una pequeña profundidad de excavación.

2.2.2.3 Pilotes para densificación

Si dentro de los estudios de suelo se pueden encontrar estratos posibles de mejorar, existe la posibilidad de optimizar dichos estratos a través de los pilotes de densificación para no recurrir al empleo de concreto o estructuras metálicas.

Este proceso consiste en la excavación del terreno de la misma forma en la que se hace para un pilote; sin embargo, este no es relleno con concreto, sino con un material controlado como columnas de grava, *grouting*, etc. De este modo se obtiene un terreno compactado con una capacidad admisible superior a la inicial que únicamente requiere el uso de cimentaciones superficiales.

2.2.2.4 Pilares

Son elementos de cimentación profunda de forma cilíndrica, se diferencian de los pilotes debido a que en su etapa final es necesario que un operador descienda para completar su geometría o hacer la limpieza. Se debe evitar su ejecución cuando se trabaje en simultáneo a otro tubular cuando su distancia sea inferior al diámetro de mayor base (Albuquerque, 2010).

Los pilares poseen dos tipos de estructuración. La primera de ellas consiste en la de una zapata pero de mayor profundidad² que transmite carga a un estrato más resistente. La otra funciona como apoyo para mega estructuras, generalmente usadas

² Mayor profundidad: dimensión usualmente mayor a cuatro veces el ancho de la base del pilar.

para los puentes, los cuales requieren que el cuerpo de su cimentación sobrepase el nivel del agua para conectarse a la estructura misma. (Peck, 1988)

2.2.2.5 Cajones de cimentación o Caissones

Los cajones de cimentación son elementos estructurales de concreto armado que se construyen sobre el terreno y se introducen en este por su propio peso al ser excavado el suelo ubicado en su interior (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006).

Son construidos con materiales impermeables al agua, utilizados en las cimentaciones de puentes y en obras hidráulica.



Capítulo 3: Consideraciones generales

3.1 Información previa

Según la Norma E.050 de Suelos y cimentaciones en su artículo 3.1.f existe la obligatoriedad de realizar un estudio de mecánica de suelos (EMS) en proyectos en los que se requiera el uso de cimentaciones profundas. Para este estudio se proporcionarán los siguientes documentos:

- Del terreno a investigar
 - Plano de ubicación y accesos.
 - Plano topográfico con curvas de nivel.
- De la obra a cimentar
 - Características generales (uso, número de pisos y sótanos, área, tipo de estructura, modelos de la estructura en sí detallada).
 - Cargas transmitidas a la cimentación.
 - Movimientos de tierras ejecutados y previstos.
- Datos generales de la zona
 - Detalle de usos y construcciones anteriores.
- Datos de los terrenos colindantes
 - Posibilidad de existencia previa de algún EMS.
- Datos de las edificaciones adyacentes
 - Características generales
 - Tipo y nivel de cimentación

Todos estos aspectos que se requieren deben ser analizados detalladamente por el ingeniero responsable, los cuales se explican en el ítem 3.5 del presente estudio.

3.2 Técnicas de investigación de campo

- Calicatas: excavaciones de pequeña profundidad que detallan el perfil estratigráfico, por lo general estas indican el nivel freático encontrado, el nivel de roca o estrato resistente y además recomienda una profundidad mínima de cimentación.

- Perforaciones: sondeos de excavación poco detallados, pero de mayor profundidad que las calicatas. Su principal objetivo es el de verificar la continuidad de los estratos encontrados en las exploraciones.
- Auscultaciones: procedimiento por el cual se evalúa en qué condiciones se encuentra una infraestructura cuando está en uso o en condiciones de estarlo sin interferir con los usuarios

3.3 Ensayos *in situ* y de laboratorio

Una vez que se cuenta con las muestras extraídas a través de los procesos anteriormente descritos, se procede a analizar estas mediante los ensayos mostrados en las tablas 3.1 y aquellos procesos que requieran ensayos en campo se realizarán a través de los mencionados en la tabla 3.2

Tabla 3.1 – Ensayos de laboratorio (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006)

ENSAYOS DE LABORATORIO	
ENSAYOS	NORMA APLICABLE
Contenido de humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Límite líquido y límite plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Peso específico relativo de los sólidos	NTP 339.131 (ASTM D854)
Clasificación unificada de suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D2487)
Densidad relativa	NTP 339.137 (ASTM D4253) NTP 339.138 (ASTM D4254)
Peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139 (BS 1377)
Límite de contracción	NTP 339.140 (ASTM D427)
Ensayo de compactación Proctor modificado	NTP 339.141 (ASTM D1557)
Descripción Visual - Manual	NTP 339.150 (ASTM D2484)
Contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea	NTP 339.152 (BS 1377)
Consolidación unidimensional	NTP 339.154 (ASTM D2435)
Colapsibilidad potencial	NTP 339.163 (ASTM D5333)
Compresión triaxial no consolidado no drenado	NTP 339.164 (ASTM D2850)
Compresión triaxial consolidado no drenado	NTP 339.166 (ASTM D4767)
Compresión no confinada	NTP 339.167 (ASTM D2166)
Expansión o asentamiento potencial unidimensional de suelos cohesivos	NTP 339.170 (ASTM D4546)
Corte directo	NTP 339.171 (ASTM D3080)
Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea	NTP 339.177 (AASHTO T291)
Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea	NTP 339.178 (AASHTO T290)

Tabla 3.2 – Ensayos *in situ* (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006)

ENSAYOS <i>IN SITU</i>				
Ensayos	Norma aplicable	Técnica de investigación	Tipo de suelo (1)	Parámetro a obtener (2)
Ensayo de penetración estándar (SPT)	NTP339.133 (ASTM D1586)	Perforación	SW, SP, SM, SC-SM	N
Cono dinámico superpesado (DPSH)	UNE 103 801:1994	Auscultación	SW, SP, SM, SC-SM	N ₂₀
Cono tipo Peck	UNE 103 801:1994	Auscultación	SW, SP, SM, SC-SM	C _n
Ensayo de penetración cuasi-estática profunda de suelos con cono y cono de fricción (CPT)	NTP339.148 (ASTM D3441)	Auscultación	Todos excepto gravas	q _c , f _c
Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico	NTP339.159 (DIN 4094)	Auscultación	SP	n
Veleta de campo (3)	NTP339.155 (ASTM D2573)	Perforación/ calicata	CL, ML, CH, MH	C _u , St
Prueba de carga	NTP339.153 (ASTM D1194)	-	Suelos granulares y rocas blandas	Asentamiento vs presión
(1) Según clasificación SUCS (2) Leyenda: Cu: Cohesión en condiciones no drenadas N: Número de golpes por cada 0.30m de penetración en SPT N20: Número de golpes por cada 0.20m de penetración mediante auscultación con DPSH Cn: Número de golpes por cada 0.30m mediante auscultación con Cono tipo Peck n: Número de golpes por cada 0.10m de penetración mediante auscultación con DPL qc: Resistencia de punta del cono en unidades de presión fc: Fricción en el manguito St: Sensitividad (3) Solo para suelos finos saturados, sin arenas ni gravas				

Por otro lado, estos ensayos deben considerar la profundidad mínima requerida “p” que indica la norma E.050 de Suelos y cimentaciones, la cual detalla lo siguiente:

$$p = D_f + h + z$$

Dónde:

D_f = En una edificación sin sótano, es la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el extremo de la cimentación profunda (pilote, pilares, etc.). En edificaciones con sótano, es la distancia vertical entre el nivel de piso terminado del sótano y el extremo de la cimentación profunda.

h = Distancia vertical entre el nivel de piso terminado del sótano y la superficie del terreno natural.

$z = 6$ metros, en el 80 % de los sondeos y $1,5 B$, en el 20 % de los sondeos, siendo B el ancho o diámetro de la cimentación, delimitada por los puntos de todos los pilotes o las bases de todos los pilares.

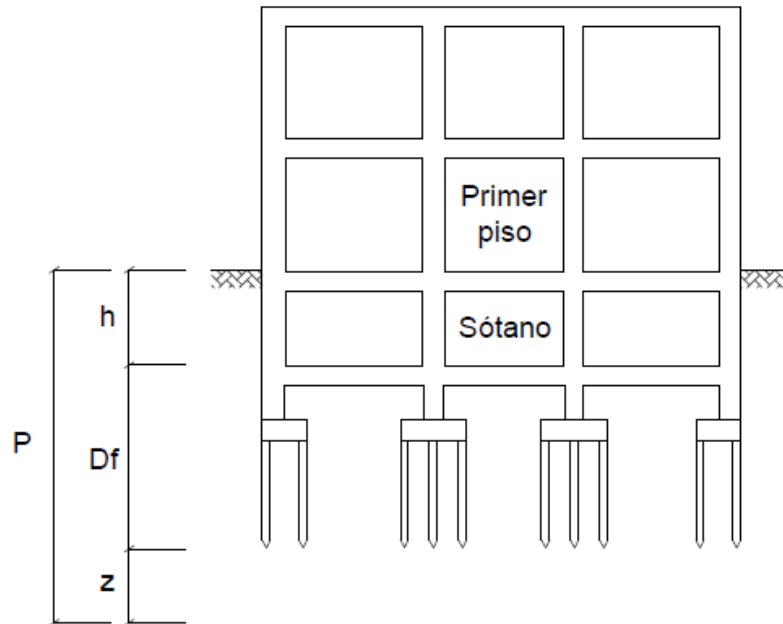


Fig. 3.1 – Esquema gráfico de profundidad mínima de exploración para cimentaciones profundas (Norma E.050 Suelos y cimentaciones, 2006)

En el caso de ser conocida la existencia de un estrato de suelo resistente que normalmente se utiliza como plano de apoyo de la cimentación en la zona, a juicio y bajo responsabilidad del PR, se podrá adoptar para p , la profundidad del estrato resistente más una profundidad de verificación, la cual en el caso de cimentaciones profundas no deberá ser menor de 5 metros o de 15 metros si existen antecedentes de licuación. Si se encontrase roca antes de alcanzar la profundidad p , el PR deberá llevar a cabo una verificación de su calidad, por un método adecuado, en una longitud mínima de 3 metros.

3.4 Resultados del EMS

Una vez culminados con las exploraciones y ensayos necesarios, el ingeniero responsable del EMS deberá indicar el tipo de cimentación necesaria para la estructura. Además, este deberá mostrar:

- Estrato de apoyo de cimentación y profundidad de cimentación.
- Presión admisible de todos los estratos.
- Carga de rotura al corte de la cimentación.
- Asentamientos diferenciales y totales.
- Factores de seguridad.
- Agresividad del suelo.
- Perfil estratigráfico del suelo.
- Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que se encuentren.
- Variación del nivel de napa freática
- Parámetros sísmicos (S y T_p)
- Resultados sobre la potencialidad de licuefacción del suelo

3.5 Criterios para la elección de cimentaciones

A continuación se describen los criterios más importantes para tener en cuenta al momento de escoger el tipo de cimentación que se requiera en un proyecto determinado en base al Capítulo 8 “Criterios para la elección de cimentaciones” del autor José María Rodríguez Ortiz en la publicación “Curso Aplicado de Cimentaciones”, 1989.

La elección del tipo de cimentación dependerá tanto de los aspectos geotécnico y estructural como el económico de modo que sea un proyecto viable. Los estudios anteriormente mencionados nos ayudan a definir la cimentación más aconsejable; sin embargo, estos estudios no son del todo certeros ya que los valores que se obtienen son aproximaciones y esto se debe a los distintos errores que se arrastran en el transcurso de la toma de datos en campo, alterar la muestra original debido a la manipulación de la misma, además es importante considerar que el terreno es un

producto de la naturaleza y como tal es muy complejo a diferencia de los materiales que se producen en la industria de la construcción. Debido a esto existe una amplia variedad de soluciones que hacen no tan fácil la decisión de optar por la mejor cimentación y solo con ayuda de la experiencia en campo se sabrá cuál de todas será la estructura más adecuada. A continuación, se explicarán los factores que ayudan a determinar la elección del tipo de cimentación necesaria sin pretender crear un patrón a cumplir debido a los motivos anteriormente mencionados.

3.5.1 Influencia tipológica entre la cimentación y el edificio

Usualmente un edificio se diseña en base a su función y estética, para luego ser analizado estructuralmente y finalmente partir a la elección de una cimentación, esto en el caso de que la estructura sea fija e inamovible. Para el caso de minería es más fácil elegir cimentaciones convencionales (superficiales) debido a que por lo general se cuenta con un amplio terreno y la estructura puede cambiar de ubicación. Sin embargo, este último caso es muy poco probable en el contexto nacional pues los proyectos que se desarrollan corresponden a una ubicación fija y es por ello que también se recomienda partir de las bases geotécnicas del proyecto según lo requiera. Como, por ejemplo, en la construcción de un edificio en el cual el suelo es licuefactable, se requerirá una cimentación profunda debido a la condición del suelo, por otro lado, en el caso de un viaducto vehicular en el cual se empleen pilotes para evitar demoliciones innecesarias que generen un caos del tránsito inicial, el factor determinante para la elección de la fundación no será la calidad del suelo sino que se hará por un fin práctico.

3.5.2 Influencia del tipo de estructura

Para todo tipo de cimentación existe una relación directa con la complejidad e importancia de la estructura. Aquellos ligeros, de poca altura y escasa importancia usualmente se cimentan de forma barata, es decir, con cimentación superficial, mientras que los de gran altura como rascacielos que están expuestos a empujes horizontales de viento necesitan resistir acciones sísmicas que pueden llegar a producir giros o inclinaciones. Para estos casos existen soluciones que consisten en las siguientes: confinar o inyectar el terreno de modo que se reduzca la deformabilidad, realizar pilotajes para reducir el asentamiento y contrarrestar los esfuerzos horizontales

con el empuje pasivo del suelo y por último trabajar con losas de cimentación para distribuir las cargas.

Si se trabaja en un suelo de baja resistencia se recurre a la cimentación compensada de manera que el peso del volumen de tierra excavado equivalga a la del edificio y la carga neta se vuelva nula. Para los edificios que en altura varían su sección transversal se suelen escalonar los sótanos para que se consiga la misma compensación del ejemplo anterior.

Como se observa existen distintas soluciones a los requerimientos del proyecto, no existe una regla definitiva sino que se debe tomar en consideración la experiencia para evaluar la mejor opción.

3.5.3 Factor económico

Se sabe que dentro del contexto peruano abundan las construcciones informales e incluso construcciones con cierto nivel aceptable de ingeniería pero que no cuentan con un estudio de suelos previo al análisis estructural y es así como sin ningún fundamento se diseñan simples cimentaciones superficiales por economizar costos. Este proyecto tiene como principal intención fomentar la realización de estudios de suelos antes de escoger algún tipo de cimentación.

Por lo mencionado anteriormente, no se recomienda escatimar precios en las cimentaciones, pues estas son la base de una estructura que podría costar 50 o 200 veces más que ellas. Lo que si se recomienda es que ya contando con un estudio de suelos se evalúen todas las posibilidades del tipo de cimentación, ya que este involucra costos de mano de obra, materiales y maquinaria utilizada, que lleven a escoger la mejor opción, aquella que asegure el buen comportamiento del edificio y sea viable económicamente.

3.5.4 Condicionantes impuestos por los edificios próximos

En muchos casos la existencia de edificios adyacentes, obras o instalaciones generan determinadas limitaciones, los más frecuentes: asentamientos.

A continuación se explica brevemente los casos más típicos:

Edificios antiguos con cimentación superficial: aquellas edificaciones que se encuentran en un terreno en mal estado, estos requieren ciertas condiciones.

Para el caso de los sótanos se necesitará trabajar con pantallas *in situ*, muros anclados o sino con pantallas de pilotes poco deformables. Se recomienda confinar el terreno antes de iniciar el proyecto para lograr un terreno resistente o si es necesario recalzar edificaciones adyacentes. Si se realizarán cimentaciones con pilotes evitar los hincados o de desplazamiento debido a que alteran el terreno colindante. Por otro lado, si se emplean cimentaciones por zapata o losa se deben considerar los estudios de los asentamientos en los edificios próximos. Asimismo, estudiar la variación del nivel freático, ya que este fenómeno puede producir asentamientos en los otros edificios.

Edificios ligeros cimentados sobre pilotes: las cargas superficiales pueden generar variaciones en el terreno que provocarán flexiones laterales o rozamientos negativos que afectan a construcciones vecinas para evitarlo de preferencia optar por las cimentaciones profundas.

Edificios adyacentes con cargas muy diferentes: edificios de gran altura y cargas influyen inevitablemente en edificios de menor dimensión, a menos que ambos tengan una misma cimentación en un suelo resistente.

3.5.5 Condiciones de utilización de los distintos tipos de cimentación

En todo lo largo del desarrollo del presente documento, se ha informado al lector que las pautas para la elección del tipo de cimentación requerida no dependen únicamente de los procesos numéricos que se toman de los libros clásicos de la mecánica de suelos, sino que también es muy importante considerar todos los conocimientos que se puedan adquirir de la experiencia y los ejemplos prácticos que se puedan encontrar en bibliografía afín al tema. De este modo, el proceso de selección del tipo de fundación se torna un poco complejo. No obstante, a continuación se muestra un diagrama de flujo de carácter orientativo que desemboca a la recomendación de cimentaciones superficiales o profundas, no se mencionan soluciones particulares ya que ello se hará más adelante, además de que no todas las soluciones individuales se ponen en

práctica en el Perú tales como las patentes de pilotes Prestcore, Raymond, etc. que sí son vistos en diversas publicaciones tradicionales.

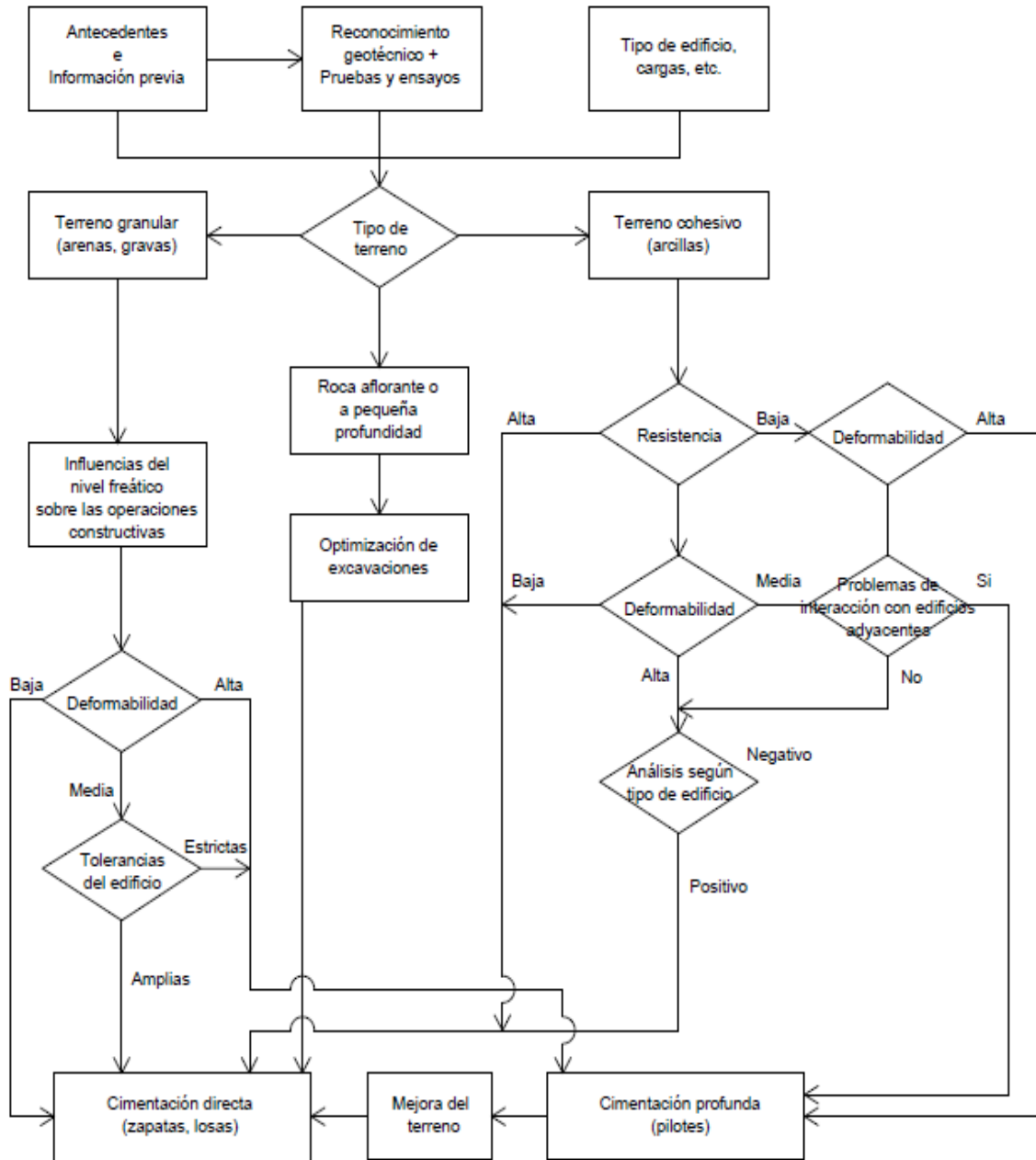


Fig. 3.2 - Diagrama orientativo de elección de cimentaciones (Rodríguez Ortiz, 1989)

3.6 Ensayos de verificación

Una vez concluidos los pilotes, la Norma E.050 de Suelos y cimentaciones indica que se deben realizar pruebas que carga e integridad a estos elementos.

3.6.1 Pruebas de carga

- Se deberán efectuar pruebas de carga según lo indicado en la Norma ASTM D 1143.
- El número de pruebas de carga será de una por cada lote o grupos de pilotes, con un mínimo de una prueba por cada cincuenta pilotes.
- Las pruebas se efectuarán en zonas con el perfil más desfavorable según la exploración de campo.

3.6.2 Ensayos diversos

- Verificación de la continuidad del vaciado de concreto para controlar la presencia de cangrejeras.
- Prueba de carga estática lateral (opcional).
- Verificación de verticalidad.

3.7 Inspección de la construcción y limitaciones

Se recomienda que durante el proceso de construcción se encuentre un ingeniero geotécnico debido a que los análisis realizados son para un número reducido de calicatas y perforaciones que no abarcan toda el área del terreno, a medida que se avanza en el proceso constructivo se pueden encontrar variaciones de estratos y posibles problemas debido a los asentamientos tanto de la propia estructura como de las adyacentes. Por otro lado, el ingeniero responsable podrá contribuir con recomendaciones según los estudios realizados y las observaciones de campo basándose en la experiencia y el tipo de proyecto.

Capítulo 4: Estudio de empresas

4.1 Sustento clasificatorio

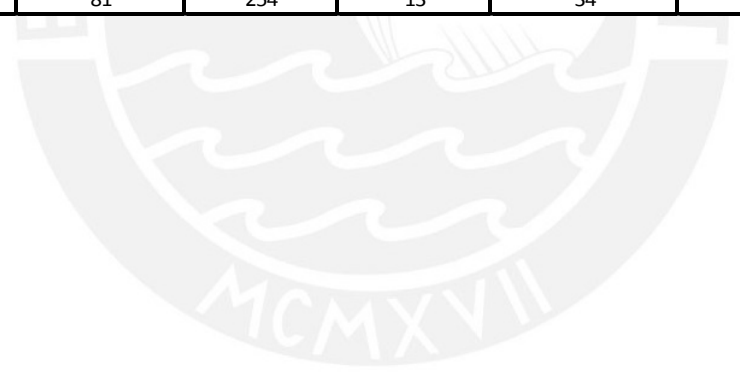
Para la clasificación de una empresa existen varios criterios, algunos de ellos son los siguientes:

- Criterio económico: clasifica a las empresas en función de su volumen de facturación, es decir, sus ingresos obtenidos por ventas.
- Criterio técnico: se refiere al nivel tecnológico, esto es, la innovación en capital.
- Criterio patrimonial: se basa en el patrimonio que las empresas tienen, es decir, sus bienes, derechos y obligaciones.
- Criterio organizativo: se refiere al número de trabajadores en una empresa y su organización.

A pesar de los criterios mencionados, no todos tienen un tamaño fijo aceptado por todos para establecer la clasificación. El criterio más utilizado suele ser el organizativo, referente al número de trabajadores (BBVA, 2013).

Tabla 4.1 – Relación de trabajadores por empresas en los últimos dos años (SUNAT, 2015)

Empresas	Cantidad de trabajadores por empresas									
	Mota Engil Perú	PSV Constructores S.A	Geofundaciones	Geotecnia Peruana	Pilotes Franki Peruana S.A.C	DYWIDAG Systems International (DSI)	Tech Drilling del Perú S.A.C	Terratest Perú	R&M Proyectos S.A.C	Geotécnica S.A.C
RUC	20100045517	20112182021	20520736931	20101334679	20101887171	20518256751	20516811341	20513530481	20511080518	20100102766
2014-08	4126	149	95	681	42	31	22	154	56	246
2014-09	3566	130	84	702	57	32	19	152	64	254
2014-10	4868	98	85	693	19	34	20	153	59	276
2014-11	3008	94	84	675	19	36	18	151	65	253
2014-12	2598	90	82	623	18	35	4	149	58	241
2015-01	2412	80	82	604	17	33	1	145	55	234
2015-02	2540	74	81	575	16	32	1	139	51	217
2015-03	2679	54	81	536	15	31	1	147	41	222
2015-04	4378	52	80	466	16	33	1	141	39	211
2015-05	2831	63	77	427	32	33	0	143	42	215
2015-06	2845	77	81	346	30	34	0	144	45	222
2015-07	3081	98	81	254	13	34	0	141	48	218



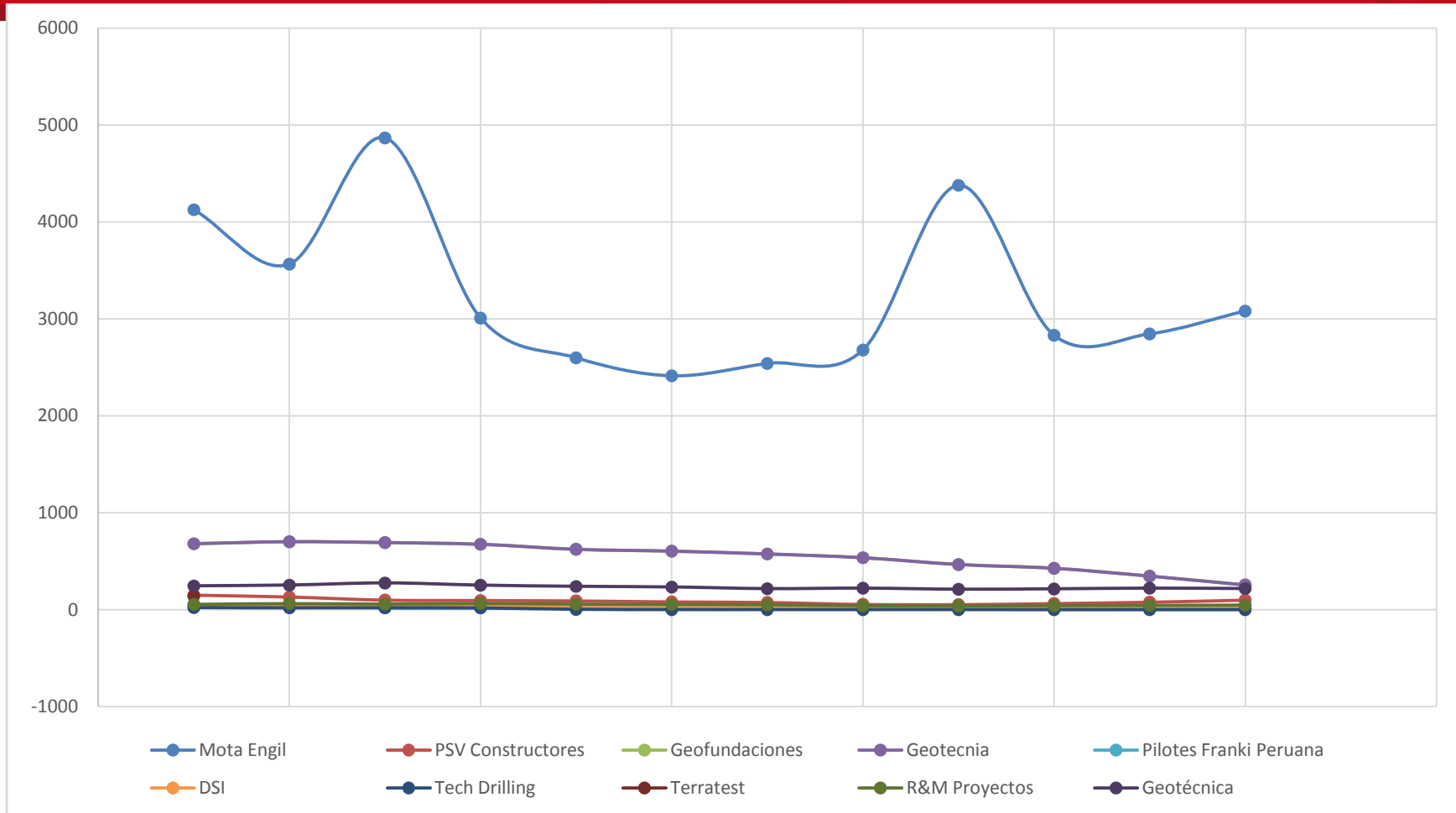


Fig. 4.1 - Comparación de cantidad de trabajadores por empresas en los últimos dos años (SUNAT, 2015)

En el Perú hasta el año 2011, existían 42 434 empresas de construcción (INEI, 2012), de éstas solo unas pocas se dedican a la construcción e instalación de pilotes y micropilotes. De este pequeño grupo se escogió una muestra de 10 empresas (Ver Tabla 4.1 y Figura 4.1) debido a su participación en el medio y en base a su criterio organizativo y se han filtrado únicamente 5 para el desarrollo del documento:

- Pilotes Franki Peruana
- PSV Constructores
- Terratest Perú
- Mota Engil Perú
- DYWIDAG Systems International (DSI)

A pesar que la empresa Pilotes Franki Peruana tenga menor cantidad de trabajadores en los últimos meses se estudia por ser la única que brinda el servicio de construcción de pilotes Franki estándar en el Perú. Para el caso de las empresas PSV Constructores, Terratest Perú y Mota Engil Perú han sido seleccionadas por el criterio organizativo, es decir, tienen la mayor cantidad de trabajadores y proyectos orientados a la construcción de cimentaciones profundas. De la misma manera, DYWIDAG Systems International (DSI) es considerada una empresa representativa, ya que realiza el diseño y suministra material de refuerzo a las dos empresas mencionadas anteriormente.

Entre aquellas no seleccionadas se encuentran Geofundaciones y Geotécnica, pese a que también brindan el servicio de pilotaje y micropilotes, ambas se enfocan más en la producción de muros anclados. Por otro lado, la empresa Tech Drilling que en un inicio se consideró para el estudio, a partir del mes de mayo de este año está registrada como no activa según los registros de la SUNAT.

En el caso de la empresa Geotecnia no está considerada debido a que durante su trayectoria ha ido disminuyendo su personal en gran porcentaje (62.7%) en menos de un año. Finalmente, la empresa R&M Proyectos no está presente por tener menor cantidad de personal respecto a las demás empresas seleccionadas.

4.2 Empresas seleccionadas

4.2.1 Descripción general

A continuación se detalla la información general por cada empresa seleccionada, para cada una hubo un ingeniero responsable de brindar la información para que esta sea válida, tal como se indica en tabla 4.2.

Tabla 4.2 - Ingenieros responsables de cada empresa (Fuente propia, 2015)

EMPRESA	INGENIERO RESPONSABLE	CARGO
Pilotes Franki Peruana	Ricardo Gallegos Monteagudo	Gerente General
PSV Constructores	Mario Peña Fuentes	Gerente General
Terratest Perú	Manuel Reguera Delgado	Gerente Comercial
Mota Engil Perú	Ignacio Melgar Casillas	Subgerente Cimentaciones y Geotecnia
DYWIDAG Systems International (DSI)	Swarton Del Aguila	Gerente de Unidad de Negocio

- Pilotes Franki Peruana

Empresa con amplia experiencia en el rubro de la construcción de cimentaciones profundas. Fue fundada en 1959 como subsidiaria de Pieux Franki Bélgica. Actualmente, desarrolla solo obras de cimentación con pilotes Franki estándar en el Perú y el extranjero (Ecuador y Chile en coordinación con las empresas de Pilotes Franki de cada país, ésta última cerrada). Asimismo, Pilotes Franki se encuentra en los mercados de Argentina, Uruguay, Venezuela, Brasil y Bolivia.

Brindan asesoría a proyectistas o clientes en la solución a los problemas de cimentaciones profundas. Se encuentra ubicada en la Avenida Paseo de la República N° 3691 Of. 602, San Isidro, Lima.

- PSV Constructores

Empresa de capital nacional especializada en la construcción de cimentaciones profundas y obras portuarias (muelles industriales y pesqueros). Fundada en el año 1993 por un grupo de profesionales multidisciplinarios de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Actualmente, su sede principal se encuentra en Perú con sede también en Colombia y próximamente en Chile.

Brindan los servicios de diseño y construcción así como de mantenimiento de estructuras de acero y concreto. Se encuentra ubicada en Av. Del Pinar 180, Santiago de Surco.

- Pilotes Terratest

Empresa constructora de la unión del grupo Echevarría Izquierdo (Chile) y Terratest Técnicas Especiales (TTE), esta última la empresa más grande de cimentaciones en España. Es una compañía especializada en el diseño y construcción de obras inmiscuidas dentro de la ingeniería geotécnica-ambiental. Sus operaciones dentro del país comienzan en Octubre del 2006 con proyectos enfocados en la realización de muros anclados y desde hace poco más de 4 años se integraron al mercado del diseño, construcción e instalación de pilotes. Actualmente las soluciones que brindan al mercado peruano son las de pilotes, muros pantalla, vibrosustituciones, mechas drenantes, anclajes, micropilotes, inyecciones, *soil nailing*, drenes californianos, muros berlineses, etc.

Además, realizan instrumentaciones geotécnicas mediante la instalación de piezómetros, micrómetros deslizantes, inclinómetros, etc. para monitorear el comportamiento del terreno y aguas subterráneas con distintos propósitos, los cuales pueden ser: el control de asentamientos, el control de deformaciones en taludes, muros o pilotes, la medición de la presión de poros del agua en el suelo para el caso de presas o embalses o medir la evolución de cargas en el tiempo en estructuras.

Por otro lado, también brindan servicios enfocados en la remediación de sitios con suelos contaminados y la exploración de estos para, en el caso que el cliente requiera corroborar algunos datos de los estudios de suelos con los que se cuenta.

Pilotes Terratest se encuentra en gran parte América del Sur, pues posee sedes en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Colombia. En nuestro país, se encuentra ubicada en la Av. Manuel Olguín N° 373 of. 505 Santiago de Surco, Lima.

- Mota Engil Perú

Empresa de capital Portugués perteneciente al grupo Mota Engil líder en el mercado internacional en construcción de obras civiles y geotecnia aplicada. La empresa lleva cerca de 30 años en el Perú y en lo correspondiente a esta última especialidad, lleva 5 años desde el 2010.

Fundada en el año 1986 con el nombre de Translei en el territorio nacional y desde el año 2010 con acciones del principal grupo portugués se relanza la empresa con el nombre Mota Engil Perú. Actualmente, tiene una sede principal en la ciudad de Lima con locación en la Av. Nicolás Ayllón N°2634, Ate y otras en diferentes ciudades de Latino América, Europa y África, se encuentran en más de 20 países.

Brindan los servicios de estudio geotécnico que incluye sondeos, prospección geofísica con sísmica, perfiles eléctricos y ensayos de laboratorio. Además, la empresa brinda asesoría para orientar a la solución que mejor se ajusta al proyecto. Finalmente, brinda el servicio de diseño y construcción de estructuras en general.

- Dywidag-Systems International (DSI)

Empresa multinacional de origen Alemán que se encuentra en más de 95 países y en Sudamérica con sedes en Brasil, Chile, Perú y Colombia. En Perú inició sus actividades en el año 2009 como Unidad de Minería y entre el 2011 y 2012 como Unidad de construcción, especialista en geotecnia y suministrador de material.

DSI Perú se encarga de realizar estudios de pre-factibilidad, factibilidad, asesoría en diseño de estructuras como micropilotes y anclajes y suministro de materiales para proyectos en los que se requieran estructuras de acero de alta resistencia. Está ubicado en la Calle Uno Oeste 0061 Of. 103, San Isidro, Lima.

4.2.2 Proyectos destacados y cantidad de material utilizado

- Pilotes Franki Peruana

En la actualidad, han desarrollado aproximadamente más de 300 obras en sus más de 50 años de creación. A continuación se muestra algunos de los principales proyectos que se han desarrollado en estos últimos años.

Tabla 4.3 - Proyectos destacados (Pilotes Franki Peruana, 2015)

Proyecto	Ubicación	Cliente	Metros lineales
Urbanización Sta. Marina Sur - Callao	Lima	Jta. Obras Públicas-Callao	20655
Tratamiento de Sedimentos del Embalse de Tablachaca	Huancavelica	ELECTROPERU	13230
Planta Lucchetti - Chorrillos	Lima	Lucchetti Perú	11385
Centro Comercial Real Plaza - Chiclayo	Lambayeque	INTERSEGURO	10500
TOTAL			55770

Según la apreciación del Gerente General, el ingeniero Ricardo Gallegos Monteagudo, los principales problemas encontrados en el Perú se localizan en los departamentos de Lima, Chiclayo y Cuzco. En el caso de Lima se encontraron grandes inconvenientes para las cimentaciones ubicadas en los Pantanos de Villa debido a la alta probabilidad de licuefacción del suelo. El suelo de Chiclayo se caracteriza por presentar un estrato continuo de limos y arcillas que se extienden hasta una profundidad de 7 a 10 m seguida de una grava arcillosa muy compacta y densa donde descansan los pilotes. En Cuzco el terreno es similar al de Chiclayo en alguna de las zonas, es por ello que cerca del río Huatanay se emplearon pilotes con una longitud de 8 a 9 m.

El resto de proyectos desarrollados durante la trayectoria de la empresa se pueden ver en el Anexo A, la Tabla 1 para edificaciones, la Tabla 2 para puentes, la Tabla 3 para tanques y silos de almacenamiento y la Tabla 4 para estructuras diversas.

- PSV Constructores

Durante los últimos cinco años se han realizado los más importantes proyectos en el Perú. A continuación se indican sus principales obras en el país.

Tabla 4.4 - Proyectos destacados (PSV Constructores, 2015)

Proyecto	Ubicación	Cliente	Metros lineales
Terminal marítimo de embarque de ácido sulfúrico en Bahía Tablones - Ilo	Moquegua	Southern Perú SA	1736
Construcción de la Planta de tratamiento de aguas residuales - Iquitos	Loreto	China International Water and Electric Corp	49984
Faja transportadora para minerales - Callao	Lima	Odebrecht Perú Ingeniería y Construcción SAC	1152
Retiro de tablestacas y desmontaje de muelle - Chilca	Lima	Fenix Power Perú SA	2610
TOTAL			55482

El resto de proyectos desarrollados durante la trayectoria de la empresa se pueden ver en el Anexo B por años desde el 2011 hasta la actualidad, la Tabla B-1 para proyectos del 2011, la Tabla B-2 para proyectos del 2012, la Tabla B-3 para proyectos del 2013, la Tabla B-4 para proyectos del 2014 y la Tabla B-5 para proyectos de este año.

- Pilotes Terratest Perú

Pilotes Terratest a la actualidad solo ha desarrollado una pequeña cantidad de proyectos con pilotes en el Perú, específicamente en Lima, y esto se debe a la buena calidad del suelo que existe en la capital. No obstante, la necesidad de ejecutar proyectos en otros departamentos del Perú, ha hecho que la cantidad de proyectos con pilotes, que Terratest atiende, evolucione favorablemente. Otro factor que ayudó a que esta cantidad ascienda con el paso del tiempo, es la nueva aplicación que se les da: su uso como pantalla de sostenimiento.

Tabla 4.5 - Proyectos destacados (Pilotes Terratest Perú, 2015)

Proyecto	Ubicación	Cliente	Metros lineales
Línea 1 del Metro de Lima	Lima	GyM Ferrovías	9000
Puente San Pedro - Lurín	Lima	Odebrecht	2925
Pilotes Costanera - Callao	Lima	Consorcio Costa Verde	8100
Centro comercial Makro - Villa el Salvador	Lima	Makro	10125
TOTAL			30150

Se conoce además que Terratest se encuentra participando dentro del proyecto de la Línea 2 del Metro de Lima, el cual tiene como empresa adjudicada al Consorcio Nuevo Metro de Lima.

El resto de proyectos desarrollados durante la trayectoria de la empresa se pueden ver en el Anexo C.

- Mota Engil Perú

Durante los últimos años que se posicionó en Perú dentro del mercado de la geotecnia se han realizado importantes proyectos. A continuación se indican sus principales obras en el país.

Tabla 4.6 - Proyectos destacados (Mota Engil Perú, 2015)

Proyecto	Ubicación	Cliente	Metros lineales
Línea 01 del Metro de Lima, tramo 1 y 2	Lima	Odebrecht y Graña y Montero	10000
Puente Chilina	Arequipa	Gobierno Regional de Arequipa	2660
Vía Parque Rimac	Lima	Odebrecht Ingeniería y Construcción	6000
Pilotaje Refinería de Talara	Piura	Petroperú	6000
TOTAL			24660

El resto de proyectos desarrollados durante la trayectoria de la empresa se pueden ver en el Anexo D según categorías de proyectos, entre estos están considerados el movimiento de tierras, puentes, puertos, túneles, canales, centrales hidroeléctricas, presas y diques.

- Dywidag-Systems International (DSI)

A continuación se muestra algunos de los principales proyectos que se han desarrollado en estos últimos años.

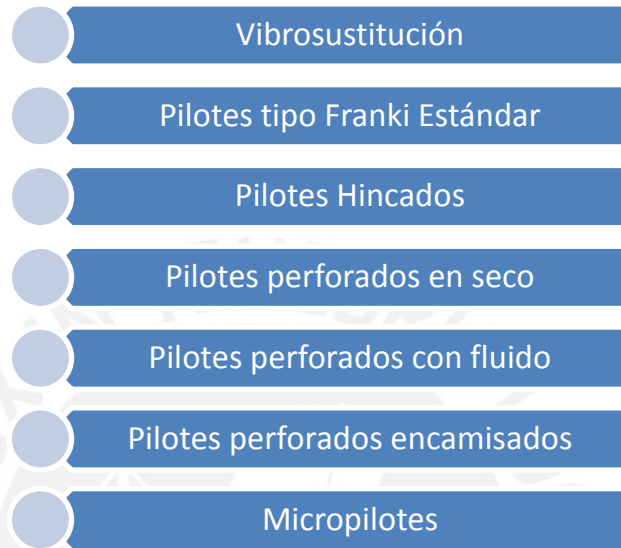
Tabla 4.7 - Proyectos destacados (DSI, 2015)

DYWIDAG Systems International (DSI)		
Proyecto	Sistema cotizado	Metros lineales
Micropilotes torres LT MAMO	DYWI® Drill R38-500	5936
Micropilotes torres LT MAMO	DYWI® Drill (VARIOS)	4736
Micropilotes EDIFICIO MIRABEL RB	GW50 mm	3707
Micropilotes torres LT ISA (MAMO)	GW50 mm	1888

El resto de proyectos culminados se muestran en el Anexo E, actualmente se encuentran desarrollando otros proyectos que no se consideran en la tabla anexada.

4.3 Servicios brindados

Dentro del mercado local, las empresas estudiadas brindan una serie de soluciones para el caso en que se requiera el uso de cimentaciones profundas y el mejoramiento de suelos. De todas estas, se ha conseguido consolidar la siguiente información:



❖ Vibrosustitución

El uso más común de pilotes en nuestro medio se debe a la necesidad de cimentar sobre un suelo resistente capaz de soportar las cargas aplicadas de forma segura. Sin embargo, si dentro de los estudios de suelo se pueden encontrar estratos posibles de mejorar, existe la posibilidad de optimizar dichos estratos a través de la vibrosustitución para no recurrir a las cimentaciones profundas o disminuir la profundidad de estas.

Este proceso consiste en mejorar el terreno mediante la reducción de vacíos en él a través de una vibración aplicada. De este modo se obtiene un terreno compactado con una capacidad admisible superior a la inicial, pues al finalizar este proceso, se rellena el orificio por donde ingresó el vibrador con un relleno controlado (columnas de grava, *grouting*, etc.).

❖ Pilotes tipo Franki Estándar

Las características que distinguen al pilote Franki Estándar son las de vaciado a presión *in situ*, fuste rugoso y el bulbo. El primero crea una zona altamente compacta en el suelo circundante y permite formar en la base un ensanchamiento o bulbo compactado de concreto. El segundo es una característica del pilote debido a la fricción lateral que desarrolla cuando el concreto se encuentra en contacto directo con el terreno. Por último, el bulbo otorga mayor área de contacto y mayor capacidad de carga (factores de seguridad superiores al reglamentario, 2).

Estos pilotes se construyen con diámetros nominales de 300, 355, 406 y 450 mm. Se recomienda las siguientes cargas de trabajo para condiciones normales de carga.

Tabla 4.8 - Resistencia a cargas normales de Pilotes Franki (Pilotes Franki Peruana, 2015)

Diámetro nominal (mm)	Resistencia a cargas normales (ton)		
	Compresión (P)	Arranque (0.25P)	Horizontal (0.05P)
300	30	7.50	1.50
355	55	13.75	2.75
406	70	17.50	3.50
450	90	22.50	4.50

Las características generales de los pilotes Franki Estándar y valores típicos recomendados se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 - Características generales de pilotes Franki y valores típicos recomendados (Pilotes Franki Peruana, 2015)

Denominación	Unidad	Valores típicos			
Diámetro nominal	(mm)	300	355	406	450
Diámetro de cálculo	(cm)	32.5	38	43.1	47.5
Sección del fuste	(cm ²)	830	1134	1459	1772
Momento de inercia	(cm ⁴)	54,737	102,302	169,300	249,761
Refuerzo mínimo		4Ø 1/2"	5Ø 1/2"	4Ø 5/8"	5Ø 5/8"
Refuerzo máximo		8Ø 1/2"	8Ø 5/8"	8Ø 3/4"	10Ø 3/4"
Espiral		Ø 1/4"@15cm	Ø 1/4"@15cm	Ø 1/4"@20cm	Ø 1/4"@20cm
Anclaje del refuerzo en el cabezal	(cm)	30	30	40	40
Espaciamiento mínimo entre ejes de pilotes					
Arenas	(cm)	75	90	100	110
Arcillas	(cm)	90	105	120	135
Distancia del eje del pilote al borde del cabezal	(cm)	35	40	45	50
Peralte del cabezal	(cm)	80	90	100	110

❖ Pilotes hincados

Los pilotes hincados se distinguen por ser estructuras prefabricadas de acero o concreto armado, estos últimos están compuestos de una cabeza, un fuste, una base y la armadura de refuerzo. La cabeza de pilote es aquella parte superior por encima del fondo de zapata. El fuste del pilote es aquel que desarrolla fricción con el terreno, está definido por toda su longitud. Por otro lado, en la parte inferior se encuentra la base del pilote que transmite cargas al terreno y descansa en el estrato portante. Finalmente, la estructura se compone por un refuerzo de acero según las especificaciones del diseño estructural, este incluso puede ser post-tensado.

❖ Pilotes perforados en seco

Los pilotes perforados en seco se caracterizan por ser bastante simples en su proceso constructivo, ya que estos se utilizan en terrenos firmes, no desmoronables, por lo que no se requerirá algún tipo de recubrimiento en el área del suelo en contacto con el pilote.

Este tipo de pilotes de concreto armado vaciado *in situ*, tiene la misma estructura que los pilotes hincados, es decir, están compuestos de un fuste, una cabeza, una base y la armadura de refuerzo. El fuste del pilote es aquel que desarrolla fricción con el terreno, está definido por la cota de vaciado, cota de descabezado y cota de fondo. Se mide en función a su longitud y diámetro, este último está considerado hasta el límite de la armadura, mientras que el diámetro de pilote considera además el recubrimiento. La cabeza de pilote es aquella parte superior por encima de fuste del pilote, que termina con el retiro del emboquillado. Por otro lado, en la parte inferior se encuentra la base del pilote que transmite cargas al terreno y descansa en el estrato portante, presenta ensanchamiento de base debido a la consolidación del concreto. Finalmente, la estructura se compone por un refuerzo de acero según especificaciones.

❖ Pilotes perforados con fluido

En el caso de los pilotes con fluidos, la diferencia se encuentra durante el proceso constructivo, ya que el suelo tiende a desprenderse y necesita de la bentonita o polímeros para estabilizarse y poder verter el concreto sin que existan derrumbes del terreno.

❖ Pilotes perforados encamisados

Los pilotes encamisados, al igual que los pilotes con fluidos tienen problemas durante su construcción por trabajar en suelos que se derrumban con bastante facilidad. Para este caso se emplea una camisa de acero recuperable para estabilizar el terreno durante el vaciado de concreto.

❖ Micropilotes

Estructuras similares a los pilotes, pero que cuentan con un diámetro máximo de 30 cm y soportan principalmente esfuerzos de tracción. Estos elementos se componen por

una barra, tubo o armadura de acero, la cual constituye el núcleo portante, y un recubrimiento de lechada de cemento.

Se mencionó en el párrafo anterior que el núcleo portante está compuesto por una estructura de acero, la cual podría ser incluso de alta resistencia cuyo esfuerzo de fluencia puede variar desde los 5200 kg/cm² hasta los 10400 kg/cm², es decir: cuenta con mayor capacidad de resistencia comparada con los acero convencionales que se encuentra en el mercado ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$); es por ello que, a pesar que los micropilotes tengan un diámetro menor a los pilotes mismos, soportan cargas que oscilan entre las 30 y 150 ton, la cuales pueden aplicarse tanto a compresión como a tracción a diferencia de los clásicos pilotes que si bien soportan grandes cargas a compresión, su resistencia a tracción se encuentra bastante limitada.

En el caso que se requiera utilizar barras de alta resistencia, existen dos tipos de soluciones para esta situación: barras GEWI robusta y soldable y barras GEWI plus para grandes cargas. Para mejorar su rendimiento en cuanto a la fricción por fuste pueden volver a inyectarse, en caso de soportar grandes cargas se realizan micropilotes multibarra.

El uso que se le da a este tipo de estructuras es el mismo ya descrito en el capítulo anterior, donde se detallan sus aplicaciones.

Se entiende que los pilotes terminados tienen las mismas características, lo que varía la clasificación es el proceso inicial de perforación, ya que se pueden encontrar distintos tipos de suelos como granulares y cohesivos, los que requerirán diversos procesos de construcción.

En la siguiente matriz se muestran las empresas que brindan los servicios mencionados anteriormente y además de otros relacionados con estos.

Tabla 4.10 - Servicios brindados de las empresas estudiadas (Fuente propia, 2015)

Empresas	Servicios brindados								
	Vibrosustitución	Pilotes tipo Franki Estándar (1)	Pilotes hincados	Pilotes perforados en seco	Pilotes perforados con fluido	Pilotes perforados encamisados	Micropilotes (2)	Suministro de material (3)	Estudio de suelos
Pilotes Franki Peruana		X						X	
PSV Constructores			X	X	X	X	X	X	
Pilotes Terratest Perú	X			X	X	X	X	X	
Mota Engil Perú				X	X	X	X	X	X
DSI Perú							X	X	

Observación:
 (1) La empresa Pilotes Franki Peruana únicamente brinda el servicio de construcción de pilotes tipo Franki Estándar, mas no el de su diseño.
 (2) La empresa DSI Perú únicamente brinda el servicio de diseño de micropilotes, mas no el de su construcción.
 (3) El servicio de construcción de cimentaciones profundas puede incluir el costo del material empleado (concreto y acero). DSI solo brinda barras GEWI de alta resistencia.

4.4 Normas de diseño empleadas

Además de las normas técnicas peruanas a las que obligatoriamente se deben recurrir para verificar sus diseños, las empresas emplean otras fuentes (normas y manuales de diseño internacionales) de apoyo para su propósito: diseño, construcción e instalación de cimentaciones profundas.

- Pilotes Franki Peruana

Pilotes Franki Peruana no brinda el servicio de diseño de cimentaciones profundas, pues su único servicio es el de la construcción e instalación de pilotes tipo Franki Estándar. Sin embargo, brinda asesoría al cliente en el diseño ayudado de las normas del ACI, AASHTO y ASCE.

- PSV Constructores

PSV Constructores realiza sus diseños de cimentaciones profundas y obras portuarias basándose en la Norma Peruana E.050 de Suelos y Cimentaciones y la Norma

Peruana E. 0.60 de Concreto Armado, estas normas se encuentran en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Pilotes Terratest Perú

Como ya se conoce, Pilotes Terratest brinda el servicio de diseño y construcción de pilotes, para dicho propósito los ingenieros a cargo basan su diseño totalmente en el Eurocódigo 7 y se rigen por las Normas Técnicas Peruanas E.030, E.050 y E0.60.

- Mota Engil Perú

La empresa Mota Engil al ser de origen europeo trabaja sus proyectos basándose en normas europeas entre las cuales se encuentran la UNE (Una Norma Española) y el Eurocódigo que engloba un conjunto de normas europeas para ingeniería basadas en los criterios y normativas de diseño.

- Dywidag-Systems International (DSI)

DSI Perú únicamente brinda el servicio de diseño de micropilotes y esta tecnología la desarrolla basándose en la Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera emitida por el Ministerio de Fomento de España, El Manual de diseño y construcción de micropilotes de la FHWA y sus propias homologaciones (normas) aprobadas por el German Institute for Civil Engineering.

4.5 Método de construcción e instalación

❖ Vibrosustitución

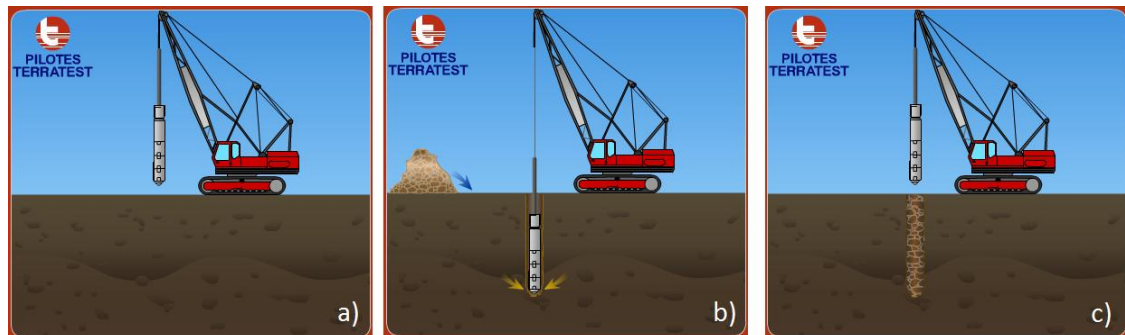


Fig. 4.2 - Proceso de Vibrosustitución: a) Excavación del terreno, b) Vibración del terreno, c) Introducción del relleno con material controlado (Pilotes Terratest Perú, 2015)

Este proceso se inicia con la excavación del terreno (Ver figura 4.2.a) para luego ser vibrado y reducir la cantidad de vacíos en él (Ver figura 4.2.b). Una vez culminado este proceso, se rellena el orificio con un material controlado que puede ser grava, grouting, etc. (Ver figura 4.2.c). De este modo se obtiene un terreno compactado con una capacidad admisible superior a la inicial.

❖ Pilotes tipo Franki Estándar

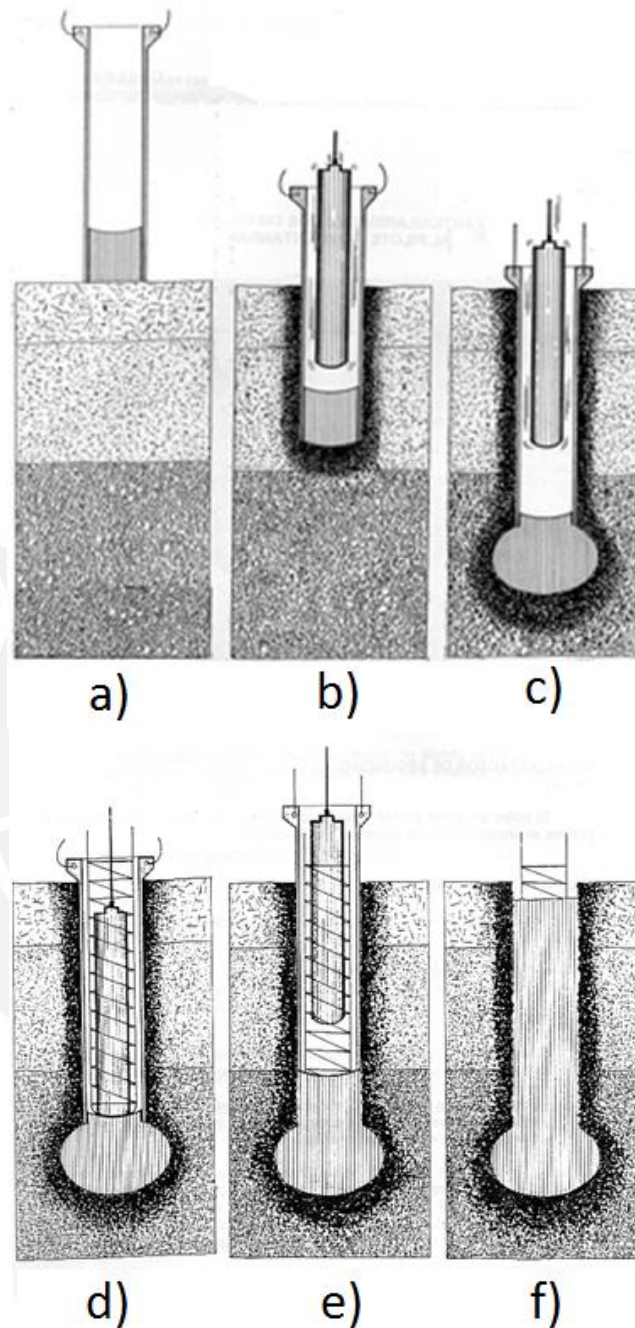


Fig. 4.3 - Proceso constructivo del Pilote Franki Estándar: a) Formación del tapón, b) Hinca, c) Expulsión del tapón y formación del bulbo, d) Colocación de la armadura, e) Construcción del fuste, f) Pilote terminado (Pilotes Franki Peruana, 2015)

El proceso se inicia con la formación del tapón, para el cual se posiciona un tubo verticalmente sobre el terreno o con la inclinación diseñada para luego introducir el agregado grueso de 0.05 a 0.1 m³ y seguidamente dejar caer un martillo de 1.6 a 5 toneladas, de esta manera el agregado se logra compactar y adherir a la parte inferior del tubo (Ver figura 4.3.a). Luego durante la hincada se deja caer el martillo y desplazando el tapón a través del suelo se fuerza a que el tubo ingrese al terreno por fricción de manera que lo compacte (Ver figura 4.3.b). Una vez llegada a la profundidad a la que fue diseñado el pilote y verificando que no es posible hincarlo para llegar a un estrato más resistente se expulsa el tapón golpeándolo fuertemente habiendo sujetado previamente el tubo mediante cables. Luego de este paso se introduce el concreto de slump cero mediante los golpes del martillo para que este logre ser expulsado a través de la boca del bulbo y se forme la base ensanchada (Ver figura 4.3.c). Terminada la formación del bulbo se introduce la armadura asentándola con ayuda del martillo (Ver figura 4.3.d). Se continúa con la compactación por capas de concreto de 30cm para la construcción del fuste y de manera simultánea se va retirando el tubo (Ver figura 4.3.e). Finalmente para terminar el pilote se completa el vaciado de concreto hasta el nivel diseñado dejando una longitud libre de armadura para realizar los empalmes con la estructura (Ver figura 4.3.f).

Ventajas

- ✓ Elevado factor de seguridad por estar apoyado sobre un suelo altamente comprimido.
- ✓ Máxima adherencia gracias a la rugosidad del fuste que desarrolla fricción lateral.
- ✓ Más económico por las dimensiones del fuste que no varían, su armadura está diseñada para cargas permanentes y no necesitan refuerzo adicional y por último para el hincado no es necesario realizar la excavación hasta el nivel más bajo de la estructura.
- ✓ Su construcción es de forma rápida, no es necesario esperar a que el concreto alcance su resistencia final como es en el caso de los pilotes prefabricados.
- ✓ Alta presión en la ubicación e inclinación diseñada.

- ✓ Durante su proceso constructivo es capaz de atravesar obstrucciones como bolones, troncos, etc. sin daños al pilote.
- ✓ Las vibraciones son controladas a partir de las variaciones de la energía y los golpes.
- ✓ Su construcción es relativamente silenciosa.

❖ Pilotes hincados

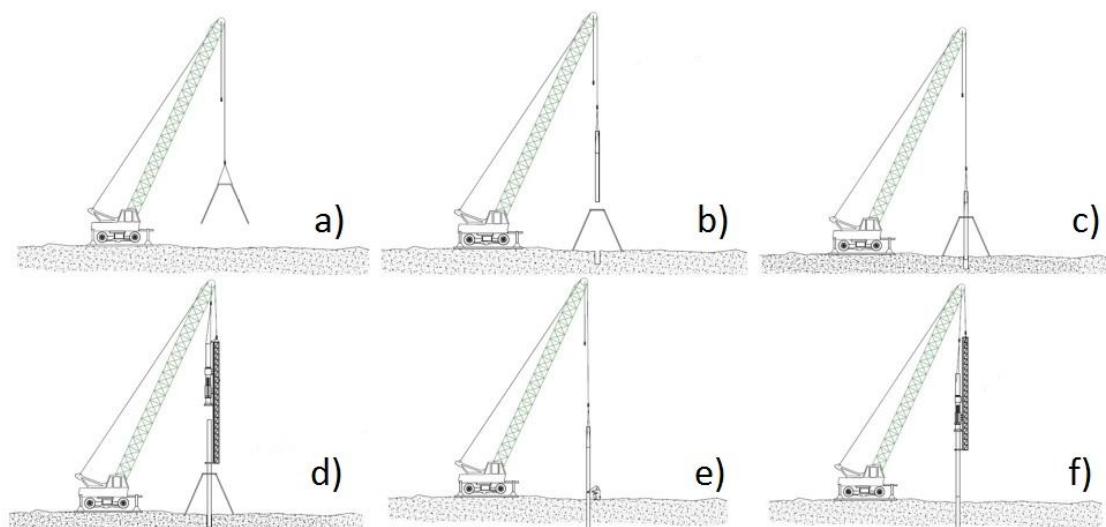


Fig. 4.4 - Proceso constructivo del Pilote hincado: a) Colocación del castillo de hincado, b) Izaje del pilote, c) Colocación del pilote según especificaciones, d) Hincado del pilote, e) Segundo tramo del pilote, f) Verificación de verticalidad y proceso de hincado (PSV Constructores, 2013)

El proceso se inicia con la colocación del castillo de hincado (Figura 4.4.a) para luego excavar un metro del terreno de tal manera que el pilote quede en la posición adecuada (PSV Constructores, 2013). Se continúa con el izaje del pilote de aproximadamente 15 metros (Figura 4.4.b) para luego colocarlo en el castillo de hincado según los planos y especificaciones técnicas, verificando la verticalidad (Figura 4.4.c).

Seguidamente se realiza el izaje de la guía y el martillo de hincado para continuar con el proceso de instalación, el cual consiste en accionar el martillo que impactará sobre la

cabeza del pilote hasta la altura del castillo de hincado (Figura 4.4.d). Luego se retira la guía, el martillo y el castillo para poder hacer el rehincado y dependiendo de la longitud requerida se añade un segundo tramo (Figura 4.4.e), se verifica nuevamente la verticalidad y se procede con el hincado (Figura 4.4.f).

❖ Pilotes perforados en seco

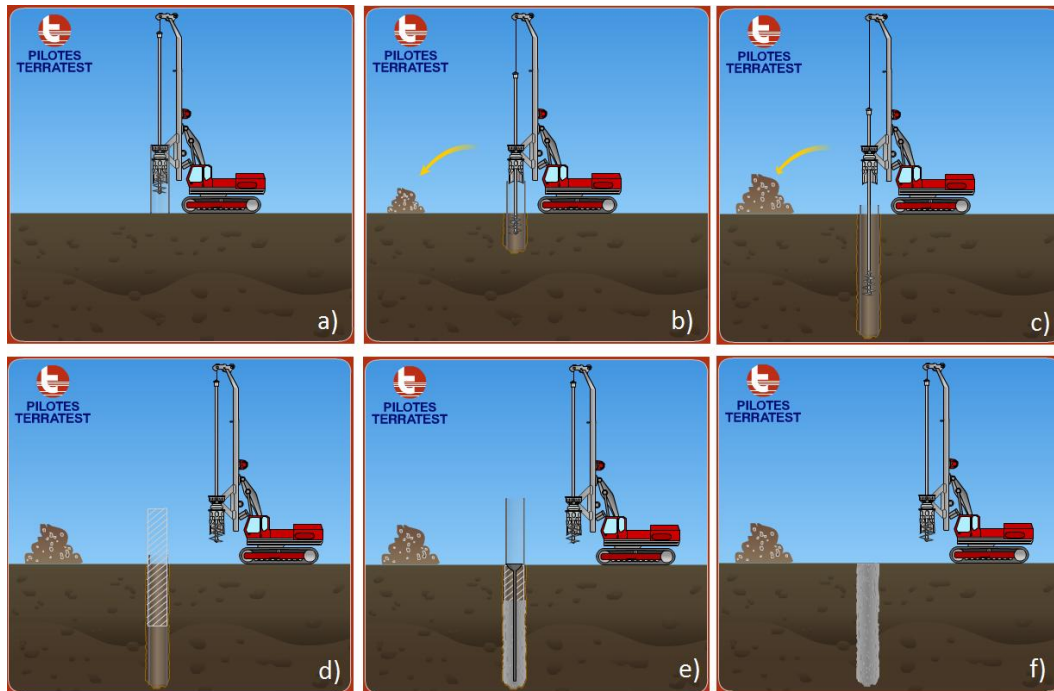


Fig. 4.5 - Proceso constructivo de un pilote en seco: a) Perforación del terreno, b) Extracción de material, c) Perforación a profundidad deseada, d) Colocación de armadura, e) Vaciado de concreto, f) Retiro de equipos (Pilotes Terratest Perú, 2015)

Se inicia la perforación del terreno con ayuda de la herramienta de barreno continuo, el movimiento de la máquina es únicamente vertical, por lo que no se requiere de mucho espacio de maniobra en el terreno. (Figura 4.5.a). Luego se realiza la extracción del terreno de manera continua hasta alcanzar el nivel requerido (Figura 4.5.b y 4.5.c). Se procede con la colocación de la armadura y el vaciado de concreto según especificaciones (Figura 4.5.d y 4.5.e). Por último, se retira la herramienta y máquina de perforación (Figura 4.5.f).

❖ Pilotes perforados con fluido

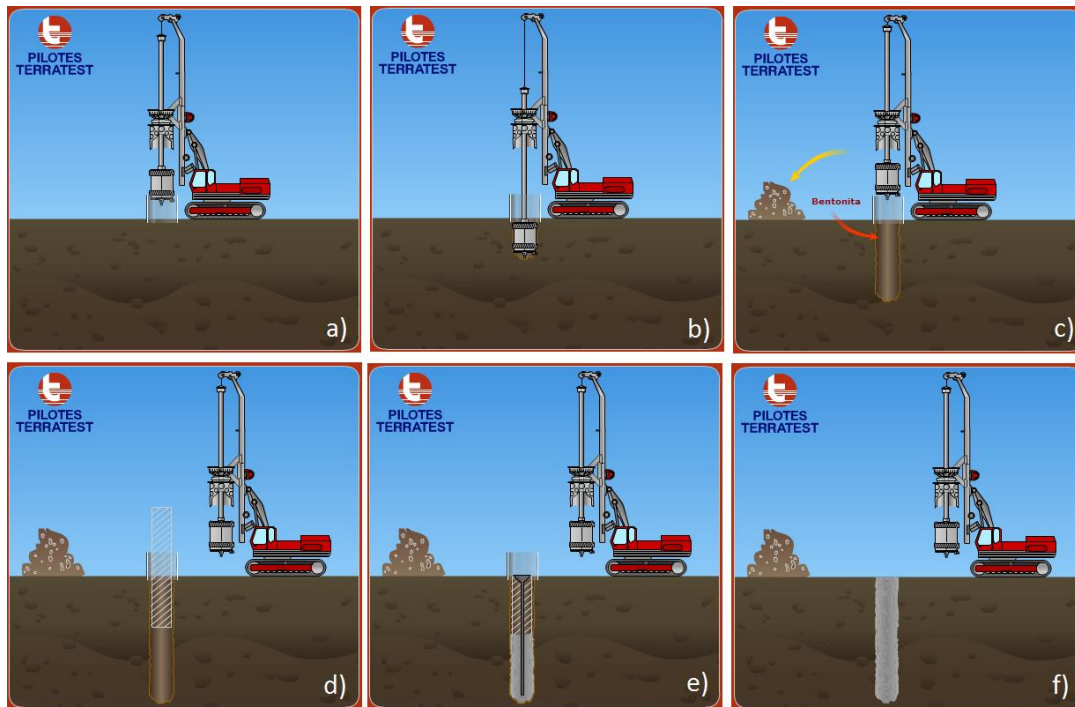


Fig. 4.6 - Proceso constructivo de un pilote con lodo bentonítico: a) Inicio de perforación del terreno, b) Perforación hasta profundidad solicitada con lodo bentonítico, c) Eliminación del material, d) Colocación de la armadura, e) Vaciado de concreto, f) Retiro de maquinaria (Pilotes Terratest Perú, 2015)

En esta secuencia de imágenes se describe el procedimiento de la construcción de un pilote con la ayuda de lodos bentoníticos para sostener las paredes de la excavación. El proceso consiste en excavar el terreno con un equipo (Ver figura 4.6.a y 4.6.b), el cual cubre las paredes de la excavación con lodo bentonítico en el momento que este se eleva para eliminar el material (Ver figura 4.6.c). Este proceso se realiza para evitar derrumbes en terrenos aparentemente resistentes. Una vez alcanzada la profundidad requerida el proceso seguido ya se conoce (Ver figura 4.6.d, 4.6.e y 4.6.f). La maquinaria para este proceso de excavación no requiere de mayor espacio en obra pues sus movimientos son únicamente verticales.

❖ Pilotes perforados encamisados

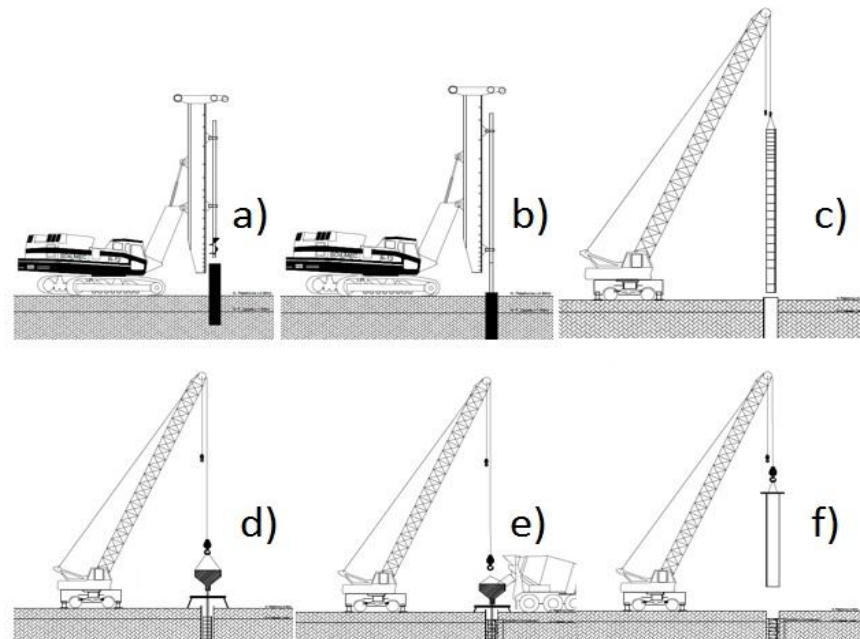


Fig. 4.7 – Proceso constructivo de pilote encamisado: a) Posicionamiento de la maquinaria, b) Perforación del terreno, c) Colocación de armadura, d) Instalación de tubería tremie, e) Vaciado de concreto, f) Retiro de instrumentos (PSV Constructores, 2013)

Se posiciona la máquina perforadora en el terreno a excavar y se realiza la primera perforación dejando la camisa enterrada (Figura 4.7.a). Se continúa la perforación hasta la profundidad solicitada, haciendo que el ademe descienda conjuntamente con la excavación (Figura 4.7.b) y terminado el proceso se realiza la colocación de la armadura (Figura 4.7.c). Se instala la tubería tremie a través de la cual fluirá el concreto (Figura 4.7.d), seguidamente se inicia el vaciado de concreto hasta el nivel solicitado (Figura 4.7.e). Finalmente, se retira la funda recuperable y el sistema tremie (Figura 4.7.f).

❖ Micropilotes

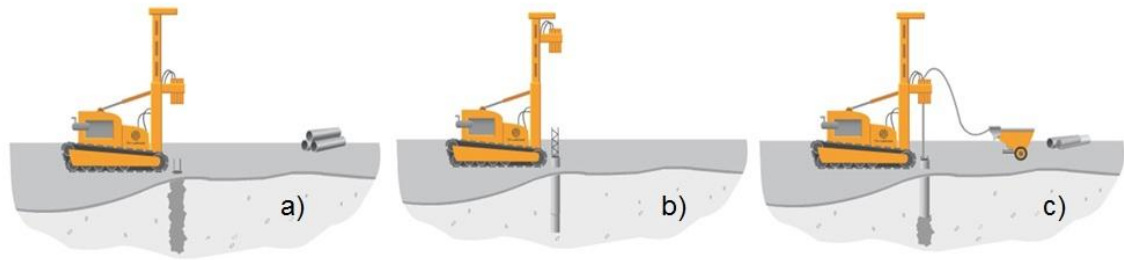


Fig. 4.8 - Proceso constructivo de micropilote: a) Perforación del terreno, b) Colocación de armadura, c) Relleno de mortero o lechada de cemento (Micropilotes Víctor, 2015)

El proceso se inicia con la perforación del terreno en el cual se puede emplear maquinarias de martillo de cabeza para que haga la fuerza de rotopercusión o el martillo de fondo que emplea aire en la perforación (Figura 4.8.a). Ambos procesos pueden ayudarse de bentonita o lechada para estabilizar el terreno y evitar el desmoronamiento. Una vez terminado se realiza una limpieza, ya que la perforación produce detrito, este se lava con agua o aire a presión y lechada de cemento. Se continúa con la colocación de la armadura que incluye la barra roscada GEWI y un centrador, además si se requiere es posible colocar manguitos para ampliar la longitud de la barra de refuerzo (Figura 4.8.b).

Finalmente, se rellena de mortero o lechada de cemento (Figura 4.8.c), este sirve para transferir carga a través del fuste y de protección anticorrosiva para el acero de la armadura. En caso la lechada no proteja suficientemente a la armadura debido a agentes agresivos presentes en el terreno, se cubre con una vaina corrugada para darle doble protección. Por otro lado, a diferencia de los pilotes, estos se pueden tensar para soportar mayores cargas de compresión.

4.6 Control de calidad

En el país existen dos tipos de pruebas de calidad, las cuales aseguran la resistencia, deformación y continuidad de un pilote: prueba de carga y prueba de integridad. Este tipo de pruebas, como se mencionó en el capítulo 3, son obligatorias según la Norma E.050 de Suelos y cimentaciones.

Pile Driving Analyzer (PDA):

También conocido como Ensayo Dinámico, se emplea para el análisis durante y posterior al hincado de pilotes y prueba de carga dinámica, es el sistema más empleado en la actualidad. La prueba determina los esfuerzos en los materiales de pilote así como la energía proporcionada por el martillo durante la instalación de los mismos.

La medición se hace por medio de la instalación de sensores en el fuste, en una sección situada por lo menos 1.5 veces el diámetro del pilote abajo de su cabeza. Las señales de los sensores son enviadas por cable al equipo PDA, donde son almacenadas y procesadas "on line".

El Analizador de Hincado de Pilotes cumple una normativa de referencia de varios países, dentro de los cuales están:

- ✓ Australia (AS 2159-1995)
- ✓ Alemania (Comité 2.1 de la DGGT-recomendaciones para futura inclusión en la norma DIN)
- ✓ Brasil (NBR-13208)
- ✓ China (JGJ 106-97)
- ✓ Estados Unidos (ASTM D 4945 y otras)
- ✓ Inglaterra (Specification for Piling - Institution of Civil Engineers - Capítulo 11)

Los aparatos utilizados son dos pares de sensores, un martillo de hincado y hardware PDA, de los cuales se muestran sus características a continuación:

- ✓ Sensores: El primer sensor es un transductor de deformación específica, que genera una tensión proporcional a la deformación sufrida por el material del pilote

durante el golpe. El segundo sensor es un acelerómetro, que genera una tensión proporcional a la aceleración de las partículas del pilote.

- ✓ Martillo de Hincado: Se utiliza el martillo de hincado usado en la instalación de los pilotes.
- ✓ Hardware PDA: interfaz que procesa y muestra los resultados de la interacción de martillo-pilote a través de los sensores.

A continuación se muestran proyectos de la empresa Pilotes Franki Peruana en los cuales se les realizaron pruebas de carga a los pilotes que construyeron aplicándoles una fuerza normal de hasta el doble de la carga de diseño para garantizar un factor de seguridad mínimo de 2, este procedimiento se realiza para controlar los asentamientos y verificar si estos se encuentran en un rango adecuado.

Tabla 4.11 - Resultados de ensayos de prueba de carga a pilotes Franki Estándar (Pilotes Franki Peruana, 2015)

PRUEBAS DE CARGA									
Obra	Ubicación	Longitud de pilote (m)	Diámetro de pilote (mm)	Carga de diseño (ton)	Carga de prueba (ton)	Factor de seguridad	Asentamiento		
							A carga de prueba (mm)	Permanente (mm)	
Vivienda Bco. Hipotecario	Callao	6.00	300	25	75	3	3.30	0.60	
Sucursal Bco. Hipotecario	Callao	5.00	300	25	75	3	2.90	0.60	
Sucursal Bco. Industrial Ensayo 1	Chimbote	8.00	300	28	56	2	1.35	0.00	
Sucursal Bco. Industrial Ensayo 2	Chimbote	8.00	300	28	115	4	2.80	0.40	
Central Telefónica Ensayo 1	Callao	9.50	355	45	90	2	2.20	4.90	
Central Telefónica Ensayo 2	Callao	9.50	355	45	90	2	2.60	0.50	
Edif. Supervisores Peruanos	Callao	7.00	355	30	90	3	3.60	0.10	
Cuadra Policía Naval	Callao	6.30	355	40	80	2	2.20	0.10	
Edificio Bco. de la Nación	Chiclayo	8.10	355	55	140	3	4.70	1.20	
Complejo Pesquero La Puntilla Ensayo 1	Pisco	7.30	406	50	100	2	2.50	0.70	
Complejo Pesquero La Puntilla Ensayo 2	Pisco	7.00	406	50	100	2	2.10	0.00	
Complejo Pesquero La Puntilla Ensayo 3	Pisco	7.00	406	50	100	2	1.20	0.10	
Complejo Pesquero La Puntilla Ensayo 4	Pisco	5.50	406	50	100	2	2.60	0.30	
Pabellón de Fríos Samanco	Chimbote	8.00	406	60	120	2	2.10	0.30	
Marine Beef Plant	Pisco	4.50	406	40	80	2	2.30	0.50	
Central Telefónica	Iquitos	11.50	450	70	140	2	2.40	0.10	
Tanque Elevado Escuela Normal	Sullana	3.50	450	60	150	3	1.60	0.70	
Tanque Elevado Cerro Mambre	Sullana	4.00	450	70	175	3	5.80	3.70	
Tanque de Petróleo La Pampilla Ensayo 1	Callao	8.80	450	90	150	2	4.90	1.00	
Tanque de Petróleo La Pampilla Ensayo 2	Callao	8.80	450	90	150	2	5.00	0.40	
Tanque de Petróleo La Pampilla Ensayo 3	Callao	8.60	450	90	150	2	3.30	0.40	
Puente El Piojo	Tumbes	29.00	520	120	240	2	17.90	5.60	
Puente Máncora	Piura	13.50	520	120	240	2	5.90	1.70	
Puente Quebrada Seca	Piura	15.80	520	120	240	2	5.30	1.90	
Puente Carpitas	Piura	13.50	520	120	240	2	5.40	1.60	
Puente Carrillo	Piura	7.50	520	120	240	2	9.90	5.30	

Pile Integrity Test (PIT):

El PIT es un ensayo que determina la variación a lo largo de la profundidad de las características del concreto del pilote. El ensayo consiste comúnmente en la aplicación de golpes con un martillo manual en la parte superior del pilote bajo prueba, asimismo se contará con un acelerómetro de alta sensibilidad que recepciona la onda que se transmite a lo largo del pilote para encontrar únicamente la primera discontinuidad. Para que el equipo PIT saque el promedio de las señales correspondientes es recomendable y necesaria la aplicación de varios golpes secuenciales.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de la prueba del proyecto de Túneles By-Pas Cerro Negro – Minera Yanacocha de la empresa PSV Constructores.

Tabla 4.12 - Diagnósticos del ensayo PIT (PSV Constructores, 2015)

Pilote N°	Longitud Total (m)	Velocidad de la Onda (m/s)	Diagnóstico basado en las señales procesadas con el programa PIT-W-Versión 2009
P2-EJE A	10.50	4210	Pilote continuo con anomalía a 3.5 m
P4-EJE A	10.70	4450	Pilote continuo, sin fallas
P6-EJE A	10.70	4500	Pilote continuo, sin fallas
P8-EJE A	10.70	4180	Pilote continuo con anomalía a 3.2 m
P10-EJE A	10.50	3850	Pilote continuo, sin fallas
P12-EJE A	10.50	4300	Pilote continuo, sin fallas

Crosshole ultrasónica

El ensayo de integridad de Crosshole permite detectar los defectos constructivos en los pilotes, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM 6760-14. Los problemas más comunes luego del proceso de construcción son la presencia de concreto segregado, cangrejas, fracturas, inclusiones de lodo u otro material producido por el derrumbe de las paredes del suelo excavado.

Mediante este ensayo se mide la variación de la amplitud y velocidad de propagación de una onda de compresión que es emitida a través de unas tuberías dentro del pilote entre un emisor y un receptor a lo largo de una dirección determinada. La variación de velocidad de onda se asocia con la calidad del concreto, la presencia de discontinuidades o la existencia de cangrejas a lo largo de todo el pilote.

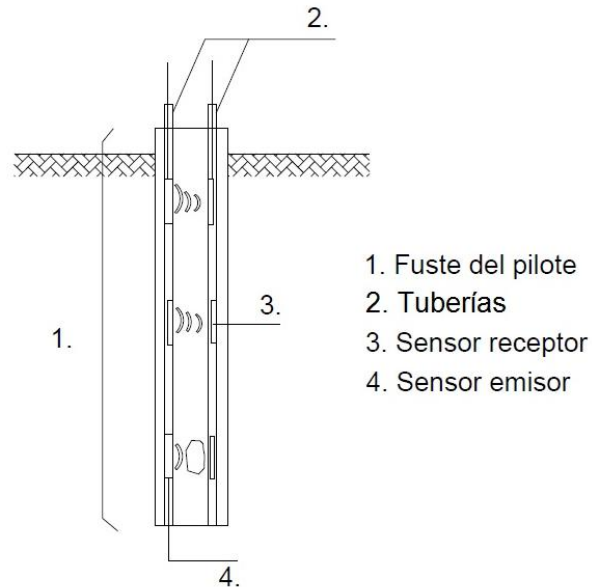


Fig. 4.9 – Características de la prueba de Crosshole (ASTM D6760-14, 2014)

Este ensayo muestra los mismos resultados del ensayo PIT, la diferencia entre ambos es que en este la precisión es mayor debido a que cuenta con los sensores que recorren la longitud completa del pilote.

En la siguiente tabla se muestran aquellas empresas que brindan estos servicios, cabe mencionar que cada empresa los llama con distintos nombres; sin embargo, muchos de ellos poseen los mismos resultados, tanto para el análisis de deformación como el de continuidad.

Tabla 4.13 – Pruebas de calidad brindadas por las empresas estudiadas

Empresas	Pruebas de calidad						
	Análisis de deformación				Análisis de continuidad		
	Prueba de carga	Prueba de tracción y compresión	PDA (Prueba de carga dinámica)	Ensayos de carga	PIT (Ensayo de integridad)	Instrumentación del pilote	Crosshole
Pilotes Franki Peruana	x						
DSI Perú		x					
PSV Constructores			x		x		
Terratest Perú				x		x	
Mota Engil Perú				x			x

4.7 Tipo de maquinaria involucrada

- Pilotes Franki Peruana

Pilotes Franki Peruana actualmente cuenta solo con 2 equipos Franki Tipo XXIX los cuales están montados sobre ruedas, tienen un rendimiento muy elevado a causa de su mecanización avanzada. Sus desplazamientos en la obra, gracias a un sistema mecánico, son rápidos y completamente autónomos.

Tabla 4.14 - Características generales del equipo Franki tipo XXIX (Pilotes Franki Peruana, 2015)

Características	
Peso de la máquina	30 ton
Altura de la pluma	11.50 m
Peso de los martillos	De 1800 a 3000 kg
Longitud de los pilotes con tubos con empalmes	hasta 16 m
Longitud de los pilotes con tubos sin unión	hasta 9.5 m
Tubos moldes	300, 355, 406 y 450 mm
Inclinación máxima de pluma hacia atrás	25°
Inclinación máxima de pluma hacia adelante	15°
Retiros mínimos de cualquier obstáculo al eje del pilote de frente	0.75 m
Retiros mínimos de cualquier obstáculo al eje del pilote de frente	1.75 m



Fig. 4.10 – Equipo Franki tipo XXIX (Pilotes Franki Peruana, 2015)

No obstante, la empresa planea, dentro de un futuro muy próximo, adquirir maquinaria para ingresar al mercado de los pilotes excavados ya que los pilotes Franki son del tipo hincado y estos tienen como principal desventaja la dificultad de ingresar o penetrar terrenos duros como roca o costras de material resistente.

- PSV Constructores

Existen diferentes tipos de maquinaria según el pilote con el que se trabaje. Para los servicios brindados por PSV Constructores se utilizan los siguientes equipos especializados.

Piloteadora Soilmec R12: Máquina de perforación de pilotes con barrena continua, cuya especificación técnica se muestra en las tablas 4.15 y 4.16.

Tabla 4.15 - Información técnica de las características de la máquina SOILMEC R-12C (SOILMEC, 2000)

Transmisión	Regulación hidrostática interna y automática	
Tabla rotativa	Motores con pistones axiales	
Máximo momento	12500 Kg-m	
Frecuencia de rotación	7.8 - 28.5 rpm	
Máxima frecuencia de rotación	144 rpm	
Tamaño de tubería	5000 - 6000 mm	
Máxima fuerza de tracción	18000kg en tuberías 7210kg en herramientas	
Motor Diesel		
Potencia máxima	188 kW	
Máxima velocidad de rotación	2650 rpm	
Bomba hidráulica	Principal	Auxiliar
Máxima presión	300 kg/cm ²	250 kg/cm ²
Rendimiento teórico	2x196 l/min	2x37 l/min
Tornos hidráulicos	Principal	Auxiliar
Máxima fuerza de tracción	12500Kg	8400Kg
Velocidad del cable	0 - 40 ó 0 -81 m/min	caída libre
Díámetro del cable	25 mm	19 mm
Peso	50 000 kg	

Tabla 4.16 - Información técnica de las características de la herramienta de perforación de la máquina SOILMEC R-12C (SOILMEC, 2000)

R-12C con hélice continua	
Máxima profundidad estándar	16.5 m
Máxima profundidad con extensión	21.5 m
Máximo diámetro	1200 mm
Máximo momento	12500 kg-m
Velocidad de barrena	7.8 - 28.5 rpm
Montacarga	50000 kg

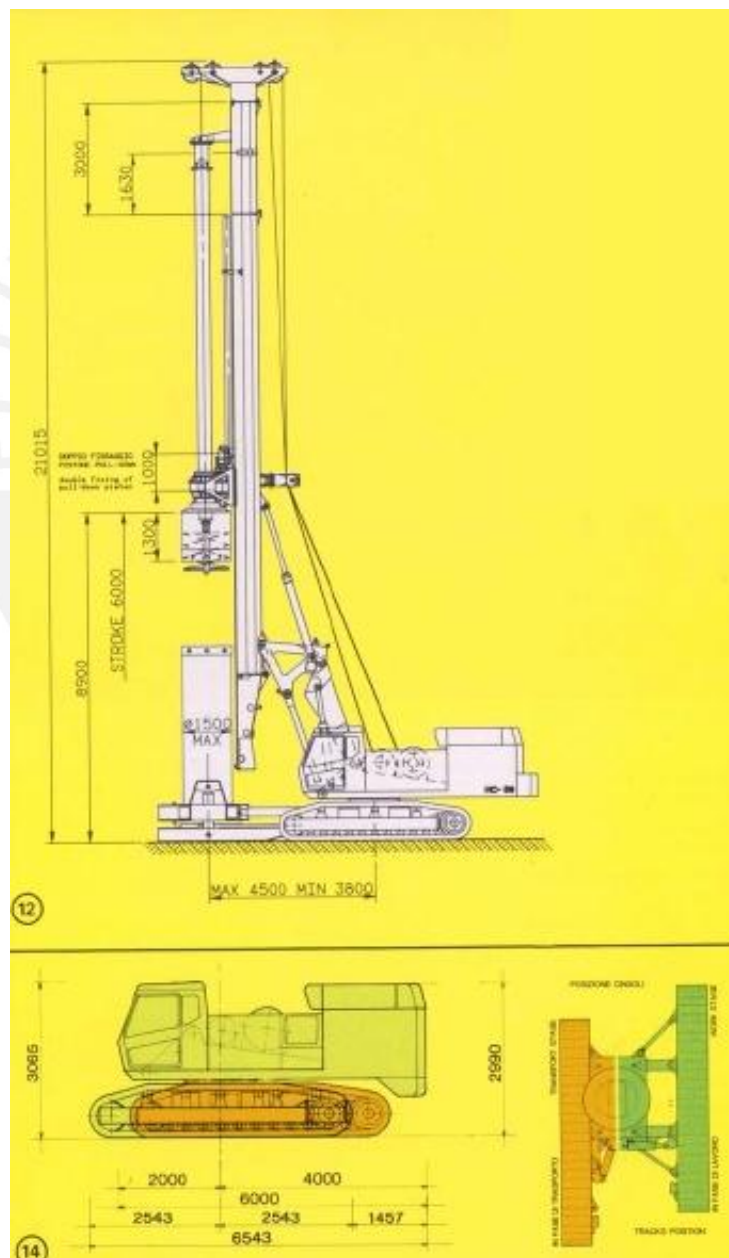


Fig. 4.11 – Máquina pilotera SOILMEC R-12C (SOILMEC, 2000)

Pilotea Bauer BG 20H: Máquina de perforación de pilotes con barrena continua similar a la pilotea SOILMEC R-12C, cuya especificación técnica se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4.17 - Información técnica de las características de la máquina pilotea BAUER BG 20H (BAUER, 2013)

Altura total	21 920 mm
Peso sin accesorios	58 500 kg
Accesorio rotativo	KDK 200 K
Momento nominal a 300 bar	200 kN-m
Velocidad máxima de rotación	33 U/min (rpm)
Máquina para tensar cable	
Presión/ tracción efectiva	260 / 260 kN
Fuerza de compresión/ tracción	205 / 210 kN
Golpe (Sistema Kelly)	8 380 mm
Máximo golpe	14 960 mm
Velocidad (bajada/subida)	7 / 7 m/min
Velocidad rápida (bajada/subida)	25 / 25 m/min
Tensador principal	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	170 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	210 kN
Diámetro de cable / longitud	26 mm / 66 m
Línea de velocidad (máx.)	56 m/min
Tensador auxiliar	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	55 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	70 kN
Diámetro de cable / longitud	15 mm / 50 m
Línea de velocidad (máx.)	55 m/min
Inclinación del mástil	
Atrás/ adelante/ lateral	15° / 5° / +- 5°

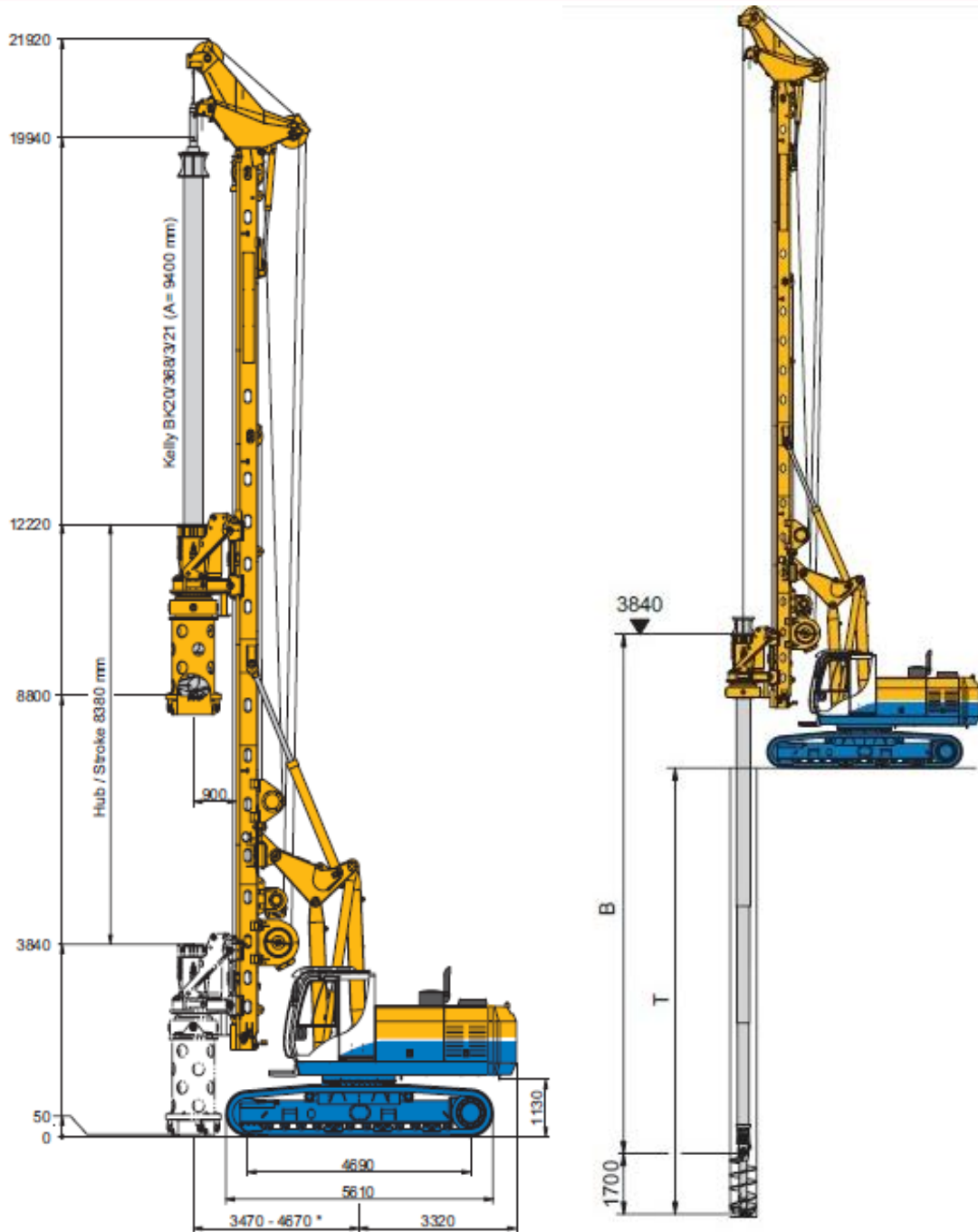


Fig. 4.12 – Máquina pilotera BAUER BG 20H(BAUER, 2013)

- Pilotes Terratest Perú

Para la excavación o perforación del terreno, en el proceso constructivo de los pilotes que brinda esta compañía, se emplean piloteadoras rotativas donde la característica importante de estas es el par (torque) de su motor, lo que indica la fuerza con la que rota la pieza perforadora.

Debido a su amplia experiencia, Pilotes Terratest trabaja únicamente con piloteadoras de la marca alemana Bauer. Los modelos con lo que cuenta son los de BG-22 en adelante, el numero 22 indica el par del motor en unidades de tonelada por metro.

Tabla 4.18 - Información técnica de las características de la máquina pilotera BAUER BG 22H (BAUER, 2009)

Altura total	22 989 mm
Peso sin accesorios	70 000 kg
Accesorio rotativo	KDK 225 K
Momento nominal a 300 bar	222 kN-m
Velocidad máxima de rotación	30 U/min (rpm)
Máquina para tensar cable	
Presión/ tracción efectiva	260 / 260 kN
Fuerza de compresión/ tracción	220 / 210 kN
Golpe (Sistema Kelly)	8 500 mm
Máximo golpe	16 300 mm
Velocidad (bajada/subida)	7 / 7 m/min
Velocidad rápida (bajada/subida)	25 / 25 m/min
Tensador principal	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	170 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	218 kN
Diámetro de cable / longitud	26 mm / 75 m
Línea de velocidad (máx.)	56 m/min
Tensador auxiliar	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	60 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	75 kN
Diámetro de cable / longitud	16 mm / 45 m
Línea de velocidad (máx.)	55 m/min
Inclinación del mástil	
Atrás/ adelante/ lateral	15° / 5° / +- 5°

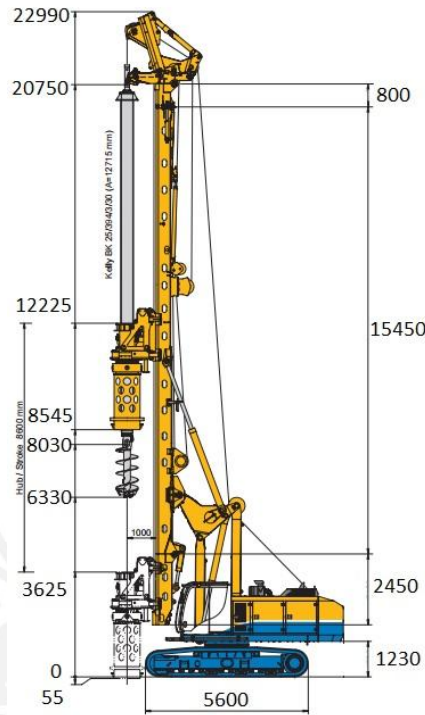


Fig. 4.13 – Equipo Bauer BG-22 Pedro (BAUER, 2009)

Tabla 4.19 - Información técnica de las características de la máquina pilotera
BAUER BG 24H (BAUER, 2009)

Altura total	21 840 mm
Peso sin accesorios	77 500 kg
Accesorio rotativo	KDK 235 K
Momento nominal a 300 bar	222 kN-m
Velocidad máxima de rotación	32 U/min (rpm)
Máquina para tensar cable	
Presión/ tracción efectiva	330 / 330 kN
Fuerza de compresión/ tracción	270 / 280 kN
Golpe (Sistema Kelly)	9 200 mm
Máximo golpe	15 600 mm
Velocidad (bajada/subida)	6.5 / 6.5 m/min
Velocidad rápida (bajada/subida)	26 / 26 m/min
Tensador principal	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	200 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	250 kN
Diámetro de cable / longitud	28 mm / 75 m
Línea de velocidad (máx.)	80 m/min
Tensador auxiliar	
Clasificación de máquina de tensión	M6 / L3 / T5
Extracción de línea simple (1era capa efectiva)	80 kN
Extracción de línea simple (1era capa nominal)	100 kN
Diámetro de cable / longitud	20 mm / 50 m
Línea de velocidad (máx.)	55 m/min
Inclinación del mástil	
Atrás/ adelante/ lateral	15° / 5° / 8°

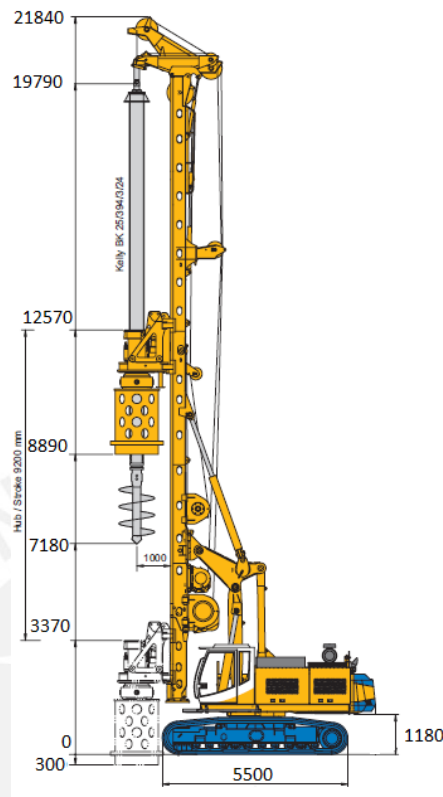


Fig. 4.14 – Equipo Bauer BG-24 (Pilotes Terratest Perú, 2015)

- Mota Engil Perú

Existen diferentes tipos de maquinaria según el pilote o micropilote con el que se trabaje. Para los servicios brindados por Mota Engil Perú las principales máquinas que utilizan con frecuencia son las siguientes:

Soilmec SR80: Máquina pilotera de plataformas automontantes, de fácil transporte y del mejor diseño para soluciones de perforación.

Tabla 4.20 - Información técnica de la máquina pilotera SOILMEC SR80 (SOILMEC, 2015)

Información técnica		
Motor diesel T3 / T4	Kw	328 / -
Peso	ton	83
Tensador principal	kgf	26 500
Mínimo peso de transporte	ton	58
Máximo momento	kgf-m	29 800
Sistema de subida y bajada del cilindro	kgf	30 600 / 22 600
Sistema de subida y bajada del winche	kgf	28 500 / 22 400
Barrena continua		
Máximo diámetro	mm	1200
Máxima profundidad	m	24
Diámetro del pilote		
Máximo diámetro	mm	2000
Máxima profundidad	m	77



Fig. 4.15 – Máquina pilotera SOILMEC SR80 (SOILMEC, 2015)

Máquina KR 805-2: Perforadora hidráulica sobre orugas, para construcción de micropilotes, apta para realizar perforaciones extremas en cualquier terreno.

Tabla 4.21 - Información técnica de la máquina KR 805-2 (Geomek, 2015)

Peso	17 ton
Longitud de la máquina	7800 mm
Ancho de la máquina	22800 mm
Altura de la máquina	2245 mm
Motor Diesel	129 kW
Mástil	202
Fuerza de la matriz	10 ton
Longitud de la matriz	4650 mm
Martillo de cabeza	Máx. HD 1828 R
Unidad de rotación	Máx. KH 27

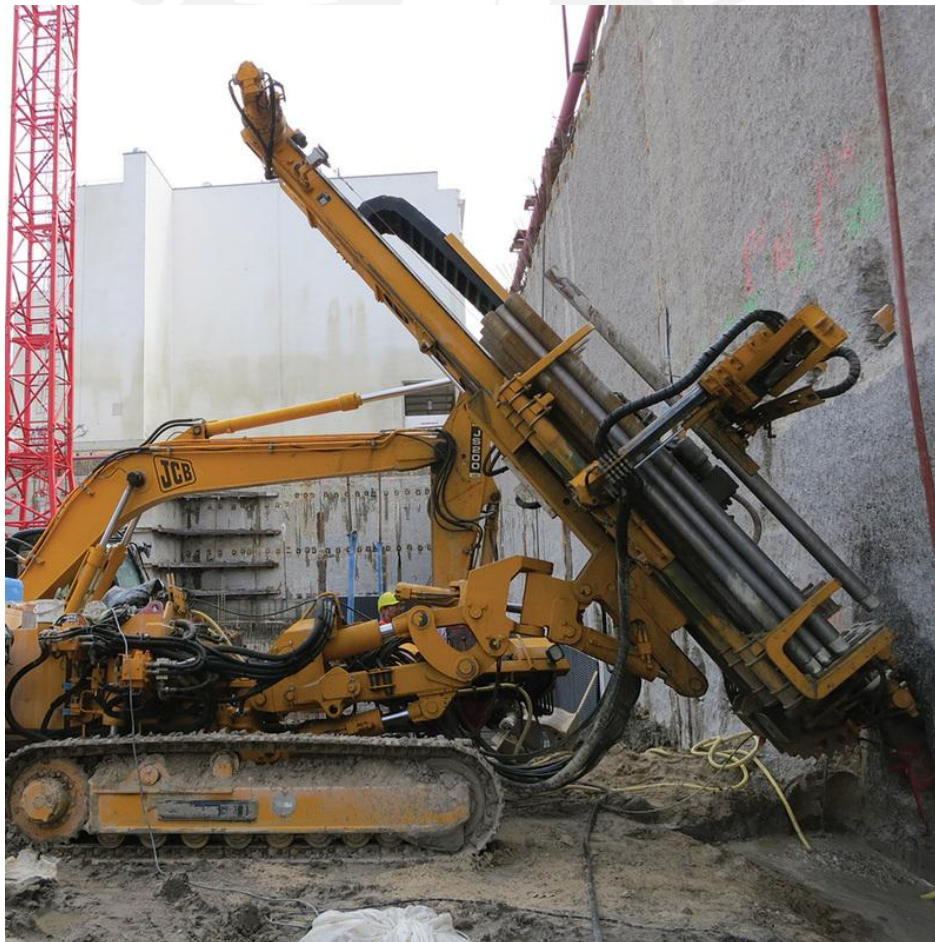


Fig. 4.16 – Máquina KR 805-2 (Geomek, 2015)

- Dywidag-Systems International (DSI)
- ✓ Para la construcción de micropilotes:

Se requiere maquinaria liviana sobre orugas o ruedas dependiendo del tipo de terreno en el que se encuentre el proyecto. Estos equipos pueden contar con martillos en cabeza, los cuales hacen una fuerza para la rotopercusión o martillos de fondo que emplean aire para la perforación. No se menciona más detalle debido a que DSI Perú no brinda el servicio de construcción de micropilotes, sino la de su diseño, asesoramiento, supervisión y suministro de material.
- ✓ Para las pruebas de carga:

DSI Perú, para las pruebas de carga, utiliza 3 tipos de equipos, dentro de los cuales tenemos a los siguientes:

 - ❖ Gatos DYWIDAG: herramientas robustas altamente resistentes construidas de acero y/o aleaciones de aluminio, se encuentran cromadas o galvanizadas para resistir diversas condiciones atmosféricas.

Poseen una múltiple posibilidad de usos siendo estos el tensado de cable y barras de anclaje, realizar pruebas de carga y ensayos de aceptación en anclajes y pilotes.

Tabla 4.22 - Información técnica de los gatos DYWIDAG empleados en la empresa (DSI, 2015)

Gatos DYWIDAG								
Gato	Carga de tesado nominal	Longitud	Diámetro exterior	Carrera	Paso libre	Peso	GEWI®	GEWI® Plus
Tipo	kN	mm	mm	mm	mm	kg	Ø mm	Ø mm
HOZ 250	250	580	125	50	33	13	16 - 28	-
110 Mp	1100	750	267	50/150	86	55	16 - 50	18 - 43
HOZ 2000	2000	880	325	150	140	210	63.5	57.5 - 63.5

- ❖ Gatos huecos de fibra CFRP: alternativa óptima para los gatos convencionales presentados anteriormente ya que son mucho más ligeros (ahorro de poco más del 60% de peso), pues están reforzados con fibra de carbono. Estos equipos, al ser ligeros, son operables por una o, como máximo, 2 personas, lo que elimina la necesidad de utilizar grúas o equipos auxiliares para realizar los tesados de acero y ensayos de micropilotes.

Tabla 4.23 - Información técnica de los gatos huecos de fibra CFRP empleados en la empresa (DSI, 2015)

Gatos huecos de fibra CFRP								
Gato	Altura	Ancho	Carrera	Paso libre	Carga de tesado nominal	Peso	GEWI®	GEWI® Plus
Tipo	mm	mm	mm	mm	kN	kg	Ø mm	Ø mm
L-HK-DZ 040-150-038	316	140	150	38	412	11.3	16 - 25	18 - 25
L-HK-DZ 080-200-080	382	190	200	80	832	20.7	16 - 40	18 - 35
L-HK-DZ 100-200-083	382	190	200	83	990	23.2	16 - 50	18 - 43
L-HK-DZ 120-180-090	362	215	180	90	1175	25.3	16 - 50	18 - 43
L-HK-DZ 170-250-110	447	260	250	110	1781	52.1	63.5	57.5
L-HK-DZ 270-250-069	450	324	250	69	2775	69.3	-	63.5 - 75



Capítulo 5: Elección del proceso constructivo en función al tipo de suelo y alternativa como pantalla de sostenimiento

Según la información recopilada por las empresas entrevistadas, se puede inferir que los pilotes excavados y micropilotes mostrados cumplen la misma función como estructuras de cimentación o sostenimiento de terrenos. La diferencia entre uno y otro radica exclusivamente en su proceso de construcción, en el cual se podrá escoger el tipo de revestimiento del terreno a excavar entre lechada de cemento, lodos bentónicos o una camisa de acero.

Por otro lado, los pilotes hincados también poseen la misma finalidad; sin embargo, su proceso de instalación se diferencia con los anteriores por ser estos elementos prefabricados y no necesitar equipos de excavación sino que únicamente son introducidos al terreno con ayuda de martillos de hincado hasta su rechazo.

En este capítulo se muestran recomendaciones para la elección del tipo de pilote como estructuras de cimentación según la calidad del terreno que se encuentre en el proyecto. Asimismo, se describen las características más importantes de los equipos para escogerlos en función al perfil estratigráfico más crítico que se encuentre en el suelo de la obra. Finalmente, se explica la función de los pilotes como pantallas de sostenimiento, las condiciones necesarias para su aplicación y sus beneficios.

5.1 Tipo de construcción de pilotes según el terreno

El Perú cuenta con una gran variedad de suelos, los cuales en ciertos casos requieren cimentaciones profundas, es por ello que el mercado ofrece distintos tipos de pilotes para resolver estos problemas ingenieriles. En muchas ocasiones resulta difícil determinar aquel proceso constructivo que se adecue mejor.

Dentro de las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) existen tablas que facilitan esta elección a través de un sistema de puntuaciones en función a su carga de diseño y condiciones en obra. En principio se muestra la tabla 5.1 que contiene la clasificación general de los pilotes de desplazamiento o de hincado y los excavados o perforados según Cimentaciones Pilotes *In Situ* (CPI) (CTE, 2006).

De todos los tipos mostrados en la siguiente tabla, en Perú no se trabaja con el CPI – 5: pilotes perforados con camisa perdida, debido a que incrementa el costo al no recuperarse la camisa durante el proceso constructivo.

Tabla 5.1 – Adaptación de la clasificación de pilotes en función al procedimiento constructivo del CPI (CTE, 2006)

Símbolo	Especificación	Aplicación
CPI -2	Pilote hincado	Usualmente como pilotaje de poca profundidad trabajando por punta, apoyado en rocas o capas duras después de atravesar capas blandas.
CPI -3	Pilote Franki	Usualmente como pilotaje trabajando por fuste en suelos granulares de compacidad media o en terrenos con capas alternativas cohesivas y granulares de alguna consistencia.
CPI -4	Pilotes perforados con camisa recuperable	Como pilotaje de poca profundidad trabajando por punta, apoyado en roca. También como pilotaje trabajando por fuste en suelo cohesivo firme, prácticamente homogéneo.
CPI -5	Pilotes perforados con camisa perdida	Trabajando por punta apoyado en roca o en capas duras, siempre que atraviesen capas de suelo granular fino en presencia de agua, exista flujo de agua, o el terreno presente agresividad al hormigón fresco.
CPI -6	Pilotes perforados con fluidos	Usualmente como pilotaje trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras, y se atraviesen capas blandas que se mantengan sin desprendimiento por efecto de los lodos.
CPI -7	Pilotes perforados en seco	Como pilotaje trabajando por punta, apoyado en capa de suelo cohesivo duro. También como pilotaje trabajando por fuste en suelo cohesivo firme, prácticamente homogéneo, o cohesivo de consistencia media en el que no se produzcan desprendimientos.
CPI -8	Pilotes barrenados, vaciado de concreto por tubo central de barrena	Como pilotaje trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras. También como pilotaje trabajando por fuste en terrenos de compacidad media, o en terrenos de capas alternadas cohesivas y granulares de alguna consistencia.

Esta clasificación asocia un código para cada tipo de manera que resulte más sencilla la calificación en las siguientes tablas, asimismo se incluye la aplicación de cada uno. La mayoría de ellos han sido detallados en el capítulo 4 por ser parte de los servicios brindados de las empresas estudiadas.

A continuación se muestran las tablas que ayudarán en la determinación del pilote más adecuado, este será evaluado mediante una puntuación básica (Tabla 5.2 y 5.3) y sumandos correctores (Tabla 5.4 y 5.5), ambos deberán ser sumados para hacer la comparación entre cada uno, aquel que tenga el mayor puntaje será el elegido.

La primeras dos tablas hacen referencia al pilote en función a los tipos de suelos y las resistencias por fuste (F) y punta (P) obtenidos en el cálculo de diseño. Cuando la resistencia por punta es mayor a la resistencia por fuste su comportamiento es similar al de una columna por lo que las cargas son transmitidas directamente a un suelo resistente tal como se muestra en la Figura 5.1.a. En cambio cuando el suelo tiene una capacidad portante limitada las cargas de la estructura son soportadas por la fricción lateral, es decir por toda el área superficial del pilote como se muestra en la Figura 5.1.b. También existen suelos con capacidad portante media, en estos casos un pilote puede trabajar por resistencia de punta y fuste.

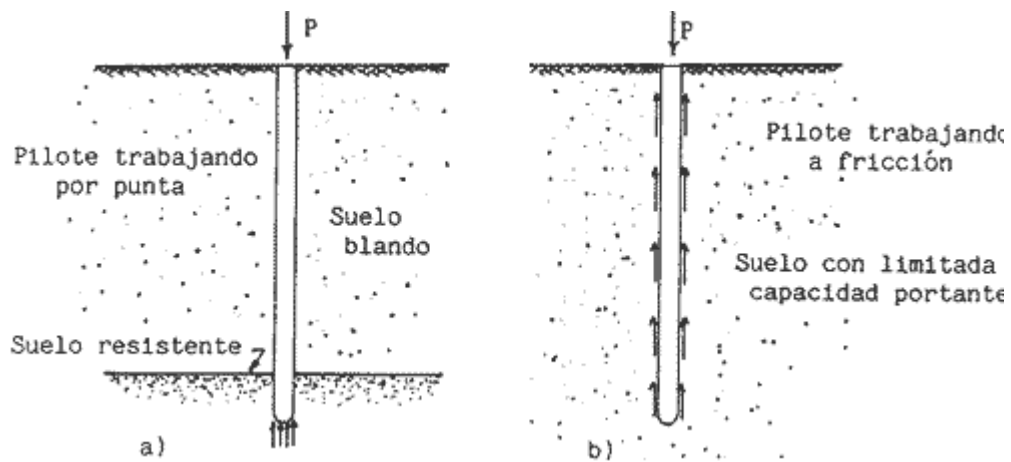


Fig. 5.1 – Forma de trabajo del pilote: a) Resistencia por punta, b) Resistencia por fuste (Cohen, 2014)

La siguiente tabla trabaja con aquellos pilotes donde su resistencia por punta (P) es mayor al triple de la resistencia por fuste (F), asimismo se necesita conocer el estrato en el que se trabajará y la profundidad al que se encuentra para asociar la puntuación.

Tabla 5.2 – Adaptación de la puntuación básica de los tipos de pilotes en función al terreno de cimentación para $P > 3F$ (CTE, 2006)

Terreno de cimentación		H (m)	Puntuación							
P>3F	Estrato de apoyo roca sana masiva o diaclasada	10 - 20	3	1	4	3	2	3	2	
		20 - 40	2	0	3	3	2	2	1	
	Estrato de apoyo cohesivo de consistencia dura	10 - 20	3	3	3	3	2	4	3	
		20 - 40	2	2	2	2	2	3	2	
	Estrato de apoyo granular de gravas o arenas compactas	10 - 20	4	4	2	3	2	2	3	
		20 - 40	3	3	2	2	2	2	2	
Clasificación			CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8	

La tabla 5.3, en cambio, muestra los pilotes donde la resistencia por punta (P) es tres veces menor a la resistencia por fuste (F), es decir se apoyan en estratos firmes o de consistencia media.

Tanto para esta tabla como la anterior, la indicación NO significa que ese tipo de pilote no puede ser considerado de ninguna manera en esas circunstancias.

Tabla 5.3 – Adaptación de la puntuación básica de los tipos de pilotes en función al terreno de cimentación para $P \leq 3F$ (CTE, 2006)

Terreno de cimentación		Puntuación						
P≤3F	Estrato cohesivo de consistencia media prácticamente homogéneo en profundidad	2	2	2	2	2	2	2
	Estrato cohesivo de consistencia firme o muy firme prácticamente homogéneo en profundidad	2	2	4	1	3	5	4
	Estratos alternados cohesivos medios y granulares sueltos en profundidad	3	4	2	3	2	2	3
	Estrato granular de gravas finas o arenas sueltas en profundidad	3	5	1	2	1	NO	1
	Estrato granular de gravas en profundidad	2	3	3	2	2	2	3
Clasificación		CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8

Las dos últimas tablas vienen a ser los sumandos correctores basados en los estratos que atraviesa esta cimentación antes de llegar a la capa portante, la carga media que soporta y el número de pilotes necesarios para realizar un proyecto.

Tabla 5.4 – Adaptación de los sumandos correctores para tipos de pilotes en función a los estratos que atraviesan antes de llegar a capas portantes o en las mismas (CTE, 2006)

Atraviesa antes de llegar a las capas portantes o en las mismas	Puntuación							
Capas de grava sin cementar, capas finas de areniscas, etc. Bolones pequeños	-1.5	-1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	
Bolones grandes, cimientos antiguos, gravas cementadas	NO	NO	1.5	1.5	0.5	NO	NO	
Capas de terreno granular fino en presencia de agua	-1.5	-1.0	-1.5	0.5	-1.5	-2.0	-1.5	
Flujo de agua en el suelo	-2.0	-1.5	-2.0	0.0	-2.0	NO	-2.0	
Medio agresivo para el concreto fresco	-2.0	-1.5	-2.5	0.0	-2.0	-2.5	-2.0	
Clasificación	CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8	

Tabla 5.5 – Adaptación de los sumandos correctores para tipos de pilotes en función a las características de un proyecto (CTE, 2006)

Características		Puntuación							
Carga media por estructura de cimentación (ton)	0 - 200	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.0	0.5	
	200 - 500	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	
Número de pilotes en un proyecto	< 20	-1.0	-1.0	2.0	1.0	0.5	0.5	1.0	
	20 - 100	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.5	0.5	
	> 100	0.5	-0.5	0.0	0.0	-0.5	1.0	0.0	
Clasificación		CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8	

A continuación se muestra un ejemplo que ayuda a comprender mejor el sistema de elección de pilotes, para ello se indican las condiciones que deben existir para poder trabajar con un pilote Franki.

Ejemplo:

Se trabajará con un pilote cuyo análisis estructural indica que la resistencia por punta es igual a 60 ton y por fuste de 25 ton. Para el soporte de la estructura se necesitan 56 unidades distribuidas en el de área del terreno. El estudio de mecánica de suelos indica que el nivel freático es alto y que la estructura se apoyará en un terreno de arena suelta, cuyos estratos superiores son capas de terreno granular fino.

Solución:

Para saber qué tabla utilizar primero se deberá sacar la relación entre las resistencias del pilote.

$$60 \leq 3(25) = 75 \text{ Se utiliza la tabla 5.3}$$

Siendo el terreno a cimentar arena suelta se elige la quinta opción como puntuación básica.

Terreno de cimentación		Puntuación						
$P \leq 3F$	Estrato granular de gravas finas o arenas sueltas en profundidad	3	5	1	2	1	NO	1
Clasificación		CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8

Como indica el ejercicio, el nivel freático es alto y los estratos superiores son capas de terreno granular fino.

Atraviesa antes de llegar a las capas portantes o en las mismas	Puntuación						
Capas de terreno granular fino en presencia de agua	-1,5	-1,0	-1,5	0,5	-1,5	-2,0	-1,5
Clasificación	CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8

De la misma manera se indica que cada pilote soporta 60 ton y serán necesitarán 56 en obra.

$0 \leq 60 \leq 200$ Primera opción de la carga media por estructura de cimentación (Tabla 5.5)

$20 \leq 56 \leq 100$ Segunda opción de número de pilotes en un proyecto (Tabla 5.5)

Características		Puntuación						
Carga media por estructura de cimentación (ton)	0 - 200	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,0	0,5
Número de pilares en un proyecto	20 - 100	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	0,5	0,5
Clasificación		CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8

Como resultado la suma de la puntuación básica y sumandos correctores

Sumatoria						
2,0	4,5	1,5	4,0	0,0	NO	0,5
CPI -2	CPI -3	CPI -4	CPI -5	CPI -6	CPI -7	CPI -8

Se recomienda emplear el pilote con mayor puntuación, en este caso el CPI-3 Pilote Franki.

Por otro lado, para el caso de la elección de máquinas no depende mucho del tipo de suelo en el que se trabaje sino más bien de la zona y accesibilidad, las máquinas piloterías pesan entre 60 y 80 toneladas, por lo que si se necesitan transportar en muchos casos es necesario desarmarlas, incluso para poder llegar al lugar del proyecto es necesario reforzar otras estructuras como carreteras y puentes, lo cual implica costo y tiempo.

Se pueden evaluar otras alternativas como el uso de micropilotes que necesitan una máquina que pesa entre 15 a 20 ton, que además de ahorrar costos de transporte y reforzamiento de estructuras necesita menos espacio en obra por lo que generaría mayor rentabilidad.

5.2 Uso de pilotes como pantalla de sostenimiento

Son utilizados como estructuras de contención en aquellos terrenos blandos que tienden a desmoronarse. Se clasifican como separados, tangentes y secantes, todos cumplen la misma función de soporte, su uso dependerá del tipo de suelo en el cual se trabaje.

Se debe tener mucho cuidado al momento de trabajar con este tipo de estructuras por dos factores fundamentales. Por un lado, a pesar que un plano indique los ejes en planta, durante su construcción pueden existir desvíos por replanteos, presencia de elementos extraños o incluso mal posicionamiento de la máquina perforadora.

Por otro lado, existe el riesgo de mantener la verticalidad con la que se diseñó, es decir tienen una cierta inclinación debido a las heterogeneidades del terreno o por el posicionamiento de las plataformas de trabajo es por ello que se recomienda colocar tubos que sobresalgan 1.5 a 2 m sobre la plataforma guía para que ayude con la verticalidad durante la excavación (Muzás, 2003).

5.2.1 Método de construcción de pantalla de pilotes separados y tangentes

Este tipo de estructuras se emplean en terrenos cohesivos y en terrenos donde el nivel freático no represente un problema para el proceso constructivo (exceso de filtración de agua y empujes representativos).

Se recomienda que para el caso de pilotes separados no tengan más del doble de diámetro de separación de eje a eje debido a que estos trabajan por efecto de arco. En caso de permanecer la excavación expuesta mucho tiempo y la resistencia de los materiales disminuya por agentes externos se deberá proteger con concreto proyectado.

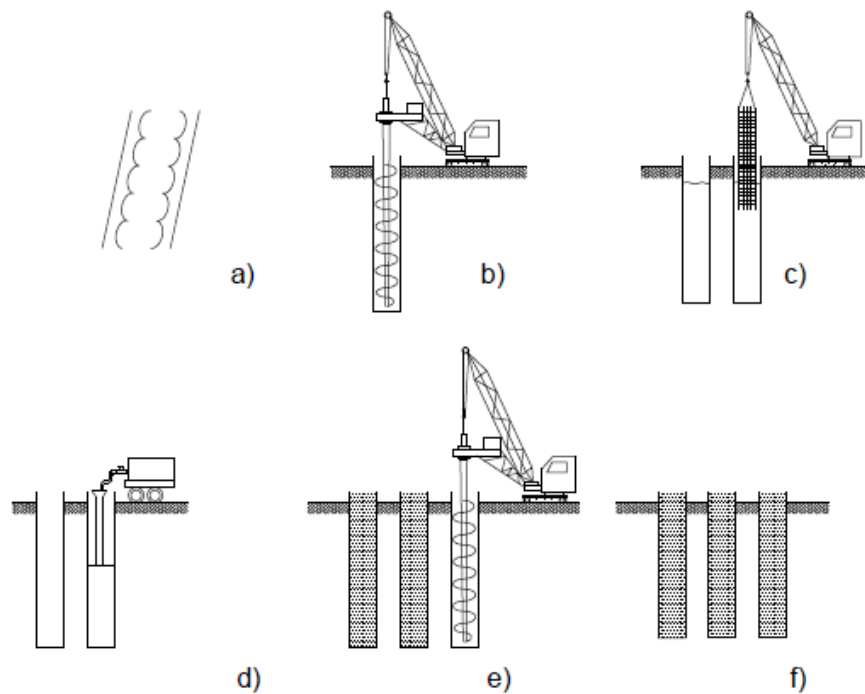


Fig. 5.2 - Proceso constructivo de pantalla de pilotes separados y tangentes: a) Colocación de plataforma guía, b) Perforación del terreno, c) Colocación del terreno, d) Vaciado de concreto, e) Perforación del siguiente pilote, f) Pilotes terminados (Fuente propia, 2015)

Se comienza con la colocación de la plataforma guía, la cual cumple dos funciones, como útil de perforación y de contención superior del terreno (Figura 5.2.a), luego se posiciona la máquina y se inicia la perforación del primer pilote (Figura 5.2.b). Este se refuerza con la armadura según especificaciones que tiene como finalidad hacerle frente a los empujes horizontales del suelo (Figura 5.2.c), posteriormente se realiza el vaciado de concreto (Figura 5.2.d).

Una vez terminado el primer pilote se continúa la perforación de manera intercalada, cada uno o tres pilotes, o de manera continua (5.2.e). En el caso de pilotes tangentes se recomienda no trabajar en serie par, ya que compromete el área del siguiente, por lo que es recomendable respetar un límite mínimo de 2% de la longitud de perforación de pilotes entre cada uno y así evitar problemas de desvíos o cortes entre ellos hasta encontrar la armadura (Rosas, 2011). Finalmente, se repite el mismo procedimiento hasta terminar con la pantalla de pilotes (Figura 5.2.f).

5.2.2 Método de construcción de pantalla de pilotes secantes

Cuando se necesite excavar a profundidades por debajo del nivel freático se utilizan este tipo de pantalla de pilote, ya que las mencionadas anteriormente podrían dejar pasar filtraciones y poner en riesgo la pantalla.

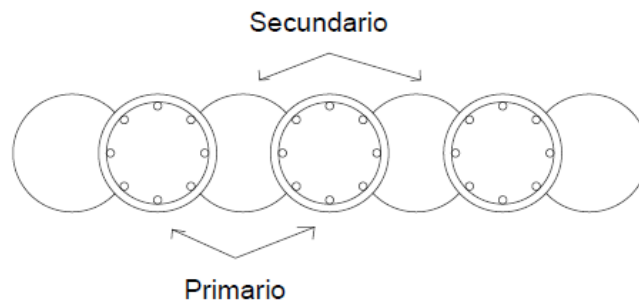


Fig. 5.3 - Vista en planta del proceso constructivo de pantalla de pilotes secantes (Muzás, 1980)

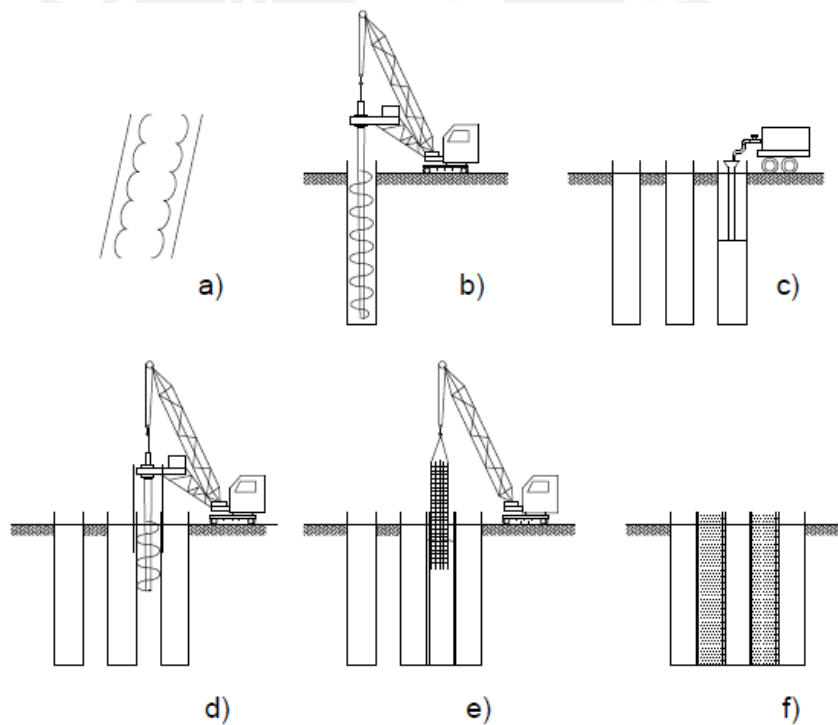


Fig. 5.4 - Proceso constructivo de pantalla de pilotes secantes: a) Colocación de plataforma guía, b) Perforación del terreno, c) Vaciado de concreto, d) Perforación de pilotes primarios, e) Colocación de armadura, f) Pilote terminado (Fuente propia, 2015)

Se comienza con la colocación de la plataforma guía (Figura 5.4.a) para luego posicionar la máquina e iniciar la perforación del pilote secundario (Figura 5.4.b y 5.3). Este pilote es rellenado de concreto sin colocar armadura y se instalan de manera intercalada (Figura 5.4.c).

Una vez terminados los pilotes secundarios, mientras no hayan fraguado completamente, se continúa con los primarios (Figura 5.4.d), para los cuales se realiza la perforación comprometiendo parte del área del pilote vaciado en un inicio, a estos se les coloca la armadura de refuerzo según las especificaciones (Figura 5.4.e) y se termina con el vaciado de concreto (Figura 5.4.f).



5.2.3 Proyectos desarrollados en el medio con pantalla de pilotes

INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL BENAVIDES



Construcción de un moderno túnel vehicular de 800 metros, incluyendo las rampas de acceso y salida, que permitirá una conexión directa desde la Panamericana Sur hacia Av. Allende (Pista Nueva) después de su intersección con la Av. Benavides.

Fig. 5.5 – Perforación de pilote: Intercambio Vial a Desnivel Benavides (Odebrecht, 2014)

Beneficio: Más de 150,000 vehículos/día usuarios de la Panamericana Sur y reducirá en un 20% el volumen de vehículos sobre el puente Benavides.

Método constructivo: pantalla de 958 pilotes separados con profundidades desde 5 m hasta 10m de fuste.

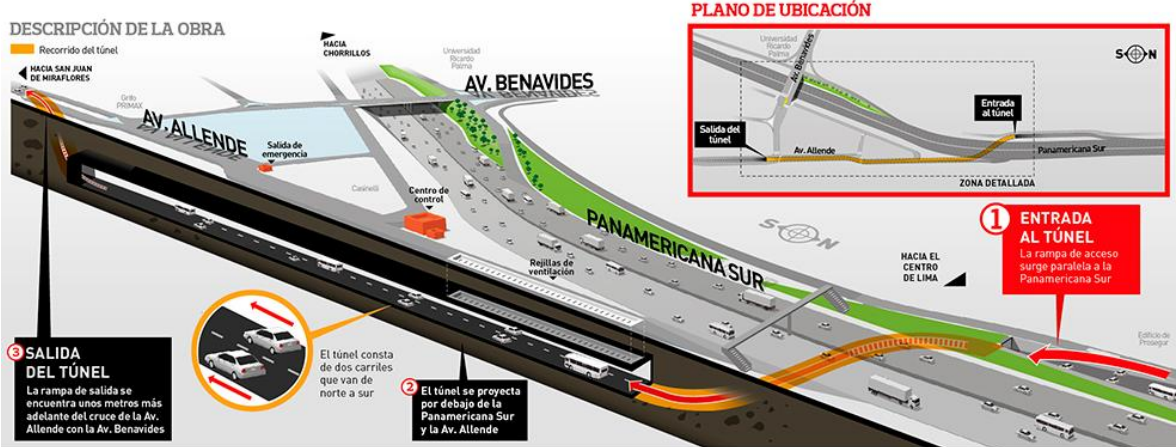


Fig. 5.6 - Esquema Proyecto: Intercambio Vial a Desnivel Benavides (Odebrecht, 2014)

VÍA PARQUE RÍMAC

Construcción de un túnel vehicular de 2 Km por debajo del río Rímac, permitirá una conexión directa de la Av. Morales Duarez con la Vía Evitamiento.



Beneficio: Las nuevas vías permitirán llegar de Ate al Callao en 20 minutos. Se duplicará la capacidad física de la Vía de Evitamiento, en el centro de Lima, reduciendo la congestión vehicular y los tiempos de traslado en un 80%. Además de integrar 11 distritos de la capital (Ate, Santa Anita, La Molina, Surco, San Luis, El Agustino, San Borja, SJL, SMP, Rímac y el Cercado de Lima) con los 9 km de nuevas vías en construcción.

Fig. 5.7 - Proyecto: Vía Parque Rímac (LAMSAC, 2012)

Método constructivo: pantalla de 476 pilotes separados con profundidades desde 10 m hasta 15m de fuste.

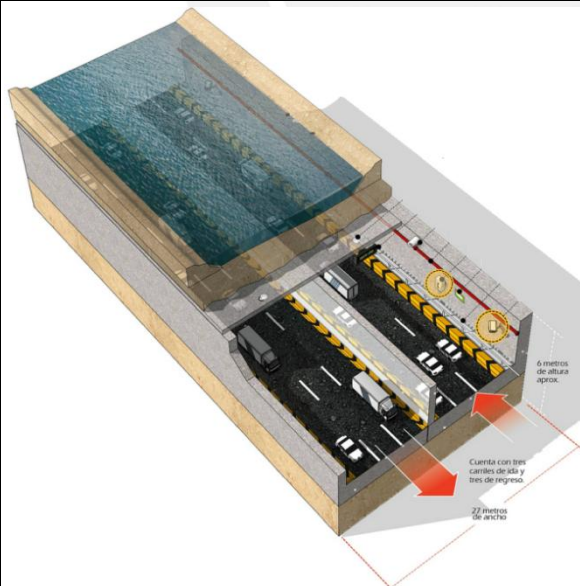


Fig. 5.8 - Esquema Proyecto: Vía Parque Rímac (LAMSAC, 2012)

Capítulo 6: Conclusiones

6.1 Conclusiones

Como se propuso en un inicio, se presenta un documento de utilidad para aquellas personas que consideran trabajar con cimentaciones profundas, que puedan basar su elección en los servicios brindados en el medio y las condiciones de obra. Este documento descriptivo tiene como única finalidad la de orientar mas no la de crear un patrón de elección debido al entorno en el que trabajan las cimentaciones: el suelo. Este al ser un elemento creado por la naturaleza se comportará de una infinidad de formas imprevisibles así existan una serie de rigurosos estudios que traten de predecir su comportamiento, inclusive las normas empleadas en el desarrollo de esta tesis.

El suelo muy pocas veces o casi ninguna responderá como uno espera ya que este no ha sido modelado ni ensayado por el hombre como se hizo con el concreto armado o el acero estructural; y si así se desea, el proceso de acercarnos ligeramente a ello significará un enorme costo invertido en investigaciones minuciosas que solo la experiencia de un ingeniero podrá sustituir.

Parece difícil, incluso podría decirse imposible, definir exactamente todas las características necesarias del suelo para realizar un perfecto diseño, elección del método constructivo, maquinaria y ensayos de confiabilidad de un pilote. Es así que la correcta elección del tipo de cimentación en cualquier contexto dependerá únicamente de la experiencia bien adquirida en esta rama de la ingeniería, pues esta labor carga con la desdicha de la incertidumbre de las condiciones geomecánicas del suelo.

Asimismo, se sabe que en el Perú hace varios años solo se contaba con Pilotes Franki Peruana como oferta ante esta demanda. Actualmente debido al resultado del proceso de inversión en infraestructura se han formado nuevas empresas como PSV Constructores, empresa peruana que busca estar al mismo nivel de competitividad de empresas internacionales que incursionan en el mercado local, estos son los casos de Mota Engil, Terratest y DSI.

Como se menciona durante el documento, las empresas irán incrementando sus competencias y ampliando sus alternativas en el mercado, de manera que mejoren en productividad, tiempo y costos para generar procesos más eficientes. En ese sentido, las capacitaciones hacia el personal en distintos niveles se hacen fundamentales y se incrementa la formación y especialización a nivel profesional y técnico en soluciones de geotecnia especializada.

El hecho que la experiencia en esta rama juegue un rol muy importante no significa que desde un inicio no se puedan tomar las mejores elecciones en cuanto al proceso constructivo, maquinaria y ensayos de calidad para un pilote en determinadas condiciones. Para aquellos que todavía no cuentan con la experiencia necesaria de poder elegir por criterio propio los distintos tipos de cimentación se ha mostrado una guía según varios factores como lo son el tipo de suelo a cimentar, la resistencia del fuste y punta de diseño, la carga que soporta y cantidad de pilotes o micropilotes necesarios en un proyecto. Cabe mencionar que también es fundamental tener en consideración los criterios de elección mencionados en un inicio, los cuales son la influencia tipológica entre la cimentación y el edificio, la influencia del tipo de estructura, el factor económico y los condicionantes impuestos por otros edificios.

Existen múltiples criterios de selección de este tipo de cimentación, las cuales también se pueden basar en las características del suelo como el peso específico, el ángulo de fricción y la cohesión, otros pueden relacionarlo con sus dimensiones y cargas que deban soportar. Lo que se trata de mostrar es una guía rápida en la que no se incluyan factores que tiendan a variar en un rango más amplio que dificulte la elección. De la misma manera, se deberá tener en cuenta que en el país no desarrollan todos los tipos de cimentaciones existentes descritos por lo que solo se parte en función a los servicios de las empresas mencionadas.

Seguidamente, durante las entrevistas con todos los ingenieros responsables de cada empresa abordada, se puede concluir que es importante conocer el torque que desarrolla el barreno o la fuerza que ejercen los martillos sobre el terreno y la máxima profundidad y diámetro que pueden excavar estos equipos para que los valores encontrados se aproximen al promedio de los descritos en el capítulo 4, con los cuales se trabajan en territorio nacional y algunos países vecinos sin mayores inconvenientes. Lo crítico para esta sección se encuentra en el peso y las dimensiones de la

maquinaria por razones descritas anteriormente como la de espacio en obra, aprovechamiento de terreno y reforzamiento de estructuras para el transporte a locaciones alejadas de la ciudad donde no existan estructuras que soporten grandes solicitaciones de carga. Es así como a veces se trata de cambiar la ingeniería del proyecto por micropilotes, los cuales demandan de equipos menos pesados y de dimensiones reducidas.

Con respecto al control de calidad que se realizan a los pilotes se cuenta con diversos ensayos que se ofrecen al mercado local. Sin embargo, podemos reducir toda esta variedad en 2 secciones: pruebas de carga e integridad. Del primer grupo se recomienda cualquier ensayo ofrecido, pero es importante recordar que si bien los pilotes resisten pequeñas cargas de tracción no es obligatoria su verificación en estos estados sino únicamente los de compresión y que su factor de seguridad en este proceso supere o por lo menos iguale el valor de 3 como solicita la Norma E.050 de Suelos y cimentaciones. De otro modo, los micropilotes además de someterse a cargas de flexocompresión deben resistir considerables cargas de tracción, es así entonces que estos elementos si requieren de una verificación de cargas en este estado. Por otro lado, dentro de los ensayos de integridad se tienen hasta 3 tipos; no obstante, el ensayo PIT y la instrumentación del pilote llegan a describir el mismo procedimiento y no son recomendables si es que se dispone con los recursos para realizar un ensayo Crosshole ya que este último muestra los mismos resultados de los 2 primeros ensayos mencionados con la diferencia en precisión, pues este cuenta con sensores que recorren la longitud completa del pilote, mostrando de esta forma todas las discontinuidades (cangrejeras) que posee la cimentación y no únicamente la primera que se encuentre.

Finalmente, la oferta en el mercado de cimentaciones profundas irá aumentando, las nuevas tecnologías en cimentaciones requieren cada vez mayor eficiencia en los procesos, los pilotes y micropilotes serán más requeridos como cimentación de importantes proyectos. Como una de las metas económicas del Estado Peruano es reducir la brecha en infraestructura, las cimentaciones profundas serán el soporte de los nuevos proyectos destinados a mejorar los servicios para la población del Perú.

Bibliografía

ALBUQUERQUE, Paulo J.R.

2014 *Fundações profundas: notas de classe*. Brasil: Barão Geraldo, Campinas.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

1993 *Design of pile foundations*, Reston, VA: ASCE

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

1997 *Standard guidelines for the design and installation of pile foundations*. Reston, VA: ASCE.

BBVA Continental

¿Cómo se clasifican las empresas en función de su tamaño? Consulta 25 de Septiembre de 2015.

<http://www.bbvacontuempresa.es/a/se-clasifican-las-empresas-funcion-su-tamano>

CHELLIS, Robert Dunning

1961 *Pile foundations*, New York: McGraw-Hill

COHEN SIMONE, Armando

Tipos de pilotes y su capacidad de resistencia .Consulta 15 de Noviembre de 2015.

<http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/tipos-de-pilotes-y-su-capacidad-de.html>

DAS, Braja M.

2001 *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.(I. Bernal Carreño, Trad.)
D.F., México: Thomson Learning.

DAS, Braja M.

2002 *Principles of geotechnical engineering*. Pacific Grove, CA:
Brooks/Cole.

FLEMING, W. G. K.

1992 *Piling engineering*, Glasgow: Blackie; New York: Wiley

JIMÉNEZ SALAS Y MUZÁS F.

1980 *Geotecnia y cimentaciones III*, editorial Rueda, España: Madrid.

LOMBARDI, Giovanni

2000 *Los problemas actuales de la Geoingeniería*. Minusio: Academia Nacional de Ingeniería Argentina.

MINISTERIO DE FOMENTO

2006 *Código Técnico de Edificación (CTE)*. Marzo 2006, España: Madrid.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO

1977 Norma Tecnológica de Edificación CPI Pilotes in situ (NTE-CPI). Junio 1997, España: Madrid.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO

2006 *Norma Técnica de Edificación E.050 Suelos y Cimentaciones. Reglamento Nacional de Edificaciones.* Junio 2006, Perú: Lima.

PECK, Ralph B.

1974 *Segunda conferencia: NABOR CARRILLO.* Guadalajara: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

PECK, Ralph B.

1988 *Ingeniería de cimentaciones.* México: Limusa.

PÉREZ DE ÁGREDA, Eduardo Alonso

2005 *Las catástrofes y el progreso de la geotecnia.* Madrid: Real Academia de Ingeniería.

REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES DEL PERÚ

2006 *Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente.* Reglamento Nacional de Edificaciones. Junio 2006, Perú: Lima.

ROCCA, Ricardo

2009 “ La evolución a largo plazo de la ingeniería geotécnica ”. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.* Puerto Rico, volumen 9, número 1, pp. 56-75. Consulta: 18 de Mayo de 2015.

<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/202/207>

RODRIGUEZ ORTIZ, José María y otros

1989 *Curso aplicado de cimentaciones.* Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

ROSAS ALAGUERO, Juan José

Cuidado con las pantallas de pilotes tangentes. Consulta 25 de Septiembre de 2015.

<http://geojuanjo.blogspot.pe/2015/03/cuidado-con-las-pantallas-de-pilotes.html>

TERZAGHI, Karl y PECK, Ralph B.

1971 *Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica.* Editorial El Ateneo S.A. Tercera Edición, España: Barcelona.

TOMLINSON, M. J.

1996 *Cimentaciones: Diseño y Construcción.* México: Trillas

TOMLINSON, M. J.

1994 *Pile design and construction practice*. London: Chapman & Hall.

YEPES PIQUERAS, Víctor

Pantallas de pilotes secantes. Consulta 25 de Septiembre de 2015.

<http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/01/09/pantallas-de-pilotes-secantes/>

