

EDIFICACIÓN



Tema 3 Cimentaciones y Excavaciones

Tema 3.5 Cimentaciones profundas

Autores:

M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas

Miguel Ángel Delgado Guerrero



ÍNDICE

Introducción	1
3.5.1 Definición y Características	2
3.5.1.1 Función de las Cimentaciones Profundas.	2
3.5.1.2 Factores de Selección del Tipo de Cimentación Profunda.	2
3.5.2 Clasificación	4
3.5.2.1 Pilotes.	4
3.5.2.1.1 Clasificación de Pilotes.	4
3.5.2.1.2 Ventajas.	7
3.5.2.1.3 Dimensiones.	8
3.5.2.1.4 Fabricación.	8
Pilotes de Madera.	8
Pilotes de Acero.	9
Pilotes de Concreto Reforzado.	10
3.5.2.1.5 Materiales.	14
3.5.2.1.6 Recomendaciones Para su Uso.	15
3.5.2.1.7 Procedimiento Constructivo.	17
Secuencia de Hincado.	17
En Arcillas.	18
En Materiales Granulares.	19
Tobas Volcánicas.	19
Descabece de Pilotes	21
3.5.2.1.8 Unión entre Pilotes y Subestructura.	21
3.5.2.2 Pilas.	22
3.5.2.2.1 Dimensiones.	22
3.5.2.2.2 Fabricación.	23
3.5.2.2.3 Procedimiento Constructivo.	24
Perforación.	24
Combinación de Métodos.	26
Procedimiento de Uso de Lodos.	27
Manejo y Disposición de Lodos.	27
Acero de Refuerzo.	28
Manipulación del Armado.	30
Unión entre Varillas.	30
Espaciamiento.	30
Recubrimiento.	30
Manejo y Colocación.	31
Concreto.	31
Descabece de Pilas.	32



3.5.2.2.4 Recomendaciones Adicionales.	33
3.5.2.3 Cajones de Cimentación.	35
3.5.2.3.1 Cajones Abiertos	36
Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Abiertos	38
Formas y Profundidades.	38
Métodos Alternativos.	38
Procedimientos de Hincado y Excavación.	38
3.5.2.3.2 Cajones Cerrados.	39
Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Cerrados.	39
3.5.2.3.3 Cajones Neumáticos.	40
Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Neumáticos.	41
3.5.2.3.4 Cajones Flotantes.	42
Proceso de Construcción e Instalación.	42
3.5.2.3.5 Métodos de Excavación para la Construcción de Cajones de Cimentación.	43
3.5.2.3.6 Procedimiento Constructivo General de Cajones de Cimentación.	44
3.5.2.3.7 Cajones de Cimentación por Muro Milán.	46
Procedimiento y descripción del Método.	48
Ventajas del Método del Muro de Diafragma.	49
3.5.2.3.8 Sistema Top-Down.	49
Procedimiento y descripción del Sistema Top-Down.	52
Ventajas del Sistema Top-Down.	53
3.5.3 Equipo Utilizado	54
3.5.3.1 Equipos de Perforación.	54
3.5.3.1.1 Selección de Equipos y Herramientas de Perforación.	54
3.5.3.1.2 Métodos de Perforación.	55
3.5.3.2 Equipo de Hincado.	56
3.5.3.3 Uso del Tubo Tremie.	60
3.5.4 Control de Calidad	62
3.5.4.1 Medio Ambiente.	62
3.5.4.1.1 Ruido.	62
3.5.4.1.2 Humo.	64
3.5.4.1.3 Principales Contaminantes Emitidos.	64
3.5.4.1.4 Soluciones para Reducir la Contaminación.	65
Conclusiones Capitulares	66
Bibliografía	67
Índice de Figuras	68
Índice de Tablas	68



Introducción

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen diferentes tipos de cimentaciones en los cuales las obras deben ser desplantadas. De acuerdo con las solicitudes a las que la edificación u otro tipo de obras condicionan al suelo en las cuales se cimientan, es necesario el diseño y construcción de diferentes tipos de cimentaciones.

Ahora describiremos los tipos de cimentaciones profundas más comunes, destacando los criterios a considerar para su utilización, así como los procesos constructivos más comunes y los tipos de equipos utilizados.

Es de destacar que, en múltiples ocasiones y dependiendo de la complejidad de la superestructura que conforma la edificación o de la obra en general de que se trate, es necesario combinar estos tipos de cimentaciones. Lo anterior le exige a la Ingeniería Civil procesos más complejos que le permitan lograr su cometido. En los anexos de este capítulo presentamos tres casos de aplicación de proyectos reales en los cuales el lector podrá apreciar dicha complejidad.



3.5.1 Definición y Características

Las cimentaciones profundas son un tipo de estructura subterránea diseñada para transferir las cargas de estructuras desde la superficie de la tierra a capas de suelo más profundas y resistentes. Estas cimentaciones se utilizan cuando la capa superior del suelo no puede soportar las cargas aplicadas sin un asentamiento excesivo o desplazamiento lateral.

3.5.1.1 Función de las Cimentaciones Profundas.

Si el suelo es altamente compresible para las cargas requeridas, el ingeniero civil realizará una investigación para encontrar una capa más profunda que pueda soportar las cargas de la estructura. Esto incluye un examen detallado del subsuelo para determinar la composición y las propiedades mecánicas de las capas más profundas. La cimentación se encargará de absorber cargas de compresión y de tracción. Esto es especialmente importante para estructuras altas y esbeltas que pueden volcarse por el viento o los movimientos sísmicos.

Otro buen ejemplo de la función de las cimentaciones profundas es para las estructuras marinas, como muelles, plataformas petrolíferas y rompeolas, para que estas resistan las cargas laterales causadas por el impacto de barcos y olas. Aquí, los cimientos profundos se refieren a pilotes de gran diámetro o cajones profundos que se incrustan en el fondo del océano para formar una base sólida y fuerte. Para estructuras como muros de contención, soportes de puentes y cimientos mecánicos, los cimientos profundos deben soportar cargas tanto verticales como horizontales. Esto requiere una planificación cuidadosa para tener en cuenta la distribución de carga y fuerza lateral y garantizar que la base pueda soportar eficientemente todas las cargas.

3.5.1.2 Factores de Selección del Tipo de Cimentación Profunda.

La selección de cimentaciones profundas en proyectos de ingeniería civil es un proceso importante que requiere una evaluación cuidadosa de muchos factores.

- *Factores geológicos y condiciones del suelo:* Antes de elegir el tipo de cimentación profunda, es importante conocer las características geológicas y las



condiciones del suelo del sitio. Esto incluye identificar las capas de suelo, su resistencia, compresibilidad, permeabilidad y otros factores que pueden afectar la capacidad de carga y la estabilidad de los cimientos. Los estudios geotécnicos como la excavación y las pruebas de penetración son esenciales para recopilar esta información.

- *Factores históricos locales y prácticas de construcción:* los proyectos de ingeniería civil también deben considerar factores históricos y prácticas de construcción locales. Esto puede incluir experiencia previa y lecciones aprendidas de proyectos similares.
- *Seguridad:* La seguridad es la consideración más importante para elegir una cimentación profunda. Se deben tomar medidas para garantizar que la cimentación seleccionada pueda soportar de manera segura y estable las cargas esperadas durante toda la vida útil del proyecto. Esto considera no sólo la capacidad de carga temporal, sino también factores como la estabilidad a largo plazo, la resistencia al movimiento sísmico, así como evitar asentamientos excesivos.
- *Costo:* El costo también es un factor importante por considerar. Si bien es importante minimizar los costos de construcción, también es importante considerar los costos a largo plazo asociados con la selección de los cimientos. Esto incluye no sólo los costos iniciales, sino también los costos de mantenimiento y reparación, así como el riesgo potencial de fallas que pueden provocar costosos retrasos y daños.
- *Equilibrio entre costo y seguridad:* la selección óptima de cimentaciones profundas garantiza el equilibrio adecuado entre costo y seguridad. Esto requiere una cuidadosa consideración de todas las opciones disponibles y elegir la cimentación que proporcione el nivel requerido de seguridad y estabilidad al costo más razonable. En algunos casos, puede justificarse incurrir en costos adicionales para garantizar la seguridad del proyecto a largo plazo.



3.5.2 Clasificación

Las cimentaciones profundas se clasifican en varias categorías basadas en diferentes criterios tales como, la forma de transferencia de carga y el tipo de material utilizado.

3.5.2.1 Pilotes.

Son elementos estructurales que se fabrican en el exterior del suelo. Se utilizan para proporcionar soporte a las estructuras sobre suelos que tienen capacidad de carga limitada. Se introducen verticalmente en el suelo y se encargan de transmitir las cargas de la estructura hacia las capas más profundas y resistentes del suelo. Los materiales empleados en la fabricación de los pilotes pueden ser madera, acero o concreto reforzado o presforzado.

3.5.2.1.1 Clasificación de Pilotes.

Los pilotes se clasifican por su transmisión de cargas en:

- a) *Pilotes de punta*: Los pilotes de punta están diseñados con una punta resistente y rígida, lo que les permite penetrar hasta llegar a un estrato de suelo firme. En esta capa resistente, el peso de la edificación se descarga directamente. La función de estos pilotes es análoga a la de una columna, ya que transfieren la carga de manera vertical. Sin embargo, a diferencia de una columna convencional, el confinamiento lateral y la presión ejercida por el suelo circundante impiden que el pilote se pandee o sufra de flambéo. En la figura 1 se observan pilotes de punta prefabricados con concreto.

- Aplicaciones:

- o *Edificaciones altas*: Utilizados en la construcción de rascacielos y edificios de gran altura.
- o *Puentes y estructuras pesadas*: Adecuados para cimentaciones de puentes, torres de transmisión y otras estructuras con cargas significativas.



Figura 1. *Pilotes de concreto prefabricados*

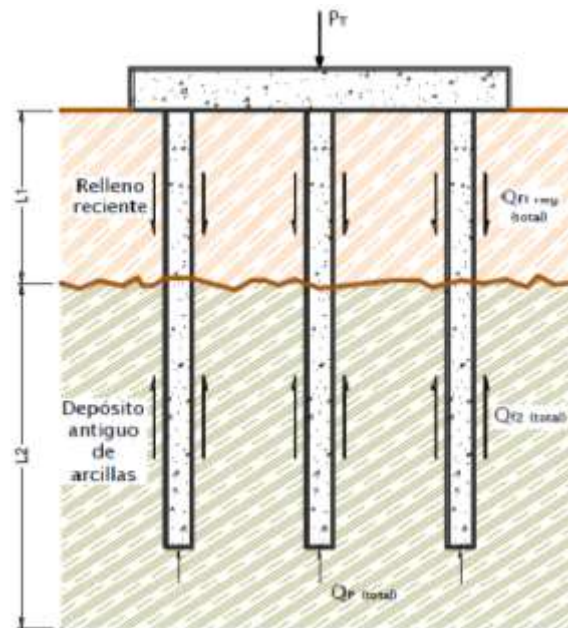


Nota: Adaptada de *Pilotes Prefabricados* [Fotografía], por Ingeniero de Caminos, 23 de noviembre de 2009, (<https://ingeniero-de-caminos.com/pilotes-prefabricados/>). Todos los derechos reservados.

- b) *Pilotes de fricción*: En situaciones donde no es posible alcanzar un estrato resistente con los pilotes, se recurre a los pilotes de fricción. Estos pilotes aprovechan la adherencia generada por la fricción en la superficie de contacto entre el pilote y el subsuelo. La fricción horizontal confina el pilote, mientras que la fricción vertical contribuye a sostener la estructura. La capacidad de carga de estos pilotes aumenta con la longitud, ya que la superficie de contacto con el suelo se incrementa. Ver figuras 2 y 3.

- Aplicaciones:

- o *Edificaciones en suelos blandos*: Son ideales para construcciones en terrenos donde los estratos resistentes están muy profundos o son inexistentes.
- o *Estructuras livianas*: Utilizados en edificaciones que no requieren soportar cargas extremadamente pesadas.

Figura 2. *Funcionamiento de pilotes de fricción*

Nota: Adaptada de Figura 5 Condición de fricción negativa cuando un relleno reciente se consolida [Esquema], por M. Jara, 2019, ResearchGate (https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Condicion-de-friccion-negativa-cuando-un-relleno-reciente-se-consolida-sobre-un_fig2_339040856)

Figura 3. *Unión de pilotes*

Nota: Adaptada de pilote de fricción [Fotografía] El blog de Víctor Yepes. (s/f). Upv.es. (<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pilote-de-friccion/>)

c) *Pilotes de control*: Los pilotes de control combinan las características de los pilotes de punta y de fricción, incorporando un mecanismo adicional que controla los asentamientos del suelo y de la estructura por hundimiento. Este tipo de pilote evita que tanto el pilote como la edificación emerjan del nivel original del terreno, manteniendo la estabilidad de la estructura. Figura 4.

- Aplicaciones:

- o *Construcciones en áreas inestables*: Utilizados en proyectos ubicados en terrenos susceptibles a asentamientos, como suelos arcillosos o arenosos.
- o *Estructuras sensibles a movimientos*: Adecuados para edificaciones que no toleran desplazamientos o asentamientos significativos, como hospitales o instalaciones industriales.

Figura 4. *Pilotes de control*



Nota: Adaptada de Gobierno de la CDMX, Secretaría de Obras y Servicios de la CDMX. *Pilote de control* [Fotografía] Secretaría de Obras y Servicios de la CDMX. a partir de (<https://obras.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/rehabilita-sobse-escuelas-de-educacion-basica-con-dano-estructural>)

3.5.2.1.2 *Ventajas.*

- No están sujetos a deformaciones en su sección transversal.
- Las operaciones de construcción no se ven afectadas por el agua en el suelo.

- Pueden colocarse arriba del nivel del suelo.
- Pueden hincarse a longitudes largas.
- Se pueden diseñar para soportar esfuerzos de tensión y momentos flexionantes altos.
- Pueden re-hincarse por algún problema de la expansión del suelo.
- Reducen asentamientos diferenciales previniendo daños estructurales.
- Versatilidad en diseño y construcción por su variedad de formas, tamaños y materiales utilizados.
- Procesos constructivos ágiles.
- Genera menos desechos y disturbios en el sitio de obra que otros métodos de cimentación.
- Mayor resistencia a cargas laterales.

3.5.2.1.3 Dimensiones.

En pilotes circulares al no estar definidos rigurosamente los límites, su diámetro se considerará entre los 0.15 y menor a 0.8 metros; y en pilotes cuadrados, su diagonal máxima será de dimensiones similares a los anteriores valores.

La longitud que se procura no excede de 40 o 50 metros.

3.5.2.1.4 Fabricación.

Pilotes de Madera.

Los pilotes de madera son una opción común y confiable para muchas aplicaciones de ingeniería y construcción. Por lo general, estos postes están hechos de troncos, principalmente de pino y abeto, debido a su durabilidad y disponibilidad. El proceso de fabricación comienza con la selección de troncos de calidad adecuada, para garantizar una mayor densidad y resistencia.

Una vez seleccionados los troncos, se procede a la preparación. En primer lugar, se retiran las ramas y la corteza, dejando únicamente la parte central, denominada tronco.



Luego, se corta a la longitud deseada, que puede variar de 23 a 30 metros según las necesidades del proyecto y las especificaciones de diseño. Los postes de madera suelen ser redondos, pero pueden tener otras formas según los requisitos específicos del proyecto.

Es importante que el extremo del pilote sea en punta para facilitar la penetración en el suelo. La sección transversal de esta broca suele reducirse ligeramente para reducir la resistencia y disminuir la resistencia al avance y mejorar la capacidad de penetración.

En la figura 5 podemos apreciar una de las tantas aplicaciones de este tipo de pilotes.

Figura 5. *Pilotes de madera*



Nota: Adaptada de Madera Andina [Fotografía] (2021, 15. diciembre). Maderera Andina: ¿Qué son los Pilotes de Madera? Maderera Andina. (<https://maderera-andina.com/maderera-andina-que-son-los-pilotes-de-madera/>)

Pilotes de Acero.

Dependerá de las condiciones de diseño para escoger el tipo de perfil a utilizar, pudiendo ser de:

- a) **Perfil H o I:** Se fabrican en tamaños de 20 a 36 centímetros de peralte. El lingote de acero se funde y se moldea en una forma sólida, luego se calienta y se pasa a través de rodillos en una laminadora para adquirir la forma deseada.

Posteriormente, se somete a un proceso de perfilado para darle la forma específica del perfil tipo H. Figura 6

- b) *Tubulares (de boca abierta o cerrada) o cónicos*: Fabricados con una lámina de acero que es unida con una soldadura longitudinal o en espiral, con diámetros de entre 20 y 120 centímetros y con espesores de entre 4.5 y 25 milímetros. A estos se le puede aplicar un recubrimiento para proteger el elemento de la corrosión.

Figura 6. Pilotes de acero



Nota: Adaptada de Pilotes de acero: sus diferentes tipos y usos. [Fotografía] (2024, 12. abril). Villadeleyvaimobiliaria.com; (<https://villadeleyvaimobiliaria.com/blog/pilotes-de-acero/>)

Pilotes de Concreto Reforzado.

Estos elementos pueden ser de diferentes formas, circulares, triangulares, cuadradas, hexagonales, etc. Estos se fabrican en obra o en una planta de prefabricado. De una u otra forma, se necesita lo siguiente:

- *Camas de colado*: Son plataformas de concreto delgadas, de 5 a 10 cm de espesor, que se vierten sobre una base compactada. Estas plataformas sirven como soporte para los moldes de fabricación de pilotes y cuentan con elementos de madera o metal para la fijación de las cimbras. Pueden reforzarse con mallas de acero o múltiples niveles de refuerzo, dependiendo de la carga y frecuencia de

uso. Su función es proporcionar una superficie estable y segura para el colado de concreto, garantizando la calidad y precisión de los pilotes producidos.

- **Moldes:** Utilizados para contener y dar forma al concreto durante el proceso de colado de pilotes. Generalmente están compuestos por tableros modulares de madera, triplay, lámina u otras combinaciones de materiales que permiten obtener la sección requerida para el pilote. Es fundamental que los moldes sean lo suficientemente resistentes para soportar las presiones del concreto durante su colocación y vibrado, manteniendo su forma sin deformaciones. Para garantizar durabilidad, los moldes pueden estar fabricados en materiales como metal, plástico o concreto. Además, los bordes de los pilotes cuadrados deben estar achaflanados para facilitar la extracción del molde. Figura 7.

Figura 7. Moldes para colado de pilotes



Nota: Adaptada de Mandarinazul. *Mano de obra fabricación pilotes de concreto e hincas en Barranquilla* (Atlántico) [Fotografía]. (2017, 25. septiembre) PILCO. (<https://www.pilco.com.co/proyecto/mano-de-obra-fabricacion-pilotes-de-concreto-e-hinca-en-barranquilla-atlantico/>)

- **Acero de refuerzo:** El acero de refuerzo debe instalarse con precisión y protegerse contra la oxidación y otros tipos de corrosión antes de verter el concreto. Es crucial que esté libre de óxido, suciedad, grasa, aceite u otras sustancias que puedan afectar su adherencia al concreto.

Una colocación precisa del acero de refuerzo es esencial para asegurar que la estructura de concreto cumpla con los estándares de diseño y resistencia. El

acero mal colocado puede resultar en una distribución desigual de las cargas, comprometiendo la integridad estructural. Además, la protección contra la corrosión es crucial porque el acero expuesto a la humedad y al aire puede oxidarse, lo que debilita el acero y puede causar la expansión y el agrietamiento del concreto. Figura 8.

Figura 8. *Acero de refuerzo en moldes de pilotes*



Nota: Adaptada de Mandarinazul. *Mano de obra fabricación pilotes de concreto e hincas en Barranquilla (Atlántico)* [Fotografía]. (2017, 25. septiembre) PILCO. (<https://www.pilco.com.co/proyecto/mano-de-obra-fabricacion-pilotes-de-concreto-e-hinca-en-barranquilla-atlantico/>)

- **Concreto:** Depende del proyecto las características del concreto y se puede colocar empleando bombas, directo de la unidad revolvedora, mediante canalones, con carretillas, u otros, así como se ve en la figura 9. En caso de que requiera retirar los pilotes de la cama en corto tiempo, se puede ocupar aditivos o curado a vapor. En la figura 10, se aprecia los pilotes ya fraguados.

Figura 9. *Colado de pilotes*



Nota: Adaptada de Mandarinazul. *Mano de obra fabricación pilotes de concreto e hincia en Barranquilla (Atlántico)* [Fotografía]. (2017, 25. septiembre) PILCO. (<https://www.pilco.com.co/proyecto/mano-de-obra-fabricacion-pilotes-de-concreto-e-hinca-en-barranquilla-atlantico/>)

Figura 10. *Pilote fraguado listo para el colado de otros pilotes*



Nota: Adaptada de Jimdofree.com *Fabricacion de pilotes* [Fotografía] PILECO (<https://pileco.jimdofree.com/servicios/trabajos-especiales/>)

- **Juntas:** Cuando se necesitan instalar pilotes en múltiples secciones que se conectan en la guía de hincado, es esencial incorporar un mecanismo adecuado para asegurar esta unión así como se muestra en la figura 11.

Figura 11. *Juntas de pilotes prefabricados*



Nota: Adaptada de Mukul, C. Pilotes prefabricados de concreto armado [Fotografía] Láminas y acero. (<https://blog.laminasyaceros.com/blog/pilotes-prefabricados-de-hormig%C3%B3n-armado>)

3.5.2.1.5 Materiales.

La tabla 1 contiene un resumen sobre los aspectos relevantes asociados a la fabricación de pilotes a partir del material y geometría de su sección de diseño.

Tabla 1. Materiales ocupados para la fabricación de pilotes

Tipo de material	Sección transversal típica	Longitudes típicas	Ventajas
Madera	300 - 500 mm (cabeza) 120 - 230 mm (punta).	5 - 35 metros	• Bajo costo • Fácil manejo • Si están totalmente sumergidos, evitan pudrirse
Acero sección H	HP 8x36 hasta HP14x17	5 - 45 metros	• Fácil manejo y empalme

Tipo de material	Sección transversal típica	Longitudes típicas	Ventajas
Tubo de acero	200 - 1200 mm	5 - 45 metros	• Fácil manejo y empalme • Puede penetrar algunos obstáculos si su base está abierta • Si su base está cerrada se puede inspeccionar el elemento una vez hincado
Prefabricados de concreto	250 - 900 mm (cuadrados) 250 - 600 mm (circulares)	10 - 15 metros	• Resistencia a la corrosión. • Fáciles de fabricar. • No se ve afectada por el NAF.
Concreto pretensado	250 - 900 mm (cuadrados) 250 - 600 mm (circulares)	15 - 45 metros	• Resistencia a la corrosión. • Fáciles de fabricar. • No se ve afectada por el NAF.

Nota: Materiales ocupados para la fabricación de pilotes [Tabla], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

3.5.2.1.6 Recomendaciones Para su Uso.

- a) **Madera:** El uso de pilotes de madera es recomendable para cargas pequeñas, trabajando como pilotes de fricción en arenas, limos y arcillas. No recomendables para gravas compactas, boleos o roca, en el caso de ser



necesario su empleo en estos materiales, se utilizará una zapata metálica en la punta del pilote.

También es importante considerar que si el pilote de madera se encuentra sujeto a ciclos de secado y mojado o se localiza arriba del nivel freático, este puede resultar dañado.

b) *Acero:*

- *Perfiles H o I:* Se les coloca una zapata de acero endurecido en la punta del pilote para reforzar el mismo durante el hincado, aun así, tienen la tendencia a desviarse cuando hay obstrucciones naturales y entre los espacios de los patines y el alma en ocasiones no se llena con el material del suelo, por lo que la capacidad de fricción solo se ubica en el perímetro del suelo.
- *Tubulares:* De igual manera a estos se le puede colocar una zapata de acero para cumplir el mismo propósito que en los perfiles H o I.

Estos elementos también pueden ser de fondo abierto, para reducir las vibraciones o los desplazamientos del subsuelo al momento del hincado. En caso de que sea requerido, se hace una perforación interna para que este sea llenado de concreto y aumentar su resistencia.

Las uniones entre los tramos se hacen mediante soldadura.

- c) *Concreto:* Durante la instalación, es crucial asegurar que las secciones del pilote estén alineadas correctamente para evitar tensiones y deformaciones que puedan afectar la estabilidad del pilote.

Los operarios deben seguir procedimientos precisos para garantizar que las juntas sean capaces de soportar las cargas y condiciones ambientales a las que estarán sometidas.

- d) *Al momento de hincar:* Para disminuir los esfuerzos durante el hincado, se aconseja emplear un pistón pesado con baja velocidad de impacto (recorrido corto).

Es fundamental proteger la cabeza del pilote utilizando una placa de acero.

Al empalmar los pilotes, se debe asegurar la verticalidad de estos en cada junta a medida que progresa el proceso de hincado.



Figura 12. *Hincado de perfiles de acero como pilotes*

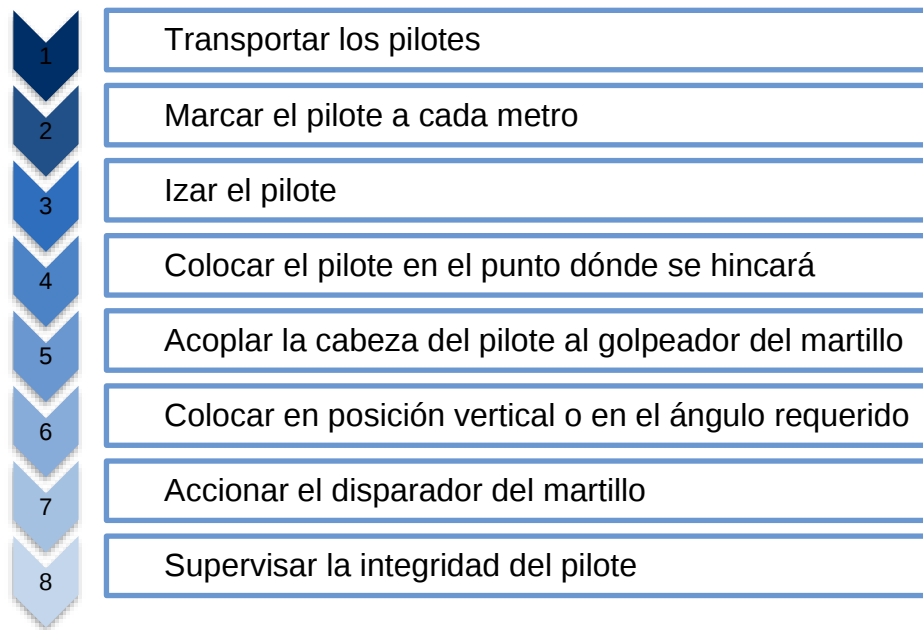
Nota: Adaptada de Codocsa - Empresa Constructora de Obras de Infraestructura [Fotografía]. (s/f). Codocsa.com, de (<https://codocsa.com/es/Project/detail/125>)

3.5.2.1.7 *Procedimiento Constructivo.*

Secuencia de Hincado.

A continuación, se presenta en la figura 13 de manera detallada los pasos a seguir para el hincado de pilotes que formarán parte del sistema de cimentación profunda que el diseño señale.

Figura 13. *Secuencia de hincado*



Nota: Secuencia de hincado [Diagrama], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

En Arcillas.

Para garantizar la eficacia de los pilotes en diferentes condiciones de suelo, es crucial adaptar el proceso de perforación según el propósito deseado. Por ejemplo, si se busca una acción de fricción para el pilote, se recomienda realizar una perforación ligeramente menor que su diámetro o diagonal. Esto permite que el suelo se adhiera al pilote desde el principio del hincado sin generar un exceso de remoldeo.

Por otro lado, si se pretende que el pilote trabaje principalmente como punta, apoyándose en un estrato resistente bajo la arcilla, se debe considerar una perforación con un diámetro ligeramente mayor que el del pilote. Esto garantiza que la fricción con el suelo no impide que alcance el estrato resistente deseado.

Cuando se emplean pilotes helicoidales tipo tornillo, es aconsejable realizar una pequeña perforación previa que sirva como guía para su instalación adecuada.

Asimismo, en el caso de pilotes de fricción ubicados en estratos compresibles, es recomendable dejarlos por encima de la capa resistente a una distancia que coincida con

el hundimiento esperado, añadiendo una holgura razonable. Este enfoque garantiza la estabilidad y la efectividad de los pilotes en su función estructural.

En Materiales Granulares.

Para optimizar la consolidación del suelo y limitar los hundimientos, se procederá a hincar los pilotes sin realizar una perforación previa. Esta técnica fomentará la consolidación del suelo, contribuyendo así a reducir los hundimientos.

En terrenos de este tipo, es común emplear chiflones de agua en la punta del pilote para facilitar la hincada o incluso llevarla a cabo completamente mediante este sistema. La cantidad de agua requerida para este proceso varía según el tipo de material y la sección del pilote, pero se puede estimar entre 500 y 1,000 litros por minuto para longitudes de 15 metros o más. Para garantizar que los pilotes descienden verticalmente, es fundamental que las boquillas de agua estén distribuidas simétricamente y orientadas de manera que el líquido fluya hacia arriba, favoreciendo así el arrastre de partículas hacia el exterior.

Tobas Volcánicas.

El proceso de colocación de pilotes en suelos de toba volcánica implica una serie de pasos específicos para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

En primer lugar, se lleva a cabo una investigación exhaustiva del suelo para comprender sus características, incluida la composición y la capacidad de carga. Esto proporciona la base para el diseño del pilote, tomando en cuenta factores como la resistencia del suelo y las condiciones geotécnicas particulares de la toba volcánica.

La instalación del pilote se lleva a cabo utilizando equipos especializados, como martillos hidráulicos o equipos de perforación rotativa, según las condiciones del suelo y el diseño del pilote. En algunos casos, puede ser necesario agregar refuerzo al pilote antes de verter el concreto para proporcionar una capacidad de carga adicional.



Una vez instalado el pilote en su posición final, se procede al vertido del concreto para fijarlo en su lugar y proporcionar estabilidad estructural. Finalmente, se realizan pruebas para verificar la capacidad de carga del pilote y asegurar que cumpla con los estándares y requisitos de diseño.

Figura 14. *Perforación e hincado de pilote de concreto*



Nota: Adaptada de ¿Qué son, cómo funcionan y dónde ocupar pilotes? [Fotografía] Global, R. A. (2017, 30. agosto) Arcus Global. (<https://www.arcus-global.com/wp/que-son-como-funcionan-y-donde-ocupar-pilotes-prt-1/>)

Descabece de Pilotes

Después de completar el hincado, especialmente en el caso de los pilotes de concreto, es imprescindible eliminar parte de la cabeza de los pilotes para facilitar su conexión con otros elementos estructurales como dados, cabezas y zapatas. Esta tarea se lleva a cabo utilizando equipos de demolición neumática o equipos específicamente diseñados para el descabezado de pilotes. Es importante realizar esta operación con precisión para garantizar una conexión segura y estable entre los pilotes y los elementos estructurales adyacentes. El descabezado adecuado también ayuda a preparar la superficie del pilote para recibir la carga estructural de manera eficiente y uniforme.

3.5.2.1.8 Unión entre Pilotes y Subestructura.

1. ***Unión directa:*** La práctica más común en el colocado de pilotes implica incrustar la cabeza del pilote dentro de la contratrabe, un dado o una losa peraltada que haya sido específicamente diseñada para este propósito. En estas situaciones, se aconseja retirar la parte superior del pilote para exponer las varillas hasta que estas permitan alcanzar una longitud de anclaje conforme a las especificaciones requeridas. Se recomienda que la punta superior del pilote quede enterrada a una profundidad de 12 o 15 centímetros para asegurar una adecuada conexión y estabilidad entre el pilote y la estructura que lo soporta. Este método proporciona una solución robusta y confiable para integrar los pilotes con la subestructura, garantizando una distribución eficiente de las cargas y una mayor resistencia ante las fuerzas externas.
2. ***Pilotes de control:*** En ciertas circunstancias, cuando resulta complicado anticipar el grado de hundimiento que experimentará la superficie del suelo debido a la consolidación de sus estratos inferiores, se emplea una estrategia particular en el colocado de pilotes. Esta técnica implica dejar que la cabeza del pilote sobresalga por encima de la losa o del dado, creando una separación entre el pilote y el elemento de la subestructura correspondiente. Posteriormente, se utiliza un dispositivo de conexión para transmitir la carga que se aplicará sobre cada pilote. Este mecanismo comprende una serie de componentes, entre los cuales se incluyen anclas, espárragos, un puente y celdas de madera, que trabajan en



conjunto para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura. Esta práctica permite adaptarse a las variaciones del terreno de manera efectiva y asegurar que los pilotes soporten adecuadamente las cargas previstas, incluso en condiciones donde la consolidación del suelo puede presentar incertidumbres.

3. *Mecanismos de unión para concreto*: Existen varios tipos de mecanismos de unión, como juntas soldadas, encajadas o atornilladas. La elección del mecanismo adecuado depende de factores como el tipo de suelo, las cargas esperadas y las especificaciones del diseño del proyecto.

- *Juntas soldadas*: Se utilizan comúnmente en situaciones donde se requiere una unión rígida y permanente.
- *Juntas encajadas*: Permiten cierta flexibilidad y son más fáciles de instalar y desmontar.
- *Juntas atornilladas*: Ofrecen una combinación de rigidez y facilidad de instalación.

3.5.2.2 Pilas.

Las pilas se construyen directamente en el suelo, agregando acero de refuerzo y concreto.

3.5.2.2.1 Dimensiones.

El diámetro de las pilas de cimentación puede ir desde los 0.8 metros hasta los 3 metros y con longitudes de hasta 60 metros. Todo esto dependerá, tanto de las necesidades del proyecto, así como del tamaño de la estructura y la distancia del estrato duro desde la superficie hasta el estrato duro en el que se pretende desplantar la misma.

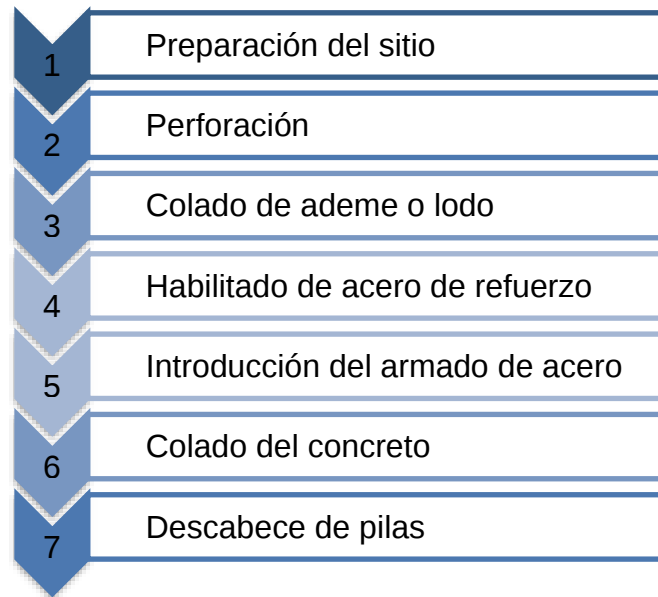
3.5.2.2.2 Fabricación.

La fabricación de las pilas de cimentación generalmente se realiza en el lugar donde se instalarán, disponiendo de un área específica para preparar y armar el acero de refuerzo según las especificaciones del proyecto. Posteriormente se introduce el armado en la excavación para seguir con el colado del concreto.



3.5.2.2.3 Procedimiento Constructivo.

Figura 15. *Procedimiento constructivo en el empleo de pilas de cimentación*



Nota: Procedimiento constructivo en el empleo de pilas de cimentación [Diagrama], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

Perforación.

Este proceso consiste en la realización de un orificio en el suelo hasta una profundidad y diámetro específicos, diseñados para soportar las cargas estructurales. Generalmente es recomendable que en la parte inferior del orificio se haga una ligera ampliación del diámetro en forma de campana, dicha ampliación también es conocida como abocinamiento. Ver figuras 16, 17 y 18.

Lo relativo al equipo y maquinaria utilizada para la construcción de cimentaciones profundas se trata en el apartado 3.5.3.1

Algunos métodos empleados al momento de perforar son:

- a) **Método seco:** Este método es la manera más sencilla y económica de realizar una perforación. Es aplicable en suelos y rocas situados por encima del nivel freático y que se mantengan estables a lo largo de toda la perforación. Puede emplearse en arcillas de consistencia media a firme y en arenas con cierto grado de cementación o cohesión aparente. Para llevar a cabo este método, se utiliza

una broca con un sistema de perforación intermitente. Esto significa que la broca se introduce en el suelo rotando hasta llenarse, luego se extrae sin rotación hasta la superficie, donde se gira para remover el material cortado. Este proceso se repite hasta alcanzar la profundidad deseada.

- b) *Método con ademe*: Los ademes son tubos metálicos o de concreto cuyo diámetro se ajusta a la perforación requerida para la pila. El espesor de la pared del tubo depende de los esfuerzos que enfrentará durante su hincado y extracción, mientras que su longitud se determina según los problemas de inestabilidad específicos de cada caso.

Los ademes utilizados pueden recuperarse al extraerlos una vez que se ha completado el colado de la pila, o bien, pueden quedar integrados en ella.

Existen tres métodos para colocar los ademes:

- Se realiza la perforación con un diámetro ligeramente mayor al proyectado utilizando el método seco, y luego se coloca el ademe.
- Se perfora con un diámetro ligeramente mayor al de la pila utilizando lodos de perforación; después se coloca el ademe con la longitud deseada y se continúa perforando hasta el nivel proyectado.
- Se coloca el ademe en el suelo antes de la perforación; luego, se perfora dentro del ademe. En este caso, la colocación del ademe puede hacerse mediante la rotación de la perforadora o utilizando equipos específicos para estos elementos, como osciladores o rotores.

- c) *Método con lodo*: Como se mencionó en capítulos anteriores, los lodos de perforación desempeñan un papel crucial en la construcción de cimentaciones profundas, como las pilas y pilotes, proporcionando soporte temporal al suelo y facilitando el proceso de perforación y colado de concreto. Los diferentes tipos de lodos utilizados tienen propiedades específicas que los hacen adecuados para diversas condiciones del suelo y requisitos de construcción. Ver figura 16.



Figura 16. *Perforación previa a colocar el acero de refuerzo*



Nota: Adaptada de *Procedimiento constructivo para pilas de cimentación coladas en sitio* [Imagen]. Rubí, J. E. (2018, 15. marzo), de LinkedIn.com website: (<https://es.linkedin.com/pulse/procedimiento-constructivo-para-pilas-de-cimentaci%C3%B3n-coladas-javier>)

Figura 17. *Uso de lodo bentonítico en una perforación*



Nota: Adaptada de *Lodos DE perforación en ingeniería civil*. [Fotografía] Pileingeniería (<https://www.pileingenieria.com.co/content/lodos-de-perforaci%C3%B3n-en-ingenier%C3%ADa-civil>)

Combinación de Métodos.

En muchos proyectos, se emplean combinaciones de métodos en los que se emplean lodos para adaptarse a las condiciones específicas del suelo y los requisitos del proyecto. Por ejemplo:

- En suelos con capas variables, se puede iniciar con lodo bentonítico para estabilizar las secciones más inestables y luego utilizar lodo con polímeros en secciones donde se requiere un mayor control de filtración.
- En situaciones donde la estabilidad inicial no es un problema, normalmente se recomienda trabajar con el método a base de lodo espontáneo y, a medida que se profundiza, cambiar a bentonita o polímeros según sea necesario.

Procedimiento de Uso de Lodos.

- a) **Mantener el nivel de lodo:** Es crucial mantener el nivel del lodo por encima del nivel de las aguas subterráneas para prevenir la entrada de agua y asegurar la presión adecuada en las paredes de la perforación. En algunas ocasiones, el nivel de lodo debe ser más alto que la superficie de trabajo para garantizar una estabilidad adicional.
- b) **Limpieza y preparación:** Una vez completada la perforación, el fondo del agujero debe ser limpiado para eliminar cualquier sedimento o recorte que pueda interferir con el colado del concreto. El acero de refuerzo se coloca en la perforación limpia.
- c) **Colado del concreto:** El concreto se introduce utilizando tuberías tremie, que permiten el colado controlado desde el fondo de la perforación hacia la superficie. A medida que se vierte el concreto, desplaza el lodo hacia arriba y fuera de la perforación. Este lodo desplazado se recoge y se lleva a una estación de tratamiento o se dispone adecuadamente fuera del sitio de la obra.

Manejo y Disposición de Lodos.

El manejo adecuado del lodo desplazado es esencial para minimizar el impacto ambiental y cumplir con las regulaciones locales:

- **Estaciones de tratamiento:** El lodo recogido puede ser tratado para separar sólidos y recuperar el lodo para su reutilización.

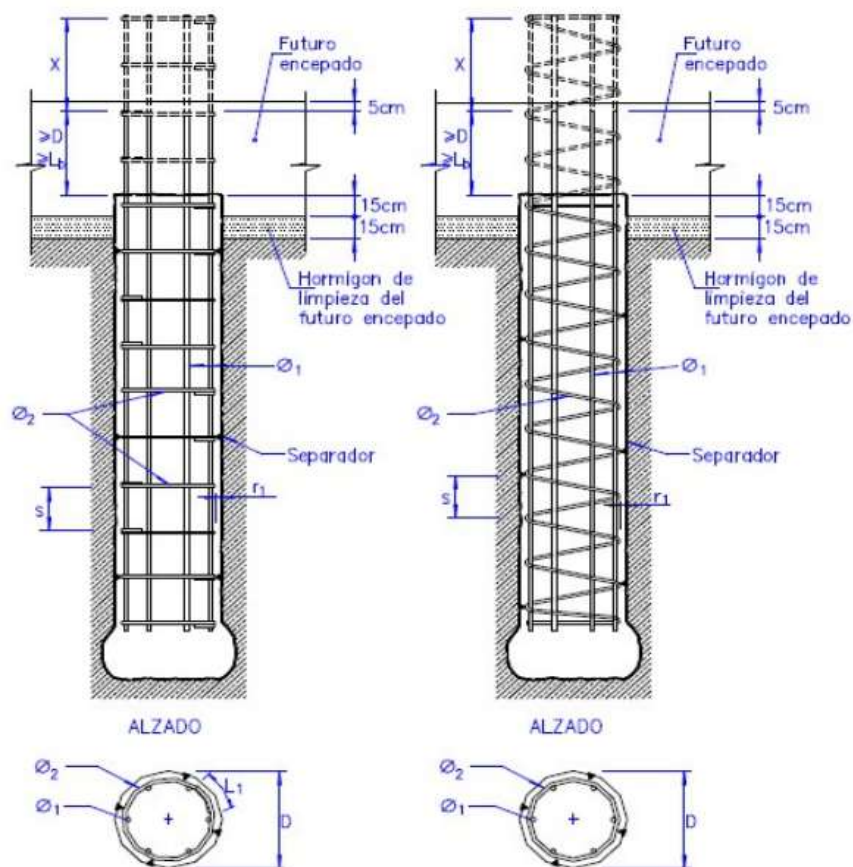


- **Disposición fuera del sitio:** El lodo no reutilizable debe ser transportado a lugares designados para su disposición segura, asegurando que no contamine el medio ambiente.

Acero de Refuerzo.

Las pilas que están sometidas únicamente a compresión requieren refuerzos de acero hasta una profundidad que exceda en aproximadamente 2 metros la profundidad del ademe temporal. Esto es necesario para evitar que el concreto tienda a elevarse al retirar el ademe. En el caso de pilas sometidas a fuerzas de tensión, fuerzas laterales y cargas excéntricas, el refuerzo debe abarcar toda la longitud de la pila. El análisis y diseño correspondientes deben tener en cuenta estas cargas. Figura 18.

Figura 18. *Acero de refuerzo de una pila de cimentación*



Nota: Adaptada de Pilas de cimentación [Imagen] Ing. Daniel RG. (2020, 7. Julio), Facebook.com de (<https://www.facebook.com/photo?fbid=736769710415220&set=a.543946213030905>)

Manipulación del Armado.

El armado terminado debe ser suficientemente robusto para permitir su manejo, izaje y descenso dentro del barreno sin sufrir deformaciones ni desplazamientos permanentes de las barras.

Unión entre Varillas.

- **Conectores mecánicos:** Para unir varillas con conectores mecánicos, los extremos de las varillas se ensanchan mediante un proceso de forjado en frío, donde se fabricará la cuerda de unión. Posteriormente, se forma la cuerda mediante rolado o laminado.
- **Conectores extrusionados:** Los conectores extrusionados tienen la ventaja de no requerir ninguna preparación especial de los elementos a unir. Sin embargo, la desventaja es que las dimensiones del equipo utilizado pueden interferir con el espacio entre las barras, dificultando su utilización.
- **Ganchos y dobleces:** Cuando el espacio disponible no permite la longitud necesaria para desarrollar el esfuerzo de adherencia entre el concreto y el acero, se utilizan dobleces en los extremos de las varillas para formar ganchos o escuadras.

Espaciamiento.

La distancia libre entre varillas paralelas debe ser al menos igual al diámetro nominal de la varilla o una y media veces el tamaño máximo del agregado, y nunca menor a 2.5 centímetros.

Recubrimiento.

El recubrimiento es el espesor de concreto que queda entre la cara exterior del elemento estructural de concreto y la cara exterior del acero de refuerzo más cercano. Su propósito es proteger el acero de refuerzo de agentes externos que puedan causar corrosión.



Para ambientes inocuos, se recomienda un recubrimiento mínimo de 7.5, y para ambientes agresivos, un mínimo de 10 centímetros. Para asegurar el recubrimiento adecuado, se pueden utilizar espaciadores de plástico o de mortero.

Manejo y Colocación.

Una condición crítica durante la construcción de las pilas de cimentación ocurre cuando el acero de refuerzo habilitado y armado es levantado desde el suelo, donde se encuentra en posición horizontal, rotado a una posición vertical e introducido en la perforación. Esta maniobra es fundamental y puede realizarse utilizando grúas de servicio o el cable auxiliar de la perforadora.

Concreto.

Para garantizar el recubrimiento del armado, se emplean separadores de concreto en forma de "donas" colocados en los estribos o zunchos de armado.

Una vez que se ha alcanzado y verificado la profundidad requerida para la pila, se procede a bajar el acero de refuerzo previamente armado utilizando una grúa. Luego, se coloca la tubería Tremie o trompa de elefante, a través de la cual se verterá el concreto.

El concreto utilizado debe tener un tamaño máximo de agregado de $\frac{1}{2}$ " y un revenimiento de 18 a 20 centímetros, manteniéndose fluido durante todo el proceso de colado, lo que puede requerir el uso de un retardante de fraguado. La tubería Tremie se introduce por tramos, sellándose el primer tramo para evitar la segregación del concreto al inicio del colado.

Los tramos de tubería, que no deben superar los 3 metros de largo, tienen un diámetro mínimo de 8 veces el del agregado grueso máximo, con espesores de pared entre 6 y 8 milímetros. La tubería debe ser lisa tanto por dentro como por fuera, y acoplada en toda su longitud para facilitar el flujo continuo y uniforme del concreto.



Una vez que se ha colocado la tubería Tremie, se procede a verter el concreto en la pila. Para iniciar el flujo del concreto, se llena la tubería y se levanta ligeramente la boca de descarga para permitir que el concreto fluya y se establezca un sello. Posteriormente, se continúa con la colocación del concreto en la masa existente, asegurando un flujo suave y continuo.

Es fundamental llevar un estricto control del colado, midiendo permanentemente la variación del nivel de la superficie del concreto y programando el suministro de concreto para evitar interrupciones. Una vez completado el colado, se procede a nivelar la parte superior de la pila para su conexión con la zapata de cimentación según lo indicado en los planos estructurales. Figura 19.

Figura 19. Colado de pila de cimentación



Nota: Adaptada de Colado de concreto en pila in situ [Video]. Cimentaciones, C. R. S (2017, 18. agosto), de (<https://www.youtube.com/watch?v=bTF8jo8nMPQ>).

Descabece de Pilas.

Al finalizar las actividades previamente mencionadas, es común retirar el concreto contaminado que pudo haber quedado en la cabeza de la pila. Esto se realiza utilizando equipos neumáticos de percusión o rompedoras formadas por gatos hidráulicos concéntricos. Figura 20.

Figura 20. Descabece de pilas de cimentación

Nota: Descabece de pilas de cimentación [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

3.5.2.2.4 Recomendaciones Adicionales.

- **Para el acero:** Las varillas no deben estar dispuestas con una densidad excesiva que impida el libre flujo del concreto entre ellas.
- **Para el colocado del armado:** En algunas situaciones, es necesario colocar refuerzos transversales y longitudinales para evitar la deformación del armado durante la maniobra de izaje. Estos refuerzos generalmente se retiran al momento de introducir el armado en su lugar.

Cuando el armado es muy pesado o de gran longitud, se pueden utilizar estructuras de soporte adicionales u otros elementos que faciliten su manipulación y traslado, asegurando que no se produzcan deformaciones, movimientos o desplazamientos del acero longitudinal y transversal.

Se recomienda el uso de balancines en la parte superior del armado para sostenerlo y permitir su manipulación vertical de manera segura. En cualquier caso, es fundamental evitar que, durante el izaje del armado, se produzcan deformaciones. Figura 21.

- **Para el concreto:** Es crucial que el agregado pase libremente entre los espacios del armado para llenar completamente el volumen excavado para la pila. Por lo

tanto, se recomienda que el tamaño máximo de los agregados no exceda $\frac{2}{3}$ partes de la apertura mínima entre el acero de refuerzo o del espesor del recubrimiento. El colado del concreto debe ser continuo para evitar la formación de juntas frías. Además, no se aconseja el uso de acelerantes de fraguado.

Antes de proceder con el colado del concreto, es necesario realizar una limpieza del fondo, eliminando cualquier azolve o recortes sedimentados en el fondo de la perforación. Figura 22.

En ocasiones se utiliza un ademe para el vaciado del concreto, el cual se explicará el funcionamiento de dicho sistema en el apartado 3.5.3.3.

Figura 21. Colocación de armado de refuerzo



Nota: Colocación de armado de refuerzo [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

Figura 22. Colado de pila de cimentación

Nota: Colado de pila de cimentación [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

3.5.2.3 Cajones de Cimentación.

Son subestructuras rígidas construidas a base de concreto reforzado dentro de una excavación bajo el nivel del terreno natural y formadas por losas de cimentación, contratraveses y sus correspondientes losas tapa de cimentación.

Los cajones de cimentación para fines de este documento se tratan en este apartado, en el entendido de que para muchos autores y de acuerdo a nuestra experiencia representan un tipo de cimentación semiprofunda, no obstante, dar a conocer este tipo de sistemas de cimentación y sus procesos de construcción es imprescindible.

Este sistema se implementa para soportar la edificación en una capa inferior a la superficial, que sea más resistente y que se encuentre lo suficientemente consolidada

por el peso del material de las capas superiores. El equivalente al peso del volumen del material contenido en el cajón será sustituido por el de la edificación a medida que avance la obra.

Se usa en construcciones cuyos suelos son de compresibilidad media, alta o muy alta.

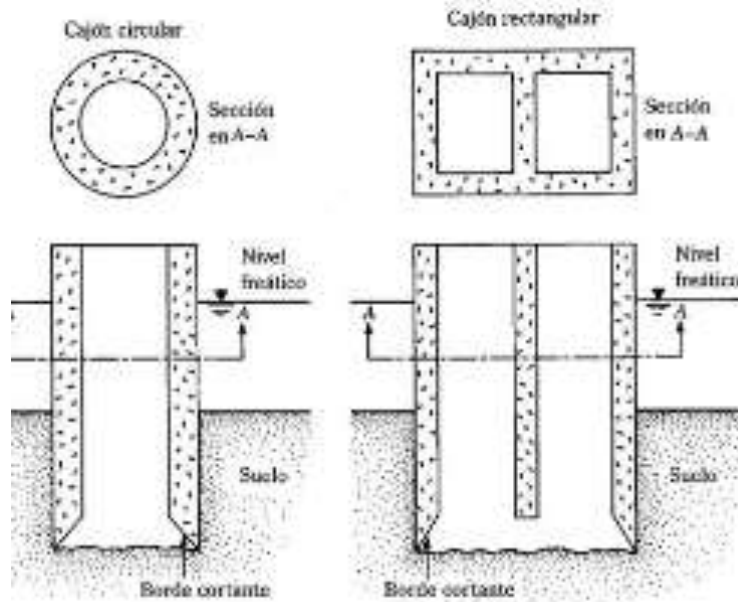
El cajón de cimentación debe ser impermeable debido al contacto directo y constante del agua y la humedad subterráneas.

Este sistema permite contrarrestar el peso del edificio por el efecto de sustitución y el de flotación.

3.5.2.3.1 Cajones Abiertos

Este sistema de cajones de cimentación son estructuras de concreto que permanecen abiertas tanto en la parte superior como en la inferior durante su construcción, así como se muestra en la figura 23. Estas estructuras se utilizan principalmente en las cimentaciones para obras civiles donde es necesario alcanzar un estrato de apoyo adecuado.

Figura 23. *Diagrama de cajones abiertos*



Nota: Adaptada de Tomlinson, M. J.; Cimentaciones: diseño y construcción; 1a Edición, Editorial Trillas, México, 1996

Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Abiertos

1. Excavación y colocación

- 1.1. El cajón, que cuenta con un borde cortante en el fondo, se entierra en su ubicación final.
- 1.2. Utilizando cucharones de almeja, se retira el suelo del interior del cajón hasta alcanzar el estrato de apoyo deseado.

2. Vertido de concreto bajo agua

- 2.1. Una vez alcanzado el estrato de apoyo, se vierte concreto bajo agua en el fondo del cajón para formar un sello.
- 2.2. Después de que el concreto del sello ha fraguado, se bombea el agua fuera del cajón.
- 2.3. Finalmente, se llena el cajón con concreto para completar la estructura.

Formas y Profundidades.

Los cajones pueden ser de varias formas, incluyendo circulares, cuadrados, rectangulares u ovalados, y pueden extenderse a grandes profundidades según las necesidades del proyecto.

Métodos Alternativos.

Un método alternativo para la construcción de cajones abiertos implica el uso de tablestacas para crear una zona encerrada que se llena con arena, formando lo que se conoce como una "isla de arena". El cajón se entierra a través de esta isla de arena hasta alcanzar el estrato de apoyo deseado. Este procedimiento es similar al hincado de un cajón en terrenos donde la superficie está por encima del nivel freático.

Procedimientos de Hincado y Excavación.

1. Preparación del sitio

- 1.1. Evaluación del terreno y planificación del método de hincado.

2. Hincado del cajón

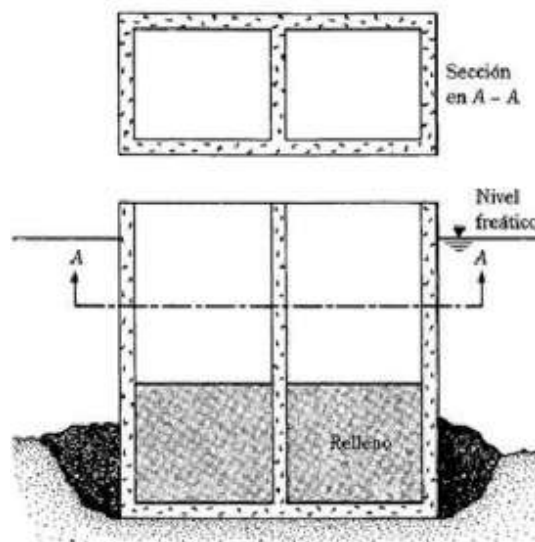


- 2.1. Utilización de maquinaria pesada para enterrar el cajón.
- 2.2. Ajustes durante el hincado para mantener la alineación adecuada.
3. Excavación interna
 - 3.1. Retiro del suelo interno con cucharones de almeja hasta alcanzar el estrato de apoyo.
 - 3.2. Monitoreo constante para evitar colapsos y asentamientos incorrectos.

3.5.2.3.2 Cajones Cerrados.

Los cajones de cimentación cerrados son estructuras de concreto diseñadas con un fondo sellado. A diferencia de los cajones abiertos, estos se construyen en un lugar diferente al sitio de la obra y luego se trasladan a su ubicación final. Figura 24.

Figura 24. Diagrama de cajones de cimentación cerrados



Nota: Adaptada de Tomlinson, M. J.; Cimentaciones: diseño y construcción; 1a Edición, Editorial Trillas, México, 1996

Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Cerrados.

1. Construcción en tierra
 - 1.1. Los cajones se construyen en una zona de preparación específica, donde se puede controlar mejor la calidad de los materiales y la técnica de construcción.

2. Transporte al sitio

2.1. Una vez terminados, los cajones se transportan al lugar de la obra. Este transporte puede realizarse por medios terrestres o acuáticos, dependiendo de la ubicación y el tamaño del cajón.

3. Preparación del terreno

3.1. Para asegurar la eficacia de los cajones de cimentación cerrados, es crucial que la superficie de apoyo esté nivelada. Si el terreno no es uniforme, se debe realizar una excavación para nivelarlo antes de instalar el cajón. Esto garantiza una distribución uniforme de las cargas y la estabilidad a largo plazo de la estructura.

4. Instalación y relleno

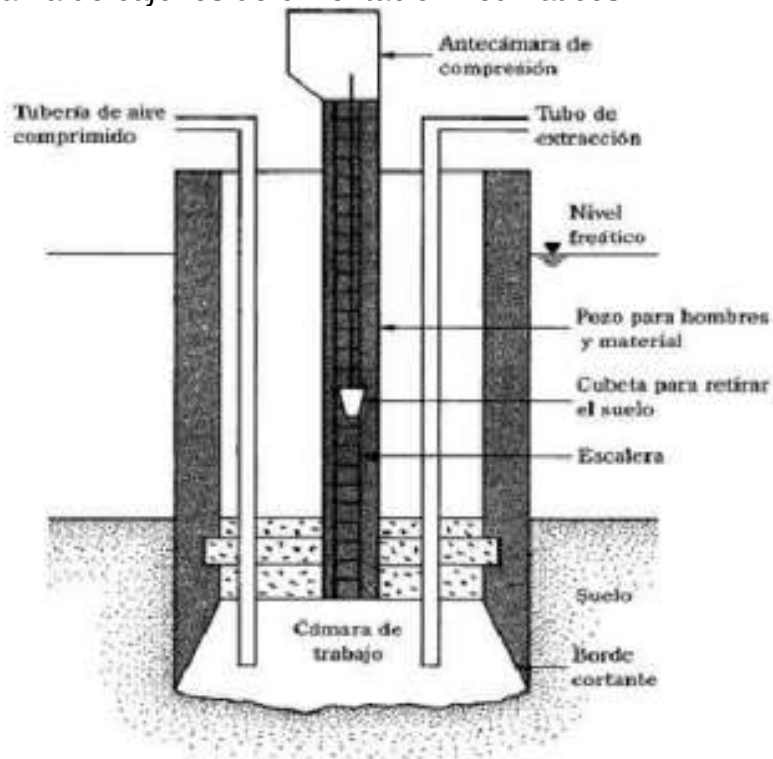
4.1. En el sitio de construcción, los cajones se entierran de manera gradual.

4.2. Su interior se rellena con materiales como arena, balasto, agua o concreto para asegurar su estabilidad y adecuación al terreno.

3.5.2.3.3 *Cajones Neumáticos.*

Los cajones de cimentación neumáticos son utilizados en situaciones donde la excavación no puede mantenerse abierta debido al flujo continuo del suelo hacia el área excavada. Este tipo de cimentación es efectiva en profundidades que varían entre 15 a 40 metros.



Figura 25. Diagrama de cajones de cimentación neumáticos

Nota: Adaptada de Tomlinson, M. J.; Cimentaciones: diseño y construcción; 1a Edición, Editorial Trillas, México, 1996

Proceso de Construcción e Instalación de Cajones Neumáticos.

1. Cámara de trabajo

- 1.1. En el fondo del cajón neumático se encuentra una cámara de trabajo, con una altura mínima de 3 metros.
- 1.2. Dentro de esta cámara, los trabajadores realizan la excavación del suelo y el colado del concreto.

2. Presión de aire

- 2.1. Se mantiene una presión de aire elevada en la cámara para prevenir la entrada de agua al suelo.
- 2.2. La presión típica es de 15 lb/pulg² (100 kN/m²) por encima de la presión atmosférica, lo que generalmente no causa molestias significativas a los trabajadores.

3. Control de presión y descompresión

- 3.1. Para presiones superiores, se requieren períodos de descompresión al salir de la cámara.
- 3.2. Con presiones alrededor de 44 lb/pulg² (300 kN/m²), los trabajadores no deben permanecer en la cámara más de 1 a 2 horas por periodo de trabajo.

4. Acceso y transporte

- 4.1. Los trabajadores acceden a la cámara a través de una escalera dentro de un tubo de acero.
- 4.2. Este tubo también se utiliza para retirar el suelo excavado y para la colocación del concreto.
- 4.3. En proyectos grandes, se requieren múltiples tubos, cada uno con su propia antecámara de compresión.

5. Progreso y llenado

- 5.1. El cajón se entierra gradualmente a medida que avanza la excavación.
- 5.2. Al alcanzar el estrato de apoyo, la cámara de trabajo se llena con concreto para completar la cimentación.

3.5.2.3.4 Cajones Flotantes.

Los cajones de cimentación flotantes, también conocidos como "cajones flotantes" o "cimentaciones por flotación," son estructuras que se utilizan principalmente en terrenos con baja capacidad portante y alta presencia de agua subterránea. Estos cajones distribuyen las cargas estructurales a través de su gran superficie, flotando parcialmente en el terreno, similar al principio de un barco en el agua.

Proceso de Construcción e Instalación.

1. Diseño y construcción en tierra

- 1.1. Los cajones flotantes se diseñan y construyen en una ubicación preparada, permitiendo un control preciso de los materiales y técnicas empleadas.



- 1.2. Se construyen con materiales como concreto armado para garantizar su resistencia y durabilidad.
2. Transporte y posicionamiento
 - 2.1. Una vez contruidos, los cajones se transportan al sitio de la obra, ya sea por tierra o agua, dependiendo de las condiciones del proyecto.
 - 2.2. En el sitio, se posicionan en su ubicación final cuidadosamente para asegurar que se mantenga la estabilidad.
3. Excavación y colocación
 - 3.1. Se excava el terreno hasta la profundidad necesaria, creando un espacio adecuado para la instalación del cajón.
 - 3.2. El cajón se coloca en la excavación, asegurando que se distribuya de manera uniforme para mantener el equilibrio.
4. Llenado y ajuste
 - 4.1. El interior del cajón se llena con materiales como arena, balasto o concreto, ajustando el nivel de flotación y asegurando que el cajón se asiente adecuadamente en el terreno.

3.5.2.3.5 Métodos de Excavación para la Construcción de Cajones de Cimentación.

Tabla 2. Métodos de construcción de cajones de cimentación

Método	Descripción	Ventajas
Excavaciones con lados inclinados	Este método representa una opción económica para la construcción cuando hay suficiente espacio alrededor de la excavación para inclinar los lados hacia atrás hasta lograr un ángulo estable. Es adecuado en lugares donde no existen problemas graves con la acumulación de agua subterránea, que podría provocar erosión o deslizamientos en los taludes.	<i>Economía:</i> Generalmente menos costoso ya que se requieren menos materiales y soporte adicional. <i>Eficiencia:</i> Menor tiempo de construcción debido a la simplicidad del método.



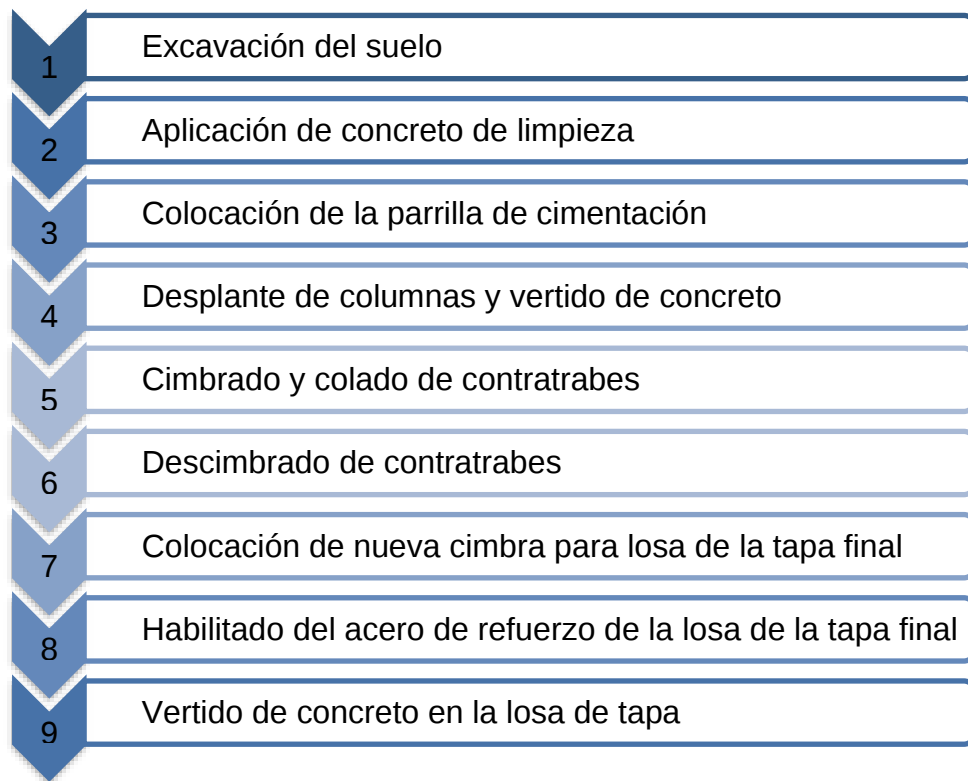
Método	Descripción	Ventajas
Excavaciones soportadas por tablestacas	Este método es apropiado para situaciones donde el espacio alrededor de la excavación es limitado, impidiendo el uso de inclinaciones en los lados. En lugar de eso, se utilizan tablestacas para mantener los bordes de la excavación estables y evitar el colapso.	<i>Versatilidad:</i> Adecuado para espacios reducidos donde no es posible inclinar los lados de la excavación. <i>Control:</i> Proporciona una buena solución para mantener la estabilidad de la excavación en áreas confinadas.
Excavaciones Soportadas por un Muro de Diafragma	Este método se utiliza en áreas donde el uso de tablestacas no es viable debido a obstrucciones en el suelo, y donde la presencia de agua subterránea hace que otros métodos de soporte sean menos efectivos. Se construye un muro de diafragma, que es un muro continuo de concreto armado que sostiene los lados de la excavación.	<i>Soporte Fuerte:</i> Proporciona un soporte robusto en terrenos difíciles y puede actuar como una barrera contra el agua subterránea. <i>Flexibilidad:</i> Adecuado para áreas con obstrucciones que impiden el uso de métodos más tradicionales como el tablestacado.
Excavaciones Soportadas por un Muro de Pilotes Barrenados Contiguos	En este método, se instalan pilotes barrenados en una sola o doble hilera, colocados de manera que se toquen o estén muy próximos entre sí. Primero se perforan y se llenan de concreto los pilotes alternos, y luego se colocan los pilotes intermedios, proporcionando soporte continuo para la excavación.	<i>Estabilidad mejorada:</i> Ofrece una excelente estabilidad lateral, ideal para terrenos con alta presión lateral y condiciones de suelo difíciles. <i>Adaptabilidad:</i> Puede ajustarse a una variedad de condiciones del terreno y niveles freáticos.

Nota: Métodos de construcción de cajones de cimentación [Tabla], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

3.5.2.3.6 Procedimiento Constructivo General de Cajones de Cimentación.

Figura 26. Procedimiento constructivo para cajones de cimentación





Nota: Procedimiento constructivo para cajones de cimentación [Diagrama], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

1. **Excavación del suelo:** Se comienza por excavar el suelo hasta la profundidad requerida, basada en el diseño estructural y las condiciones del terreno. Esta excavación debe ser precisa y controlada para evitar desplazamientos indeseados del suelo y para garantizar que el cajón se asiente correctamente.
2. **Aplicación de concreto de limpieza:** Después de la excavación, se vierte una capa de concreto de limpieza en el fondo del área excavada. Esta capa proporciona una superficie limpia y nivelada sobre la cual se construirán las estructuras de cimentación y evita la contaminación del concreto estructural con el suelo.
3. **Colocación de la parrilla de cimentación:** Sobre el concreto de limpieza, se coloca la parrilla de cimentación, que consiste en una red de barras de acero dispuestas en una formación cuadriculada. Estas barras refuerzan el concreto, proporcionando la resistencia necesaria para soportar las cargas estructurales.
4. **Desplante de columnas y vertido de concreto:** Con la parrilla de cimentación en su lugar, se procede a levantar las columnas, que arrancan desde la parrilla. Se

vierte concreto en los moldes para formar las bases de las columnas, asegurando que estén bien alineadas y niveladas.

5. *Cimbrado y colado de contratraves:* Se instalan moldes o cimbras para las contratraves, que son elementos horizontales que conectan las columnas y proporcionan rigidez adicional a la estructura. Una vez cimbrados, se vierte concreto en las contratraves para formar los cajones de cimentación.
6. *Descimbrado de contratraves:* Después de que el concreto ha fraguado y alcanzado la resistencia necesaria, se procede a retirar las cimbras de las contratraves, dejando las estructuras de concreto expuestas.
7. *Colocación de nueva cimbra para la losa de la tapa final:* Se instalan nuevas cimbras para soportar la losa de la tapa final del cajón de cimentación. Esta losa sirve como cubierta superior, proporcionando una superficie plana y estable para la construcción posterior.
8. *Habilitado del acero de refuerzo de la losa de la tapa final:* Se coloca el acero de refuerzo según el proyecto cuidando todo detalle para lograr el desempeño adecuado una vez que trabaja juntamente con el concreto.
9. *Vertido del concreto en la losa de tapa:* Se vierte concreto armado en la cimbra para formar la losa de la tapa final. Esta losa es esencial para la integridad estructural del cajón, distribuyendo las cargas de manera uniforme y asegurando la estabilidad de toda la cimentación.

3.5.2.3.7 Cajones de Cimentación por Muro Milán.

El muro de diafragma, también conocido como muro Milán en referencia a su desarrollo inicial en esa ciudad italiana, es un método avanzado para la construcción de cajones de cimentación y estructuras subterráneas en terrenos difíciles. Este método se utiliza principalmente en situaciones donde los métodos convencionales de soporte de excavaciones, como el tablestacado, no son viables debido a obstrucciones en el suelo, alta presión de agua subterránea, o limitaciones de espacio. Figura 27.

Figura 27. Muro Milán





Nota: Muro Milán [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Procedimiento y descripción del Método.

1. **Preparación del terreno:** Se realiza una excavación preliminar para preparar el área donde se construirá el muro. Esto incluye la eliminación del suelo superficial y la creación de un espacio adecuado para la instalación del muro.
2. **Instalación de las guías:** Se colocan guías o pilotes de soporte temporales alrededor del área de excavación. Estas guías ayudan a mantener la estabilidad de la excavación mientras se construye el muro de diafragma.
3. **Perforación y excavación:** Se perfora el terreno utilizando equipos especializados para crear una zanja profunda y continua en la que se colocará el concreto. Durante este proceso, se utilizan fluidos de perforación para estabilizar el hueco y evitar el colapso de las paredes.
4. **Colocación del acero:** Se introduce una malla de acero o armadura en la zanja perforada. Esta armadura proporciona la resistencia adicional necesaria para soportar las cargas estructurales. Figura 28.

Figura 28. Colocación de diafragma para un cajón de cimentación con muro Milán



Nota: Adaptada de Cimentaciones DIOSA. [Fotografía], (2018, 18. julio) de Facebook.com website: (<https://www.facebook.com/photo/?fbid=2185830854986219&set=a.2015445382024768>)

5. *Vertido del concreto:* Se vierte concreto en la zanja perforada sobre la armadura, formando un muro continuo y reforzado. El concreto se coloca en capas para asegurar una correcta consolidación y evitar la aparición de burbujas de aire.
6. *Curado y desmontaje:* Una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado la resistencia requerida, se procede al desmontaje de las guías y soportes temporales. El muro de diafragma ahora proporciona soporte estructural y actúa como una barrera contra el agua subterránea.
7. *Troqueles:* Cuando es necesario se colocan troqueles temporales para reforzar el muro Milán y garantizar la seguridad y buen desempeño de éste.

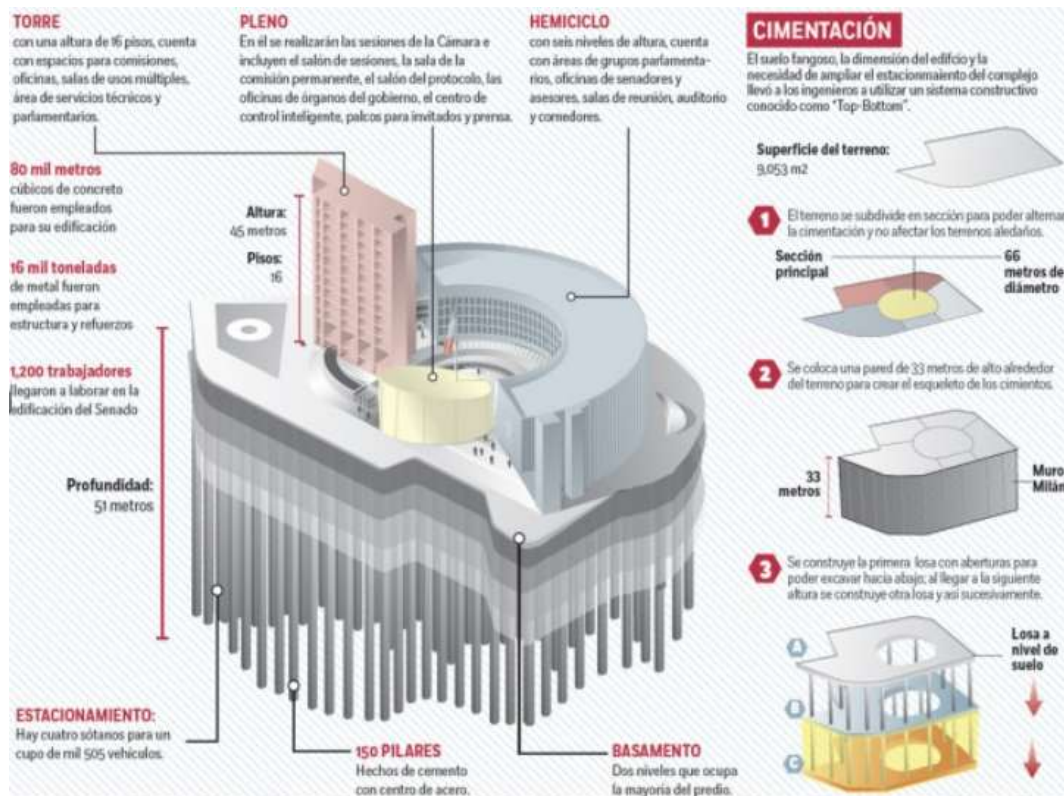
Ventajas del Método del Muro de Diafragma.

- a) *Estabilidad en terrenos difíciles:* Proporciona un soporte robusto en terrenos difíciles, donde otros métodos pueden fallar debido a obstrucciones o condiciones inestables.
- b) *Control de agua subterránea:* Actúa como una barrera efectiva contra la infiltración de agua subterránea, lo que es especialmente valioso en áreas con altos niveles freáticos.
- c) *Versatilidad:* Puede adaptarse a diferentes condiciones del suelo y se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, incluyendo la construcción de sótanos, garajes subterráneos y cimientos para grandes edificios.
- d) *Reducción de ruido y vibraciones:* Menos ruidoso y vibrante en comparación con otros métodos, lo que es beneficioso en áreas urbanas densas.

3.5.2.3.8 Sistema Top-Down.

El sistema "Top-Down" es una técnica de construcción utilizada principalmente en proyectos de cimentación profunda, particularmente en áreas urbanas congestionadas donde el espacio es limitado y el tiempo es crucial. Este método permite la construcción simultánea de la superestructura (edificio) y la subestructura (sótanos o niveles subterráneos), lo que puede resultar en significativas reducciones de tiempo y costo. En las figuras 29 a la 32, se muestra el proceso constructivo de un edificio construido por sistema Top-Down en México.



Figura 29. Esquema de la nueva sede del Senado

Nota: Adaptada de Senado: costoso y con goteras [Imagen]; se cumplen 5 años de la primera sesión. de la Rosa, L. R (2016, 13. abril) de Excélsior website:

(<https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/04/13/1086253>)

Figura 30. Vista del inicio del desarrollo de la superestructura de la nueva sede del Senado



Nota: Adaptada de En Construcción: Nueva Sede del Senado Mexicano / Javier Muñoz Menéndez [Fotografía]. (2011, 03. marzo) ArchDaily México. (https://www.archdaily.mx/mx/02-77757/en-construccion-nueva-sede-del-senado-de-la-republica-mexicana-javier-munoz/05-senado-mex-2?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev)

Figura 31. Vista panorámica frontal del desarrollo de la superestructura de la nueva sede del Senado



Nota: Adaptada de En Construcción: Nueva Sede del Senado Mexicano / Javier Muñoz Menéndez [Fotografía]. (2011, 03. marzo) ArchDaily México. (https://www.archdaily.mx/mx/02-77757/en-construccion-nueva-sede-del-senado-de-la-republica-mexicana-javier-munoz/05-senado-mex-2?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev)

Figura 32. Vista frontal de la nueva sede del Senado. Proyecto concluido



Nota: Adaptada de En Construcción: Nueva Sede del Senado Mexicano / Javier Muñoz Menéndez [Fotografía]. (2011, 03. marzo) ArchDaily México. (https://www.archdaily.mx/mx/02-77757/en-construccion-nueva-sede-del-senado-de-la-republica-mexicana-javier-munoz/05-senado-mex-2?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev)

Procedimiento y descripción del Sistema Top-Down.

1. Preparación del sitio

- 1.1. Se realiza una excavación inicial limitada, generalmente hasta la primera planta subterránea.
- 1.2. Se colocan elementos de soporte temporales, como pilotes de guía o muros de contención perimetrales (muros Milán).

2. Instalación de pilotes y colocación de la losa de cimentación

- 2.1. Se instalan los pilotes de cimentación o columnas, que proporcionarán soporte tanto para la estructura superior como para los niveles subterráneos.
- 2.2. Se construye la losa de cimentación (slab) en la parte superior del sitio excavado.

3. Construcción de la superestructura inicial

- 3.1. Se comienza la construcción de la superestructura (sobre el nivel de banquetas), utilizando la losa de cimentación como base de trabajo.
- 3.2. Mientras se avanza con la superestructura, se deja acceso a través de aberturas en la losa para permitir la excavación continúa hacia abajo.

4. Excavación y construcción subterránea

4.1. La excavación debajo de la losa de cimentación continúa nivel por nivel.

4.2. A medida que se excava, se construyen los pisos subterráneos y se instalan elementos estructurales adicionales (muros y columnas).

4.3. La excavación y construcción subterránea se realiza utilizando equipos especializados que operan a través de las aberturas dejadas en la losa.

5. Progresión concurrente

5.1. La construcción de la superestructura y la excavación subterránea avanzan simultáneamente.

5.2. A medida que se completa cada nivel subterráneo, se cierra con una nueva losa y se continúa excavando hacia abajo hasta alcanzar la profundidad final requerida.

6. Finalización y sellado

6.1. Una vez que se ha completado la excavación y construcción de todos los niveles subterráneos, las aberturas en la losa de cimentación se sellan.

6.2. La estructura completa, tanto sobre el suelo como bajo tierra, se termina conforme a los diseños y especificaciones.

Ventajas del Sistema Top-Down.

- a) **Reducción de tiempo:** La superestructura y la subestructura se construyen simultáneamente, lo que acelera el tiempo total de construcción.
- b) **Uso eficiente del espacio:** Ideal para áreas urbanas donde el espacio es limitado, permitiendo una construcción eficiente sin necesidad de grandes áreas de almacenamiento o maniobra en el sitio.
- c) **Menor impacto ambiental:** Al limitar la excavación inicial, se reduce la generación de polvo y ruido, lo que minimiza el impacto en el entorno urbano circundante.
- d) **Estabilidad estructural:** La losa de cimentación y los elementos estructurales instalados temprano proporcionan estabilidad y soporte a medida que avanza la excavación subterránea.



3.5.3 Equipo Utilizado

Para llevar a cabo la colocación de pilotes o bien, la construcción de pilas de manera exitosa es crucial seleccionar el equipo, los accesorios y las herramientas más eficientes. Esto garantiza que los elementos sean colocados dentro de las tolerancias especificadas, sin sufrir daños y en el menor tiempo posible.

3.5.3.1 Equipos de Perforación.

3.5.3.1.1 Selección de Equipos y Herramientas de Perforación.

En general, la elección de los equipos y herramientas de perforación recae sobre el constructor. Sin embargo, en determinadas situaciones, se puede especificar el uso de un equipo específico para cumplir con propósitos particulares, tales como minimizar las vibraciones o el ruido, trabajar en condiciones de altura limitada, entre otros factores.

Figura 33. *Perforadora montada sobre orugas*



Nota: Adaptada de *Pilotes de cimentación para la construcción*. Sanchez, I. N. L. (2014, enero 13). Civilgeeks.com; CivilGeeks. (<https://civilgeeks.com/2014/01/13/pilotes-de-cimentacion-para-la-construccion/>)

3.5.3.1.2 Métodos de Perforación.

Las perforaciones comúnmente se realizan con equipos rotatorios, donde la máquina transmite un par de torsión desde una unidad de potencia a una barra de perforación

conocida como barretón o kelly. Este barretón, suspendido de un cable de acero manejado por un malacate, gira y empuja hacia abajo, transfiriendo la energía a la herramienta de perforación en su extremo inferior. La capacidad de las perforadoras suele expresarse en términos de par de torsión y empuje descendente.

Tabla 3. Tipos de perforadoras

Equipo	Descripción	Ventajas
Perforadora hidráulica	Colocadas sobre un carro con orugas. Funciona mediante bombas hidráulicas, con una mesa rotatoria que puede deslizarse verticalmente. Están equipadas con sistemas electrónicos que proporcionan información útil como la profundidad de perforación, verticalidad y otros parámetros operativos.	- Alta precisión gracias a los sistemas electrónicos integrados que monitorean la profundidad y verticalidad. - Versatilidad en diferentes tipos de terreno. - Eficiencia en operaciones repetitivas.
Perforadoras montadas sobre grúa:	Perforadoras instaladas en una grúa, generalmente sobre orugas. Estas máquinas son relativamente lentas en montaje y desmontaje.	Capaces de alcanzar puntos de perforación distantes y manejar mayores diámetros de herramienta, especialmente útiles en obras marinas.
Perforadoras montadas sobre orugas	Adaptadas para instalarse en carros hidráulicos de excavadoras o grúas. Utilizan el potencial hidráulico de la base portante para operar con malacate y mesa rotatoria.	- Movilidad y adaptabilidad en terrenos difíciles. - Potencia hidráulica eficiente para operaciones pesadas. - Flexibilidad en la configuración del equipo.
Perforadoras montadas sobre excavadoras	Funcionan como un accesorio de la excavadora, usando el brazo hidráulico para la perforación.	Adecuadas para trabajar en sitios con poca altura, aunque

Equipo	Descripción	Ventajas
		el montaje y desmontaje es laborioso.
Perforadoras montadas sobre camión	Ofrecen alta movilidad entre sitios de trabajo. Generalmente tienen una transmisión mecánica fija a la mesa rotatoria, lo que puede limitar la capacidad de manejo de ademes y herramientas. Cuentan con un malacate y un cable auxiliar para maniobrar herramientas y tubería tremie.	• Rápida movilización entre diferentes sitios de trabajo. • Ideal para proyectos que requieren desplazamientos frecuentes. • Capacidad de maniobrar herramientas y tuberías tremie con facilidad.
Perforadoras compactas	Hidráulicas y de tamaño reducido para acceder a sitios con espacio limitado. Limitadas en diámetro y profundidad de perforación, así como en par de torsión.	• Acceso a áreas confinadas y difíciles de alcanzar. • Ligereza y facilidad de transporte. • Operación silenciosa y de baja vibración, adecuada para zonas urbanas.
Perforadores de circulación inversa	Utilizan una cabeza cortadora que cubre toda la sección de perforación. El fluido de perforación se usa para remover el corte mediante un air-lift a través de la tubería central.	• Pueden alcanzar profundidades superiores a 100 metros y perforar macizos rocosos con la cabeza adecuada.

Nota: Tipos de perforadoras [Tabla], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

3.5.3.2 Equipo de Hincado.

Los componentes principales del sistema de hincado incluyen la grúa, la guía, el martillo y el casquete, los cuales se describen a continuación:



a) *Martillos de hincado*. Estos equipos utilizan el principio de elevar la masa, sin embargo, a diferencia de los de caída libre, los martillos neumáticos, diésel e hidráulicos ocupan diferentes recursos para levantar y acelerar la masa para proporcionar más energía en el impacto a la cabeza del elemento estructural; permitiendo esto, que se pueden utilizar masas más grandes. En la figura 34, se presenta una clasificación general de los tipos de martillos de hincado y según el sistema de hincado utilizado, los cuales se describen a continuación:

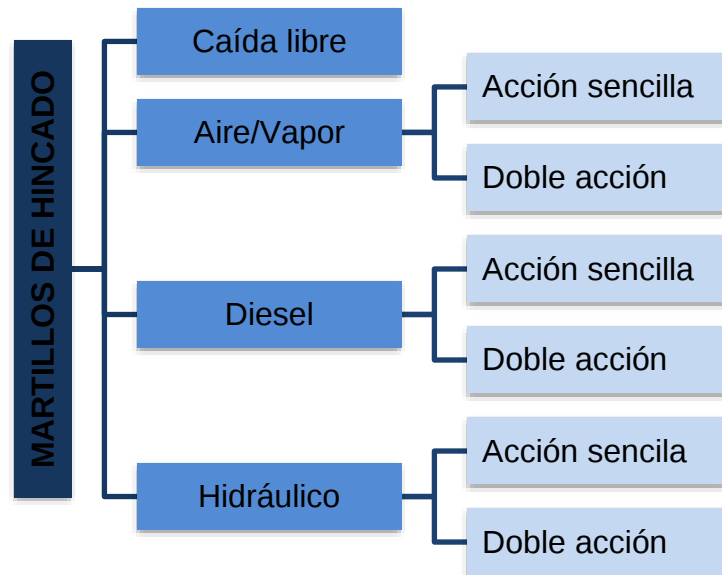
- *Martillos de caída libre*: Son pesos que se posicionan antes del descenso utilizando sistemas manuales o mecánicos. Estos dispositivos se emplean para hincar pilotes provisionales. Su operación consiste en elevar el peso hasta la altura requerida y, al liberar el embrague, dejarlo caer para que impacte sobre el pilote.

La velocidad de operación depende de la habilidad del operador y la altura de caída, el operador eleva y suelta la masa para que pegue el pilote.

- *Martillos neumáticos (aire/vapor)*: Estos utilizan vapor de agua o aire comprimido para levantar (acción sencilla); al avanzar la tecnología, se utilizó el mismo aire comprimido para acelerar la masa logrando un mayor impacto (doble acción).
- *Martillos diésel*: Son máquinas de combustión interna que emplean diesel como combustible para levantar la masa (acción simple), al mismo tiempo que se aprovecha su explosión para incrementar el impacto del hincado (doble acción).
- *Martillos hidráulicos*: Utilizan una fuente de energía hidráulica externa para levantar y acelerar el peso. La energía de hincado puede ajustarse modificando el flujo hidráulico suministrado al martillo. Algunos de estos equipos están completamente sellados y son capaces de operar bajo el agua.

Figura 34. Tipos de martillos de hincado





Nota: Tipos de martillos de hincado [Mapa Conceptual], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

Figura 35. Martillo Diesel



Nota: Martillo Diesel [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

- b) **Guías:** Son estructuras que se incorporan a los brazos de las grúas y se utilizan para mantener la alineación del sistema martillo-pilote, asegurando que los golpes sean concéntricos. Estas guías permiten el deslizamiento del martillo de hincado, el dispositivo de disparo y el pilote; su diseño varía según el tipo de aplicación.

Tabla 4. *Tipo de guías*

Tipo de guía	Descripción	Ventajas
Suspendidas	Estas giran libremente para alinear el martillo con la cabeza del pilote, incluso si la grúa no está perfectamente alineada con la cabeza del pilote.	• Ligera, sencilla y más económica. • Puede girar libremente sin necesidad de alinear la grúa con el pilote. • De 4 a 6 metros más corta que la pluma de la grúa puede alcanzar una mayor distancia si la capacidad de la grúa lo permite. • Capaz de hincar en los bordes de las excavaciones. • La guía puede colocarse en el suelo durante las maniobras con el pilote.
Fijas	Las guías se fijan a un punto del brazo de la grúa y tienen brazos que se extienden desde la base de la guía hasta la cabina de la grúa. Este tipo de guía es adecuada únicamente para pilotes verticales y aquellos inclinados hacia adelante o hacia atrás. Los brazos pueden ser fijos o telescópicos para permitir el ajuste de la inclinación del pilote.	• Requiere una grúa de dos tambores y ofrece mayor precisión en la verticalidad y la inclinación del pilote.
Móviles	Esta guía es similar a la anterior, pero permite mover el punto de sujeción en el brazo de la grúa de manera vertical. Generalmente, tiene brazos telescópicos hidráulicos que ajustan la inclinación del pilote como se muestra en la figura 36.	• Facilidad al posicionarla con pilotes inclinados

Nota: Tipo de Guías [Tabla], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

Figura 36. *Guías móviles*

Nota: Guías móviles [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2012. Colección personal del autor

3.5.3.3 Uso del Tubo Tremie.

El uso del tubo Tremie es una técnica ampliamente empleada para el colado de cimentaciones profundas, especialmente útil para profundidades que oscilan entre 1.5 y 50 metros. Este método asegura una distribución uniforme evitando la segregación del material.

Procedimiento Constructivo

1. Perforación

- 1.1. Se realiza la perforación con la maquinaria descrita en el apartado 3.5.3.1 a la profundidad requerida por el proyecto.

2. Colocado del acero de refuerzo

- 2.1. Se colocará el acero de refuerzo como se habló anteriormente en el punto 3.5.2.2.3 en el apartado del mismo nombre.

3. Colocación de tuberías

- 3.1. Posterior a la perforación se ensamblan tramos de tubería, que tienen un diámetro interior entre 15 y 25 centímetros (6 a 10 pulgadas) y longitudes que varían entre 1 y 3 metros.

3.2. Es preferible utilizar tramos más largos para reducir la cantidad de juntas y conexiones, facilitando así un proceso de colado más continuo y eficiente.

4. Sellado inicial

4.1. Para evitar la segregación del concreto al inicio del colado, se emplea un sello temporal, como un balón de látex o una esfera de poliestireno.

4.2. Este sello impide que el concreto entre en contacto con el agua freática, flotando hacia la superficie una vez que se inicia el colado.

5. Unión de tuberías

5.1. Los tramos de tubería se conectan mediante coples que aseguran una unión hermética, evitando cualquier posible entrada de agua freática que pueda contaminar el concreto.

6. Preparación de la tolva

6.1. En la parte superior del tubo Tremie se coloca una tolva a una altura conveniente, permitiendo que el concreto sea descargado directamente desde las ollas revolvedoras sin interrupciones.

7. Posicionamiento del tubo

7.1. El extremo inferior de la tubería debe descansar sobre el fondo de la excavación antes de comenzar el colado para asegurar que el sello temporal no se libere prematuramente.

8. Inicio del colado

8.1. Se llena la tubería con concreto y luego se eleva ligeramente la boca de descarga, permitiendo que el balón o sello se libere, iniciando así el flujo del concreto.

8.2. El concreto utilizado debe ser lo suficientemente fluido para penetrar y distribuirse de manera uniforme en toda la excavación sin necesidad de vibración adicional.

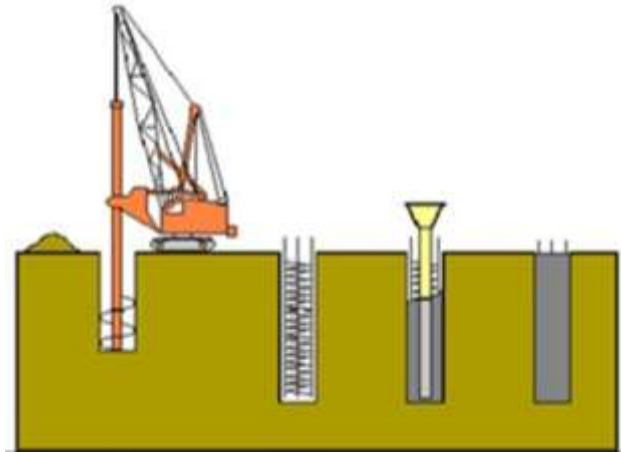
9. Extracción progresiva del tubo

9.1. Conforme la perforación se va llenando con concreto, la tubería se va retirando gradualmente, asegurando que el extremo inferior del tubo se



mantenga siempre sumergido en concreto para evitar la entrada de agua o aire.

Figura 37. *Uso de tremie en el proceso constructivo de pilas de cimentación*



Nota: Adaptada de *Importancia de un Estudio de Mecánica de Suelos* [Imagen]. Arquitectura e Ingeniería INNOVA. de (<https://soyinnova.com/importancia-de-un-estudio-de-mecanica-de-suelos/>)

3.5.4 Control de Calidad

3.5.4.1 Medio Ambiente.

En la mayoría de los proyectos de ingeniería civil, se producen cambios en el entorno natural, ya sea mediante la extracción y utilización de materiales naturales en la construcción o mediante la alteración del paisaje para la ejecución del proyecto. Este aspecto cobra una importancia particular en el caso de las cimentaciones profundas. A continuación, se discutirán algunos efectos ocasionados por la construcción de cimentaciones profundas, como el ruido, la emisión de humo, la disposición de lodo bentonítico y las vibraciones durante las operaciones.

3.5.4.1.1 Ruido.

Es imperativo controlar el ruido en las obras para salvaguardar la salud de los trabajadores y de quienes se encuentran en el entorno. La intensidad y frecuencia del ruido se evalúan utilizando la unidad de medida conocida como decibelio (dB).

La tabla 5 muestra objetos cotidianos y su intensidad del sonido.

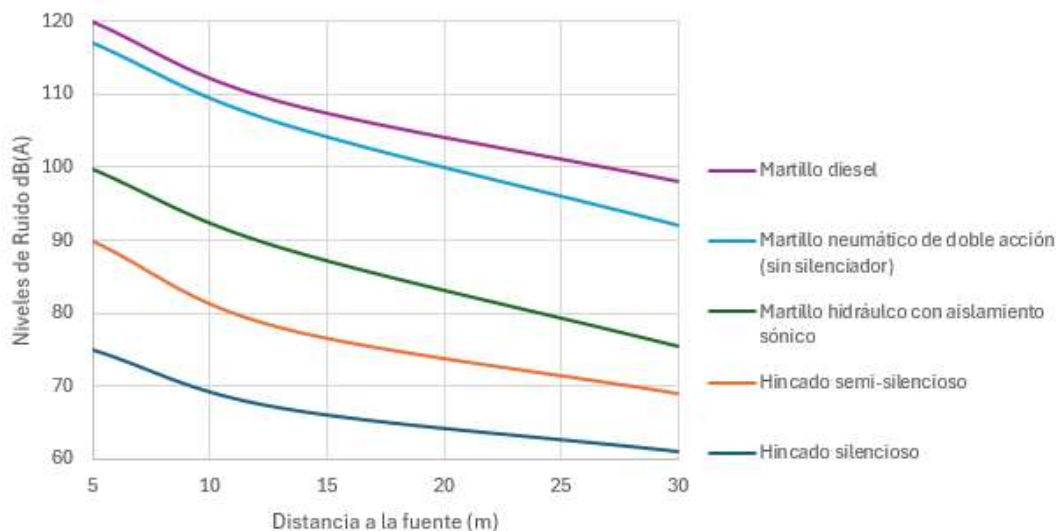
Tabla 5. *Intensidades de sonido*

Intensidad del sonido	Nivel de comparativo
100 dB	Perforadora eléctrica.
85 dB	Tráfico en una calle concurrida
70 dB	Aspiradora
65 dB	Actividad en una oficina.
40 dB	Sala de estar
0 dB	Umbral de audición

Nota: Intensidades de sonido [Tabla], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

A continuación, en la figura 38, se presentan gráficos que ilustran los niveles de ruido producidos por diversos equipos empleados en la construcción de cimentaciones profundas.

Figura 38. *Nivel de ruido de maquinaria utilizada en la construcción*



Nota: Adaptada de *Nivel de ruido de maquinaria utilizada en la construcción* [Gráfico], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor

Con el objetivo de reducir el ruido producido durante la construcción de cimentaciones profundas, se considera una opción consistente en la instalación de cajas absorbentes de ruido alrededor del martillo y el pilote, o la realización de perforaciones previas al

hincado para mitigar este último. Estas medidas pueden resultar en una disminución de hasta un 40% en el ruido generado a distancias de entre 7 a 15 metros, lo que permite alcanzar niveles aceptables de ruido.

Tabla 6. *NOM-011-STPS-2001*

NER	TMPE
90 dB (A)	8 horas
93 dB (A)	4 horas
96 dB (A)	2 horas
99 dB (A)	1 hora
102 dB (A)	30 minutos
105 dB (A)	15 minutos

Nota: Adaptada de Fuente: NOM-011-STPS-2001

3.5.4.1.2 Humo.

El uso de martillos de hincado en la construcción puede generar humo que contribuye a la contaminación ambiental, especialmente en áreas con poca circulación de aire. El humo de un martillo de hincado se ha comparado de manera aproximada con el de dos motocicletas mal afinadas, indicando un alto nivel de emisiones contaminantes.

Las características del suelo tienen un impacto significativo en la eficiencia de la combustión de los martillos de hincado y, por lo tanto, en la cantidad de contaminantes emitidos. En suelos blandos, que ofrecen poca resistencia al hincado, la combustión del combustible en el martillo es menos eficiente, resultando en una mayor producción de humo. Esto se debe a que la falta de resistencia del suelo impide una explosión adecuada del combustible.

3.5.4.1.3 Principales Contaminantes Emitidos.

El humo producido por los martillos de hincado contiene varios contaminantes atmosféricos peligrosos, entre los que se incluyen:

- **Monóxido de Carbono (CO):** Un gas tóxico que puede causar problemas de salud graves, incluso a bajas concentraciones.



- *Partículas suspendidas*: Pequeñas partículas que pueden penetrar en los pulmones y causar problemas respiratorios.
- *Dióxido de Azufre (SO₂)*: Un gas irritante que puede afectar las vías respiratorias y contribuir a la formación de lluvia ácida.

3.5.4.1.4 Soluciones para Reducir la Contaminación.

Para mitigar el impacto ambiental del humo generado por los martillos de hincado, se pueden implementar varias soluciones:

- *Reducción del hincado a través de estratos compresibles*: Realizar una perforación previa antes de hincar los pilotes en suelos blandos. Esta técnica disminuye el número de golpes necesarios para hincar un pilote, reduciendo así la emisión de humo.
- *Uso de martillos hidráulicos o neumáticos*: Los martillos hidráulicos o neumáticos generan menos humo y son más eficientes en la combustión del combustible, reduciendo significativamente las emisiones contaminantes.
- *Mejora de la calidad de los combustibles*: Utilizar combustibles de mejor calidad que arden de manera más limpia y eficiente, reduciendo la producción de humo y la emisión de contaminantes.

Implementar estas soluciones no solo contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, sino que también mejora la eficiencia del proceso de hincado, haciendo que las operaciones de construcción sean más sostenibles y seguras para los trabajadores y las comunidades circundantes.



Conclusiones Capitulares

Las cimentaciones profundas son una solución esencial de la ingeniería civil y geotécnica para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras, especialmente en terrenos con capas superficiales de baja capacidad de carga. Utilizando diversos métodos y materiales, estas cimentaciones transfieren las cargas estructurales a estratos de suelo más firmes y estables situados a mayor profundidad.

En este capítulo, hemos explorado varias técnicas de construcción y tipos de cimentaciones profundas, cada una con sus características, ventajas, desventajas y aplicaciones específicas. El conocimiento de esta información es crucial para la selección adecuada del tipo de cimentación profunda, la cual es fundamental para la seguridad, estabilidad y durabilidad de las estructuras, particularmente en terrenos con suelos superficiales inadecuados.

Los pilotes y los cajones de cimentación, junto con métodos avanzados como el muro de diafragma, ofrecen una amplia gama de soluciones adaptadas a diferentes condiciones del suelo y requisitos estructurales. Comprender las características, ventajas y limitaciones de cada método permite a los ingenieros y constructores tomar decisiones acertadas, asegurando así el éxito de sus proyectos.



Bibliografía

Cuduto, D. P., Kitch, W. A., Yeung, M. R. (2016). *Foundation design: principles and practices*. Pearson. (3ª Ed.).

Deep Foundation Institute. (1995). *Pile Inspector's Guide To Hammers*. Deep Foundation Institute.

Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M. y Elson, K. (2009). *Piling Engineering*. Taylor & Francis. (3ª Ed.)

Fullen, F. M. (1983). *Engineering of Pile Installations*. McGraw Hill

Gobierno de la Ciudad de México. (06 de noviembre de 2023). Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal [Archivo PDF]. Consejería Jurídica y de Servicios Legales: Gaceta Oficial de la Ciudad de México: Disponible en https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf

INNOVA Ingeniería & Arquitectura. (2024). *Importancia de un Estudio de Mecánica de Suelos*. Soyinnova. <https://soyinnova.com/importancia-de-un-estudio-de-mecanica-de-suelos/>

Paniagua Zavala, W. I. (Ed.). (2017). *Ingeniería de Cimentaciones Profundas 1*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.

Tomlinson, M. J. (1996). *Cimentaciones. Diseño y construcción*. Trillas

Yepes Piqueras, V. (2016). *Procedimiento de Construcción de Cimentaciones y Estructuras de Contención*. Universitat Politècnica de Valencia

5° Simposio Internacional de Cimentaciones profundas, Ciudad de México, México.



Índice de Figuras

Figura 1.	<i>Pilotes de concreto prefabricados</i>	Error! Marcador no definido.
Figura 2.	<i>Funcionamiento de pilotes de fricción</i>	6
Figura 3.	<i>Unión de pilotes</i>	6
Figura 4.	<i>Pilotes de control</i>	7
Figura 5.	<i>Pilotes de madera</i>	7
Figura 6.	<i>Pilotes de acero</i>	9
Figura 7.	<i>Moldes para colado de pilotes</i>	10
Figura 8.	<i>Acero de refuerzo en moldes de pilotes</i>	11
Figura 9.	<i>Colado de pilotes</i>	12
Figura 10.	<i>Pilote fraguado listo para el colado de otros pilotes</i>	12
Figura 11.	<i>Juntas de pilotes prefabricados</i>	13
Figura 12.	<i>Hincado de perfiles de acero como pilotes</i>	17
Figura 13.	<i>Secuencia de hincado</i>	17
Figura 14.	<i>Perforación e hincado de pilote de concreto</i>	20
Figura 15.	<i>Procedimiento constructivo en el empleo de pilas de cimentación</i>	23
Figura 16.	<i>Perforación previa a colocar el acero de refuerzo</i>	25
Figura 17.	<i>Uso de lodo bentonítico en una perforación</i>	25
Figura 18.	<i>Acero de refuerzo de una pila de cimentación</i>	27
Figura 19.	<i>Colado de pila de cimentación</i>	32
Figura 20.	<i>Descabece de pilas de cimentación</i>	31
Figura 21.	<i>Colocación de armado de refuerzo</i>	32
Figura 22.	<i>Colado de pila de cimentación</i>	33
Figura 23.	<i>Diagrama de cajones abiertos</i>	34
Figura 24.	<i>Diagrama de cajones de cimentación cerrados</i>	37
Figura 25.	<i>Diagrama de cajones de cimentación neumáticos</i>	41
Figura 26.	<i>Procedimiento constructivo para cajones de cimentación</i>	42
Figura 27.	<i>Muro Milán</i>	44
Figura 28.	<i>Colocación de diafragma para un cajón de cimentación con muro Milán</i>	46
Figura 29.	<i>Esquema de la nueva sede del Senado</i>	50



Figura 30.	<i>Vista del inicio del desarrollo de la superestructura de la nueva sede del Senado</i>	51
Figura 31.	<i>Vista panorámica frontal del desarrollo de la superestructura de la nueva sede del Senado</i>	51
Figura 32.	<i>Vista frontal de la nueva sede del Senado. Proyecto concluido.</i>	52
Figura 33.	<i>Perforadora montada sobre orugas</i>	52
Figura 34.	<i>Tipos de martillos de hincado</i>	55
Figura 35.	<i>Martillo Diesel</i>	55
Figura 36.	<i>Guías móviles</i>	60
Figura 37.	<i>Uso de tremie en el proceso constructivo de pilas de cimentación</i>	62
Figura 38.	<i>Nivel de ruido de maquinaria utilizada en la construcción</i>	61

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Materiales ocupados para la fabricación de pilotes</i>	14
Tabla 2. <i>Métodos de construcción de cajones de cimentación</i>	43
Tabla 3. <i>Tipos de perforadoras</i>	55
Tabla 4. <i>Tipo de guías</i>	59
Tabla 5. <i>Intensidades de sonido</i>	63
Tabla 6. <i>NOM-011-STPS-2001</i>	64

Este trabajo fue desarrollado por académicos y alumnado adscrito al Departamento de Construcción de la División de Ingenierías Civil y Geomática con recursos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE101724).

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Facultad de Ingeniería (FI)

**Dirección General de Asuntos del
Personal Académico (DGAPA)**

