



1.CONSTRUCCIÓN DE PILAS DE CIMENTACIÓN PROFUNDA

La construcción de pilas de cimentación profunda se lleva a cabo mediante un proceso conformado por la planeación, programación, presupuestación, construcción y control de calidad. Este proceso, incluyendo el procedimiento constructivo y la elección de la maquinaria, se define en función de las especificaciones determinadas por el diseño geotécnico y estructural.

Para entrar en el tema de la construcción de pilas, es necesario conocer el equipo que se emplea en dicha actividad, con el fin de tener conocimiento del mismo y una idea clara de su aplicación en los procedimientos constructivos.

1.1 EQUIPOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PILAS

La oferta de maquinaria existente en el mundo para la construcción de cimentaciones profundas es sumamente extensa, ya que actualmente podemos identificar un número considerable de empresas con una gran variedad de modelos diferentes y dedicadas a la construcción de este tipo de cimentaciones.

Con fines de mayor claridad, se describirá el equipo de maquinaria básico y más utilizado en México, con el objeto de tener clara la aplicación de cada uno de éstos en los diferentes procedimientos constructivos.

Para efectos de ejemplificación, se muestran aleatoriamente equipos de diversos fabricantes que se consideran representativos.



El equipo necesario para la construcción adecuada de las pilas en sus diferentes etapas, es el siguiente:

- Equipo de perforación
 - Perforadoras rotatorias
 - Perforadoras de circulación inversa
 - Perforadoras por percusión
 - Almejas
- Grúas
- Herramientas de perforación
- Equipo menor y auxiliar
 - Vibrohincadores
 - Desarenadores
 - Equipos para fabricación de lodo bentonítico
 - Soldadoras
 - Bombas

Puesto que las situaciones y condiciones en las que cada obra se desarrolla son distintas entre sí, la variación de los recursos disponibles en el entorno y la variación de las características del subsuelo en el que se ejecutará la obra, también lo son. Esto influye directamente en la logística, desde la producción (rendimiento), hasta los procedimientos más especializados. Es por esto que la selección del equipo adecuado para las condiciones específicas de cada proyecto juega un papel fundamental en todo el procedimiento constructivo, no sólo de la construcción de pilas de cimentación profunda, sino en la construcción en general.

1.1.1 EQUIPO DE PERFORACIÓN

El equipo de perforación es una parte vital en el éxito de la construcción de pilas de cimentación, y para la correcta selección de éste se deben analizar las



especificaciones de proyecto. En éste se describen las características y propiedades del subsuelo, o en su defecto, se indican las consideraciones que se tienen que hacer respecto al mismo, ya sea la implementación de estudios, la referencia a estudios preexistentes o la adjudicación total de responsabilidades al cliente².

La elección de la máquina perforadora está en función de las siguientes variables:

- *Las propiedades de los diferentes estratos por los que atravesará la perforación.* Esto influye directamente en los rendimientos esperados, pues las fuerzas necesarias para perforar un suelo no serán las mismas que las necesarias para perforar roca.
- *La profundidad de excavación.* Existen diferentes sistemas de trabajo en los equipos de perforación existentes, sin embargo, todos tienen un límite en su capacidad que depende del alcance físico de la herramienta de ataque, del procedimiento constructivo y del tipo de material excavado.
- *Diámetro de perforación.* Los equipos especializados y la herramienta de perforación existentes para la ejecución de perforación de pilas, tienen diferentes límites máximos del diámetro, los cuales son indicados por el fabricante.
- *El área o espacio disponible en el lugar de ejecución.* Las máquinas de perforación, como la mayoría del equipo de construcción mediano y mayor, necesita de cierto espacio libre de maniobra para funcionar correcta y eficazmente.
- *Los recursos económicos.* Hoy por hoy existen en el mercado una considerable cantidad de equipos de perforación; no obstante, no todos los ellos tienen las mismas características de calidad y precisión, habiéndolos en consecuencia, de distintos valores económicos.

Perforadoras rotatorias

² El constructor como especialista en la materia tiene la obligación de conocer y/o investigar los datos necesarios para la correcta ejecución y comportamiento de la obra.



Las perforadoras rotatorias son las más recurridas en la construcción de pilas, ya que los métodos aplicables en la mayoría de los suelos, fuera de condiciones muy específicas, son ejecutados con este tipo de máquinas. Dentro del grupo de las perforadoras rotatorias, se encuentran las perforadoras con sistema de kelly y las de hélice continua (a estas últimas es común llamarlas CFA en el argot de la construcción, por sus siglas en inglés: Continuous Flight Auger).

Perforadoras con sistema de kelly

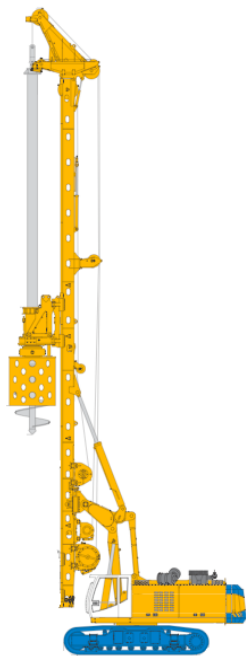


Fig. 2. Perforadora rotatoria con sistema de kelly (BAUER)

La maquinaria de perforación con kelly (*kelly bar*: barretón), (ver *Fig. 2*) es aplicada en la construcción de pilas en general, de pequeños y grandes diámetros y pequeñas y grandes profundidades. Dependiendo de sus funciones, las pilas pueden ser de concreto reforzado (con jaulas de acero, perfiles metálicos, mixtos y otros), para mejoramiento de suelo, pilas de compresión (sin acero de refuerzo), pozos de bombeo, de filtración, entre otros.

La perforación con perforadoras rotatorias con kelly es llamada de esta manera gracias a que el kelly, o barretón, es la pieza clave para este método de perforación, el cual, como se describe más adelante, es una barra telescópica que transmite el torque suministrado por la rotaria (también llamada mesa rotatoria), a la herramienta de corte. Dicha rotaria está acoplada al mástil o torre, sobre el cual se desliza. Este mástil está firmemente unido a la máquina portante y, en conjunto con las poleas, malacates y cables, proporcionan la fuerza necesaria para llevar a cabo su función.

Con este equipo de perforación el suelo que está siendo excavado es cortado y removido a través de la aplicación de un empuje vertical y al mismo tiempo una fuerza de rotación (torque). Existen los equipos de perforación con kelly con



máquina portante propia, de perforación con kelly montado sobre grúa y perforación con kelly sobre camión (ver *Fig.4*); cabe mencionar que las más socorridas son las de máquina portante propia sobre orugas, pues tienen la mayor capacidad de torque y robustez. Sus componentes principales se ilustran en la *Fig.3*.

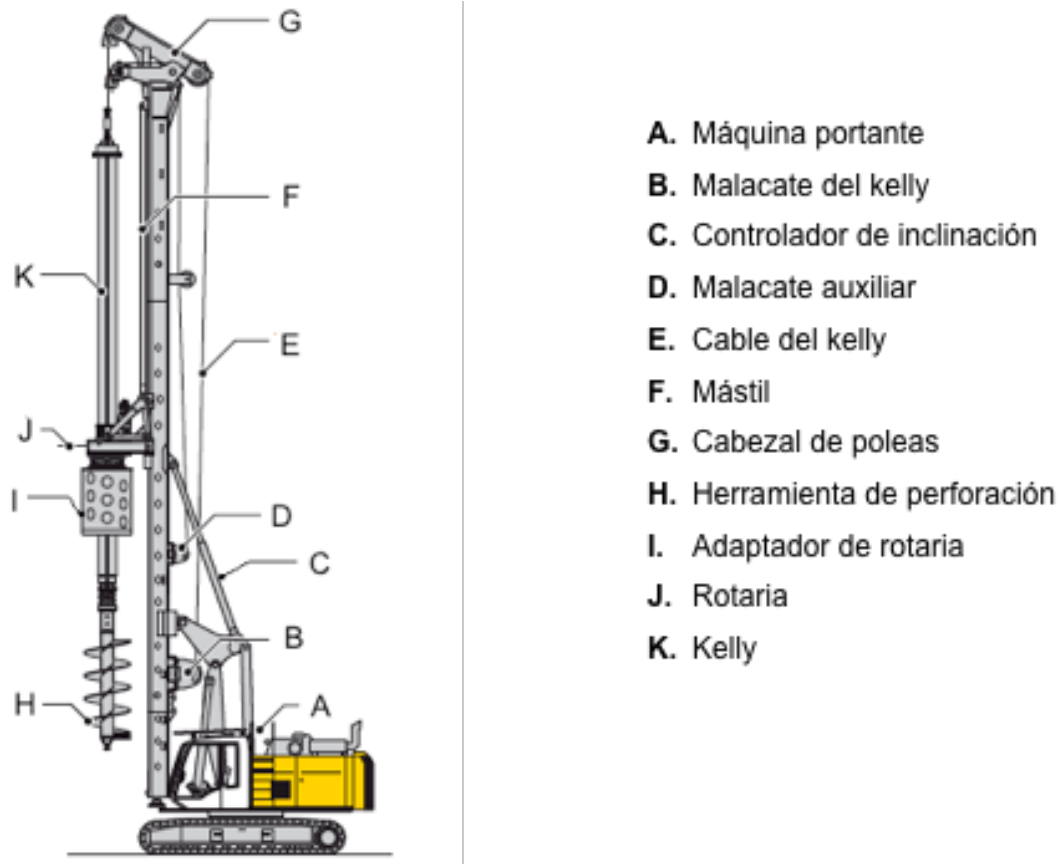


Fig. 3. Partes principales de perforadora rotatoria con sistema de kelly y máquina base propia (Hudelmaier and Küfner 2009)

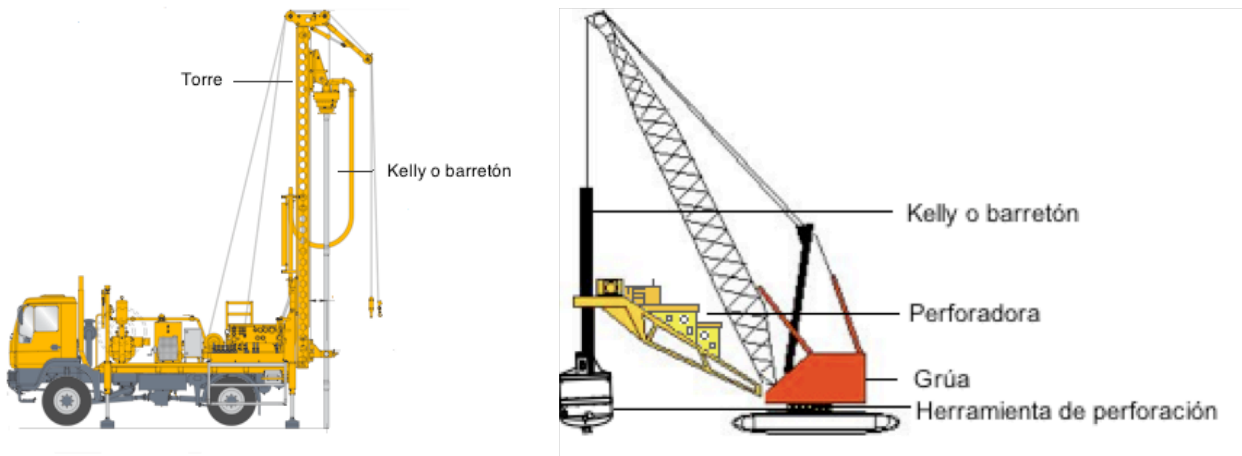


Fig. 4. Izquierda: Perforadora rotatoria con sistema de kelly montada sobre camión (Spiradrill); Derecha: Perforadora rotatoria con sistema de kelly montada en grúa

Perforadoras con hélice continua

Las perforadoras rotatorias con hélice continua poseen un tornillo sin fin de



Fig. 5. Perforadora con hélice continua (LIEBHERR)

longitud equivalente a la de la profundidad a perforar, el cual va unido a la rotaria, y ésta, al deslizarse a lo largo del mástil con fuerzas de empuje vertical y rotación simultáneas, introduce la hélice en el subsuelo hasta la profundidad de proyecto (Fig. 5). La extracción de la hélice se hace sin giro alguno; ésta y el material alojado en toda su longitud, son extraídos de manera cuidadosa, ya que el mismo concreto o mortero es introducido a través del alma de la hélice de manera que el hueco dejado por la hélice y el suelo extraídos, sea rellenado por dicho material. Para aplicar este método de perforación es necesario contar con equipos que proporcionen una gran capacidad de fuerza de extracción y de torque, ya que son requeridas para poder excavar, como ya se mencionó, de manera



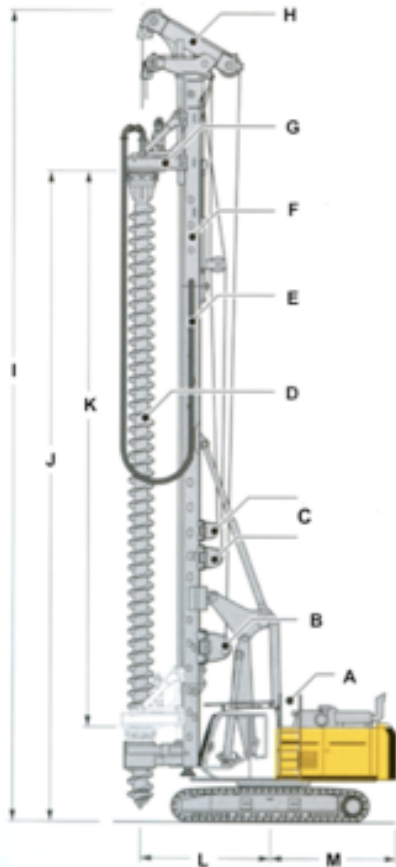
continua la perforación, venciendo la alta fricción que se produce entre la hélice y el suelo y para soportar el peso que representa el material excavado junto con la hélice. Todas las fuerzas de tensión, compresión y torsión que se presentan a lo largo del proceso deben ser disipadas o absorbidas por el mástil, que a su vez las transmite a la máquina base, dándole estabilidad al conjunto; es por eso que para este método de perforación se necesitan máquinas considerablemente robustas y pesadas.

Este método de perforación es perfectamente aplicable en situaciones en las cuales los estratos a perforar están conformados por suelos blandos o sueltos. Las limitantes principales son el diámetro y la profundidad, las cuales son determinadas siempre por las dimensiones y capacidades de las máquinas perforadoras. Como se describe en la parte de “Procedimientos de Perforación”, la aplicación de este método se traduce en un alto ahorro de tiempos y maniobras, lo que representa una satisfactoria relación costo-beneficio en la producción de pilas de cimentación.

Es importante mencionar que los diámetros resultantes con este método son menores o iguales a los descritos en la definición de pilas, “*áreas transversales mayores a 2500 cm²*”³, razón por la cual son considerados por algunos autores y profesionistas en el campo de la construcción como pilotes; para el estudio de este trabajo, los elementos resultantes de la perforación con hélice continua, se considerarán como pilas de cimentación, sin importar que su área transversal sea menor a 2500 cm², ya que el procedimiento constructivo es mediante colado en sitio.

Las partes principales de la máquina perforadora con hélice continua se ilustran en la *Fig. 6*.

³ (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos 2001)



- A. Máquina portante
- B. Malacate del kelly
- C. Malacates auxiliares
- D. Hélice continua
- E. Suministrador de concreto
- F. Mástil
- G. Rotaria
- H. Cabezal de poleas
- I. Altura máxima total
- J. Altura máxima a la rotaria
- K. Altura máxima efectiva
- L. Distancia entre el eje de rotación y el eje de perforación
- M. Radio de giro

Fig. 6. Partes principales de perforadora rotatoria con hélice continua (Hudelmaier and Küfner 2009)

Perforadoras de circulación inversa

Este tipo de equipos opera con el sistema o principio air-lift, el cual fue ideado en sus principios para el desarrollo de pozos de agua y ahora se ha convertido en un método aplicable en perforación de pilas, principalmente en presencia de agua y a grandes profundidades. Estos equipos pueden alcanzar profundidades mayores a los 100 m.

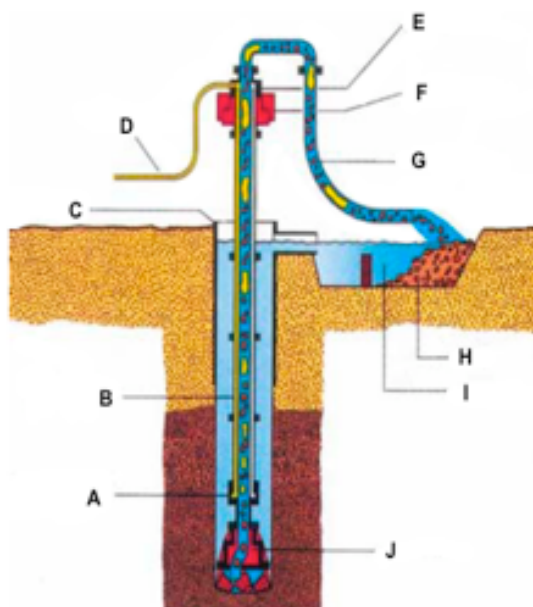
El sistema de perforación para grandes profundidades normalmente consiste en una unidad perforadora, barras de perforación y herramientas de corte; adicionalmente se debe contar con un compresor y una planta de lodo/fluido



estabilizador. La unidad perforadora conduce la acción de giro a las barras de perforación, las cuales a su vez la transmiten a la herramienta de corte (cabeza cortadora) *Fig. 7*.

El sistema air-lift consiste en introducir aire comprimido en el extremo inferior de la tubería de perforación, donde se produce un efecto de succión y entonces el material producto de corte, en suspensión, es transportado hacia la superficie. Por arriba de la unión entre la herramienta de corte se inyecta el aire comprimido y, a través de orificios especiales que posee dicha herramienta, se produce el flujo del material hacia la superficie.

La característica principal de este sistema es el transporte o extracción continua del material perforado; es decir, la mezcla fluido-suelo es empujada desde el fondo hacia la superficie a través de la tubería de perforación.



- A. Boquilla de inyección de aire comprimido
- B. Línea de air-lift acoplada a la tubería de perforación
- C. Ademe metálico
- D. Aire comprimido
- E. Polea inyección de aire comprimido
- F. Polea de torque y descarga de air-lift
- G. Manguera de descarga
- H. Rezaga
- I. Cárcamo de lodos
- J. Cabeza cortadora

Fig. 7. Partes de perforadora de circulación inversa (Paniagua Z. and Paredes n.d.)

Perforadoras por percusión

La perforación por percusión (*Fig. 8*) es un método poco usado en la perforación de pilas de cimentación, puesto que está diseñado para penetrar importantes longitudes en roca y roca de alta resistencia. Existen de diversos tamaños, desde equipos tipo martillo que pueden ser manejados por un operador sin necesidad de equipo portante, hasta las máquinas que necesitan de una grúa o tracto camión para funcionar.

El sistema o método de perforación con este tipo de equipos, está basado en la desintegración de la roca a través de impactos repetidos con un cabezal, sobre la herramienta de corte. El equipo es literalmente hincado o amartillado en la roca, de manera que la destroce en pedazos. Los diámetros alcanzados por este equipo son muy limitados.



Fig. 8.
Perforadora de percusión

Almejas

Desde principios del siglo XIX se han usado excavadoras equipadas con almejas mecánicas para la ejecución de obras civiles. Antes de que las perforadoras de alta eficiencia fueran creadas, las perforaciones eran hechas con la aplicación de almejas mecánicas de excavación (en excavaciones secas, es decir, sin un nivel de aguas freáticas presente). Este método de excavación es cada vez más usado en la construcción de ciertos tipos de cimentaciones profundas, gracias al desarrollo de grúas cada vez más potentes y almejas mejor diseñadas. Hoy en día, los equipos de caída libre, como las almejas, son raramente utilizados en la construcción de pilas de



Fig. 9. Almeja cilíndrica (LIEBHERR)



cimentación, sólo bajo condiciones muy específicas, razón por la cual no se describirá a gran detalle su procedimiento constructivo.

La almeja para construcción de cimentaciones sigue el mismo principio que cualquier almeja (utilizada comúnmente en la construcción de zanjas como muros Milán), funciona aflojando y extrayendo material del subsuelo y siempre necesita ser “montada” en una grúa (*Fig. 9*).

Básicamente, la almeja no es una herramienta de perforación, pero su aplicación es penetrar el suelo a través de la caída libre. Por lo que la extracción y el corte dependen fuertemente de la relación del peso y la velocidad de caída de la almeja con las propiedades del suelo, y, por supuesto, con la capacidad o volumen de suelo que la almeja pueda contener en una penetración. La excavación con almejas es principalmente utilizada para diámetros grandes, aproximadamente de 2.0 m o más, y de grandes profundidades también. Su costo es considerablemente menor al de una perforadora rotatoria. Otro aspecto importante en su elección, es la composición del suelo, pues este tipo de equipo podría penetrar o atravesar obstáculos con la fuerza de su caída libre, como suelos con alto contenido de boleos.

Con las almejas se pueden también excavar pilas de sección rectangular, oblonga o combinación de estas secciones.

Grúas

Son máquinas que sirven para el levantamiento y manejo de objetos pesados, contando para ello con un sistema de malacates que acciona a uno de los varios cables montados sobre una pluma y cuyos extremos terminan en gancho.

Para facilitar su función, la unidad motriz y los diferentes mecanismos de la máquina permiten girar alrededor de un eje vertical y a la pluma moverse en un plano vertical.



Pueden ser fijas o móviles. Cuando la grúa es móvil, puede trasladarse por sí misma, sobre orugas o ruedas dispuestas para tal fin.

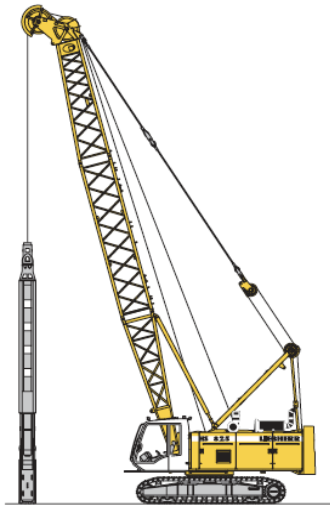


Fig. 10. Grúa de pluma rígida (LIEBHERR)

Las plumas de las grúas pueden ser rígidas (*Fig. 10*), cuando están formadas por estructuras modulares (de tubo o de ángulo estructural), o bien telescópicas cuando están formadas por elementos prismáticos que deslizan unos dentro de otros. Estas últimas no se mencionarán más ya que su aplicación es menos socorrida en al utilización de equipos de cimentaciones profundas.

Las plumas rígidas se integran por una base que se apoya mediante articulación en el cuerpo de la grúa; después pueden colocarse módulos extra y finalmente una punta en cuyo extremo superior se ubican las poleas por donde pasan los cables procedentes de los tambores de los malacates.

Para la construcción de cimentaciones profundas se usan generalmente grúas móviles de pluma rígida, aunque es importante puntualizar que cada proyecto es diferente, por lo que se tienen que estudiar los requerimientos de cada obra y las características del medio para la correcta elección del equipo.

Las grúas tienen distintas funciones en el procedimiento constructivo de estos elementos de cimentación profunda, bien sea para montar sobre ellas equipo especializado de las características que más adelante se describen (en cuyo caso funcionarán como equipos portantes de almejas, vibrohincadores o la perforadora en sí), o bien, para ejecutar maniobras especiales y necesarias durante la ejecución de la obra (izaje del acero, colado de la pila con tubería Tremie, etc.)

La selección del tipo de grúa dependerá de la función que el ingeniero planeador le asigne durante la construcción. Las variables que se toman en cuenta son:



- *Longitud de pila y densidad de acero.* La longitud del armado de una pila de cimentación es la variable primordial en la elección de la grúa. La razón de esta importancia no sólo reside en la capacidad de la grúa para soportar o cargar las varias toneladas que un armado pueda pesar, sino las dificultades que pueda representar el manejo de un armado sin deformarlo o romperlo, dejándolo inservible y representando una pérdida o costo en todo lo que conlleva (material, mano de obra, tiempo, etc.). Razón por la cual el conocimiento de la densidad de acero toma un papel importante en las maniobras de izaje, por ejemplo, es fácil inducir que no es lo mismo izar un armado para una pila de 10.0 m y 1.0 m de diámetro con una densidad de 200 kg/m^3 , que pesa 1.6 ton, que izar la misma pila, pero esta vez con una densidad de acero de 100 kg/m^3 cuyo peso sería de 0.78 ton. Es obvio que la deformación del armado de 200 kg/m^3 tendría mayor probabilidad de ocurrencia que la de 100 kg/m^3 . Si pensamos en estas relaciones y las extrapolamos a pilas de cimentación de 50 m de profundidad construidas en la Ciudad de México, serviría para comprender la importancia de la selección del equipo adecuado.
- *Espacio disponible para movilidad.* Esta variable sólo depende del área disponible en una obra para la movilidad del equipo, es decir, las grúas necesitan de un espacio libre mínimo para maniobrar, como radios de giro, radio de izaje de la pluma, alcances, ancho de orugas, altura de cabina y plataformas de trabajo estables y capaces de soportar el peso del equipo completo más la carga.

Vibrohincadores

Los vibrohincadores son equipos diseñados para llevar a cabo el hincado o extracción de ademes metálicos, tubos, perfiles de acero o tablestacas en el suelo, con la acción dinámica de un generador de vibraciones.

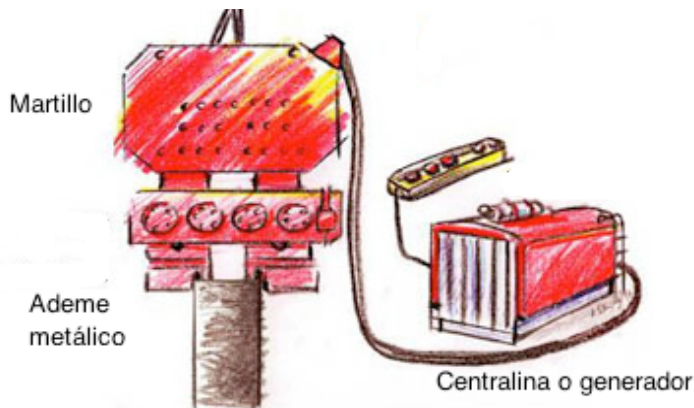


Fig. 11 Vibrohincador con fuente de poder (PTC)

El equipo está conformado por una fuente de poder o “centralina”, que es el generador de la potencia, formada por un motor de combustión interna, generalmente diesel, que acciona un generador eléctrico o bomba hidráulica. La segunda

componente es el martillo, el cual es el cuerpo vibratorio en sí, y contiene las mordazas hidráulicas que funcionan para sujetar el tubo, ademe o tablestaca durante su hincado o extracción (ver Fig. 11). Hoy en día existen en el mercado vibrohincadores que permiten variar la frecuencia y amplitud de la vibración, lo cual mejora la velocidad de penetración.

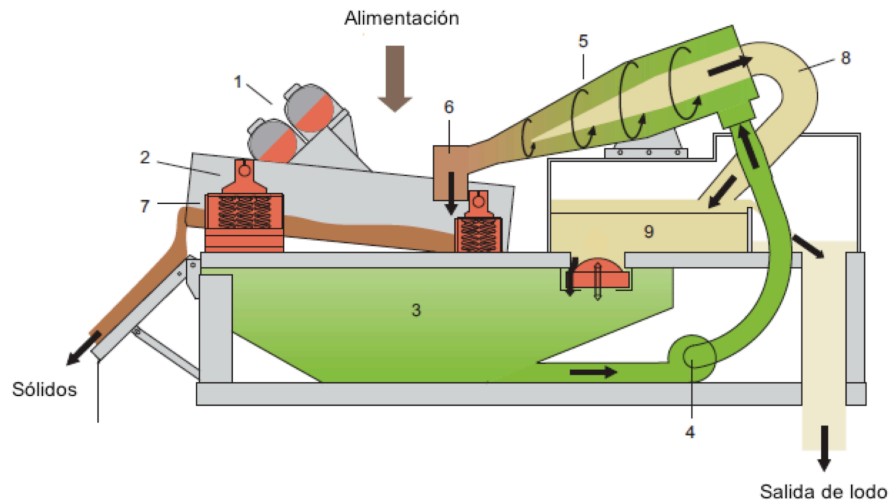
El procedimiento para el hincado de un ademe metálico, inicia cuando el martillo vibrohincador se amordaza a los bordes superiores del mismo. Después de que las mordazas hidráulicas lo tienen asegurado, se posiciona verticalmente sobre el sitio indicado y comienza la vibración y la penetración hasta la profundidad de proyecto. El hincado se realiza por medio de la vibración, el peso propio del ademe y el peso propio del martillo vibrohincador.

Desarenadores

Los desarenadores son empleados para la remoción de partículas de suelo en los lodos de perforación y en la desarenación de los fluidos o lodos de estabilización utilizados en la construcción de cimentaciones profundas. Los lodos pueden ser de agua-bentonita, agua-polímero, agua-cemento y bentonita en suspensión.

Lo principales componentes de una planta desarenadora son: la malla vibratoria, para retener partículas mayores de 5.0 mm; el tanque de almacenaje de la malla

vibratoria; hidrociclones, los cuales remueven las partículas más finas en suspensión; la malla de deshidratación, la cual abstrae el agua de los sólidos separados por el hidrociclón. Esto se muestra en la *Fig. 12*.



1. Motores de la malla vibratoria
2. Malla vibratoria
3. Tanque de almacenamiento
4. Bomba de alimentación del hidrociclón
5. Hidrociclón
6. Alimentador de malla
7. Cámara de deshidratación
8. Conducto de lodo limpio
9. Almacenaje de lodo limpio

Fig. 12. Desarenador (BAUER Maschinen 2011)

Mezcladoras para fabricación de lodos estabilizadores

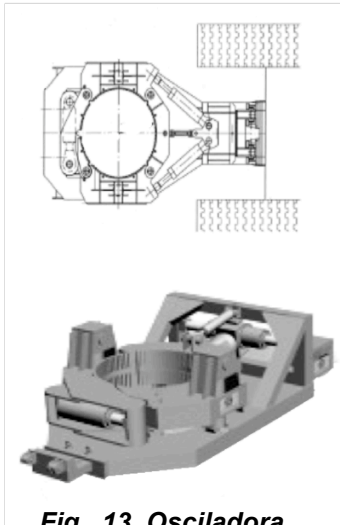
Los sistemas y equipos que se utilizan para el mezclado están integrados por una o varias bombas que permiten recircular el lodo. Los tipos de mezcladores más comunes son los de chiflón y los coloidales; aunque actualmente los hay de mezclado de alta frecuencia.

En el primer y segundo caso, es importante y recomendable que la bentonita tenga un estado de reposo previo al mezclado, con la finalidad de que la



hidratación mejore la viscosidad y el agua libre disminuya. En el tercer caso el lodo producido ya está hidratado y puede ser utilizado de manera inmediata.

Osciladoras



**Fig. 13. Osciladora
(LIEBHERR)**

La osciladora, o entubadora, es un accesorio que se utiliza especialmente para el manejo de ademe metálico (*Fig. 13*); poseen una capacidad de torque y de fuerzas de empuje/extracción mucho mayores que las de las perforadoras; su aplicación ocurre, por lo general, cuando la capacidad de las perforadoras no les permite manejar los ademes a la profundidad que el proyecto requiere. Su funcionamiento requiere de una fuente de poder hidráulica, ya sea independiente (“centralina”) o proveniente de la base de las perforadoras. Consiste de dos aros de gran robustez, uno superior y otro inferior; en el superior existen unas mordazas las cuales aprisionan al ademe mediante unos “gatos” hidráulicos. A este collar o anillo se le producen oscilaciones alternadamente hacia la derecha e izquierda, por medio de dos gatos hidráulicos ubicados horizontalmente uno a cada lado del collar; otros dos gatos hidráulicos verticales que unen los dos aros, superior e inferior, actúan simultáneamente produciendo grandes fuerzas de empuje o extracción, según sea el caso; estos “gatos” tienen una carrera del vástago de unos 40 a 60 *cm*, que son el avance, empuje o extracción, del ademe por cada ciclo.

La entubadora puede ser operada directamente desde la máquina portante o mediante su propio control de mando; en cualquiera de los casos es posible para el operador dirigir simultáneamente a la rotaria y al oscilador de ademes, permitiendo realizar la perforación y el hincado del ademe simultáneamente.



Existen dos tipos de osciladoras: para conectarse a grúas tipo celosía, para trabajar con perforadoras montadas en ellas (cranes attachment) o utilizando almejas cilíndricas; y las que se conectan a las perforadoras rotatorias.

Adaptadores para ademes

El adaptador para ademes (*Fig. 14*), es un accesorio que es instalado en la rotaria y sirve para tomar el ademe, o tramos de ademe, y acoplarlos entre sí conforme se va avanzando en la perforación ademada. Pero su principal función es transmitir el “*pull/down*” (fuerza de empuje y extracción) y el torque de la máquina perforadora al ademe. Estos elementos, al igual que los ademes, tienen especificaciones y características muy especiales, por ejemplo, deben de estar diseñados para soportar y absorber los torques máximos del sistema de rotación. En el extremo inferior se le suelda una junta tipo hembra que debe embonar con la junta macho del ademe.

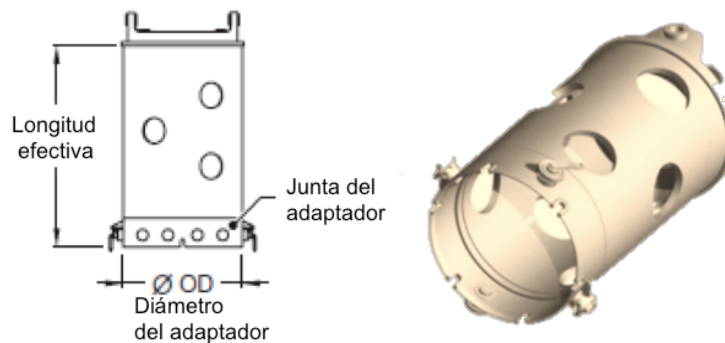


Fig. 14. Adaptador para ademes



Barretón o Kelly

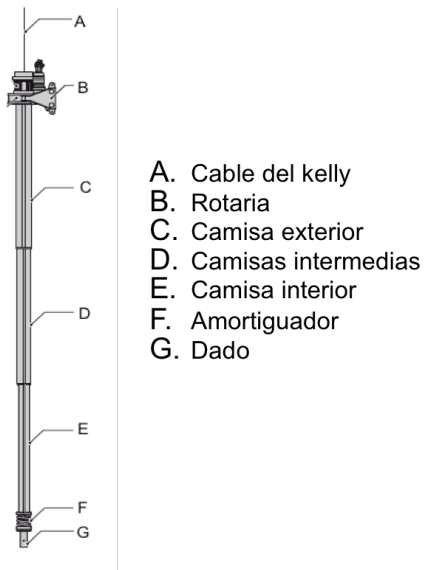


Fig.15. Partes de barretón o kelly
(Hudelmaier and Küfner 2009)

Es un accesorio de la perforadora, el cual consiste de un cuerpo compuesto por varias camisas (de dos a cinco), insertadas unas en otras, las cuales forman un barretón o kelly telescópico (camisa exterior, camisas intermedias y camisa interior). Los hay de fricción y de bloqueo mecánico; estos últimos son los que ofrecen las mejores ventajas, ya que con el sistema de rotación transmiten el torque y el empuje vertical a la herramienta de ataque. El kelly es suspendido con un malacate de la misma perforadora. El número de secciones telescópicas y la suma de sus longitudes individuales determinan el alcance de perforación.

En la Fig. 15 se señalan las partes principales de este accesorio.

1.1.2 HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN

A continuación se hace una breve descripción de las diferentes herramientas de perforación, con el objeto de que dicha descripción funcione como base para su conocimiento y para la comprensión de los diferentes tipos de procedimientos constructivos que se estudian en las páginas posteriores.

Brocas

Las brocas alcanzan una longitud efectiva de perforación promedio de 1.5 m. La parte superior llamada *caja del kelly* encaja perfectamente con el dado de la parte inferior de éste. La broca por lo general se usa para la perforación en suelos, y



dependiendo de las características de éste, se utilizan diferentes tipos de dientes. En general, se puede hablar de dientes que son para suelos blandos y de dientes para suelos más difíciles, incluso con boleos o compacidades altas. Los primeros son dientes planos tipo paleta, mientras que los segundos son dientes tipo bala. Esta herramienta usualmente se utiliza con una guía de punta o piloto, que permite dirigir correctamente al resto del cuerpo de la broca. La parte de la broca de perforación que retiene el material es llamada “ala o hélice” de la broca. Están equipadas con una orilla de corte que rompe el suelo durante la rotación, después de lo cual el suelo viaja a través de la hélice. La broca se extrae y es vaciada por rotación rápida. El número y paso de la hélice varía de acuerdo al tipo de suelo que se va a perforar. *Fig. 16.*

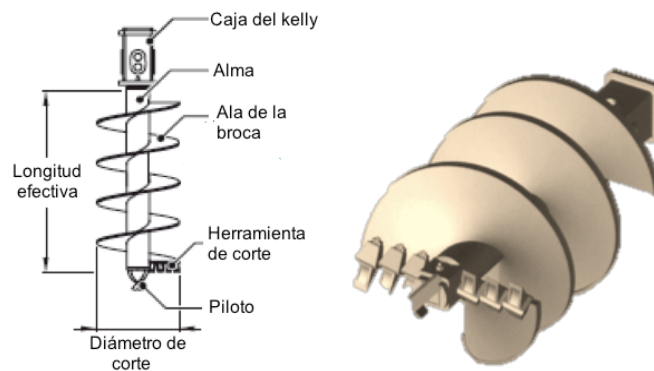


Fig. 16. Broca

Botes de perforación

Los botes de perforación están diseñados para la perforación en suelos arenosos, sueltos, de compacidades bajas, al igual que para la perforación en todo tipo de suelos con niveles freáticos presentes. Están equipados con un sistema de apertura del fondo del bote y con un orificio que comunica el fondo con la tapa superior del mismo, con el objeto de evitar el efecto de “pistón”⁴. Existen botes

⁴ Efecto pistón en la perforación. Fenómeno que consiste en una presión negativa o succión, la cual se presenta entre el fondo y el bote, provocando caídos en la perforación.



especiales para la perforación en roca, armados con diferentes tipos de dientes. Esta herramienta puede aplicarse con o sin un aditamento guía al final del bote. Al igual que la broca, el dado del kelly embona en la caja que se encuentra en la parte superior del bote. *Fig. 17.*

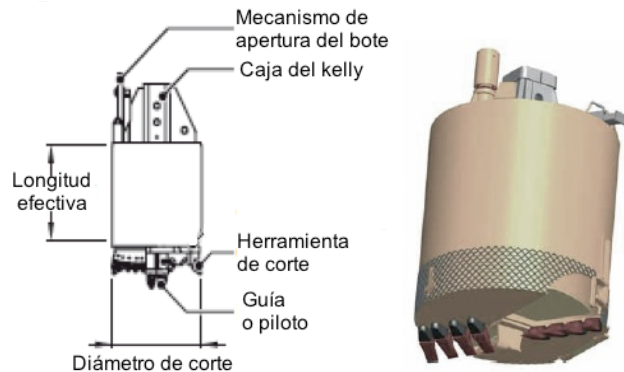


Fig. 17. Bote de perforación

Botes de limpieza o de rezaga



Fig.18. Bote de limpieza

Son herramientas muy similares a los botes de perforación; son usados para la limpieza del fondo de la perforación (la limpieza forma parte del procedimiento constructivo de la pila) y para suelos arcillosos y limosos. Estas herramientas pueden aplicarse con o sin un aditamento guía (piloto) al final del bote. Al igual que los botes de perforación, el dado del kelly se acopla en la caja que se encuentra en la parte superior del bote. *Fig. 18.*

Botes campana

Se utilizan para proyectos que requieran una base de pila en forma de campana en materiales cohesivos. El mecanismo funciona básicamente ejerciendo fuerza vertical y torque al mismo tiempo con el kelly, estando el bote en el fondo de la perforación. Los brazos contienen dientes adecuados para el corte del material. *Fig. 19.*

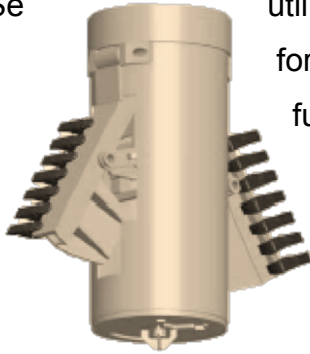


Fig. 19. Bote campana

Botes corona

Los botes corona son herramientas muy especializadas, pues están hechas para la perforación en roca medianamente resistente y para concreto sin refuerzo estructural de acero. Estos botes pueden armarse con diferentes tipos de dientes, como dientes de bala, dientes rozadores y dientes rotadores. Estas herramientas sólo cumplen la función del corte, por lo que tienen que ser auxiliadas o utilizadas con botes de perforación que extraigan el material cortado. *Fig. 20.*

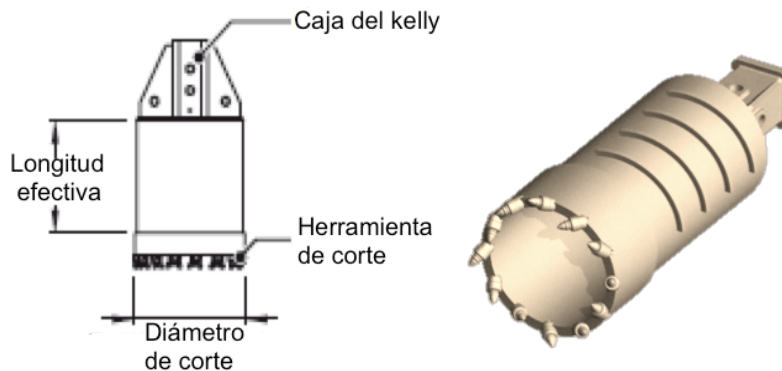


Fig. 20. Bote corona



Ademes metálicos

Los ademes metálicos son muy recurridos en la práctica profesional, representan una herramienta indispensable para diferentes métodos de perforación, e incluso para situaciones especiales que se puedan presentar en el estudio y ejecución del proyecto. Las secciones individuales del ademe se conectan una con otra por medio de juntas machimbradas. Estos ademes metálicos son comúnmente fabricados de 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 m y eventualmente de 5.0 y 6.0 m de longitud; son de doble pared y su diámetro interno es ligeramente menor que las herramientas de ataque descritas anteriormente. *Fig. 21.*

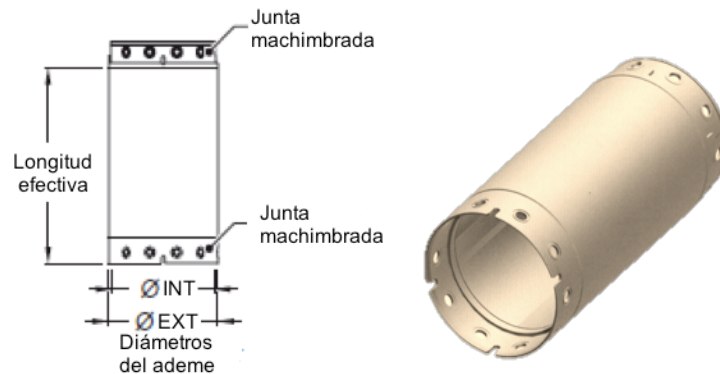


Fig. 21. Ademe metálico

Pueden hincarse en el suelo a una profundidad somera para proteger el inicio de la perforación de la pila (brocal), o bien hincarse en toda la longitud de la pila (como se describe en los *Procedimientos de Construcción*).

Para realizar el hincado de ademes metálicos existen tres procedimientos: vibratorio, oscilatorio y rotatorio.

El ademado comienza con un aditamento llamado zapata de corte, o simplemente zapata (*Fig. 22*), el cual va soldado o atornillado a un tramo de tubo ademe. Dependiendo de la



Fig.22. Zapata de corte



aplicación y de la penetrabilidad del suelo, la zapata lleva soldados una especie de dientes que ayudan al avance del ademe.

1.2 REVISIÓN DEL PROYECTO E INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

El proceso constructivo planteado es el siguiente:

1. Proyecto Ejecutivo
 - a. Revisión de proyecto e información geotécnica
 - b. Planeación
 - c. Programación
 - d. Presupuestación
2. Construcción
 - a. Ejecución de la perforación
 - b. Colocación del acero de refuerzo
 - c. Colocación del concreto hidráulico
3. Control de calidad

1.2.1 PROYECTO

El elemento más importante en la construcción, no sólo de pilas de cimentación, sino de cualquier obra que se quiera ejecutar, es el proyecto ejecutivo, ya que es el elemento o documento que contiene las especificaciones y alcances de los trabajos a realizar. Es la guía y fundamento sobre el cual una obra será planeada, ejecutada, operada y por lo tanto cobrada.

Siendo así, es fundamental conocer las partes que componen a un proyecto de construcción de pilas de cimentación; pero para poder comprender esto, es necesario saber lo que es un *proyecto* en general, conocer las partes que lo componen y cómo se integra, ya que para tener claro el objetivo último que perseguimos, tenemos que tener mucho más claro de dónde partimos



Un proyecto es un intento por lograr un objetivo específico mediante un juego único de tareas interrelacionadas y el uso efectivo de los recursos. En el caso del estudio que se presenta en este trabajo, el proyecto en cuestión es una obra civil, y en específico, la construcción de pilas de cimentación coladas en sitio; por lo que las tareas, actividades y recursos que se mencionan al describir las partes de “un proyecto”, estarán encaminadas a este concepto. Consecuentemente, de manera introductoria se describirán y desarrollarán brevemente las partes, etapas y atributos que lo componen.

Un proyecto tiene atributos que nos ayudan a definirlo.

- Es necesario plantear o identificar un *objetivo* bien definido, que será el resultado o producto esperado. Por lo general el objetivo de un proyecto se define en términos de alcance, programa y costo. Además, se espera que el alcance del trabajo se logre con calidad y a satisfacción del cliente (el cual se definirá más adelante).
- Un proyecto se lleva a cabo mediante una serie de *tareas* independientes, es decir, un número de tareas que es necesario realizar en un cierto orden con el fin de lograr el objetivo del proyecto.
- Para la realización de un proyecto se utilizan *varios recursos*; esos recursos pueden incluir diferentes personas, organizaciones, equipos, materiales e instalaciones.
- Dichas actividades y recursos tienen un marco de *tiempo* específico, o tiempo limitado; es decir, tiene un tiempo de inicio y una fecha para la cual se tiene que cumplir con el objetivo.
- El *cliente* es la entidad que proporciona los fondos necesarios para el logro del proyecto; puede ser una persona, una organización, o un grupo de dos o más personas u organizaciones. También el término cliente tiene una definición más amplia, que incluye, no sólo a quién proporciona los medios para el proyecto, sino también a otras personas que tienen participación en la empresa, por ejemplo las personas que serán los usuarios finales.



- Un proyecto incluye un grado de *incertidumbre*. Antes de que se inicie un proyecto, se prepara un plan sobre la base de ciertos supuestos y estimaciones. Es importante documentar estos supuestos, ya que influirán sobre el desarrollo del presupuesto, el programa y el alcance del trabajo del proyecto. Un proyecto se basa en un grupo único de tareas y estimados, de qué duración debe tener cada tarea, de los recursos y supuestos sobre disponibilidad y capacidad de esos recursos y estimado de sus costos. Esta combinación de suposiciones y estimados ocasionan un grado de incertidumbre con relación a si el objetivo del proyecto será alcanzado por completo. Por ejemplo, el alcance del proyecto quizá se logre para la fecha fijada como meta, pero el costo final puede ser mucho más alto de lo anticipado debido a los bajos estimados iniciales del costo de ciertos recursos. Según avanza el proyecto, algunas de las suposiciones serán perfeccionadas o reemplazadas con información basada en hechos.

Por lo general, el logro exitoso del objetivo está enmarcado por cuatro factores: alcance, costo, programa, satisfacción del cliente y lo que envuelve cada uno de éstos.

- El *alcance* de un proyecto es todo el trabajo que se tiene que realizar con el fin de que el cliente quede satisfecho al cumplir con los requisitos y los criterios de aceptación acordados al inicio del proyecto.
- El *costo* de un proyecto, es la cantidad que ha convenido pagar el cliente por las entregas aceptables del proyecto. Se basa en un presupuesto que incluye un estimado de los costos, relacionados con los diversos recursos que se usarán para realizar el proyecto. Pudiera incluir el sueldo de las personas que trabajarán en el proyecto, los materiales y suministros, el alquiler de los equipos o instalaciones y los honorarios de los subcontratistas, ingenieros, o asesores que realizarán las tareas del proyecto.



- El *programa* de un proyecto es la relación de tiempos que especifica cuándo se debe iniciar y terminar cada actividad. Por lo general el objetivo del proyecto expresa el tiempo en el cual se debe de completar el alcance en términos de una fecha específica, acordada entre el cliente y la persona u organización que realiza el trabajo o según los requerimientos y especificaciones.

El objetivo de cualquier proyecto es completar el alcance del mismo, dentro del presupuesto preestablecido, para una fecha determinada y a satisfacción del cliente; razón por la que es importante desarrollar un plan antes del inicio del proyecto (éste debe de incluir todas las tareas del proyecto, los costos implicados y tiempos estimados para terminarlo).

Una vez que se pone el proyecto en marcha, pueden ocurrir circunstancias imprevistas que pongan en peligro el logro del objetivo fijado con relación al alcance, el costo o el programa; por ejemplo:

- El costo de algunos materiales pueden ser más altos de lo estimado originalmente.
- Las inclemencias del tiempo pueden ocasionar demoras o “tiempos muertos”.
- Quizá se requiera rediseñar o re-calcular la estructura para que cumpla con las especificaciones de desempeño o acoplarlo a las nuevas necesidades que se presenten sobre la marcha.
- Se presenten obstáculos de la infraestructura existente que impidan continuar con el proyecto
- Etc.

El reto para el ingeniero en el desarrollo de un proyecto de obra civil (en todas y cada una de las etapas de éste), es prevenir y superar este tipo de circunstancias, con el fin de completar el alcance del proyecto de acuerdo al programa, dentro del presupuesto y a satisfacción del cliente (lo cual incluye cumplir al cien por ciento



con los requisitos y normas de calidad requeridos). La buena planeación y la comunicación son esenciales para evitar que ocurra un problema, y si sucede, minimizar su repercusión sobre la obra terminada.

Como se ha descrito, un proyecto se compone de varias partes, y de un orden de acciones y tareas específicas, que bien pueden variar en algún sentido en cada caso o cada obra, que en sí mismas envuelven un gran número de “sub-tareas”, y de “sub-actividades”, que hacen que cada una de las etapas que comprende la ejecución de una obra civil, como es el caso de una cimentación profunda, sea interesante y cobre una alta importancia en el desarrollo de cada una de éstas.

Un proyecto de construcción civil, como este caso de estudio, comienza en el conocimiento de sus bases, es decir, de los fundamentos y especificaciones que el cliente y el mismo proyecto requieren.

Bases de licitación o concurso

Para comenzar a participar, concursar o preparar un plan de trabajo y ejecución de obra, se necesitan y se otorgan, por parte del cliente o su supervisora, documentos de carácter legal, en los que se marcan los alcances generales de la contratación y de la construcción en sí. A estos documentos se les llama *Bases de licitación o de concurso*, los cuales, en el caso de las pilas, están constituidos por los siguientes documentos:

- ***Planos generales***
- ***Planos de pilas***
- ***Estudios de mecánica de suelos***
- ***Especificaciones***
- ***Contrato legal***
- ***Descripción de responsabilidades***



1.2.2 PLANEACIÓN

La planeación determina qué se necesita hacer, quién lo hará, cuánto tiempo se necesitará y cuánto costará. El dedicar tiempo a desarrollar un plan bien pensado es fundamental, diríamos que es la parte crítica para el logro exitoso del objetivo del proyecto. El desarrollo de un plan incluye:

- Definir las actividades específicas necesarias para realizar el proyecto
- Determinar el orden en que se tienen que llevar a cabo esas actividades
- Estimar tiempo y recursos que se necesitarán para cada actividad y
- Preparar un programa y un presupuesto del proyecto.

Muchos proyectos han excedido sus presupuestos, fallado en alcanzar sus metas de fechas de terminación o cumplido sólo en forma parcial las especificaciones técnicas porque no se elaboró un plan viable antes de iniciar la construcción.

La planeación es la disposición sistemática de tareas para lograr un objetivo. El plan establece lo que se necesita lograr y cómo se debe lograr y también establece un punto de referencia contra el cuál se puede comparar el avance real.

Una vez que se establece y determina el objetivo, se tiene que abordar el siguiente punto en la cadena de la planeación, como se mencionó anteriormente, se resuelve el “cómo” se realizarán las actividades. Para darle solución al “¿cómo?” de la planeación, se tiene que recurrir a la organización de todo lo necesario para cumplir con la meta establecida, o con el “¿qué?”, y eso incluye al personal que intervendrá en el proceso constructivo, es decir, la organización.

La organización, es la parte de la planeación que supone el establecimiento de una estructura intencionada, donde se reparten las responsabilidades que los



individuos deberán asumir en el proceso. La estructura es intencionada en el sentido de que se debe garantizar la asignación de todas las tareas necesarias para los cumplimientos de las metas, asignación que debe hacerse a las personas mejor capacitadas para realizar esas tareas.

El propósito de una estructura organizacional es contribuir a la creación de un entorno favorable para el desempeño humano. Se trata entonces de un instrumento y no de un fin en sí mismo. Aunque en la estructura deben definirse las tareas por realizar, los papeles deben diseñarse tomando en cuenta las capacidades y motivaciones del personal disponible.

En este sentido la organización consiste en:

- La identificación y clasificación de las actividades requeridas.
- La agrupación de las actividades necesarias para el cumplimiento de los objetivos.
- La asignación de cada grupo de actividades a un individuo dotado de la autoridad necesaria para supervisarlos.
- La conceptualización de coordinación horizontal (en un mismo o similar nivel organizacional) y vertical (entre las oficinas generales, una división y un departamento, por ejemplo) en la estructura organizacional.

Una estructura organizacional debe diseñarse para determinar quién realizará cuáles tareas y quién será responsable de qué resultados; para eliminar los obstáculos al desempeño que resultan de la confusión e incertidumbre respecto de la asignación de actividades, y para tender redes de toma de decisiones y comunicación que respondan y sirvan de apoyo a los objetivos empresariales.

Las funciones que se pide cumplir a las personas deben diseñarse intencionalmente para garantizar la realización de las actividades requeridas y la adecuada correspondencia entre éstas, a fin de que los individuos puedan trabajar fluida, eficaz y eficientemente en grupos.



En la organización de los recursos humanos, es conveniente realizar un organigrama, el cual es la representación gráfica que muestra determinados aspectos de la organización, ya que así se indica la forma en que se relacionan los distintos departamentos por medio de líneas de autoridad.

La descripción de cargos complementa la falta de información, ya que permite precisar el contenido y las relaciones de las distintas posiciones definidas en el organigrama. Es una descripción escrita de las relaciones de autoridad y los principales deberes del cargo y sus requisitos, etc. Los elementos que se representan son:

- *Posición o cargo:* representa el conjunto de actividades agrupadas de acuerdo con algún criterio de departamentalización y que se asignan a una unidad orgánica o persona.
- *Relaciones entre cargos:* muestra la relación de autoridad jerárquica mediante líneas continuas que unen las distintas posiciones.

Un ejemplo muy generalizado de la organización en la construcción de pilas es el siguiente:

- *El Director* es el responsable de la dirección y manejo administrativo de la empresa y de la obra, y de la búsqueda del horizonte de posibilidades de oportunidad de trabajo a corto, mediano y largo plazo.
- *El Gerente y el Superintendente de Construcción*, son los responsables de la correcta implantación y cumplimiento de los procedimientos constructivos, vigilando que el personal a su cargo realice las actividades consideradas y de una manera planeada para conseguir la calidad establecida. Son los encargados de la administración de la obra.
- *El Jefe de Obra de Construcción*, es responsable de verificar que se lleve a cabo lo indicado por los procedimientos de construcción y registrar las inspecciones realizadas en los formatos particulares de cada actividad, también es responsable de conciliar con la supervisión los trabajos



ejecutados, y entregar los soportes de generadores para la elaboración de la estimación; además es responsable de la seguridad y medio ambiente de los frentes de trabajo.

- *El Jefe de Topografía* es el responsable de la realización del trazo definitivo para la ubicación y construcción de pilas, y el monitoreo continuo para asegurar la posición y verticalidad de cada pila, con base en los planos y especificaciones de proyecto.
- *El Jefe de Maquinaria* es el encargado de la maquinaria y equipo que se utiliza en los frentes de trabajo, así como del control de las actividades que se realizan día a día. También está bajo su responsabilidad el manejo (recolección, transporte, almacenamiento y disposición final) de los residuos peligrosos generados por las actividades del mantenimiento preventivo, correctivo y de trabajo de la maquinaria y equipo.

El desempeño de quien dirige, sea juzgado mediante el doble criterio, de la eficacia - la habilidad para hacer las cosas "correctas" - y la eficiencia - la habilidad para hacerlas "correctamente". De estos dos criterios, Drucker sugiere que la efectividad es más importante, ya que ni el más alto grado de eficiencia posible podrá compensar una selección errónea de metas. Estos dos criterios tienen un paralelismo con los dos aspectos de la planeación: establecer las metas "correctas" y después elegir los medios "correctos" para alcanzar dichas metas.

La relación existente entre la planeación y la programación es innegable, y está sumamente interrelacionada a través de los recursos que se implementan o planean implementar para la ejecución de la obra, como lo son, principalmente, la maquinaria, equipo menor, los materiales base y la plantilla de personal.



1.2.3 PROGRAMACIÓN

La planeación se relaciona con la determinación de cuáles actividades son necesarias hacer y en qué orden, con el fin de lograr el objetivo del proyecto. Un programa es una tabla de tiempos para un plan y, por consiguiente, puede desarrollarse hasta que este último haya sido concebido.

Con la programación de un plan se obtienen, entre otras cosas:

- La duración estimada de cada actividad, o de las actividades que el ingeniero considere son las que representan mejor la realidad.
- El tiempo de inicio estimado y el tiempo de terminación requerido para el proyecto completo.
- Los tiempos más tempranos en los que se puede iniciar o terminar una actividad.
- Los tiempos más tardíos en los que tiene que iniciar o terminar una actividad, con el fin de completar el proyecto en la fecha de terminación requerida.

El primer paso para establecer el programa de un proyecto, es estimar cuánto durará cada actividad, desde el momento en que se inicie hasta que termine.

Esta duración estimada tiene que ser el tiempo total transcurrido (el tiempo necesario para que se haga el trabajo, más cualquier tiempo de espera relacionado), por ejemplo, el tiempo total que tarda el trabajo de perforación no sólo está dado por el tiempo efectivo de excavación del equipo y herramienta de perforación, sino por los movimientos de éstos, previos y durante el procedimiento, como el posicionamiento, el cambio de herramienta, la entrada y salida de la herramienta de perforación, la limpieza, etc.

Este estimado considera, o se basa en la cantidad de recursos que se espera utilizar. El cálculo debe ser agresivo pero realista.



Una de las actividades fundamentales en la planeación y programación de la construcción de pilas de cimentación (y seguramente de obras civiles en general), es estar familiarizado con el lugar en el cuál se llevarán a cabo las obras, es decir, es de mucha utilidad el conocer la zona y el medio en donde se va a alojar la cimentación profunda, puesto que esta simple tarea se puede ver reflejada en la correcta planeación y la logística de las actividades.

Ya que conocemos el proyecto completo, (a través del estudio del proyecto ejecutivo, sus alcances, las especificaciones del cliente, el lugar en el que se trabajará, las condiciones contractuales, etc.), tenemos que empezar a trabajar el análisis de la estructura y logística que se aplicará; para esto, es necesario conocer o plantear las actividades en las que se puede dividir la ejecución completa de la construcción de las pilas.

La planeación de la construcción de pilas comienza por la parte general, es decir, parte del análisis de un todo, de una obra civil y lo que ésta conlleva, pero es importante remarcar que la planeación y la programación debe de llevarse a lo largo de toda la ejecución de la obra y no sólo al inicio de la presupuestación de la obra; es decir, día a día se planean las actividades propias de la construcción de una pila, desde la localización de la perforación hasta el colado y relleno de la longitud de perforación sobrante.

Una actividad es una pieza de trabajo establecida, que requiere de tiempo; no requiere por necesidad el empleo de esfuerzo por parte de las personas; por ejemplo, el esperar que fragüe el concreto puede requerir de varios días pero no de esfuerzo humano alguno.

Siendo así, es conveniente plantear las actividades de la ejecución, partiendo de lo general a lo particular.

Las actividades generales en la construcción de pilas de cimentación son:



- i. Estudios preliminares
- ii. Planeación y programación (Proyecto ejecutivo)
- iii. Presupuestación
- iv. Inicio y desarrollo de la construcción
 - Movilización de equipos de trabajo
 - Referencias topográficas de la ubicación de los elementos
 - Perforación de pilas
 - Revisión de calidad
 - Colocación de acero de refuerzo (en su caso)
 - Colocación de concreto
 - Relleno de perforación descubierta (en su caso)
 - Desmovilización del equipo o cambio de ubicación
- v. Fin de la construcción
- vi. Control (a lo largo del proceso y al final de éste)

Cada una de las actividades generales antes mencionadas, conllevan un gran número de actividades particulares, las cuales se podrán conocer con mayor certeza en el momento en el que se realice el análisis detallado de cada uno de ellos.

Uno de los primeros pasos para poder planear el desarrollo de la obra, la selección del equipo adecuado, la herramienta apropiada y método aplicable y óptimo para la construcción, es conocer las características particulares del proyecto.

Dentro de la planeación y la programación, existe un paso que es imprescindible en la definición de las actividades, es decir, para la obtención de sus duraciones, los recursos necesarios y consumos. Dicho paso es la cuantificación de los planos de las pilas de cimentación profunda, ya que a partir de éstos se obtienen los siguientes datos:

- Longitud de perforación



- Longitudes de perforación en los diferentes tipos de suelos (en su caso)
- Longitudes de perforación en los diferentes diámetros
- Acero
 - Acero longitudinal
 - Acero transversal
 - Refuerzos especiales
 - Desperdicios
- Volúmenes de concreto
- Volúmenes de lodos bentoníticos
 - Desperdicios o sobre volúmenes de los dos anteriores

En general, la longitud total de perforación se calcula con la suma de las longitudes individuales de cada pila, haciendo después la división según el tipo de suelo perforado o el diámetro de las perforaciones. En ocasiones es difícil conocer las fronteras entre los diferentes tipos de suelos, tanto en la obra como en la teoría, por lo que no es posible conocer con exactitud las longitudes correspondientes. Para conocer la longitud de perforación por tipo de suelo, es necesario referirse a los estudios de mecánica de suelos, los cuales por lo general contienen un perfil o corte estratigráfico del trazo o ubicación de las perforaciones o pilas de cimentación, en su defecto, dichos estudios, contienen descripciones de los estudios que se realizaron, de los cuales se puede extraer la información necesaria para el planteamiento de los diferentes estratos que se van a perforar. Esta información es importante porque los rendimientos de perforación que se plantean van en función del tipo de suelo que se ataque, es decir, la duración de perforación depende de la oposición que el suelo presente, y esto depende de sus propiedades. Ya entonces, conociendo la información de las condiciones del subsuelo a perforar, es decisión del ingeniero elegir la agrupación de las mediciones, ya sea por tipo de suelo o por diámetros de perforación, o por ambos. Estas decisiones dependen de las características de cada proyecto en particular.



La longitud de perforación es un elemento que es imprescindible conocer, puesto que de éste dependen muchos de los consumos de recursos o insumos que se calculan y proponen en un análisis, que por supuesto, trata de representar lo mejor posible a la realidad.

El acero de refuerzo en una pila de cimentación no varía en gran medida en su composición. Por lo general está compuesta de acero longitudinal y acero transversal, que pueden ser estribos o zunchos. Los elementos adicionales a este armado o jaula pueden ser: bastones, diferentes secciones o número de varillas en un mismo fuste, anillos metálicos, refuerzos trasversales interiores, entre los más comunes. Las densidades de acero⁵ en la pilas pueden variar, según las consideraciones de las sollicitaciones y el análisis del proyectista.

El cálculo general de una jaula de acero es el siguiente:

Para el acero longitudinal:

$$As = N \times l \times P$$

Dónde:

N= número de varillas

l= longitud total de una varilla (incluyendo los dobleces, etc.)

p= peso por metro lineal del tipo de varilla propuesto

Para el acero trasversal:

$$As = ((D - 2r)\pi + d) \times \left(\frac{L}{s} + 1\right) \times P \quad \text{Donde:}$$

D= diámetro de la pila

r= recubrimiento del acero

⁵ La densidad de acero es la cantidad de acero en peso por cada unidad de volúmen de concreto en la pila de cimentación. Ejemplo: kg/m³



d= dobleces

L= longitud efectiva del fuste de la pila

s= separación de los estribos o zunchos

Este cálculo, como se puede ver, es muy simple en sí, pero se tiene que aplicar para cada tipo de armado y cada tipo de características que el proyectista proponga en el refuerzo del concreto, es decir, bastones, roscas, coples, etc.

Por lo general, para fines de cuantificación, se estima un 5% de desperdicio por el despiece y otras actividades que provoquen un sobreconsumo del material. Si el caso ameritara el uso de elementos de izaje, se consideran dentro del desperdicio, aumentado en su valor, no mayor a un 10%.

El cálculo del volumen de concreto es simplemente la obtención del volumen de un cilindro, al cual se le aplica un sobreconsumo. Dicho sobreconsumo se puede deber a los posibles caídos que ocurran dentro de la pila, y que requieran de un volumen de concreto para ser llenados, puesto que no es posible que el fuste de la pila sea regular en su extensión.

El uso del lodo bentonítico requiere de un cálculo un poco diferente al de la cuantificación del concreto. Para comprender esta cuantificación más allá de los números, es necesario referirse al método de perforación con lodo bentonítico, el cual se describe en páginas subsecuentes. Sería fácil pensar que el volumen de lodo debe ser igual al volumen de concreto cuantificado, pero la realidad es que no lo es en la gran mayoría de los casos; el volumen necesario de lodo bentonítico para la perforación de pilas puede ser mayor o menor que el volumen de concreto. En general, al volumen del cilindro de perforación se le resta de medio metro a un metro de su longitud por el área transversal de la perforación, por ejemplo: en una perforación de un diámetro de 1.0 m a 20 m de profundidad, el volumen de lodo bentonítico será:



$$V_{\text{mód.}} = (20 - 0.5) \times \frac{\pi}{4} =$$

el sobre consumo del lodo bentonítico llega a ser muy grande, en la práctica profesional, puede llegar a un 25%. Hoy en día existen equipos que permiten el uso de este material, como desarenadores y decantadores. Se necesitan, aproximadamente y por lo general, 60.0 kg de bentonita por m^3 , y 1.2 m^3 de agua (considerando también el sobreconsumo del agua). El procedimiento de la aplicación de la bentonita y fluidos estabilizadores se describirá en los procedimientos constructivos.

La densidad de un lodo bentonítico tiene un valor máximo de 1.07 kg/m^3 .

1.2.4 PRESUPUESTACIÓN

Los presupuestos representan un plan de acción financiera para la gerencia y administración de la obra, que reflejan las distribuciones futuras de los recursos financieros necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto y de la compañía.

Un programa completo de presupuestos del proyecto y de la compañía ofrece un marco de trabajo que proporciona una amplia perspectiva de la operación entera. Por lo tanto, los controles presupuestales proporcionan la primera indicación de dificultad e identifican las áreas que requieren la atención de los especialistas.

El presupuesto final, surge de la estimación de cantidades de obra involucradas en el proyecto. Por lo que dichas estimaciones son de primordial importancia para un buen control administrativo. La estimación, o estimado, proporciona la base para que todos los pronósticos económicos y financieros, así como para los presupuestos y el control.

Una estimación tendrá un efecto considerable en el enfoque, manipulación y formato de las cifras resultantes, de manera que presenten una predicción exacta del costo (presupuesto) y que sean un recurso administrativo útil.



Los métodos de estimación varían dependiendo del grado de exactitud que se espera y de la calidad y cantidad de información que se obtiene del proyecto ejecutivo o bases de licitación, a partir de los cuales se prepara la estimación.

Lo propósitos de las estimaciones de la construcción se clasifican en general en tres formas:

1. Estimaciones utilizadas para la planeación y pronóstico con el objeto de que ayuden en las evaluaciones económicas y financieras de la inversión.
2. Estimaciones de control que se hacen durante el diseño para asegurarse de que las evaluaciones económicas siguen siendo válidas conforme progresa el diseño.
3. Estimaciones de la propuesta, que reflejan el costo que tiene para la constructora realizar el proyecto.

El concepto de los procesos de estimación varían según el tipo de contrato de construcción que se adquiere, como son los contratos de costo más honorarios fijos, costo a precio alzado, a precio unitario o administración del proyecto.

La predicción de los costos en una obra es fundamental, tanto para la obtención del contrato mismo, como para el control durante su ejecución. Aunque parece obvia la importancia de éste en el proceso constructivo, es necesario describir sus implicaciones.

- Establecer el costo final de la construcción

Desde el punto de vista del constructor, el establecimiento de un presupuesto general es una imperiosa necesidad, pues permite conocer la destinación de los recursos para el proyecto, que pueden provenir de muy diversas fuentes. Ya sean recursos propios del constructor, partidas de presupuesto de alguna entidad, aportaciones de varios inversionistas, mediante la financiación de alguna entidad crediticia, etc. Sea cual sea la fuente de los recursos, es imprescindible determinar el valor total de la construcción para así llegar a los fondos necesarios.



Como consecuencia de lo anterior, si se desean obtener recursos para una obra, de cualquier fuente, no será posible que éstos lleguen a participar económicamente en el proyecto, si se presenta un estimativo total de costos.

- Determinación del costo de las cantidades de obra

Esta implicación se desarrolla desde la realización de la estimación, siendo un paso para la ejecución de un presupuesto; es un gran apoyo durante la ejecución de la obra. Por ejemplo, para la contratación de la mano de obra, subcontratos, pedidos de materiales, etc.

- Descripción de los costos parciales

Como se describió en el primer punto de las implicaciones del presupuesto en un proyecto, el objetivo principal de éste es el conocer el valor final de la construcción, y ahora podemos decir que el ceñirse a este valor es igual o más importante que dicho valor final. Para lograrlo, es necesario hacer un control de costos parcial a cada uno de los componentes de la construcción, y ceñirse a ellos en la medida que se vayan ejecutando. El constructor no puede esperar a ver terminada la obra, para determinar si se trabajo dentro del presupuesto o no, pues se encontrará en ese momento en resultados inmodificables. El presupuesto se debe seguir paso a paso, y, en éste, se encuentran los datos parciales de costos de materiales, mano de obra, equipo, herramienta y otros, para poder hacer este seguimiento y realizar lo ajustes que sean convenientes.

- Incidencia de los componentes en el costo final

Otro de los datos que nos suministra un presupuesto general, es la incidencia, dada en porcentajes, de los diferentes capítulos en los que se puede descomponer la obra. O para decirlo con un ejemplo, en la construcción de pilas de cimentación, determinar el porcentaje de costo de la perforación del costo total, y a su vez el porcentaje del material, maquinaria, etc., del mismo costo. Lo cual sirve para identificar las partidas que necesitan de mayor atención y en



determinado momento, identificar aquellas que necesiten ser revisadas y replanteadas.

Estas son los principales aspectos que hacen de la estimación, y en consecuencia, del presupuesto, herramientas imprescindibles y de vital importancia para el desarrollo de una construcción.

1.3 EJECUCIÓN DE LA PERFORACIÓN

1.3.1 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS CON PERFORADORA ROTATORIA

Para cualquier procedimiento constructivo que se lleve a cabo en la construcción de pilas se debe considerar lo siguiente:

- Anticipadamente se deben tener elaborados los procedimientos técnico-constructivos particulares del proyecto, liberadas las áreas de trabajo de interferencias aéreas y/o subterráneas, y habilitados los accesos a los sitios de trabajo para el paso del transporte en el que llegarán los equipos. El terreno donde se construirán las pilas, debe estar sensiblemente plano, para que puedan trabajar adecuadamente los equipos de perforación y colado.
- Se elabora un plan de inspecciones para la verificación de las actividades, de tal manera que se programe, concilie y autoricen cada una de las etapas de construcción de acuerdo con los resultados obtenidos inicialmente.
- Es importante que al inicio de los trabajos se divulguen dichos planes y capacite al personal, conforme al procedimiento general.
- Antes de iniciar los trabajos, se debe tener autorizado el proyecto definitivo de la cimentación profunda a base de pilas.



La perforación con máquinas rotatorias consiste en la aplicación de brocas o botes de perforación. De manera general y a manera de introducción, diremos que en la perforación con broca, el material atacado llena las alas de ésta, y en el caso del bote de perforación el material está contenido dentro del mismo. Por lo que el material atacado es excavado y extraído de la broca o del bote de perforación.

El procedimiento constructivo puede diferenciarse también por el tipo de soporte que necesiten las paredes de la perforación; pueden ser perforaciones con ademe metálico, fluido estabilizador o sin ningún soporte. La selección de uno u otro dependerá directamente de las condiciones del suelo y del proyecto.

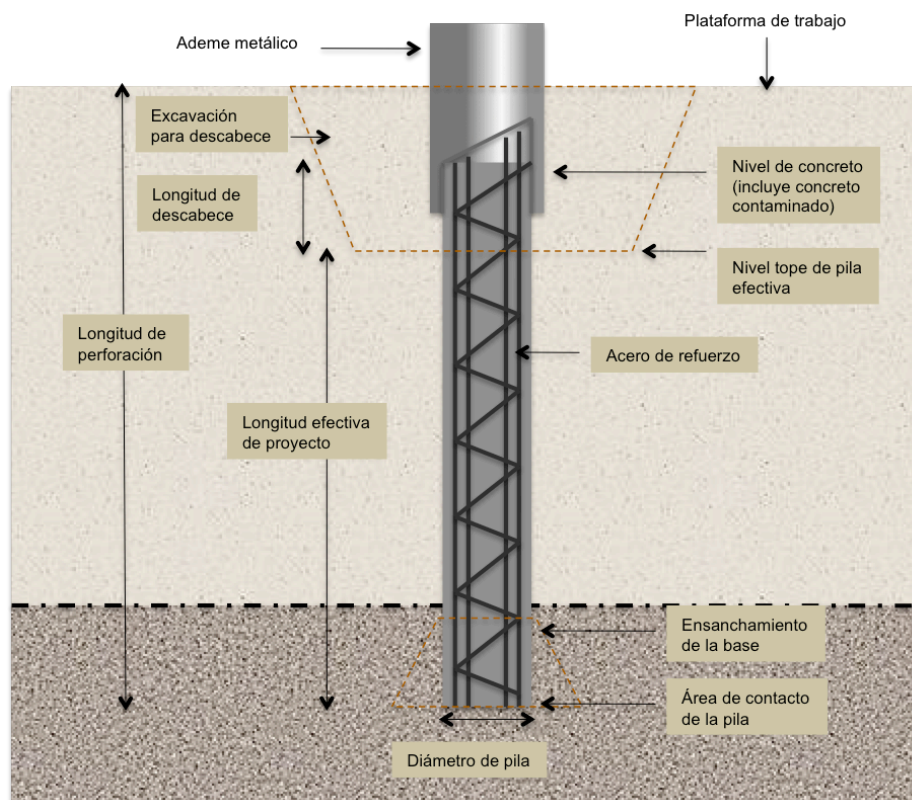


Fig. 23. Parte que componen a una pila de cimentación

Cuando es necesario, la perforación debe contener algún elemento soportante hasta que el material final sea introducido, esto es con la finalidad de evitar el relajamiento y descompensación de las paredes o estratos presentes y prevenir la



presencia de caídos en la perforación. Este tipo de soporte es generalmente efectuado con el hincado de un ademe metálico o un fluido estabilizador, como lodo bentonítico, polímeros o agua.

A continuación se describen los diferentes procedimientos constructivos para pilas de cimentación profunda coladas en sitio.

Empleo de ademe metálico en toda la longitud de perforación

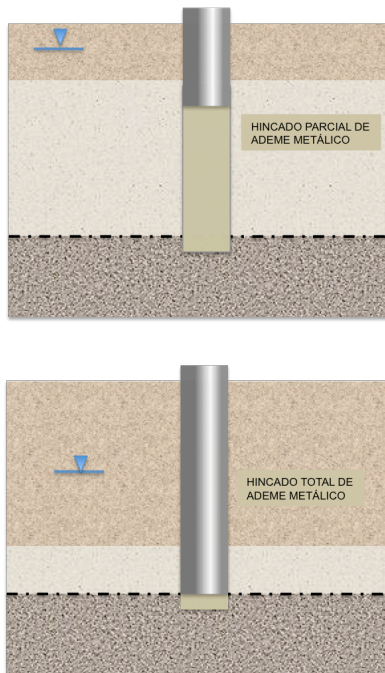


Fig. 24. Empleo de ademe metálico. Arriba: ademe parcial. Abajo: ademe en la totalidad de la longitud de la perforación

El empleo de ademe metálico (*Fig. 24*), es requerido cuando el material a atacar no es suficientemente estable para auto-soportarse, o, incluso no lo es mediante la estabilización con fluidos (como lodos bentoníticos o polímeros), surgiendo así la problemática de caídos y cavidades en las paredes de la perforación; normalmente el ademe metálico es recuperable, sin embargo puede darse el caso que el proyectista decide dejarlo perdido como refuerzo final. Otra aplicación de los ademes metálicos es evitar que el suelo que está alrededor de la perforación se relaje o falle y provoque la reducción del diámetro y área de proyecto de la perforación.

Los ademes metálicos empleados en la perforación de pilas pueden ser recuperables, cuando se extraen al finalizar el colado de la pila; o dejarlos perdidos e integrarlos a las pilas, cuando el proyecto lo requiera.

Empleo de ademe metálico, utilizando adaptador para ademe



Fig. 25. Izq.: Adaptador de ademes BAUER. Medio y Der.: Perforadora rotatoria con adaptador de ademes LIEBHERR

En este método constructivo, la perforadora, mediante la rotaria, introduce el ademe metálico al mismo tiempo que impulsa al kelly (el cual contiene la herramienta de perforación), para romper y excavar el material. Cabe señalar que, la rotaria es la misma que aplica las fuerzas de rotación y empuje tanto al kelly como al ademe, y puede hacerlo simultáneamente (*Fig. 25*); sin embargo es recomendable, y debe hacerse así, que dichas fuerzas se apliquen en solamente uno de ellos, o al ademe o al kelly, con el fin de lograr mejores avances en cada caso; la aplicación debe hacerse por lo tanto alternadamente.

El empleo de este método sigue el procedimiento que se describe a continuación:

- Antes de comenzar la perforación, se verifica la calidad de la plataforma de trabajo, debiendo contar con características de conformación, compactación y afine que aseguren la estabilidad de la maquinaria.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona la referencia exacta en donde se construirá la pila. Una práctica común es que a partir de esta referencia, se traza una circunferencia por fuera de la ubicación de la perforación, con la finalidad de tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación y de la ubicación final del ademe metálico.



- El primer tramo de ademe se habilita con la zapata de corte en el extremo que atacará el suelo (ver *Fig. 26*). Este, y todos los tramos de ademe, es “tomado” por el adaptador de la rotaria (mediante pernos sin rosca), posicionado en el punto correcto de la pila e hincado en el suelo mediante rotación, hasta que queda completamente estable. Al mismo tiempo se inicia la perforación por dentro del ademe; previamente el ademe ha sido desconectado del adaptador para permitir que la kelly salga con la herramienta y descargue el material.



Fig. 26. Primera sección de ademe metálico con zapata de corte (BAUER)

- La siguiente sección de ademe que se habilita es conectada al primer ademe mediante pernos, para luego ser hincada en el suelo lo más profundo posible. A continuación se retira la conexión entre el adaptador del ademe y el ademe metálico para dar inicio a la extracción del material (*Fig. 27*).
- Dicha extracción se realiza con una broca o bote de perforación, la cual es introducida nuevamente en el material a perforar (avanzando dentro del ademe metálico) hasta llenar de material la herramienta, luego ésta es extraída con el kelly y vaciada a pie de perforadora. Este proceso es repetido las veces que sean necesarias antes de que el siguiente ademe metálico sea posicionado e instalado. Mientras este proceso es realizado es importante observar y hacer hincapié en que cuando el suelo es muy suelto

y/o hay agua, el ademe metálico debe tener siempre mayor profundidad que el nivel de desplante al que va llegando la herramienta de perforación, con lo que se busca evitar una falla o caído en el extremo inferior del ademe metálico. La introducción y extracción de la herramienta de perforación es realizada mediante el trabajo del cable del malacate del kelly, llamado cable principal. Este cable está unido a extremo superior de la camisa interior del kelly, de esta manera, todo el proceso de extensión del kelly es controlado por el malacate y el sistema o conjunto de sistemas que contiene la máquina perforadora.

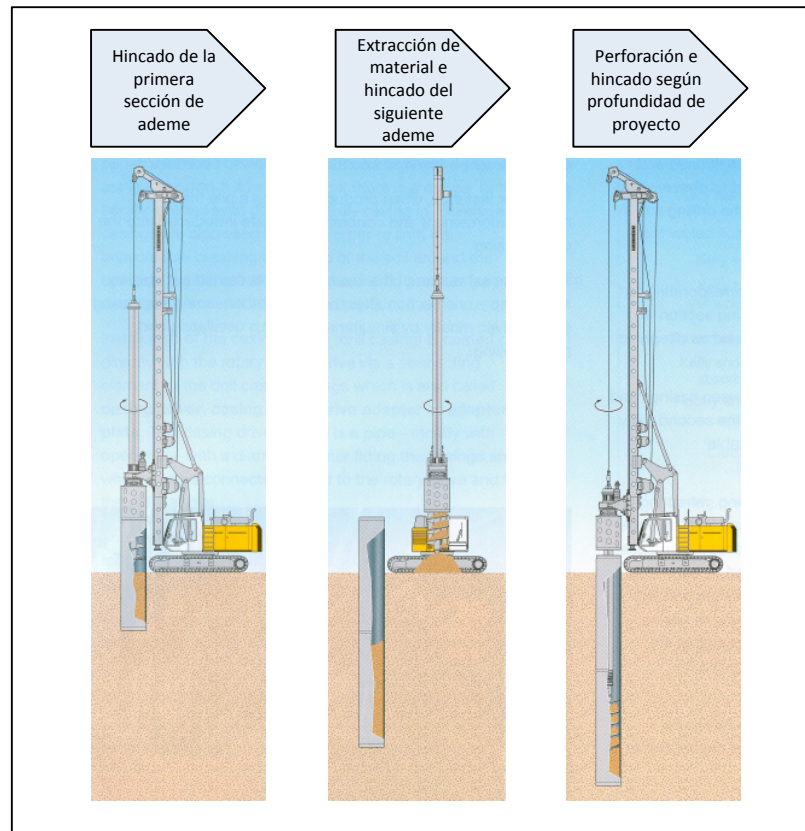


Fig. 27. Procedimiento constructivo, perforación e hincado de ademes

- Este proceso es repetido hasta que la profundidad de desplante de proyecto o la longitud de perforación ademada es alcanzada.
- Durante todo este procedimiento es necesario verificar las condiciones físicas de la perforación, como la verticalidad y la profundidad de desplante (Fig. 28).



La verticalidad es verificable hoy en día, según el equipo, por medio de pantallas de control en la cabina, que el operador puede cotejar en todo momento, contando en ocasiones con sensores automáticos que la corrigen por medio de los gatos hidráulicos del mástil. Adicionalmente se puede controlar la verticalidad del equipo y de la perforación por medio de referencias como plomadas alineadas a “ojo” con el eje vertical del kelly.

La profundidad de desplante, al igual que la verticalidad, hoy en día es verificable mediante los sistemas interactivos de las perforadoras (en su caso), los cuales son capaces de informar al operador en tiempo real la profundidad de perforación, entre otros. La forma de medir la profundidad de perforación de manera rudimentaria, es utilizando marcas equidistantes en un cable o sonda, tomando como base las medidas de longitud de la broca o bote de perforación, que es conocida.

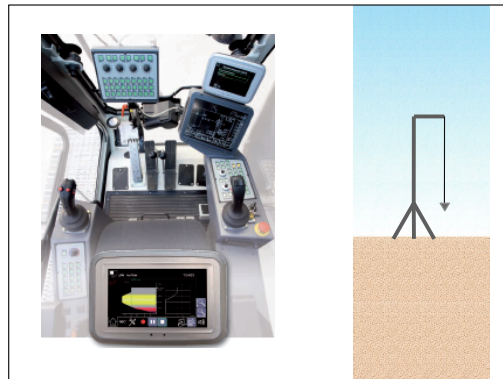


Fig. 28. Controles interactivos y rudimentarios de verticalidad y profundiad

- Al término de las actividades de perforación o en el mejor de los casos, durante las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, trasportándolo al sitio de tiro autorizado (*Fig. 29*).

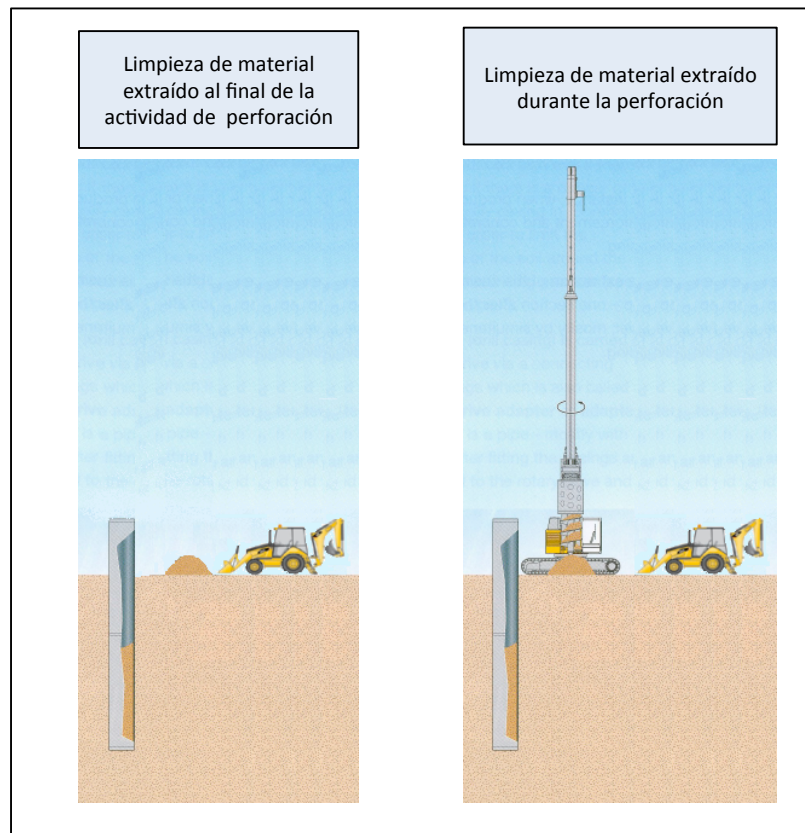


Fig. 29. Procedimiento constructivo. Retiro de material producto de excavación

- Antes de colocar el acero de refuerzo se verifica que el fondo de la perforación esté libre de azolve, limpiando el fondo con el bote de perforación o bote de limpieza y verificando la profundidad total y final de la pila, registrándola en el formato correspondiente. Los datos registrados tienen que ser verificados y firmados por supervisión y topografía de la obra.

El tiempo que transcurra desde el término de la perforación hasta colocar el armado o refuerzo de la pila, no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, se debe de repetir la verificación y limpieza del fondo de la perforación.

- Subsecuentemente se realiza el izaje y colocación de acero de refuerzo y posteriormente el concreto con tubería Tremie (*Fig. 30*). Ambos procedimientos están descritos más adelante en los puntos 1.4 y 1.5 de este capítulo, respectivamente.

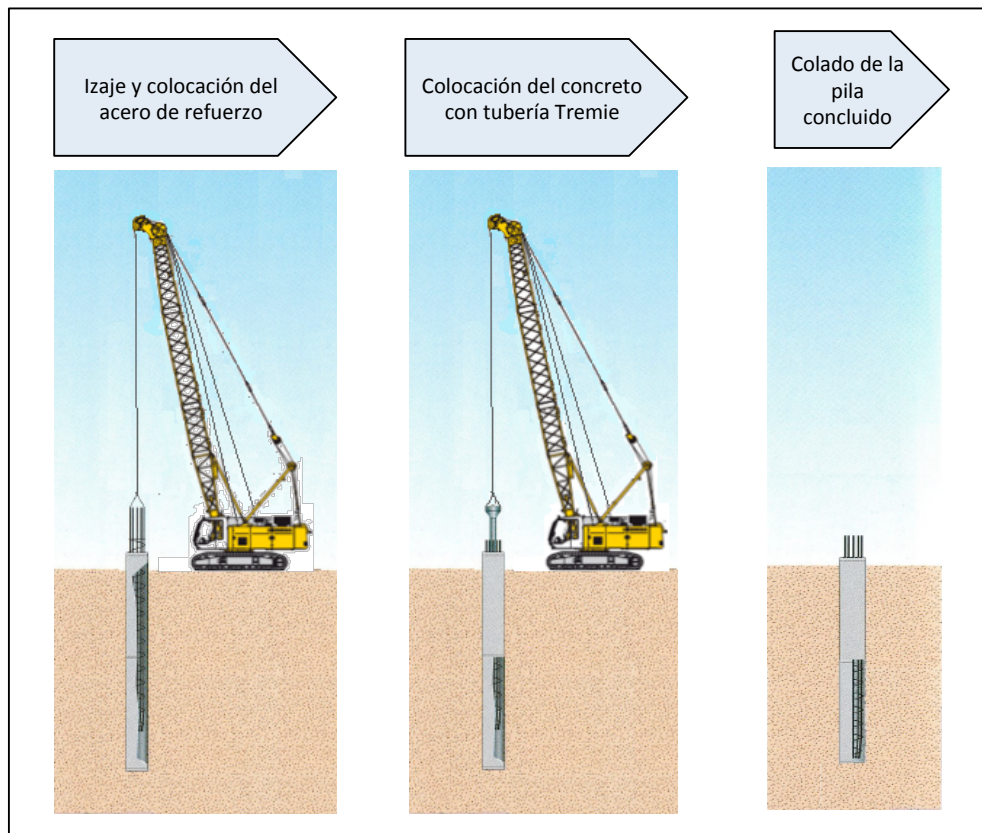


Fig. 30. Procedimiento constructivo. Izaje y colado de pila

- La extracción de las secciones de ademe metálico es realizada paso a paso, una o dos secciones a la vez, dependiendo de las longitudes y de la capacidad de la perforadora, utilizando para esto, al igual que durante el hincado, el adaptador de ademes, mediante oscilaciones y esfuerzos verticales (*Fig. 31*).

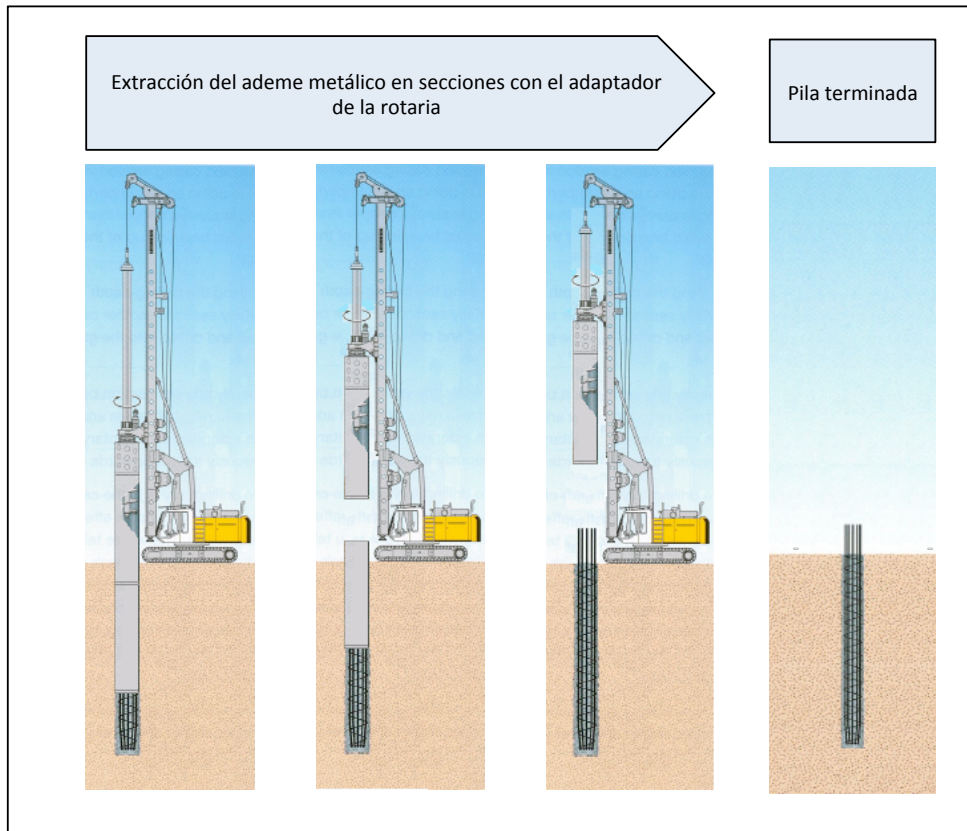


Fig. 31. Procedimiento constructivo. Extracción de ademes metálicos

Empleo de ademe metálico, utilizando osciladora



Fig. 32. Izq. y Medio: Osciladora LIEBHERR. Der.:Osciladora Casagrande

En situaciones especiales, el hincado de ademes metálicos resulta requerir de un esfuerzo de hincado mayor al que la rotaria puede ofrecer, en tales casos es necesario usar un accesorio adicional: la osciladora (también nombrado “morsa” en el argot de la construcción) mostrada en la *Fig. 32*; la potencia de este accesorio es por lo menos tres veces la de una perforadora. Como se menciona, la aplicación de este accesorio se presenta en el momento en que el torque de la rotaria y el jalón que el malacate le puede imprimir al ademe no son suficientes para vencer la fricción y adherencia que se desarrollan entre el ademe metálico y el suelo. Esto se puede deber a las condiciones del suelo, la profundidad de perforación y el diámetro de la perforación (a mayor diámetro, mayor área de contacto entre el suelo y el ademe y por lo tanto mayor fricción y adherencia).

- Una condición importante para la aplicación de este accesorio, es contar con una plataforma de trabajo estable y previamente compactada, ya que el mayor trabajo realizado por la osciladora es una reacción contra el suelo (etapa de extracción).
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona la referencia exacta en donde se construirá la pila de cimentación profunda.



- El hincado del ademe metálico se hace con la osciladora o entubadora, la cual lo sostiene e hinca en el terreno natural por medio de fuerzas rotacionales y verticales. La reacción de este accesorio durante esta etapa de hincado es normalmente contra su propio peso, aunque eventualmente existen algunas que poseen unas pequeñas ménsulas a los lados que les permiten transmitir las fuerzas de reacción a las orugas, aprovechando parte del peso de la perforadora misma. Por ejemplo, “*para ademar perforaciones de 1.20 m de diámetro a unos 30 m de profundidad, una osciladora tendría un peso aproximado de 10 a 12 ton*”⁶.
- La osciladora funciona aprisionando al ademe metálico con un anillo y gatos hidráulicos que lo atrapan. Este collar o anillo es guiado alternadamente hacia la derecha e izquierda por medio de dos gatos hidráulicos horizontales, junto con otros dos verticales que presionan y mueven a todo el equipo hacia arriba o hacia abajo. De esta manera el ademes es hincado mediante movimientos simultáneos horizontales y verticales.
- El primer ademe se habilita con dientes de corte en el extremo que atacará el suelo (*Fig. 33*). Este ademe es colocado y aprisionado por la entubadora e hincado en el suelo hasta que queda completamente estable.



Fig. 33. Primer sección de ademe metálico con zapata de corte

⁶ Dato real de aplicación en campo obtenido de la experiencia profesional del Ing. Teóduo Herrera Peláez, Gerente de LIEBHERR México, 2011

- La siguiente sección de ademe que se habilita es conectada al primer ademe, para luego ser hincada en el suelo lo más profundo posible. A continuación da inicio a la extracción del material.
- Dicha extracción se realiza con la herramienta de perforación, la cual es introducida en el material a perforar (avanzando dentro del ademe metálico) hasta llenar de material la herramienta; luego ésta es extraída con el kelly y vaciada a pie de perforadora. Este proceso es repetido las veces que sean necesarias antes de que el siguiente ademe metálico sea posicionado e instalado (*Fig. 34*). Mientras este proceso es realizado, es importante que el ademe metálico tenga siempre mayor profundidad que el nivel de desplante al que va llegando la herramienta de perforación, con lo que se busca evitar una falla o caído en el extremo inferior del ademe metálico.

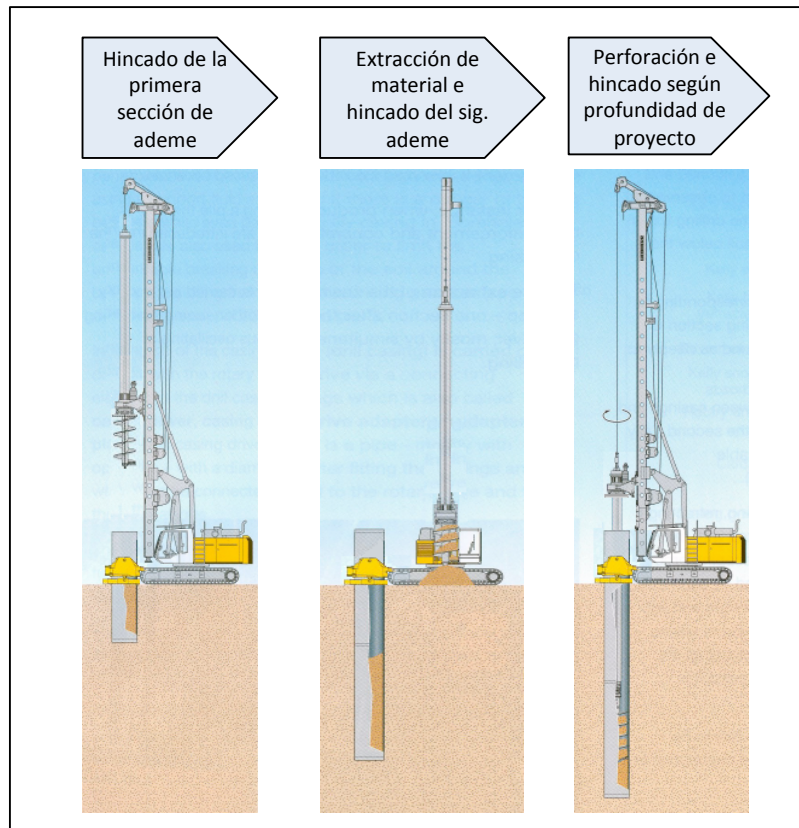


Fig. 34. Procedimiento constructivo, extracción de material e hincado de ademes con osciladora



- Al término de las actividades de perforación, o en el mejor de los casos, durante las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, trasportándolo al sitio de tiro autorizado (ver Fig. 29).
- Antes de colocar el acero de refuerzo se verifica que el fondo de la perforación esté libre de azolve, limpiando el fondo en el bote de perforación o bote de limpieza y verificando la profundidad total y final de la pila, registrándola en el formato correspondiente. Los datos registrados tienen que ser verificados y firmados por supervisión y topografía de la obra.

El tiempo que transcurra desde el término de la perforación hasta colocar el armado de la pila, no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, se debe de repetir la verificación y limpieza del fondo de la perforación.

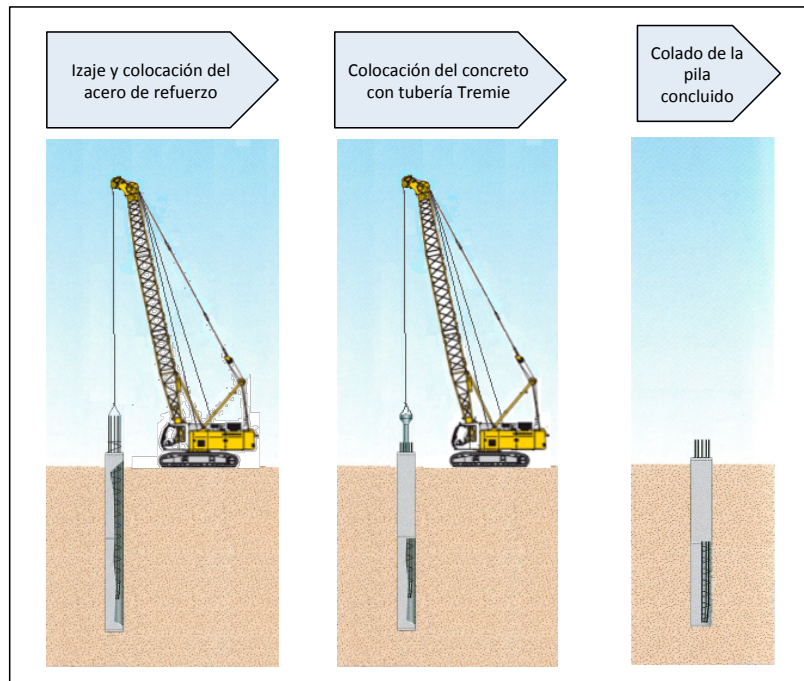


Fig. 35. Procedimiento constructivo. Izaje de acero de refuerzo y colado de pila

- A continuación se realiza el izaje, colocación de acero de refuerzo y posteriormente el concreto con tubería Tremie (Fig. 35). Ambos



procedimientos están descritos ampliamente en los temas 1.4 y 1.5 de este capítulo, respectivamente.

- La extracción de las secciones de ademe metálico es realizada paso a paso, una sección a la vez, utilizando para esto el oscilador, con el mismo principio con el que han sido hincados (*Fig. 36*).

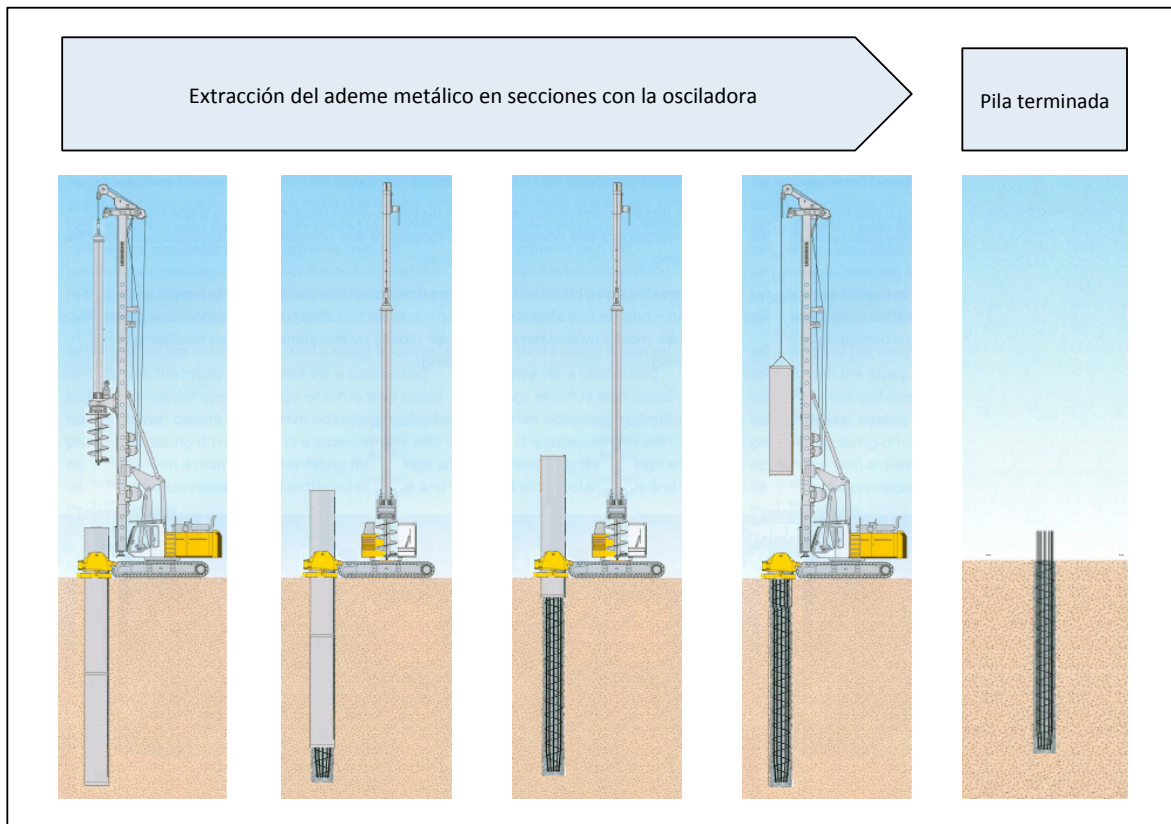


Fig. 36. Procedimiento constructivo. Extracción de secciones de ademe metálico con osciladora

Empleo de ademe metálico, utilizando vibrohincador



Fig. 37 Izq.: Vibrohincador PTC. Medio:Vibrohincador LIEBHERR. Der.:Vibrohincador ICE

Otro método para llevar a cabo la instalación de un ademe metálico, es mediante la aplicación de vibraciones, para lo que se necesita un martillo vibrohincador (ver vibrohincador en Herramientas de Perforación) mostrado en la Fig. 37. La aplicación de este tipo de vibradores es predominantemente utilizado en gravas y arenas sueltas y arcillas y limos blandos, dada la reducción de fricción lateral.

- El funcionamiento u operación está dado por las frecuencias verticales que son producidas por el vibrohincador, transmitidas al ademe y al suelo por medio del martillo, las cuales reducen la fricción existente entre el ademe metálico y el suelo, permitiendo que el primero penetre al segundo por el peso propio del conjunto ademe - martillo.
- Una condición importante para la aplicación de esta herramienta es contar con una plataforma de trabajo estable y previamente compactada, ya que durante el trabajo de penetración se realizan movimientos verticales en ambas direcciones (movimientos hacia arriba y abajo conocidos como “chaqueteo” en el argot de la construcción), que conllevan reacciones contra el suelo.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona la referencia exacta en donde se construirá la pila. A partir de esta referencia se traza una circunferencia por fuera de la ubicación de la perforación, con la finalidad de

tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación y de la ubicación final del ademe metálico.

- El procedimiento para el hincado de un ademe metálico, inicia cuando el martillo vibrohincador se amordaza a los bordes superiores del ademe. Después de que las mordazas hidráulicas lo tienen asegurado, se posiciona verticalmente sobre el sitio indicado para dar inicio a la vibración y a la penetración hasta la profundidad de proyecto (*Fig. 38*).

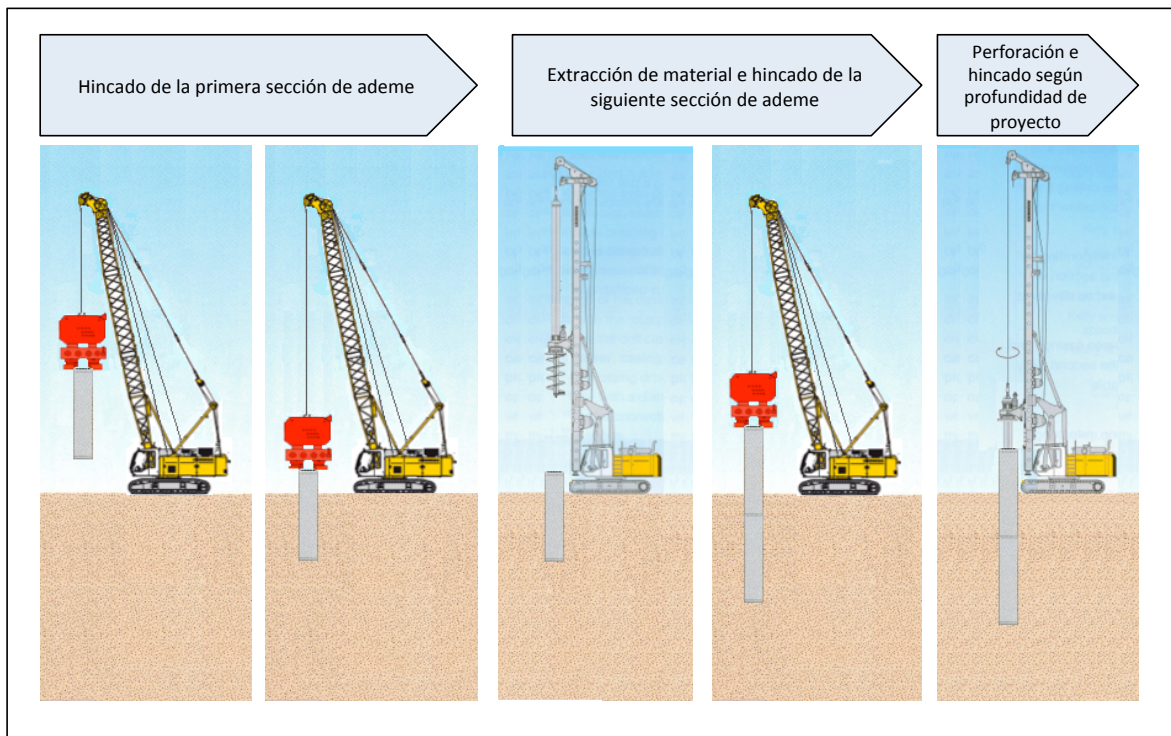


Fig. 38. Procedimiento constructivo. Hincado de ademe metálico en secciones

- La extracción del material se realiza con una broca o bote de perforación, el cual es introducido en el material a perforar (avanzando dentro del ademe metálico) hasta llenar de material la herramienta, luego ésta es extraída con el kelly y vaciada a pie de perforadora. Este proceso es repetido las veces que sean necesarias antes de que el siguiente ademe metálico sea posicionado e instalado. Mientras este proceso es realizado es importante que el ademe metálico tenga siempre mayor profundidad que el nivel de

desplante al que va llegando la herramienta de perforación, si el suelo está suelto o hay nivel freático, con lo que se busca evitar una falla o caído en el extremo inferior del ademe metálico.

- El hincado del ademe metálico puede realizarse por secciones, uniéndolas mediante conexiones mecánicas o soldadura, o puede ser hincado en una sola exhibición (*Fig. 39*). Esta opción está en función de la capacidad de la grúa, en cuanto a capacidad de carga y extensión de pluma, y del vibrohincador. Es importante señalar que el ademe utilizado en este método es diferente al utilizado con perforadoras, o con osciladoras; es de pared sencilla y fabricado por el contratista, o subcontratista; mientras que en los otros casos son fabricados por los mismos fabricantes de las perforadoras.

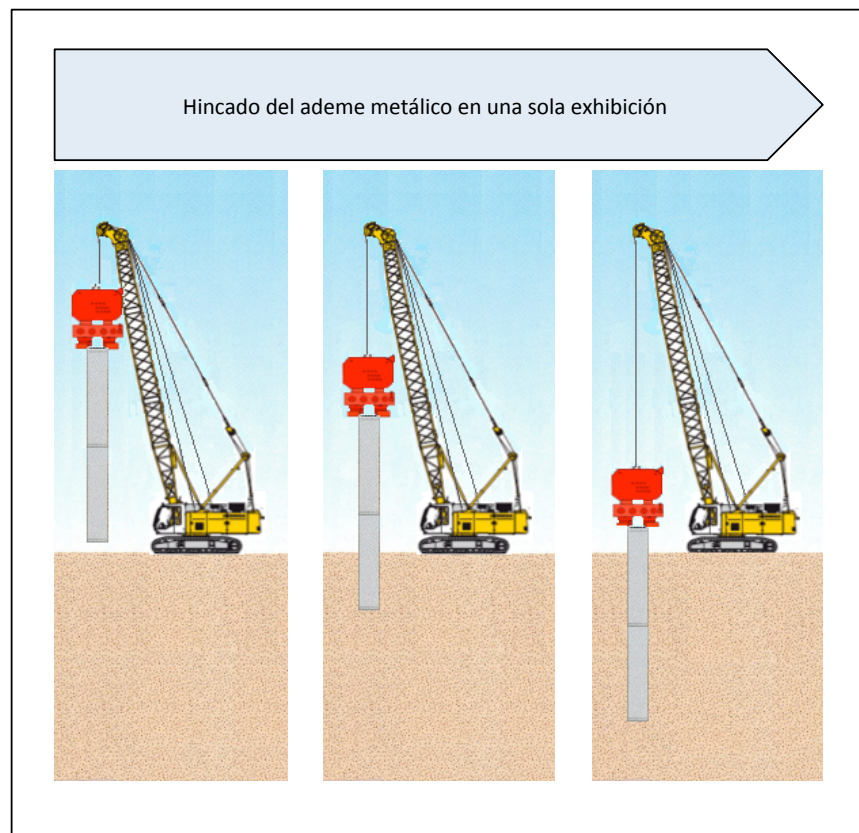


Fig. 39. Hincado de ademe metálico en una sola exhibición

- Al término de las actividades de perforación o en el mejor de los casos, durante las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, trasportándolo al sitio de tiro autorizado (*ver Fig. 29*).



- Antes de colocar el acero de refuerzo se verifica que el fondo de la perforación esté libre de azolve, limpiando el fondo en el bote de perforación o bote de limpieza y se verifica la profundidad total y final de la pila, registrándola en el formato correspondiente. Los datos registrados tienen que ser verificados y firmados por supervisión y topografía de la obra.
- El tiempo que transcurra desde el término de la perforación hasta colocar el armado o refuerzo de la pila y el concreto, no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, se debe de repetir la verificación y limpieza del fondo de la perforación.
- Subsecuentemente se realiza el izaje y colocación de acero de refuerzo. Posteriormente el concreto con tubería Tremie. Ambos procedimientos están descritos ampliamente en los puntos 1.4 y 1.5 de este capítulo.
- La extracción de las secciones de ademes se realiza por etapas o en una sola sección, dependiendo de la capacidad de pluma y carga del equipo que soporta al martillo vibrohincador, cuidando no se presente un exceso de vibraciones que provoque la segregación del concreto.

Empleo parcial de ademe metálico en la perforación

Empleo parcial de ademe metálico, sin fluido estabilizador

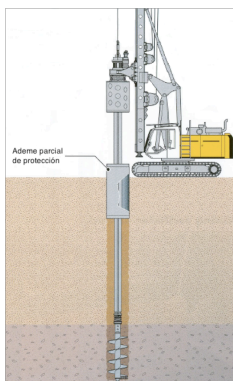


Fig. 40. Perforación con ademe metálico parcial (brocal)

En condiciones de suelo favorables, la aplicación de perforadora rotatoria puede llevarse a cabo sin la necesidad del soporte del suelo con ademe metálico en la longitud total de la perforación y sólo aplicarlo en un primer tramo superficial (brocal) (Fig. 40).

Este procedimiento es utilizado en los casos en que la parte de



la perforación que queda sin el soporte del ademe, garantiza la estabilidad de las paredes.

- Como condición primordial, no debe de presentarse nivel freático a lo largo de la perforación, el material o estratos que se atravesarán deben ser estables a todo lo largo de ésta y por supuesto debe existir la seguridad de que no se presentarán caídos importantes y de preferencia nulos.
- Las herramientas más comunes para este procedimiento constructivo son las brocas cortas y los botes de perforación.
- Se debe contar con una plataforma de trabajo estable y previamente compactada, ya que todo el trabajo y reacción van contra el suelo, garantizando así la estabilidad de los equipos y personal de trabajo.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona el punto exacto en donde se realizará la perforación. A partir de esta referencia, es de uso común, trazar una línea por fuera de la circunferencia de la perforación final, con la finalidad de tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación y la ubicación final del ademe.
- La parte superficial de la perforación es asegurada con un ademe metálico, de por lo menos 2.0 m (según la necesidad de cada proyecto), con la finalidad de guiar a la herramienta de perforación durante los ataques (perforación y extracción de material), y de estabilizar la parte superficial de la excavación evitando un posible caído o cierre de la perforación.
- El hincado de este ademe parcial puede realizarse mediante una perforación previa de aproximadamente la longitud del ademe a hincar, en el punto exacto en el que topografía ha marcado la perforación. Existiendo esta perforación previa, el ademe puede ser instalado por peso propio con ayuda del cable auxiliar de la perforadora o con la ayuda de la grúa con la que hace mancuerna. También es aplicable el uso del adaptador de la rotaria o la osciladora para realizar esta actividad.
- Una vez hincado el ademe a la profundidad de proyecto, se procede a realizar la perforación por el interior del ademe utilizando una broca o un

bote de perforación con el diámetro requerido, que al girar actúa sobre el material empacándolo dentro de él, luego entonces la herramienta es extraída con el kelly y vaciada a pie de perforadora. Esto se realiza en repetidas ocasiones hasta la profundidad que indiquen los planos y especificaciones respectivas (*Fig. 41*).

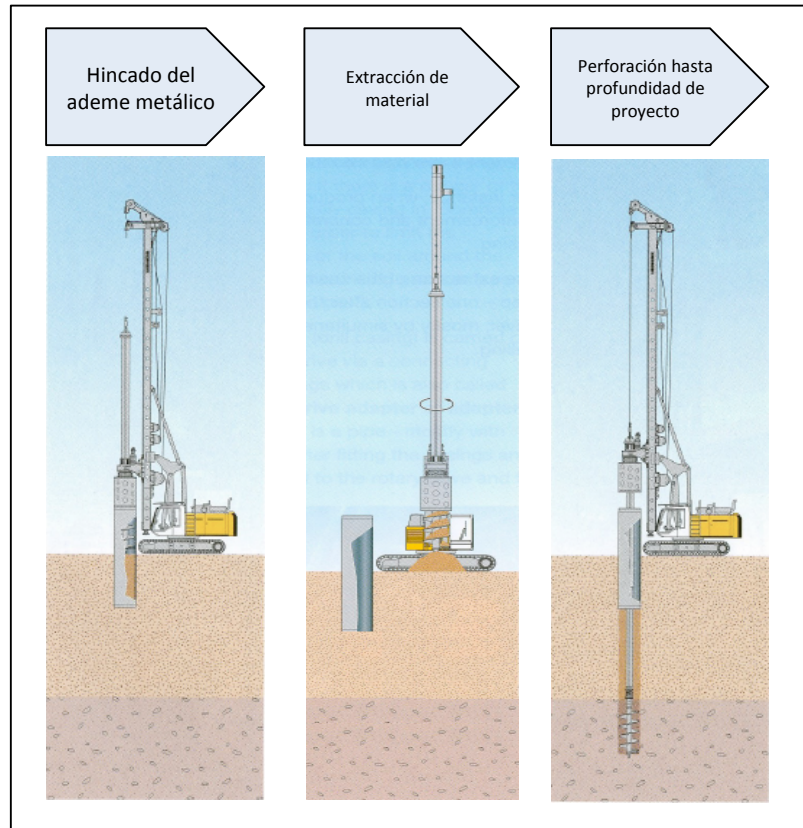


Fig. 41. Procedimiento constructivo perforación con ademe metálico parcial sin fluido estabilizador

- Durante todo este procedimiento es necesario verificar las condiciones físicas de la perforación, como la verticalidad y la profundidad de desplante. La verticalidad es verificable hoy en día, según el equipo implementado, por medio de pantallas de control en la cabina que el operador puede cotejar en todo momento, contando en ocasiones con sensores automáticos que la corrigen. Adicionalmente se puede controlar la verticalidad del equipo y de



la perforación por medio de referencias como plomadas alineadas a “ojo” con el eje del kelly.

La profundidad de desplante, al igual que la verticalidad, hoy en día es verificable mediante los sistemas interactivos de las perforadoras (en su caso), los cuales son capaces de informar al operador en tiempo real la profundidad de perforación entre otros. La forma de medir la profundidad de perforación de manera rudimentaria, es utilizando marcas equidistantes en una sonda, tomando como base las medidas de longitud de la broca o bote de perforación, que es conocida.

- Después de haber alcanzado la profundidad de proyecto, es necesario realizar la limpieza del fondo de la pila con un bote de limpieza. Con esto se asegura que no hay presencia de caídos, azolve o elementos ajenos que entorpezcan la penetración del acero y afecten la longitud efectiva de proyecto de la pila, proporcionando así certeza de calidad al trabajo.
- Antes de colocar el acero de refuerzo, se verifica que el fondo de la perforación esté libre de azolve, y se verifica con una sonda la profundidad total y final de la pila, registrándola en el formato correspondiente y siendo aprobada por supervisión y topografía de la obra.
- Después de la limpieza, se realiza el izaje y colocación de acero de refuerzo y posteriormente el concreto (*Fig. 42*). El tiempo que transcurra desde el término de la perforación hasta colocar el armado de refuerzo de la pila y el concreto, no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, se debe de repetir la verificación y limpieza del fondo de la perforación.

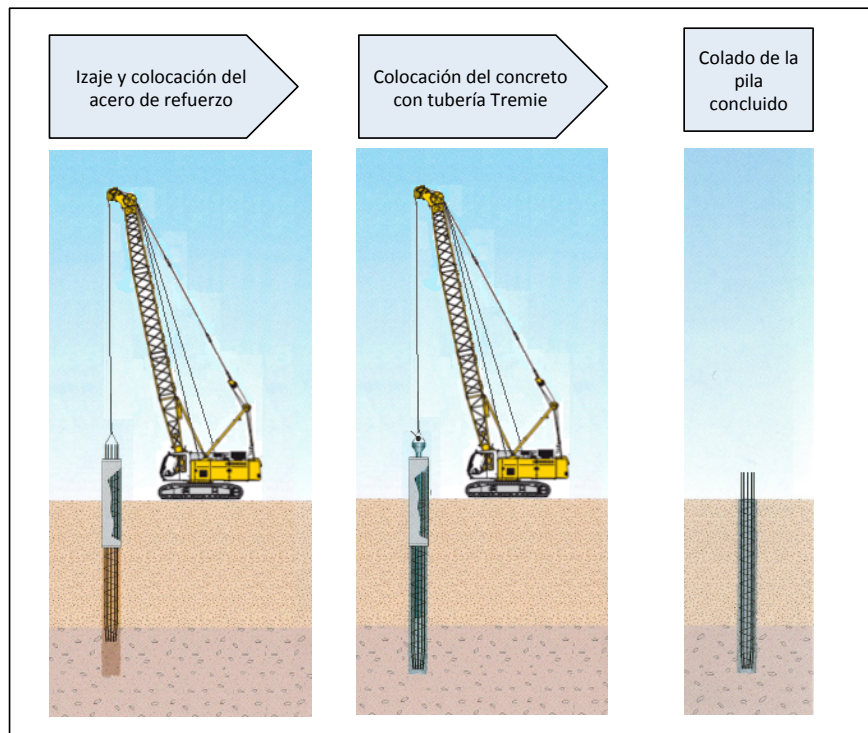


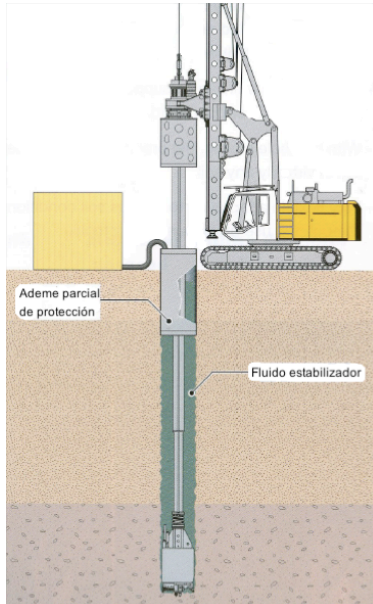
Fig. 42. Izaje de acero de refuerzo y colado de pila

- Al término de las actividades de perforación o en el mejor de los casos, durante las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, transportándolo al sitio de tiro autorizado (ver Fig. 29).
- La extracción del ademe metálico es ejecutado con la ayuda de la grúa auxiliar o el cable auxiliar de la perforadora al término de la colocación del concreto.



Empleo parcial de ademe y fluido estabilizador

Otra variación en la perforación con perforadora rotatoria con kelly, es la de



perforar con un ademe metálico parcial de seguridad y guía, estabilizando el resto de la perforación mediante un fluido estabilizador, o lodo de perforación, como soporte temporal (ver Fig. 43).

Este procedimiento es implementado en suelos inestables o con presencia de agua, en los que pueden existir caídos y formar cavidades, los cuales son neutralizados con la presión que el fluido ejerce contra las paredes de la perforación. Los fluidos estabilizadores más comúnmente usados son el agua, la bentonita y los polímeros en suspensión.

Fig. 43 Esquema de perforación con ademe metálico parcial (brocal) y fluido estabilizador.
(Hudelmaier and Küfner 2009)

Un punto clave en la aplicación de este procedimiento es que durante todo el proceso de perforación y durante el colado de la pila, el fluido estabilizador nunca debe estar debajo del nivel inferior del ademe metálico y siempre sobre el nivel de aguas superficiales encontradas. Esto requiere de un constante bombeo de suministro de fluido a la perforación. El fluido que emerge de la perforación cuando se lleva a cabo la instalación del concreto debe ser desalojado. Este lodo es con frecuencia bombeado a pipas o contenedores, y en otras ocasiones es enviado a un desarenador, el cual tiene la capacidad de reciclarlo.

- Se debe contar con una plataforma de trabajo estable y previamente compactada, ya que todo el trabajo y reacción van contra el suelo, garantizando así la estabilidad de los equipos y recursos de trabajo.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona el punto exacto en donde se construirá la pila de cimentación profunda. Se estima que a partir



de esta referencia, se traza una circunferencia por fuera de la circunferencia de la perforación final, con la finalidad de tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación y la ubicación final del ademe.

- La parte superficial de la perforación es asegurada con un ademe metálico, de por lo menos 2.0 *m* (según la necesidad de cada proyecto), con la finalidad de guiar a la herramienta de perforación durante la extracción de material, y de estabilizar la parte superficial de la excavación evitando un posible caído o cierre de la perforación provocado por los esfuerzos transmitidos al suelo por el equipo de trabajo o por alguna otra causa que se presente en el lugar de la obra.
- El hincado de este ademe parcial puede realizarse mediante una perforación previa de aproximadamente la longitud del ademe a hincar, de manera que puede ser instalado por peso propio con ayuda del cable auxiliar de la perforadora o con la ayuda de la grúa que hace mancuerna con ésta.
- Una vez hincado el ademe a la profundidad de proyecto, se procede a realizar la perforación por el interior del ademe utilizando un bote de perforación con el diámetro requerido, que al girar actúa sobre el material empacándolo dentro de él, luego entonces la herramienta es extraída con el kelly y vaciada a pie de perforadora (*Fig. 43*). Esto se realiza en repetidas ocasiones hasta la profundidad que indiquen los planos y especificaciones respectivas.

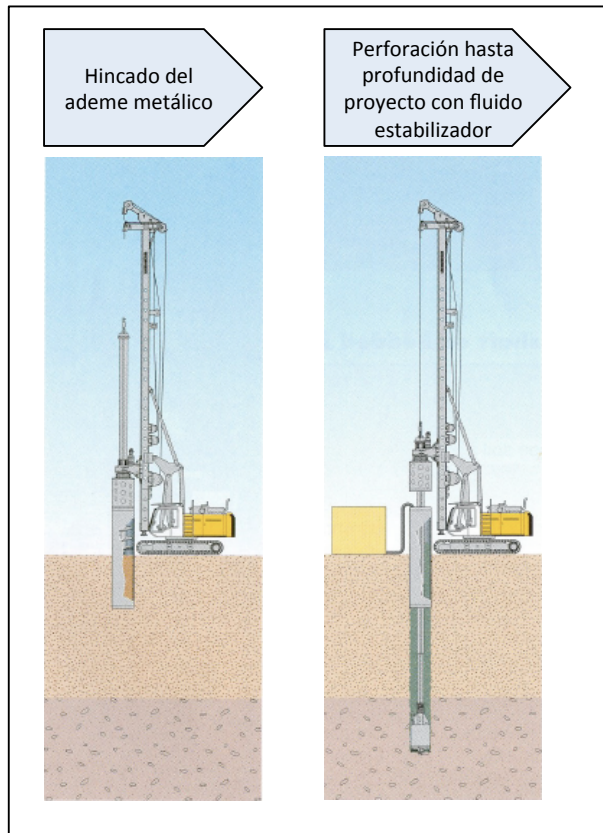


Fig. 44. Perforación con ademe metálico parcial y fluido estabilizador

- El suministro del fluido estabilizador es constante y es realizado al mismo tiempo que la herramienta corta el material en la perforación. En caso de existir un nivel de aguas freáticas (N.A.F.) es necesario mantener el nivel del fluido estabilizador por lo menos 1.5 m sobre el espejo de éste, como se ilustra en la Fig. 45.

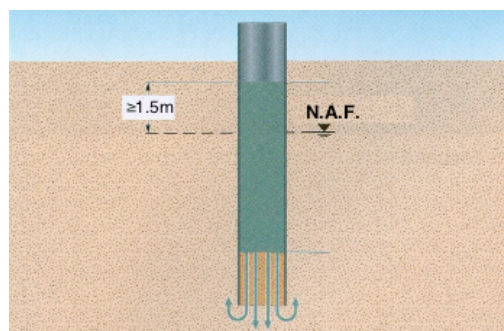


Fig. 45. Esquema de condición de nivel de fluido estabilizador



- Durante todo este procedimiento es necesario verificar las condiciones físicas de la perforación, como la verticalidad y la profundidad de desplante. La verticalidad es verificable hoy en día electrónicamente según el equipo utilizado. Adicionalmente se puede controlar la verticalidad del equipo y de la perforación por medio de referencias como plomadas alineadas a “ojo” con el eje del kelly.
La profundidad de desplante, la igual que la verticalidad, hoy en día es verificable mediante los sistemas interactivos de las perforadoras. La forma de medir la profundidad de perforación de manera rudimentaria, es utilizando marcas equidistantes en un cable o sonda, tomando como base la medida de longitud del bote de perforación, que es conocida.
- Después de haber alcanzado la profundidad de proyecto, es necesario realizar la limpieza del fondo de la pila con un bote de limpieza. Con esto se asegura que no hay presencia de caídos, azolve o elementos ajenos que entorpezcan la penetración del acero y afecten la longitud efectiva de proyecto de la pila, proporcionando así certeza de calidad al trabajo.
- Antes de colocar el acero de refuerzo, se verifica con una sonda la profundidad total y final de la pila, registrándola en el formato correspondiente y verificada por supervisión y topografía de la obra.
- Antes de colocar el concreto, se verifica que el lodo bentonítico mantenga las propiedades adecuadas de viscosidad, densidad y porcentaje de arena. Si el lodo se encuentra contaminado, entonces se cambia por fresco.
- Subsecuentemente se realiza el izaje y colocación de acero de refuerzo y posteriormente el concreto (*Fig. 46*).
- El fluido que emerge de la perforación cuando se lleva a cabo la instalación del concreto debido al desplazamiento de volúmenes, debe ser extraído o bombeado continuamente. Este fluido es con frecuencia bombeado a pipas que los transportan a tiros autorizados, contenedores temporales o en el mejor de los casos es enviado a un desarenador, el cual tiene la capacidad

de reciclarlo y de así realizar un ciclo de re-uso del fluido estabilizador. (ver funcionamiento del desarenador en Equipos de Perforación).

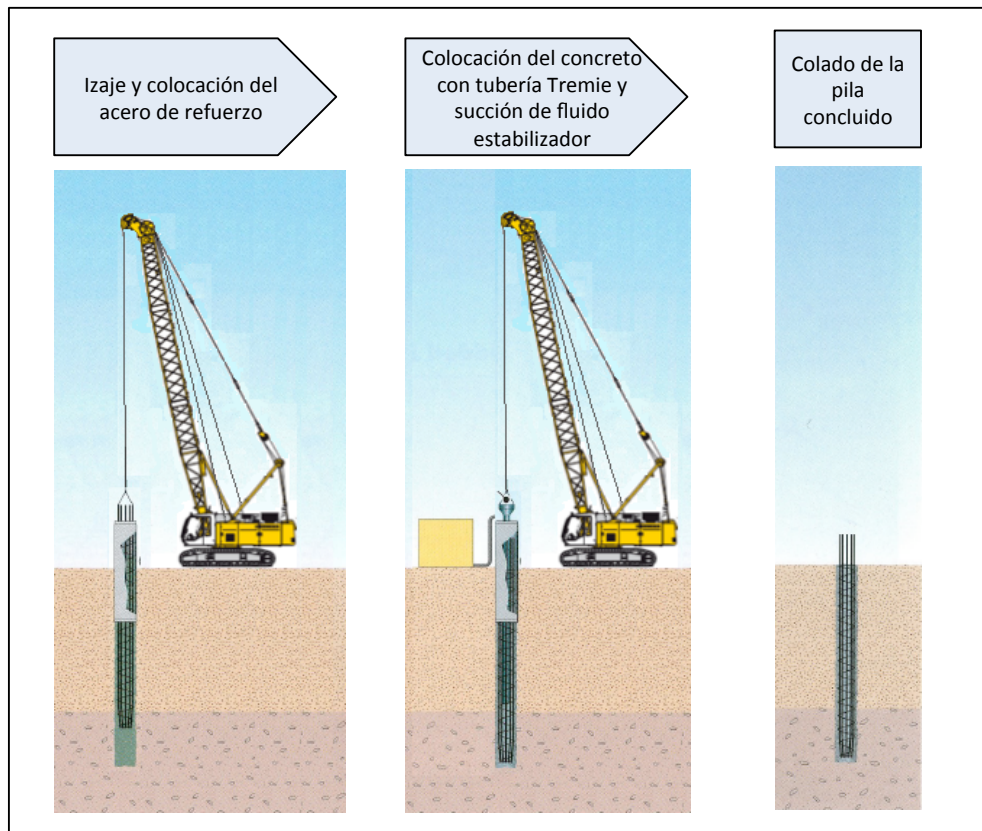


Fig. 46. Colcoación del acero de refuerzo y colado de pila

- El tiempo que transcurra desde el término de la perforación hasta colocar el armado o refuerzo de la pila y el concreto, no debe ser mayor a 4 horas en ninguna circunstancia, en caso contrario, se debe de repetir la verificación y limpieza del fondo de la perforación.
- Al término de las actividades de perforación o en el mejor de los casos, durante las actividades de perforación, el material extraído es retirado del sitio de trabajo, trasportándolo al sitio de tiro autorizado.
- La extracción del ademe metálico es ejecutado con la ayuda de la grúa auxiliar o el cable auxiliar de la perforadora al término de la colocación del concreto.



Fluidos estabilizadores

Durante el proceso de perforación, el fluido estabilizador se utiliza para:

- Estabilizar las paredes; en el caso del lodo bentonítico, se forma una película plástica e impermeable producida por la deposición de las partículas del lodo al filtrarse por las paredes de la perforación. Esta película permite que se desarrollen las presiones hidrostáticas del lodo contra las paredes de la perforación.
- Durante el proceso de perforación, se producen cortes del material excavado que son removidos del fondo y transportados a la superficie por la circulación del lodo o fluido (air-lift).
- Enfriar y lubricar la herramienta de perforación, evitando el daño que pueda presentar la generación de calor por la continua fricción.
- Contrarrestar subpresiones que se presentan por gases u otros; para ello es común la adición de materiales como la barita.
- Los fluidos estabilizadores que se aplican en la práctica profesional son: soporte con agua, soporte con lodo bentonítico y soporte con polímeros.

Soporte con agua



Fig. 47. Estabilización con agua

Para que la aplicación del agua (*Fig. 47*) como fluido de soporte temporal sea factible, se necesita una carga hidráulica de por lo menos 2.0 m por encima del nivel freático, y con aplicación en arcillas (bentonítico o no), limos y arenas finas.



Soporte con lodo bentonítico



Fig. 48. Estabilización con lodo bentonítico

La estabilización de perforaciones con lodo bentonítico (*Fig. 48*), se aplica en suelos inestables que presenten problemas de derrumbes, ya sea por la presencia de nivel freático o por propiedades mecánicas desfavorables.

El llenado de la perforación con lodo bentonítico es gradual, sustituyendo progresivamente al material extraído de la perforación.

El lodo bentonítico es el más comúnmente utilizado en México, por su bajo costo y por su fácil preparación, la cual incluye agua dulce, mezclado con bentonita sódica o cálcica.

El lodo bentonítico se puede contaminar durante la perforación por la captación de sólidos indeseables, ya sea arcillas que provoquen un incremento en la viscosidad o arena de las formaciones atravesadas que causen problemas de sedimentación, las cuales pueden contaminar la punta y el fuste de la pila colada.

Soporte con polímero



Fig. 49 Estabilización con polímero

Este fluido se utiliza para estabilizar perforaciones de pilas o zanjas de muro Milán, y consiste en una solución de una cadena larga de moléculas de peso molecular bajo, diluida en agua. Como resultado de su estructura tipo red, las



moléculas son capaces de mantener en suspensión las partículas pequeñas, y mostrar propiedades similares a las suspensiones bentoníticas. Algunos son biodegradables o fácilmente degradables.

El manejo de este fluido requiere de cuidados especiales para minimizar la fricción; su punto de fluencia es nulo, por lo que las partículas sólidas no se mantienen en suspensión.

Una característica importante de este lodo es que no se mezcla con el concreto de la pila, por lo que ésta última no se contamina y su desarenado se facilita respecto del lodo bentonítico, ya que únicamente requiere tanques sedimentadores. Se pueden utilizar con agua salada o con agua de mar sin perder sus propiedades coloidales. (Fig. 49)

Perforación sin ademe metálico



Fig. 50. Perforación sin empleo de ademe metálico

La perforación para pilas de cimentación sin uso de ademe metálico (Fig. 50), es aplicable cuando el suelo es lo suficientemente estable como para soportar los esfuerzos generados por las actividades de perforación sin sufrir deformaciones importantes que puedan cerrar al diámetro de perforación, o sin que haya caídos, tanto en la parte

superior como en todo lo largo de la perforación.

El procedimiento constructivo, por supuesto a excepción del uso del ademe metálico, es el mismo que el descrito para la *perforación con empleo parcial de ademe metálico y sin fluido estabilizador*.

1.3.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CON HÉLICE CONTINUA



Fig. 51. Izq. Hélice continua SOILMEC. Centro: Hélice continua MAIT. Der. Hélice continua LIEBHERR

A diferencia de la perforación con sistema de kelly, con el sistema de hélice continua no hay necesidad de usar ademes metálicos o fluidos de soporte temporal, ya que la perforación es llevada a cabo mediante una hélice continua (Fig. 51), que es introducida en el suelo en un solo tramo hasta alcanzar la profundidad de proyecto; como consecuencia, el mismo suelo es el soporte de la perforación.

Gracias a que la hélice continua es hueca, es posible rellenar de concreto la perforación al mismo tiempo que ésta se va extrayendo junto con el material, ya que es a través de este hueco o “alma” (especie de tubería central) que el concreto es introducido mediante bombeo. La sección transversal de la perforación corresponde, por lo menos, al diámetro exterior de la hélice continua.

Dependiendo de las condiciones y propiedades del suelo, este método produce cierto desplazamiento del suelo a medida que la hélice va siendo introducida.



Desplazamiento parcial de suelo

Desplazamiento casi nulo de suelo con alma estrecha

Este método de perforación consiste en la introducción de la hélice continua en el suelo en un solo tramo, llenándose las “alas” de la hélice con el material excavado; un ligero desplazamiento de suelo, casi nulo, se producirá dependiendo del diámetro del “alma” de la hélice. La colocación del concreto se hace a través del “alma”, y el acero de refuerzo es introducido después de colocado el concreto; ambas actividades se describen a detalle en sus respectivos puntos de este capítulo.

El procedimiento es el siguiente:

- Antes de comenzar la perforación, se verifica la calidad de la plataforma de trabajo, debiendo contar con características de conformación, compactación y afine que aseguren la estabilidad de la maquinaria. Es importante hacer énfasis en este punto, ya que el equipo y la misma maniobra requieren un terreno bien compactado y estable, que resista el equipo mismo y la fuerza que se le transmite en el momento en que se retira la hélice con todo y el material removido.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona la referencia exacta en donde se construirá la pila de cimentación. A partir de esta referencia se traza una circunferencia por fuera de la ubicación de la perforación, con la finalidad de tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación.
- La hélice continua es introducida al suelo en el punto exacto en el que topografía coloca la referencia, comenzando a cortar el suelo y llenando con éste los espacios de la broca. La introducción de la hélice continúa sin parar hasta alcanzar la profundidad de proyecto (*Fig. 52*).

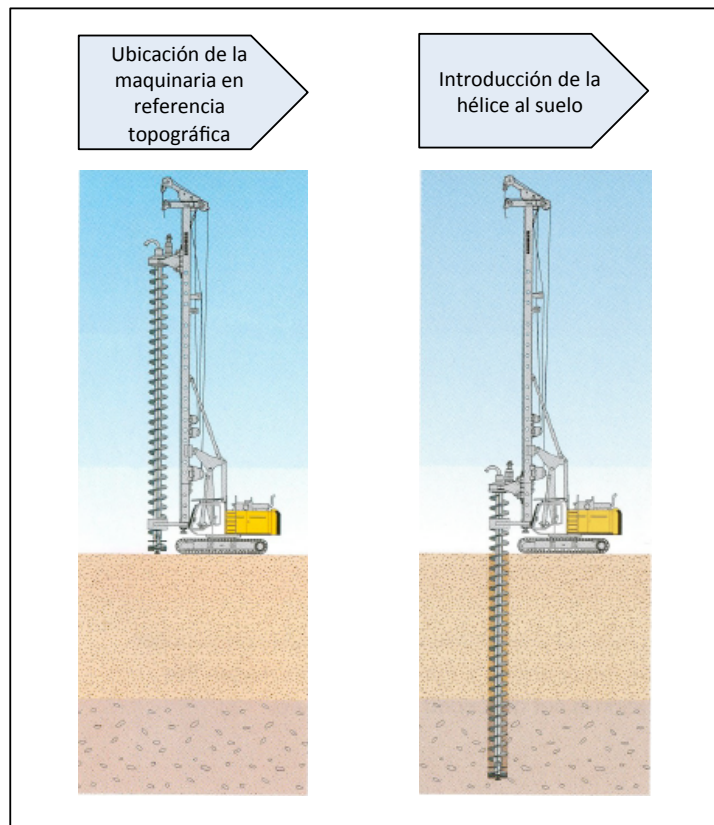


Fig. 52. Perforación con hélice continua

- Durante todo este procedimiento es necesario verificar las condiciones físicas de la perforación, como la verticalidad y la profundidad de desplante. La verticalidad es verificable por medio de pantallas de control en la cabina, que el operador puede cotejar en todo momento, contando en ocasiones con sensores automáticos que la corrigen por medio de los gatos hidráulicos del mástil.
La profundidad de desplante, al igual que la verticalidad, es verificable mediante los sistemas interactivos de las perforadoras, los cuales son capaces de informar al operador en tiempo real la profundidad de perforación, entre otros; o de manera convencional, midiendo la longitud de hélice que ha sido introducida al suelo restándola a su longitud total.
- El alma de la hélice es hueca, es decir, contiene una tubería estrecha en su centro, la cual está cerrada en su extremo inferior por una punta

desechable (es desechable porque se queda perdida en la pila). Cuando la profundidad de desplante de proyecto es alcanzada, el concreto comienza a ser bombeado a través de la tubería central de la hélice, botando con la presión la punta desechable que la sella.

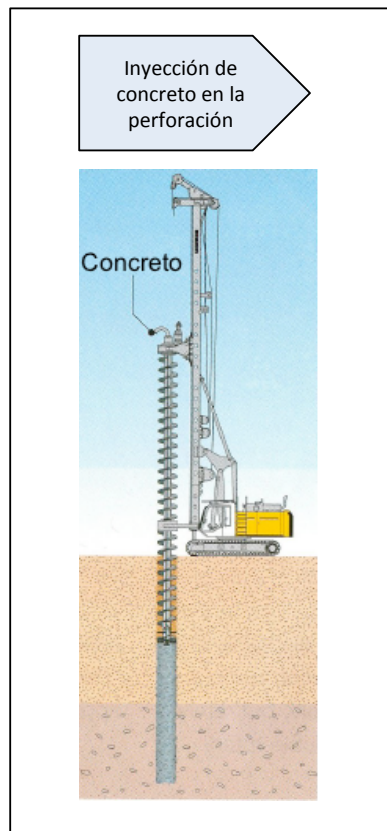


Fig. 53. Extracción e inyección de concreto o mortero

- La hélice (que está llena de material) comienza a ser extraída sin ninguna rotación, al mismo tiempo que el concreto es inyectado en a perforación. Mediante este proceso, el concreto va tomando el lugar del suelo de manera continua. Se concluye con la colocación del concreto hasta la superficie del terreno natural o hasta el nivel de proyecto (*Fig. 53*).
- En el momento en que la hélice es extraída, el material removido se vacía para poder ser retirado del sitio de trabajo. Es importante mencionar que



existen protecciones para que dicho material, considerando la cantidad y altura que pueda tener, no se generen accidentes o afecciones a la salud.

- La colocación del acero de refuerzo (en su caso), se realiza una vez que el concreto ha sido totalmente introducido, con la ayuda de un vibrador o un perfil metálico (Fig. 54). Ya que los diámetros de perforación son limitados y considerando la gran capacidad que tienen estos equipos, es posible que los armados puedan ser izados por el cable auxiliar de la perforadora.

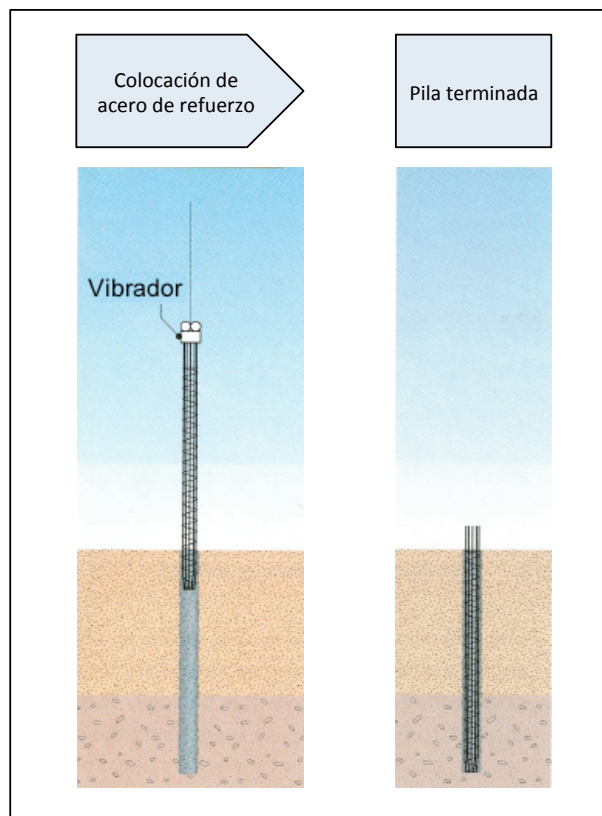


Fig. 54. Colocación de acero de refuerzo

Desplazamiento parcial de suelo con alma ancha

La introducción de la hélice continua en el suelo se realiza en un solo paso, llenándose las alas de la broca con el material excavado y con desplazamiento de material provocado por la tubería central ancha de la hélice continua. El acero de refuerzo es introducido a través de la tubería central de la hélice y después se



lleva a cabo la colocación del concreto, ambas actividades se describen a detalle en sus respectivas secciones.

El procedimiento es el siguiente:

- Antes de comenzar la perforación, se verifica la calidad de la plataforma de trabajo, debiendo contar con características de conformación, compactación y afine que aseguren la estabilidad de la maquinaria, ya que se generan grandes esfuerzos por el equipo y el momento en que se retira la hélice con todo y el material removido.
- El personal de topografía de la obra localiza y posiciona la referencia exacta en donde se construirá la pila de cimentación. A partir de esta referencia se traza una circunferencia por fuera de la ubicación de la perforación, con la finalidad de tener referencias fijas y a la vista del centro de la perforación.
- La hélice continua es introducida al suelo en el punto exacto en el que topografía coloca la referencia, comenzando a cortar el suelo y llenando con éste los espacios de la broca. Conforme se llenan dichos espacios, la hélice va desplazando el material a por lo menos 1.5 veces el diámetro original, gracias a la tubería central (ancha) de ésta. La introducción de la hélice se desarrolla sin parar hasta alcanzar la profundidad de proyecto (*Fig. 55*).

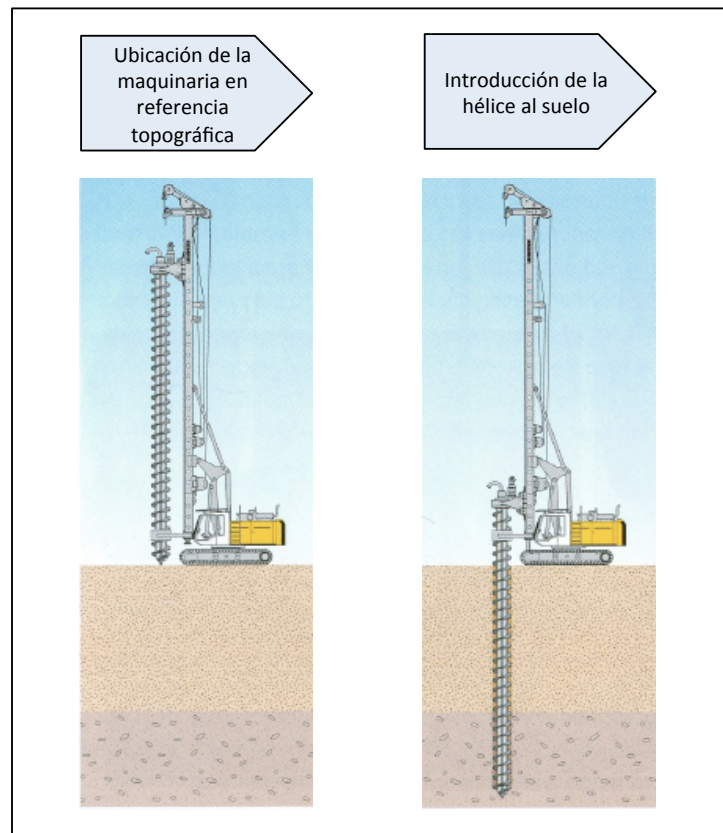


Fig. 55. Perforación desplazamiento de suelo

- Durante todo este procedimiento es necesario verificar las condiciones físicas de la perforación, como la verticalidad y la profundidad de desplante. La verticalidad es verificable por medio de pantallas de control en la cabina que el operador puede cotejar en todo momento, contando en ocasiones con sensores automáticos que la corrigen por medio de los gatos hidráulicos del mástil.
- La profundidad de desplante, al igual que la verticalidad, es verificable mediante los sistemas interactivos de las perforadoras, los cuales son capaces de informar al operador en tiempo real la profundidad de perforación entre otros; o de manera rudimentaria, se obtiene el dato fácilmente observando la longitud de hélice que ha sido introducida al suelo restándola a su longitud total.



- Una vez alcanzada la profundidad de proyecto, se realiza la introducción del acero de refuerzo a través de la tubería central de la hélice, la cual está cerrada en su extremo inferior por una punta o tapa desechable. Como los diámetros de perforación son limitados para este método de perforación y considerando también la gran capacidad que tienen estos equipos, es posible que los armados puedan ser izados por el cable auxiliar de la perforadora (Fig. 56).
- Teniendo el acero de refuerzo dentro de la tubería central de la hélice, se procede a bombear el concreto dentro de ésta.
- Al mismo tiempo que el concreto va siendo bombeado, la hélice continua se comienza a extraer con todo el material contenido (Fig. 56).

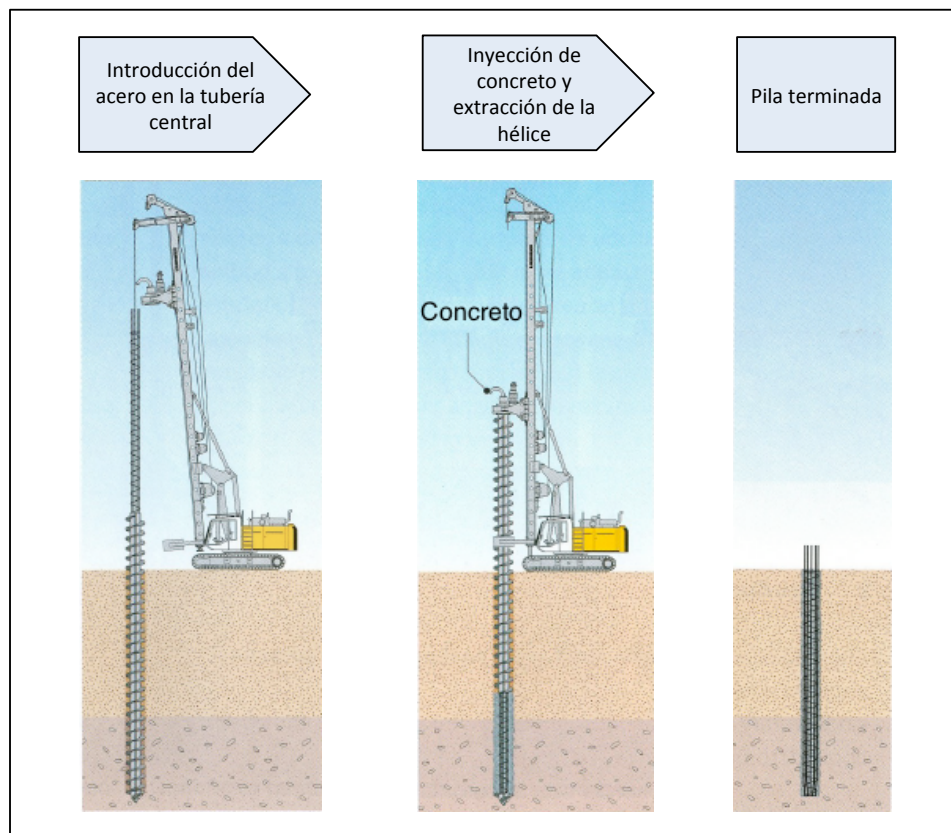


Fig. 56. Colocación del acero de refuerzo, extracción de hélice con material e inyección del concreto o mortero



- En el momento en que la hélice es extraída, el material removido se vacía para poder ser retirado del sitio de trabajo. Es importante mencionar que existen protecciones para que no se generen accidentes o afecciones a la salud de los trabajadores o personas cercanas a la obra.

Desplazamiento total de suelo

Existe una variante de este método, por la similitud en su ejecución, denominado “pilote con desplazamiento total de suelo”.

Este método de perforación no difiere mucho del método de *desplazamiento parcial de suelo con tubería central ancha*; en lugar de una tubería central ancha, se utiliza un tubo, de espesor grueso, con una hélice corta en la punta. Dependiendo del sistema y de las características del suelo, el final del tubo puede estar sellado por una base llamada “punta perdida” (ver Fig. 57) o con una hélice cónica (ver Fig. 58) corta con abertura para la inyección del concreto o mortero.



Fig. 57. Punta perdida para inyección de concreto o mortero (BAUER)



Fig. 58. Perforadora con hélice para desplazamiento total de suelo con hélice cónica (BAUER)



La introducción del tubo en el suelo se realiza mediante el desplazamiento total del material y en un solo paso.

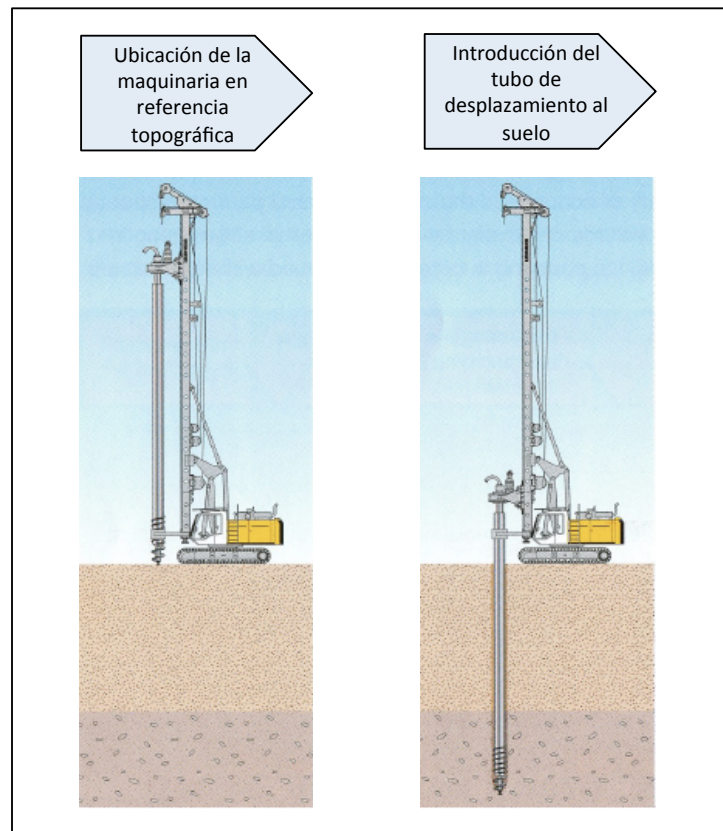


Fig. 59. Desplazamiento total de suelo

A partir de que la profundidad de proyecto es alcanzada, existen dos variantes para este método en el proceso de colocación de acero, concreto y extracción del tubo de perforación:

- Si el tubo de perforación está sellado en el fondo con una tapa que se pierde en la perforación, entonces el acero y el concreto son colocados en seco dentro del tubo (similar a la *perforación con ademe metálico en toda la longitud de la perforación*). El tubo es extraído poco a poco conforme el concreto es colocado (Fig. 60).

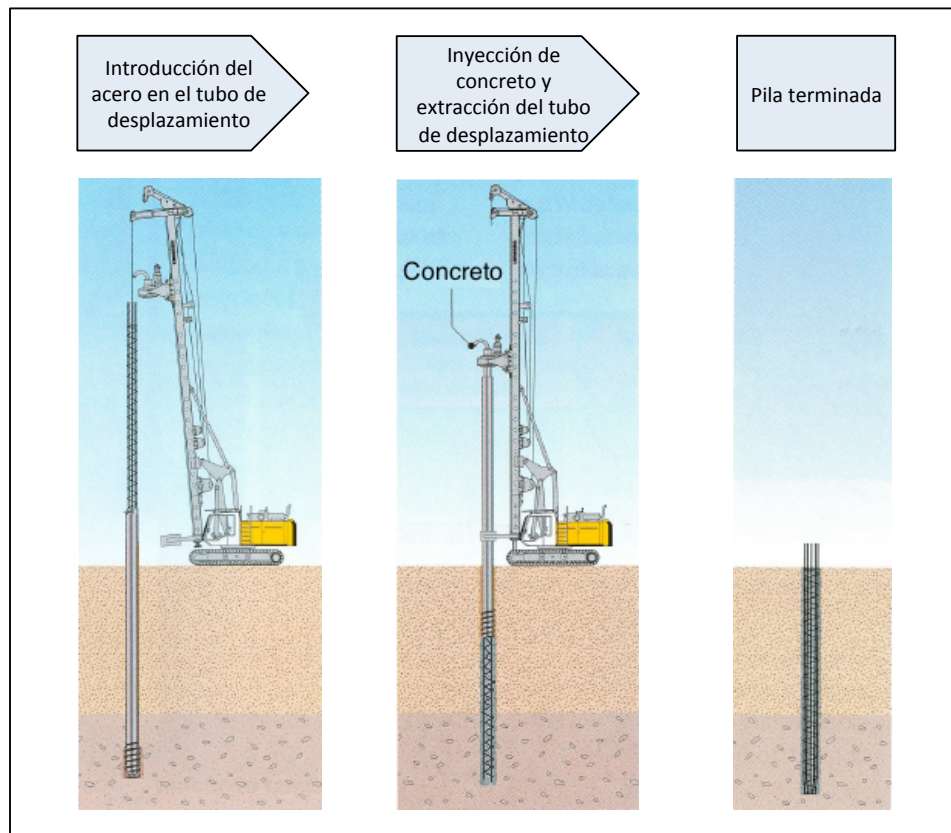


Fig. 60. Colocación de acero de refuerzo e inyección de concreto o mortero

- Si el tubo termina con una hélice cónica corta con abertura para la inyección de concreto, entonces el procedimiento de colocación del concreto y el acero de refuerzo se realiza de manera similar al *desplazamiento nulo de suelo con tubería central estrecha*, en donde después de alcanzada la profundidad de proyecto, el concreto es bombeado a través de la tubería de inyección de concreto, al mismo tiempo que el tubo de desplazamiento es extraído. Después de colocado el concreto en la longitud total de proyecto de la pila, el acero de refuerzo es introducido en el concreto fresco, ya sea mediante vibración o presión (Fig. 61).

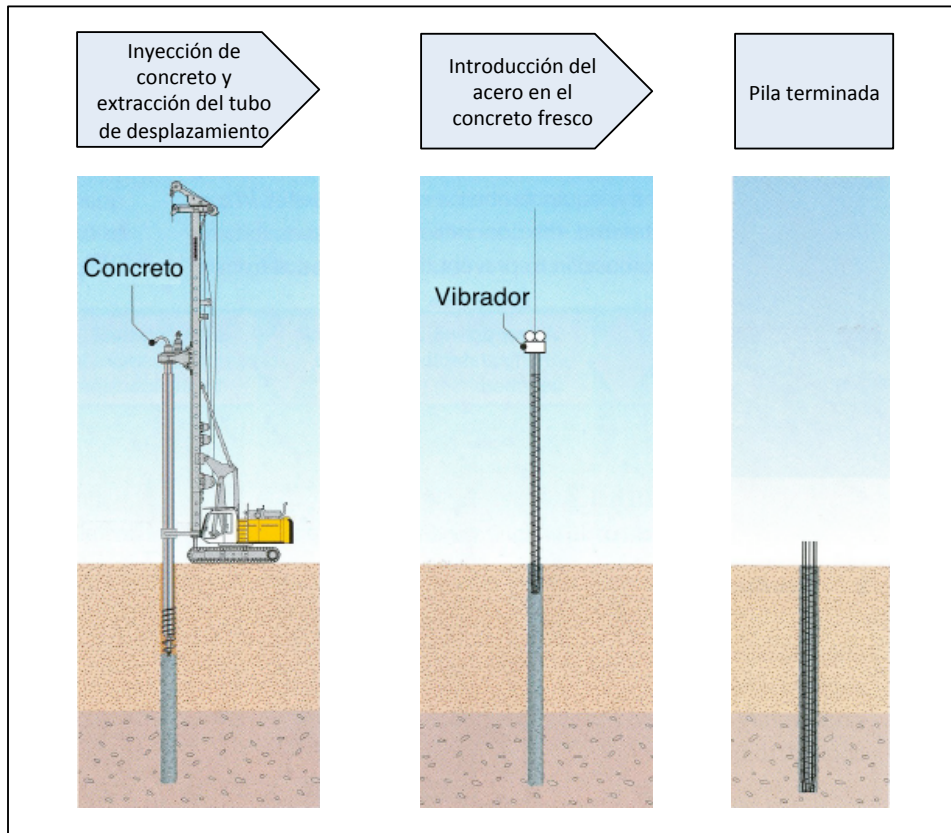


Fig. 61. Inyección de concreto o mortero y colocación de acero de refuerzo

1.4 ACERO DE REFUERZO



Fig. 62. Izq. Habilitado y almacenamiento de acero. Medio: Izaje de acero de refuerzo. Der.: Colocación de acero de refuerzo en la perforación



1.4.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

El concreto reforzado es un material de construcción ideado para que la combinación de acero y concreto trabajen como una unidad estructural, con lo que se aprovechan de la mejor manera posible las propiedades de cada uno de estos materiales.

Al endurecerse el concreto se contrae y aprisiona firmemente al acero de refuerzo; cuando a estas dos unidades se aplican cargas, los dos materiales actúan como si fueran uno solo. A esta fuerza de sujeción se le conoce como adherencia.

Es labor del proyectista producir un elemento estructural económico, para lo que se estudia al elemento bajo las cargas posibles, cargas que definan en dónde se producen los esfuerzos de tensión, compresión cortante, así como su cantidad o valor.

Existen tres tipos de aceros de refuerzo definidos por su *Límite de Fluencia* ($F'y$), es decir, el punto de fatiga en el cual después de aplicada una carga, el material ya no se recupera siguiendo la *Ley de Hooke*⁷.

Los tres aceros son: Límite de Fluencia= $2,320 \text{ kg/cm}^2$ llamado comúnmente acero normal; de Límite de Fluencia= $4,200 \text{ kg/cm}^2$, llamado acero de alta resistencia o AR-42 y de Límite de Fluencia = $6,000 \text{ kg/cm}^2$, llamado comercialmente AR-80.

El alambroón se usa principalmente para tomar esfuerzos de tensión diagonal, se fabrica en acero $F'y= 2,320 \text{ kg/cm}^2$ y se forman las varillas de 6.4 mm de diámetro. Está restringido a usarse en estribos, conectores de elementos y como refuerzo para tomar esfuerzos cortantes por fricción.

El alambre recocado se usa para amarrar las varillas entre sí, es normalmente alambre del #8. No tiene función estructural.

⁷ Ley de elasticidad de Hooke: para casos de estiramiento longitudinal, establece que el alargamiento unitario que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

1.4.2 ACERO EN PILAS DE CIMENTACIÓN

Una pila de cimentación profunda es construida con concreto fresco, la cual puede contener refuerzo de acero o no, es decir, concreto reforzado o no. Existen diferentes tipos de refuerzo de acero en pilas, como armados de acero (tipo jaula: refuerzo longitudinal y refuerzo transversal con estribos o zunchos), perfiles metálicos, mixtos o con tubería de ademes metálicos perdidos, entre otros, (ver Fig. 62 y 63).

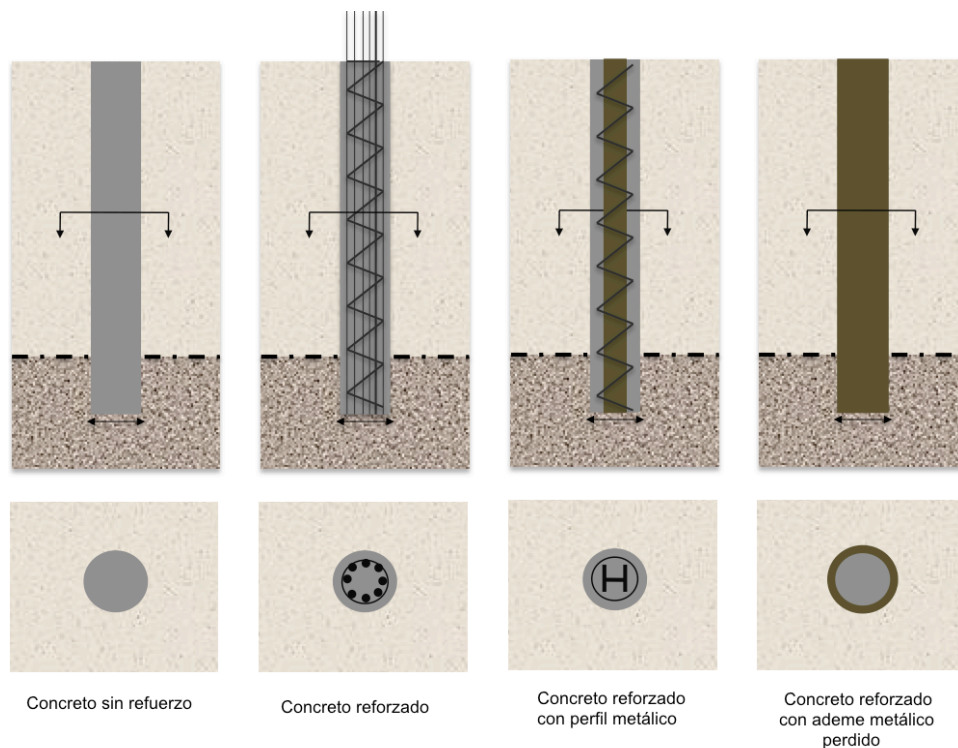


Fig. 63. Tipos de refuerzo en pilas de cimentación

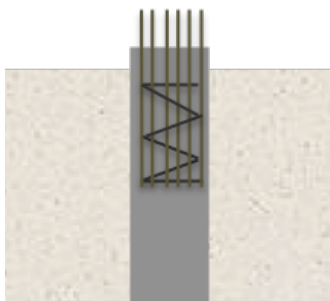


Fig. 64. Refuerzo de ligadura estructural

Cuando las pilas sólo están sujetas a esfuerzos de compresión, suelen dejarse sin acero de refuerzo o con un refuerzo de acero en la cabeza de la pila que permita la conexión estructural entre la superestructura y la subestructura, además de tener el objeto de prevenir la tendencia del concreto a elevarse al extraer el ademe, si



este fuera el caso (ver *Fig.64*).

Las pilas sujetas a fuerzas de tensión, laterales, excéntricas, compresión y sus combinaciones requieren de un refuerzo especial que es diseñado por los proyectistas según las solicitudes de la estructura y bajo la normatividad vigente y aplicable del lugar.

En un armado de acero tipo jaula, la función del acero de refuerzo longitudinal es de resistir los momentos flexionantes aplicados en cada sección de la pila, mientras que el acero transversal tiene tres funciones: mantener en posición al acero longitudinal (tanto en el proceso de armado como en la maniobra de izaje), resistir fuerzas cortantes y prevenir grietas longitudinales derivadas de alguna rotura e discontinuidad en el concreto. Las varillas no deben estar armadas o configuradas con una densidad alta, cantidad de acero por metro cúbico de concreto, que impida o dificulte que éste fluya libremente entre ellas.

Las pilas de cimentación profunda son, con una alta frecuencia, proyectadas o diseñadas a grandes profundidades, las cuales son mayores a las longitudes con las que frecuentemente se fabrican las varillas, perfiles metálicos o tubería de ademe metálico; cuando esto sucede se recurre a la unión estructural de los elementos mediante empalmes o traslapes, conexiones o soldadura. Para el caso de las varillas, cuando estas son iguales o menores al No. 8 se recomienda usar traslapes de 40 diámetros de la varilla, aunque nunca menores de 30 *cm*. Para las varillas del No. 10 y mayores, no se aconseja traslape o empalmes, sino conectores mecánicos, conexiones especiales o soldadura. En el caso de los perfiles metálicos y la tubería de ademe metálico, la unión estructural de los elementos se realiza por medio de soldadura. En algunos casos se emplean conexiones machimbradas reforzadas con pernos o tornillos en el caso de los ademes metálicos, así como remaches y tornillos en los perfiles metálicos.

Como toda estructura de concreto reforzado, el acero de las pilas requiere de un recubrimiento, es decir, de un espesor de concreto remanente entre la cara



exterior del elemento estructural de concreto y la cara exterior del acero de refuerzo más cercano. Dicho recubrimiento tiene por objeto proteger al acero de refuerzo de los diferentes agentes adversos, atmosféricos o químicos del ambiente en el que va a estar trabajando el elemento de concreto, ya que algunos producen corrosión, poniendo en peligro la seguridad del elemento y la integridad de la estructura, y por supuesto, influye en el comportamiento estructural.

Para proporcionar dicho recubrimiento en las pilas, se añaden elementos de acero



Fig. 65. Sepradores en la jaula de acero

liso soldados al armado o espaciadores de concreto o plástico (*Fig. 65*); garantizando que la distancia de recubrimiento sea fija y la que especifica el proyecto, a lo largo de todo el fuste de la pila.

La distancia libre entre varillas paralelas no deberá ser menor que el diámetro nominal de la varilla, o una y media veces el tamaño máximo del agregado y nunca menor de 2.5 cm.

Para llevar a cabo un exitoso izaje del acero de refuerzo, es necesario contar con un refuerzo adicional en los armados, el cual garantiza la manipulación y el traslado sin que se presenten deformaciones, movimientos o desplazamientos del acero longitudinal y/o transversal.

1.4.3 COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO

Pilas con sistema de kelly

- El habilitado del acero debe realizarse de manera que esté listo para el momento en el que la perforación esté terminada.



- Antes de realizar la maniobra, el encargado de la misma, revisará el área donde ésta se llevará a cabo, para evitar daños al personal, equipos de trabajo, vehículos, maquinaria o instalaciones.
- Es muy importante que sólo una persona le de señales al operador de la grúa, evitando con esto confusiones y riesgos.
- No se permitirá la maniobra si existen personas, vehículos, equipos y maquinaria que puedan quedar debajo del armado.
- El armado se estroba adecuadamente, con el fin de que guarde el equilibrio al momento del izaje y se balancee lo menos posible durante la maniobra, con esto se evita que se dañe o que se rompa el estrobo con el que se está izando.
- En la cara exterior del acero de refuerzo se colocan separadores de concreto o acero, para garantizar el recubrimiento de concreto especificado.
- Se aseguran todos los traslapes y otros elementos incluidos en el armado, dentro de sus ubicaciones mostradas en los planos constructivos, con el fin de no dañarlos o desplazarlos durante la instalación del armado o durante el colado.
- Una vez terminada la perforación de cada pila, se coloca dentro de ésta el acero de refuerzo, con una grúa auxiliar. Este procedimiento se realiza de manera cuidadosa.
- Si el armado no penetra de manera suave dentro de la perforación, se retira y la perforación será ajustada mediante una limpieza hasta que el armado se deslice suavemente. Se limpia, repara o reemplaza, cualquier armado que haya sido dañado.
- Si el armado que se va a colocar en la perforación está configurado en más de una sección, entonces el ejercicio del traslape entre las secciones debe hacerse de manera cuidadosa, asegurando la sección que queda colgando para evitar que esta se desprenda y se pierda en la perforación. Si este fuera el caso, es imperativo retirar la sección de armado caído y reponerlo.



- El nivel de tope y de desplante del acero de refuerzo debe ser revisado y aprobado por la supervisión y topografía de la obra.

Pilas con hélice continua

La colocación del acero de refuerzo en las pilas construidas con el método de perforación con hélice continua envuelve las mismas cuestiones de seguridad que las descritas para la colocación con *sistema de kelly*, sin embargo existen grandes diferencias en cuanto al procedimiento de colocación.

Según lo descrito en las tres diferentes aplicaciones de la hélice continua, existen dos procesos constructivos de colocación de acero y de concreto: el acero es colocado antes de la inyección del concreto, o introducido al concreto fresco ya colocado.

Para la primera situación (*desplazamiento parcial y desplazamiento total*), la colocación del acero de refuerzo se realiza de manera similar a la colocación para las *pilas perforadas con sistema de kelly y ademe metálico en la longitud total de la perforación*, es decir, se introduce en el “alama” de la hélice o del tubo de desplazamiento. Esta colocación puede ser realizada por una grúa auxiliar o por la misma perforadora, izándolo con el cable auxiliar. Esto es posible en armados de acero de refuerzo ligeros y fácilmente manejables, lo cual puede deberse (en ocasiones), a que los diámetros de perforación son limitados y la capacidad y peso de estas perforadoras son grandes.

Para la segunda situación (*Desplazamiento nulo y desplazamiento total*), la colocación del acero de refuerzo es realizada después de que el concreto es colocado en su totalidad dentro de la perforación. Para llevar a cabo esta maniobra se procede de la siguiente manera:

- Cuando el armado de la jaula de acero está siendo habilitada, es preciso soldar o asegurar en la parte superior de ésta, un plato o barra metálica.



Esta barra metálica es utilizada cuando el peso propio del armado no es suficiente para introducirse en el concreto y llegar hasta el fondo de la perforación, es decir, cuando el acero no pueda penetrar por sí solo, se auxilia de un vibrador pequeño, el cual se coloca en la parte superior del armado, colocando las mordazas en la barra de acero descrita. (Fig. 66).

- El acero de refuerzo debe ser colocado totalmente vertical y al centro de la columna de concreto.
- En el proceso de vibración, es importante vigilar que la jaula de refuerzo no soporte directamente al vibrador, de otra manera, el refuerzo puede ser desplazado hacia las paredes de la perforación, moviéndolo del centro de la pila y comprometiendo la calidad del concreto.

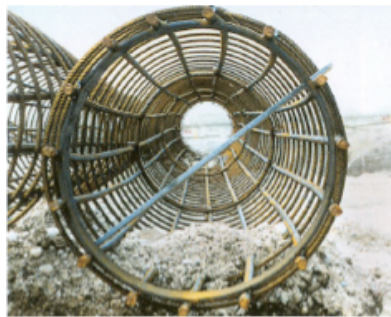


Fig. 66. Barra metálica auxiliar para vibrado del armado. (Hudelmaier and Küfner 2009)

- El acero puede ser introducido en el concreto fresco mediante la ayuda de un perfil metálico (Fig. 67). Este perfil metálico es colocado dentro de la jaula de refuerzo, suspendiéndolo y asegurándolo tanto en el pie del refuerzo como en la parte superior, de manera que pueda ser liberado cuando la maniobra termine. Éste método funciona gracias a que el perfil metálico permite ejercer mayor presión con el peso adicional que provee al armado, y es efectivo aún cuando el nivel de tope de la pila queda por debajo del nivel de plataforma de trabajo, situación en la que el vibrador no es funcional.



Fig. 67. Perfil metálico auxiliar para la inmersión del armado en el concreto o mortero fresco. (Hudelmaier and Küfner 2009)

1.5 CONCRETO HIDRÁULICO



Fig. 68. Izq. Tubería Tremie SPIT&T. Medio y Der.:Vaciado de concreto en la perforación con tubería Tremie

1.5.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla en proporciones determinadas de cemento, agregados, agua y, en su caso aditivos; es decir, el concreto es un material compuesto por un material inorgánico finamente pulverizado llamado cemento, que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones



químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuada de grava y arena no debe ser subestimada, ya que los agregados ocupan comúnmente de 65 a 80% del volumen total del concreto, influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado, en estado endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la durabilidad del concreto.

Los aditivos son materiales diferentes al agua, a los agregados y al cemento, que se pueden emplear como componentes del concreto y se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, interactuando con el sistema hidratante-cementante mediante la acción física, química o físico-química, modificando una o más de las propiedades del concreto en sus etapas de fresco, fraguando, endureciéndose o endurecido.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso del estado fluido al sólido. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

Las principales características del concreto fresco son: la trabajabilidad, la masa unitaria, la segregación, el sangrado, el fraguado y la uniformidad.

La trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto hidráulico para ser transportado, colocado y compactado.

La masa unitaria del concreto debe estar entre 1800 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 .

La segregación es la separación de los componentes del concreto hidráulico, de modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta debido a la diferencia de tamaño de las partículas y a la densidad de los componentes.



Esto puede causar bajas resistencias y mayores contracciones en el concreto. Algunas de las recomendaciones para evitar segregaciones son: colocar el concreto lo más cerca posible de su posición final, no verter concreto de una altura mayor a un metro, evitar altos revenimientos en la mezcla y nunca mover en exceso el concreto con un vibrador de inmersión.

El sangrado es una forma de la segregación, donde el flujo capilar de una parte del agua de mezclado sale en la superficie del concreto.

El fraguado es la condición alcanzada por una pasta de cemento, mortero o concreto, cuando pierde plasticidad en un grado arbitrario, usualmente medida en términos de resistencia a la penetración o deformación: fraguado inicial referido al primer endurecimiento, fraguado final referido a la obtención de una rigidez significativa.

1.5.2 EL CONCRETO EN LAS PILAS DE CIMENTACIÓN

La principal característica mecánica de este material, es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero es deficiente frente a otro tipo de esfuerzos, como tensión, flexión, cortante, etc.. Esta es la razón por la que es casi imprescindible utilizarlo en conjunto con el acero para la construcción de pilas de cimentación profunda y así responder a las diversas sollicitaciones.

En la construcción de pilas de cimentación es fundamental preservar la calidad e integridad del fuste de la pila, para lo cual hoy en día existen métodos especiales de colocación de concreto hidráulico y mezclas de éste, diseñadas particularmente para estos elementos. Dichas mezclas cuentan con la característica de tener una alta trabajabilidad (usando diferentes tipos de aditivos), alto revenimiento y auto-compactables, que permiten que la mezcla fluya con facilidad entre los espacios de la jaula de acero y el contacto con el suelo para que ocupe el volumen completo de la perforación.



1.5.3 COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN LA PERFORACIÓN

Pilas con sistema de kelly

Existen varios métodos para la colocación del concreto en la perforación, los cuales se distinguen entre sí según el tipo de perforación a llenar: perforaciones en seco y perforaciones con fluidos estabilizadores.

Para la colocación de concreto en perforaciones secas, se puede realizar el colado con bachas o recipientes especiales que descargan en el fondo, movilizadas por la grúa auxiliar, tuberías segmentadas o trompas de elefante, o bien bombas para concreto.

El procedimiento que se aplica hoy en día de manera general en el colado de perforaciones, ya sean en seco o con fluidos estabilizadores, es el de colado con tubería Tremie. Este método es empleado para evitar la contaminación del concreto con el fluido de soporte (lodo bentonítico, polímero, etc.), filtración de agua y cualquier otra situación que altere la uniformidad de la mezcla (segregación, sangrado, etc.).

El equipo Tremie esta compuesto por (ver *Fig. 69*):

- Tubería
- Tolva o cono de recepción
- Trampa
- Elevador
- Chicotes o cables
- Herramienta para retiro de chicote (comúnmente llamado “caimán”)
- Rastrillera.

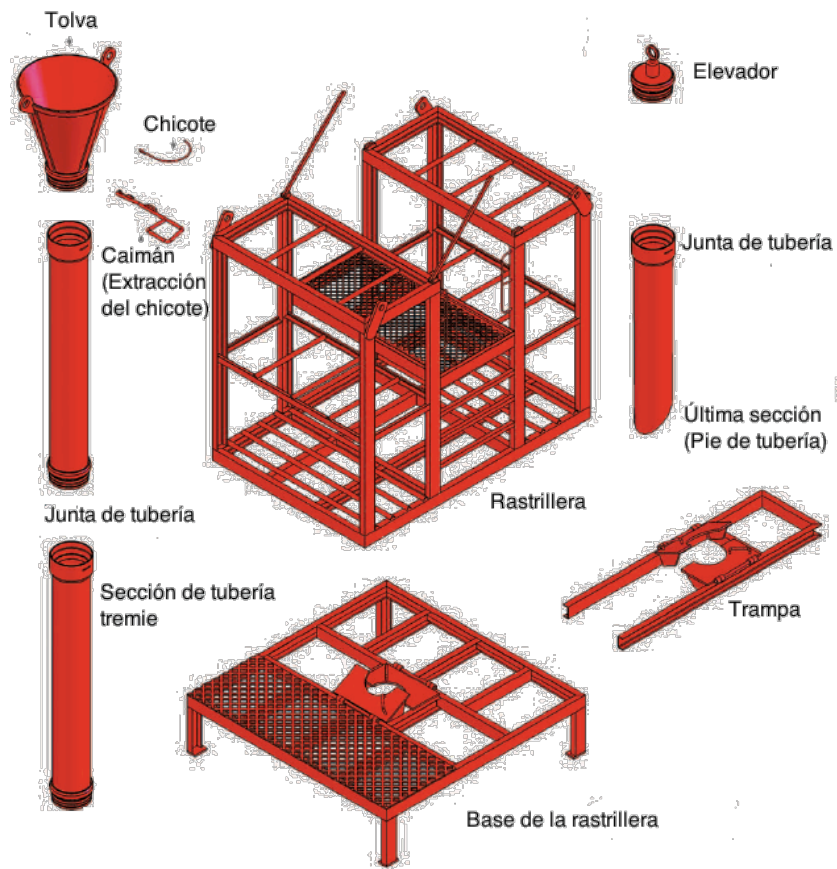


Fig. 69. Tubería Tremie (SPIT&T)

La tubería esta dividida o segmentada en tramos de 1.0 a 6.0 m, con uniones herméticas, asegurada por un cable o chicote ubicado dentro de las cuerdas de la junta o por una junta roscada, y por lo general sellado con un O'ring o cinta para tubería anticorrosiva (cinta poliken), que en conjunto impiden la contaminación del concreto con el fluido que la rodea. Se aconseja que el diámetro del tubo sea por lo menos seis veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso del concreto. Arriba de la tubería se acopla la tolva de recepción, con forma de preferencia cónica, cuya función, como su nombre lo describe, es recibir el concreto y dirigirlo a la tubería. La maniobra de ensamble y desensamble de las secciones de tubería durante el ejercicio del colado es realizada con ayuda de la trampa, la cual evita la caída de las secciones que se encuentran inmersas en la



perforación mientras se acoplan o desacoplan las secciones que están fuera de la perforación. Durante la movilización de los tubos, es recomendable engrasar y proteger sus cuerdas. Con la finalidad de facilitar y agilizar la maniobra de acople de secciones y para facilitar el almacenamiento y traslado de la tubería, es conveniente contar con una rastrillera, la cual es una estructura especialmente diseñada para contener de manera organizada a todos los componentes de este sistema.

El método de colado con tubería Tremie es implementado de tal manera que se comienza a colocar el concreto a partir del fondo de la perforación, dejando en todo momento embebida la última sección, de manera que al avanzar la colocación del colado se lleva a cabo un desplazamiento continuo del lodo o fluido, manteniendo una sola superficie de contacto, que es la del primer volumen de concreto colocado.

El procedimiento de colocación es el siguiente:

- Teniendo el acero de refuerzo dentro de la perforación (en su caso), se continúa con la colocación de la tubería Tremie debidamente limpias. Se debe colocar el concreto tan pronto como sea posible y registrarlo en el formato correspondiente.
- Para la colocación del concreto se habilita la tubería Tremie, realizando cortes de tubería en los momentos oportunos, dando el avance correcto para evitar la contaminación del concreto, juntas de material distinto de éste y para que no se mueva el acero de refuerzo de manera ascendente.
- Se introduce la línea de tubería en la perforación, cuidando que ésta esté centrada en el área transversal de la pila. La tubería debe dejarse a un diámetro de tubería del fondo de la perforación (por lo general las tuberías Tremie son de 10" de diámetro, es por esto que se recomienda dejar la tubería a 30 cm del fondo de la perforación) (*Fig. 70*).

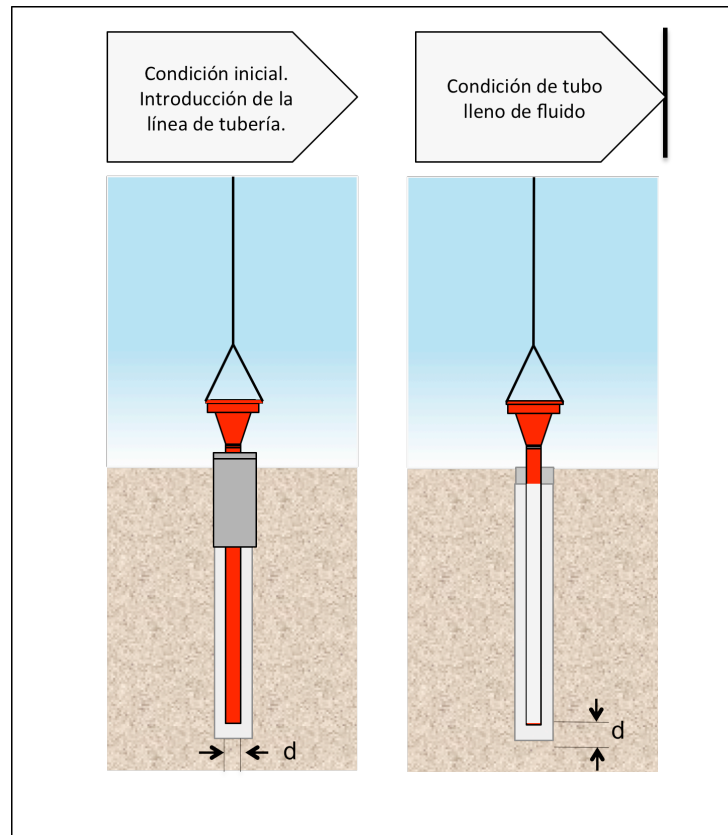


Fig. 70. Procedimiento de colado con tubería Tremie

- Se coloca en la tubería un balón de látex que hace la de una válvula de separación, este tapón deslizante tiene como función evitar la segregación del concreto al momento de ir cayendo cuando se inicia el colado, después el mismo concreto amortigua la caída de la mezcla; también tiene como función evitar la contaminación del concreto cuando se vacía directamente de la olla revolvedora a la tolva de recepción, provocando el desplazamiento del lodo o fluido estabilizador por el concreto. El vaciado de la mezcla debe de hacerse con un continuo movimiento ascendente y descendente (“chaqueteo”), con la finalidad de romper la fricción concreto-tubo; es importante vigilar que no se caiga en un exceso de movimientos verticales, ya que pueden ocasionar un ascenso del acero de refuerzo o contaminación con bolsas de lodo. Durante el colado se debe tener

siempre ahogada la tubería Tremie un mínimo de 1.5 m y un máximo de 8.0 m dentro del concreto, para evitar segregación y contaminación (Fig. 71).

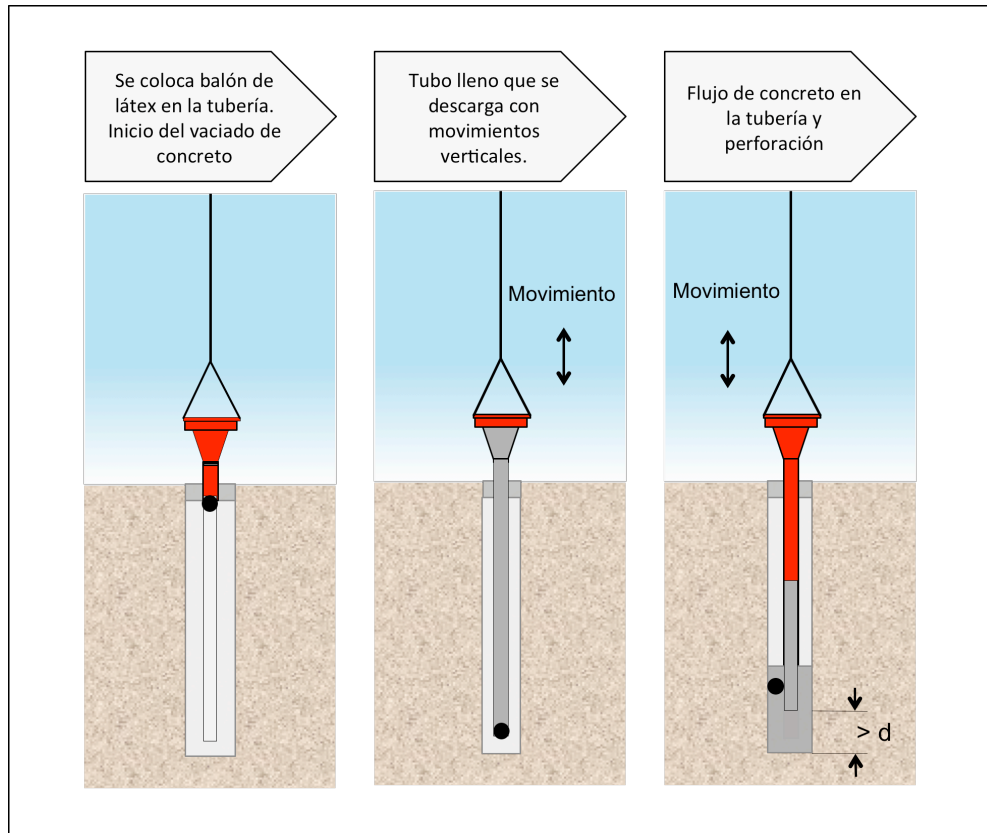


Fig. 71. Procedimiento de colado con tubería Tremie

- Se procede de manera continua con el colado para producir una pila de concreto monolítico. Una vez que el concreto alcanza el nivel de proyecto, se corrobora su nivel utilizando una sonda o referencias externas, y se procede de inmediato a extraer y lavar el total de la tubería Tremie, para evitar que se fragüe el concreto en su interior (Fig. 72).

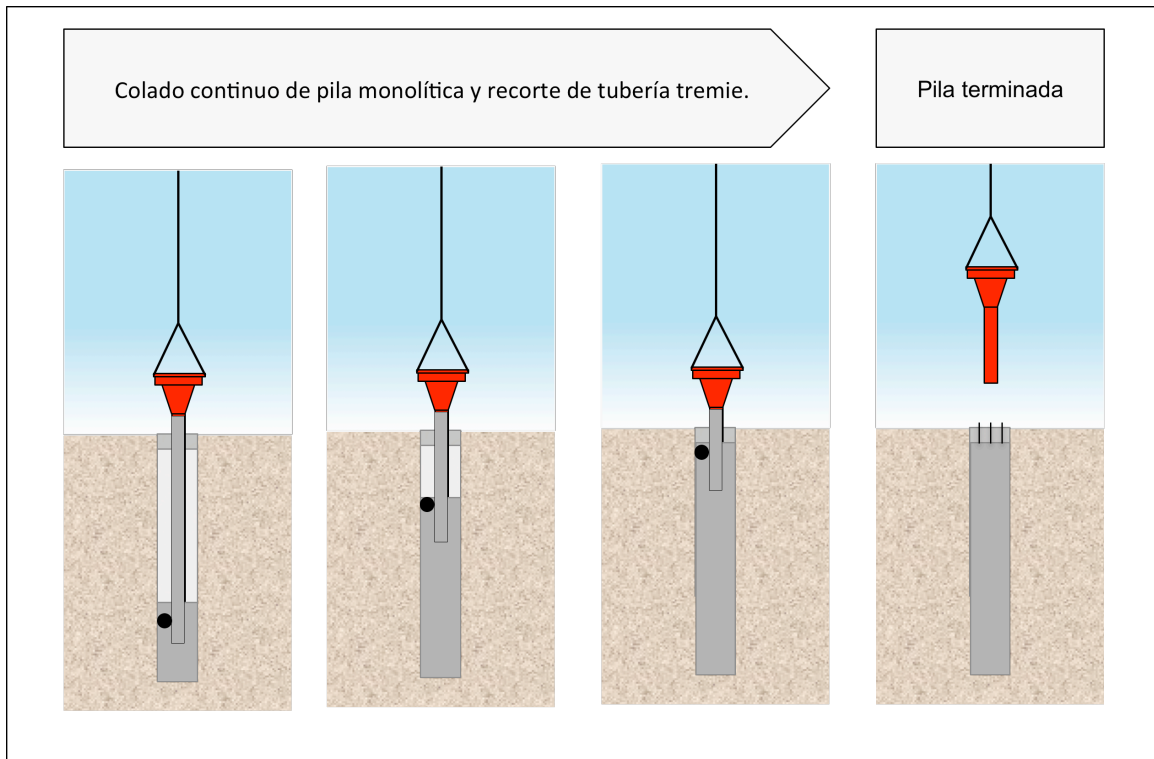


Fig. 72. Procedimiento de colado con tubería Tremie

- Cuando se usan fluidos para estabilizar las paredes de la perforación, conforme éste se desplaza al colocar el concreto, se bombea hacia tanques de almacenamiento para posteriormente pasarlo por el desarenador y restituir sus propiedades, o se manda directamente en camión pipa al tiro autorizado (Fig. 73 y 74).

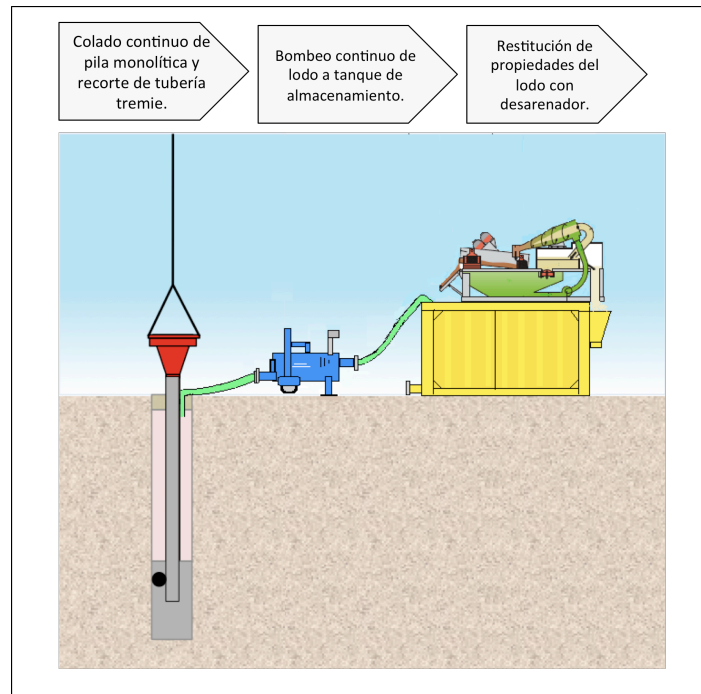


Fig. 73. Bombeo de lodos a tanque de almacenamiento para reuso, durante el colado de pila con tubería Tremie

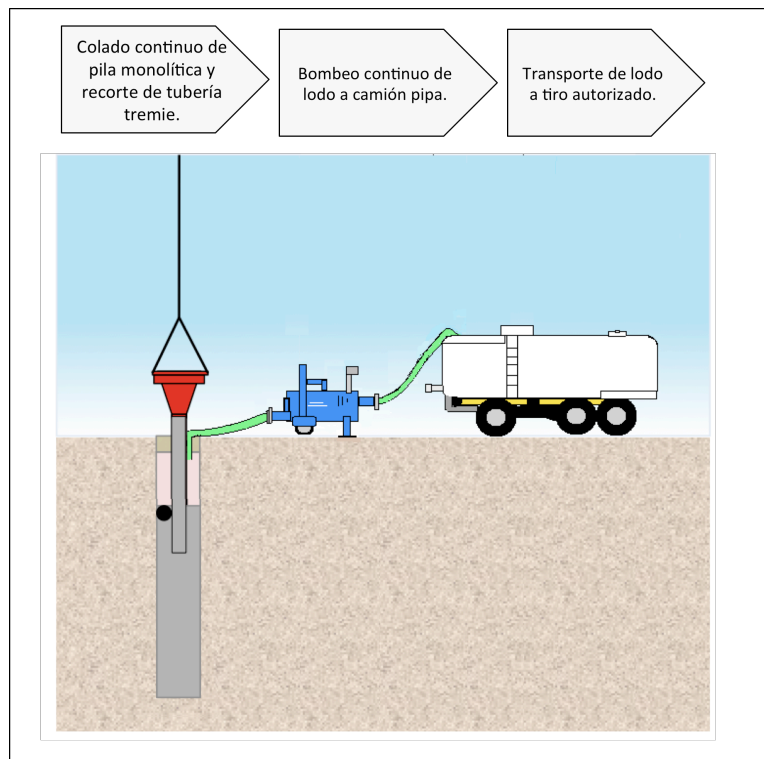


Fig. 74. Bombeo de lodos a pipa durante colado de pila con tubería Tremie



- Después del fraguado inicial del concreto, y en caso de que el nivel superior de la pila quede por debajo del nivel de terreno natural, se debe rellenar la parte superior de la pila con material seco, principalmente para evitar accidentes en la zona de trabajo.
- Llegado el momento de descubrir las varillas, se realiza el descabece de las pilas construidas, es decir, se descubre el acero de la parte superior de la pila demoliendo el concreto en esta zona, con la finalidad de darle continuidad estructural a la cimentación (*Fig. 75*).

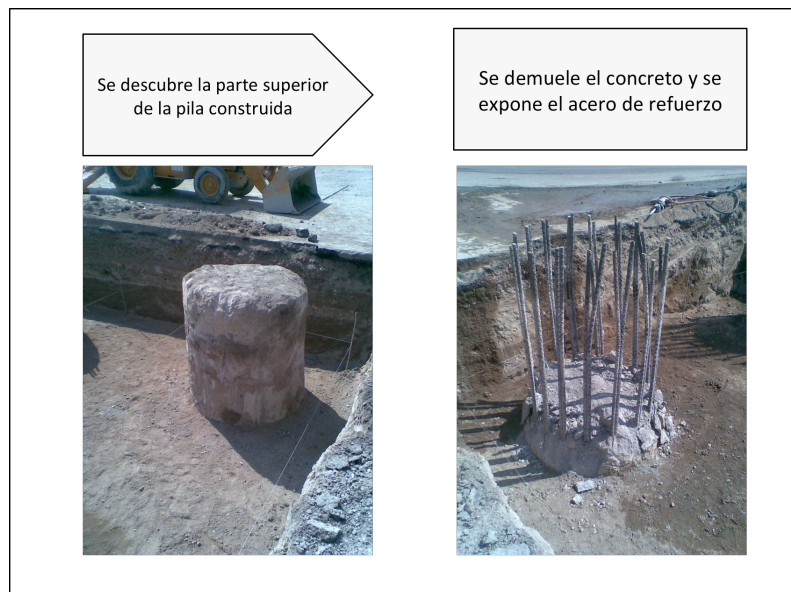


Fig. 75. Descabece de pila de cimentación

Pilas con hélice continua

La colocación del concreto en las diferentes aplicaciones de la construcción con hélice continua, es realizada mediante la inyección a presión de éste a través de la tubería de la misma hélice o tubo de desplazamiento (*Fig. 76*).



Fig. 76. Conexión de manguera con el alma de la hélice en el punto de alimentación de concreto o motero

El procedimiento es el siguiente:

- A partir de que la profundidad de proyecto es alcanzada, el concreto comienza a ser bombeado a través de la tubería central, llenándola lentamente.
- Cuando la tubería está completamente llena de concreto, continúa el bombeo y comienza a presentar presión en éste, el cual es monitoreado por el operador.
- La extracción de la hélice, o tubo de desplazamiento, debe realizarse con sumo cuidado, asegurándose que en todo momento el extremo inferior, por donde se inyecta el concreto, esté embebido en el concreto; de lo contrario podrá haber contaminación o discontinuidad del concreto.
- Cuando la hélice continua o el tubo de desplazamiento son retirados, el concreto necesita seguir siendo bombeado, previniendo la presencia de caídos en las paredes de la perforación que se va descubriendo. Por lo tanto, la parte inferior de la hélice o tubo debe estar en contacto directo con el concreto que va siendo colocado, lo cual mantiene la presión en éste.
- Si la extracción se realiza demasiado rápido, entonces la presión del concreto puede caer, caso en el que la extracción se debe detener



inmediatamente, hasta que la presión del concreto es alcanzada nuevamente mediante su bombeo y contacto con el pie de la hélice.

- El colado se concluye cuando la hélice o tubo han sido extraídos y el concreto ha sido totalmente colocado en la perforación.

Este método no requiere de soporte temporal, ya que este soporte es proporcionado por las paredes del mismo suelo.

Gracias a que la colocación del concreto se realiza a presión, la capacidad de carga final de las pilas puede ser mayor que las construidas con otros sistemas, ya que el contacto del concreto con el material de las paredes de la perforación es mejorado gracias a la presión ejercida contra éste cuando el concreto es bombeado.

Al final, si el proyecto lo dicta, se realiza el descabece de las pilas construidas; es decir, se descubre el acero de la parte superior de la pila demoliendo el concreto en esta zona, con la finalidad de darle continuidad estructural a la cimentación.