



INTRODUCCIÓN

RESEÑA HISTÓRICA

La cimentación profunda ha sido aplicada desde tiempos prehistóricos. Hace 12,000 años los habitantes de Suiza introducían troncos de madera en los suelos blandos de lagos poco profundos y construían sus casas sobre ellos. Venecia en sí misma, fue construida sobre pilotes de madera para proteger a los italianos de los invasores de Europa del Este, y al mismo tiempo permitirles estar cerca del mar y de esta manera proveerles una fuente de subsistencia.

De esta manera, la cimentación profunda tomó un giro sumamente importante con la llegada de la Revolución Industrial, a través de la invención de las máquinas de vapor y diesel.

Las pilas de cimentación profunda coladas en sitio, son uno de los métodos de cimentación que se han desarrollado gracias a la evolución de la tecnología, pues existe una distancia enorme entre las pilas excavadas a mano y rellenas de arena y piedras y los métodos constructivos existentes hoy en día con maquinaria de capacidades gigantescas. Aún así, las pilas de cimentación profunda de ayer y hoy (y la cimentación profunda en general), tienen el mismo propósito para su época respectiva: hacer posible la construcción de grandes edificaciones y construcciones en zonas donde la capacidad del suelo es desfavorable para la aplicación de cimentaciones superficiales.



Recientemente, la creciente necesidad de edificación y construcción ha forzado a los ingenieros a desarrollar cada vez mejores tecnologías que respondan a los requerimientos de diseño estructural que la evolución de la edificación y diseño demandan hoy en día, la cual surge de la búsqueda de soluciones óptimas en todo tipo de suelos, en especial en suelos blandos, como los existentes en la Zona del Lago del Valle de México.

La tecnología y los métodos empleados en la perforación de pilas de cimentación profunda han tenido un adelanto enorme en los últimos años, como consecuencia de los nuevos retos a los que la ingeniería se enfrenta, de la constante investigación y de la alta demanda de conocimientos cada vez más especializados. Tanto los conocimientos teóricos como los prácticos, se han vuelto factores sumamente importantes hoy en día para la correcta selección de métodos y maquinaria adecuados dentro del amplio horizonte de posibilidades existentes.

Ante esta demanda, la construcción se ha desarrollado de manera importante, no sólo incursionando en el adelanto de la tecnología para el ataque de los frentes de trabajo, sino en el estudio detallado de cada una de las etapas del proceso constructivo, con la finalidad de materializar de la mejor manera posible el diseño y concepción del proyecto, optimizando tiempos y recursos; obteniendo como resultado obras de alta calidad, sustentables y con un beneficio económico final importante.

CIMENTACIONES

Para que una estructura ofrezca seguridad y tenga un comportamiento correcto, debe contar con una cimentación adecuada. Aunque la cimentación es algo que no llama la atención y suele pasar desapercibida por los usuarios de la estructura, la organización de sus elementos, desde los básicos hasta los de mayor complejidad, y el estudio de cada una de sus partes, exige al ingeniero, tanto proyectista como constructor, la mayor destreza y el mejor criterio que puedan



desarrollar, tanto individualmente como en equipo. La construcción de una cimentación es, por consiguiente, el trabajo más crítico de todos los que se presentan al realizar una obra, puesto que es la base y punto de partida de todo el proceso constructivo y de la estructura en sí.

Existen varios tipos de cimentaciones, los cuales dependen entre otras cosas de su forma de interactuar con el suelo, esto es, la manera en que transmiten al subsuelo las cargas que soportan; también dependen de su técnica de construcción y del material con que son fabricadas, así como de la mano de obra, material y equipo que se requiere para construirlas (que puede ser sencillo en algunos casos o muy especializado en otros), lo que se refleja directamente en la dificultad para llevarlas a cabo y por supuesto en su costo. También puede influir la situación económica del lugar de construcción o bien podría darse el caso extremo de que la obra sea tan compleja y el terreno tan complicado para construirla, que sea necesario desarrollar un tipo de cimentación muy especial. Los tipos de cimentaciones pueden clasificarse de una forma muy generalizada como se indica a continuación:

- **Superficiales**
 - Zapatas
 - Aisladas
 - Corridas
 - De colindancia
 - Losas de cimentación
- **Semiprofundas**
 - Cimentaciones compensadas
 - Cimentaciones parcialmente compensadas
 - Cimentaciones sobre-compensadas
- **Profundas**
 - Pilotes
 - Pilas



- **Mixtas**

Básicamente es una combinación de los distintos tipos de cimentaciones, con el fin de obtener una cimentación más eficiente.

Los factores que determinan el tipo de cimentación.

Es indispensable determinar y evaluar las cargas que se transmitirán al suelo, realizar un estudio detallado de mecánica de suelos y escoger el procedimiento constructivo que sea más viable, técnica y económicamente.

Los puntos a evaluar se pueden englobar de la siguiente manera:

- **Cargas:** para realizar el diseño de la cimentación de cualquier estructura, se evalúan las acciones a las que ésta estará sometida: acciones permanentes (incluyendo el peso propio), acciones variables (incluyendo la carga viva) y las acciones accidentales (incluyendo sismo y viento). Una vez conocidas estas sollicitaciones es necesario conocer su distribución y determinar la magnitud de los esfuerzos que serán aplicados al suelo.
- **Suelo:** es de suma importancia e imperativo conocer las características del suelo en que se apoyará la estructura, mediante estudios precisos de éste, ya que su comportamiento ante las cargas definirá el tipo de cimentación correcta.

El estudio de mecánica de suelos permite determinar la configuración y composición de los diferentes estratos, así como las propiedades intrínsecas, mecánicas e hidráulicas del subsuelo. Esta información sirve de base para la adecuada selección de los estratos de apoyo y de los elementos que transmitirán las cargas al subsuelo.
- **Técnica y económica:** con el propósito de que la construcción de la cimentación sea viable, es necesario definir el procedimiento constructivo que se aplicará considerando los recursos existentes, respetando las



especificaciones geotécnicas y estructurales, considerando también que la solución sea económicamente viable y conduzca a tiempos de ejecución aceptables y convenientes, preservando constantemente la calidad de los elementos de cimentación.

CIMENTACIONES PROFUNDAS

Cuando es imposible proveer una adecuada solución para una estructura, sólo con una cimentación superficial, el uso de cimentaciones profundas se vuelve imprescindible. Esta situación se puede deber a muchos factores, ya sea por las características del subsuelo, por el orden en que sus diferentes estratos se presentan, la naturaleza de las cargas que se transmitirán al subsuelo, las características del lugar, el fin operativo de la superestructura, etc.

De igual manera, existen muchos factores que pueden intervenir en la elección entre una cimentación profunda y una cimentación superficial, o el uso de las dos.

Cuando el estrato o estratos superiores del suelo son altamente compresibles y demasiado débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura, el uso de cimentaciones profundas puede garantizar la transmisión de la carga al lecho rocoso o a una capa resistente. Cuando no se encuentra un lecho rocoso o una capa dura a una profundidad razonable debajo de la superficie del terreno, se usa un tipo de cimentación profunda especial para transmitir la carga actuante al suelo, donde la resistencia a dicha carga se deriva principalmente de la resistencia a la fricción desarrollada en la interfaz suelo-estructura.

Existen estructuras que están sometidas a importantes fuerzas horizontales, por lo que la implementación de una cimentación profunda es la adecuada, ya que pueden resistir muy bien las acciones por flexión mientras soportan la carga vertical transmitida por la superestructura. Este tipo de situaciones se encuentran



generalmente en el diseño y construcción de la cimentación de estructuras altas que están sometidas a grandes fuerzas de viento y/o sísmicas.

En muchos casos, la cimentación profunda se utiliza en la presencia de suelos expansivos y colapsables, que se extienden a una gran profundidad por debajo de la superficie del terreno. Los suelos expansivos se hinchan y se contraen, por así decirlo, conforme el contenido de agua crece y decrece (cuya presión de expansión es considerable). Si se usaran cimentaciones superficiales en tales circunstancias, la estructura sufriría daños importantes. Sin embargo, la cimentación profunda se considera como una alternativa cuando dichos suelos se extienden más allá de la zona activa de expansión y compresión.

Algunas veces se usan pilotes como elementos de cimentación para resistir las fuerzas de levantamiento; por ejemplo, algunas estructuras como torres de transmisión, plataformas fuera de costa, losas de sótano debajo del nivel freático, casas habitación, entre otras.

Los estribos y columnas de puentes son usualmente construidos sobre elementos de cimentación profunda, para evitar la posible pérdida de capacidad de carga que una cimentación superficial puede sufrir por la erosión y socavación del suelo en la superficie del terreno.

La cimentación profunda puede proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, momentos de volteo o cualquier efecto que trate de levantar la estructura, de manera que estos elementos de cimentación trabajan a tensión.

Las cimentaciones profundas pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. De acuerdo a su material de fabricación
 - a. Concreto
 - b. Acero
 - c. Mixtos (concreto armado)
 - d. Madera



2. De acuerdo al procedimiento constructivo
 - a. Con desplazamiento de subsuelo
 - b. Con poco desplazamiento de subsuelo
 - c. Sin desplazamiento de subsuelo
3. De acuerdo a su transmisión de carga al subsuelo
 - a. Carga vertical
 - i. Punta
 - ii. Fricción
 - iii. Mixta (punta y fricción)
 - b. Carga vertical y horizontal

PILAS DE CIMENTACIÓN¹

Generalmente las pilas son utilizadas para transferir las cargas de las estructuras a través de suelos o estratos con poca capacidad de carga (o insuficiente para el proyecto) hasta estratos resistentes.

Las pilas son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que la de los pilotes (área transversal mayor a 2500 cm^2), las cuales transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación, con el propósito de lograr la estabilidad del conjunto.

Una de las características básicas y primordiales de estos elementos, es que se fabrican directamente en el subsuelo, es decir, no cuentan con elementos de concreto prefabricados, por lo que se les conoce como elementos fabricados *in situ*. Esta condición hace que las pilas, o mejor dicho la solución con pilas, sea la más socorrida en la actualidad en la construcción de las grandes obras

Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son exclusivamente de compresión, las pilas pueden fabricarse prácticamente de cualquier material que

¹ (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos 2001)



tenga la resistencia requerida; dichos materiales deben ser estables durante la vida útil de la estructura que soportarán; los más utilizados son la grava, la cal, el mortero y el concreto. Las características de los estratos del subsuelo, así como las condiciones del agua subterránea, definirán el material que deberá emplearse para la fabricación de las pilas.

Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son de compresión y de tensión, las pilas por lo general se fabrican utilizando concreto reforzado con varilla de acero corrugado, tubo metálico o perfiles estructurales, siendo el perfil “H” el más común.

El acero de refuerzo puede ser especificado también como una combinación de los mencionados anteriormente y no necesariamente debe ser de la longitud de la pila cuando el acero exclusivamente absorberá los esfuerzos de tensión; en las condiciones anteriores, el anclaje del acero de refuerzo en el concreto se especifica generalmente en el tercio



Fig. 1. Acero de refuerzo en perforación

superior de la longitud total de la pila, ya que no se logrará mayor capacidad de tensión al rebasar la longitud de adherencia del acero con el concreto.

La sección utilizada con mayor frecuencia en la construcción de pilas es la circular; el diámetro mínimo no suele ser menor a 60 *cm*, con el propósito de garantizar la calidad de la pila (*Fig. 1*); mientras que el máximo puede alcanzar los 300 *cm*, si es que el comportamiento del subsuelo durante la fabricación de la pila lo permite. Cuando se requiere que el área de contacto con el estrato resistente sea mayor a la del diámetro de la pila, se utilizan ampliaciones en la base de ésta.

El proceso que se lleva a cabo para el diseño y construcción de pilas está constituido por etapas que permiten obtener la calidad requerida y una construcción eficiente, tanto en tiempo como en economía. Dicho proceso se lleva a cabo en forma ordenada y oportuna. Las actividades que lo constituyen son:



- ***Estudios geotécnicos***

Para comenzar el desarrollo del proyecto, se debe realizar exploración del subsuelo en el que se pretende construir una estructura, ya que de los resultados obtenidos y de la interpretación de las características y comportamiento del subsuelo, dependerán las decisiones que se tomen para la realización del diseño geotécnico y estructural, así como para la determinación del procedimiento constructivo. Un estudio geotécnico deficiente provoca que las actividades siguientes no se desarrollen adecuadamente, generando modificaciones durante la construcción.

- ***Diseño geotécnico y estructural***

El diseño de la cimentación tiene como fundamento los resultados que arrojan los estudios geotécnicos, tomando en consideración el tipo de pruebas de campo y de laboratorio realizadas, incluyendo su cantidad. Durante este proceso es necesaria la comunicación entre las especialidades de diseño y construcción, considerando las observaciones y sugerencias de las partes, con el propósito de que sea viable el cumplimiento de las especificaciones que se generen.

- ***Construcción***

Esta actividad parte de los resultados de los estudios y en particular de los diseños geotécnicos y estructurales, ya que es con éstos con los que se comienza la planeación, programación, presupuestación y construcción de la obra.

El procedimiento constructivo se define en función de las especificaciones determinadas por el diseño geotécnico y estructural. Un estudio geotécnico que no considere las características del proyecto por realizar, es posible que no proporcione la información que se requiere para determinar un procedimiento constructivo adecuado, resultando desorientador, provocando modificaciones que se alejan en forma importante de la



solución constructiva elegida, generando retrasos en los programas de obra y costos adicionales por la necesidad de abandonar los preparativos de los trabajos indicados en el procedimiento seleccionado.

- **Control**

Es necesario mantener un estricto control de cada una de las actividades que intervienen en el desarrollo de un proyecto. El control de la calidad de los materiales, así como su manejo, es el que con mayor frecuencia se aplica, sin embargo, este control también debe realizarse durante la exploración del subsuelo, el diseño geotécnico, el diseño estructural y la construcción, así como en las modificaciones que se tengan que llevar a cabo en cualquiera de estas actividades, por lo que es indispensable que la intervención de los consultores no termine al entregar especificaciones, sino que continúe hasta finalizar el desarrollo de la obra.

Las ventajas y desventajas más importantes que se tienen al resolver una cimentación profunda a base de pilas, son las siguientes:

Ventajas

- Considerando que las pilas son elementos fabricados in situ, no requieren de área adicional en la obra para una planta de fabricación y para su almacenamiento como elementos terminados.
- Las pilas no están expuestas a sufrir daños estructurales, ya que no se requiere que sean maniobradas y golpeadas para su instalación, como sucede con los pilotes.
- Los decibeles generados durante la construcción de una pila son muy inferiores a los que se generan al instalar un pilote prefabricado.
- La longitud de las pilas puede ser variable dependiendo de la profundidad de los estratos resistentes, pudiendo hacerse los ajustes correspondientes



prácticamente en forma inmediata (lo cual no es tan versátil en el caso de los pilotes ya que estos son prefabricados).

- La fabricación de las pilas siempre es monolítica y no requiere de juntas especiales.
- Las pilas pueden ser instaladas en subsuelos con presencia de gravas y boleos, aplicando el procedimiento adecuado que permita la estabilización de la pared de las perforaciones.

Desventajas

- Cuando existen estratos de subsuelo sin consistencia, no es posible realizar la construcción de pilas con calidad, ya que su sección puede llegar a deformarse. Se puede resolver este problema con ademes metálicos perdidos, lo cual origina un incremento en el costo.
- Es necesario siempre garantizar que en el desplante de las excavaciones no exista material suelto.
- Los cambios de presión del agua subterránea pueden deteriorar el fuste de las pilas durante su fabricación cuando se utilizan ademes metálicos recuperables y no son retirados adecuadamente.