

CIMENTACIÓN

El cimiento es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno. Dado que la resistencia y rigidez del terreno son, salvo raros casos, muy inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los soportes y muros de carga.

Lo anterior conduce a que los cimientos son en general piezas de volumen considerable, con respecto al volumen de las piezas de la estructura. Los cimientos se construyen casi invariablemente en hormigón armado y, en general, se emplea en ellos hormigón de calidad relativamente baja, ya que no resulta económicamente interesante el empleo de hormigones de resistencias mayores.

Para poder realizar una buena cimentación es necesario un conocimiento previo del terreno en el que se va a construir la estructura. Aquí vamos a realizar una pequeña introducción sobre el suelo y la roca.

Los términos roca y suelo, tal como se usan en la ingeniería civil, implican una clara distinción entre dos clases de materiales de cimentación. Se dice que roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua.

El ingeniero para preparar un proyecto debe saber cuáles son los materiales que están presentes y que propiedades poseen, este conocimiento se adquiere, parcialmente, consultando libros, pero sobre todo, extrayendo, examinando y tal vez probando muestras que considere representativas de los materiales. En la ingeniería de las cimentaciones, la experiencia es un factor inapreciable.

La correcta clasificación de los materiales del subsuelo es un paso importante para cualquier trabajo de cimentación, porque proporciona los primeros datos sobre las experiencias que puedan anticiparse durante y después de la construcción. El detalle con el que se describen, prueban y valoran las muestras, depende del tipo de estructura que se va a construir, de consideraciones económicas de la naturaleza de los suelos, y en cierto grado del método con el que se hace el muestreo. Las muestras deben describirse primero sobre la base de una inspección ocular y de ciertas pruebas sencillas que pueden ejecutarse fácilmente tanto en el campo como en el laboratorio clasificando el material en uno de los grupos principales.

Tipos principales de suelos.

Los términos principales que usan los ingenieros civiles para describir suelos son: grava, arena, limo y arcilla. La mayor parte de los suelos naturales se componen por la mezcla de dos o mas de estos elementos, y pueden contener por añadidura material orgánico parcial o completamente descompuesto.

A las gravas y las arenas se les llama *suelos de grano grueso*, y a los limos y a las arcillas *suelos de grano fino*. La distinción radica en que puedan diferenciarse las partículas a simple vista. Las partículas que tienen un tamaño mayor que aproximadamente 5 mm se clasifican como grava. Sin embargo, si el diámetro excede de aproximadamente 200mm, se aplica usualmente el nombre de *boleo*. Si los granos son visibles a simple vista pero menores a 5mm el suelo se describe como arena, esta puede ser gruesa, media y fina.

La resistencia en estado seco proporciona una base para distinguirlos. Se moldea un pequeño prisma de suelo que se deja secar al aire. Luego se rompe y tomando un fragmento de aproximadamente 3mm se aprieta con el pulgar y el índice. El esfuerzo necesario para romper el fragmento proporciona una base para describir su resistencia como muy baja, baja, media y alta o muy alta. Un fragmento de arcilla puede romperse solamente con un gran esfuerzo, mientras que uno de limo se rompe fácilmente.

Ejecutando las pruebas pertinentes de clasificación y determinando las propiedades índice correspondientes, el ingeniero adquiere medios para describir con precisión un suelo dado sin usar descripciones verbales que están sujetas a mal interpretaciones debido a la vaguedad de la terminología. Las propiedades del suelo en conjunto, dependen de la estructura y disposición de las partículas en la masa del suelo. Aunque comúnmente se usan las propiedades de los granos para fines de identificación, el ingeniero debe saber que las propiedades del terreno en conjunto tienen una mayor influencia en el comportamiento desde el punto de vista técnico del suelo.

El ingeniero especialista en cimentaciones también debe conocer las propiedades hidráulicas de los suelos. Si, por ejemplo, en la construcción de una cimentación se requiere abatir el nivel de agua freática, el ingeniero deberá estar informado con respecto a las propiedades hidráulicas y las características de drenaje de los materiales del subsuelo.

Se dice que un material es permeable, cuando contiene huecos o intersticios continuos. Todos los suelos y todas las rocas satisfacen esta condición habiendo grandes diferencias en el grado de permeabilidad de los diferentes materiales térreos. En general el coeficiente de permeabilidad se incrementa al aumentar el tamaño de los intersticios, que a su vez crece al aumentar el tamaño de los granos.

El nivel que toma el agua en los pozos de observación hechos en los depósitos de suelos se conoce con el nombre de nivel del agua subterránea, superficie libre del agua, o bien nivel freático.

Las características de esfuerzo–deformación de un suelo o de una roca, determinan el asiento que una estructura dada puede experimentar. los asentamientos de las estructuras construidas sobre mantos de arcilla blanda, que algunas veces están enterrados profundamente, debajo de materiales mas resistentes y menos compresibles, pueden producirse lentamente y alcanzar grandes magnitudes.

La relación entre la presión vertical, el asentamiento y el tiempo, se investigan en el laboratorio por medio de una prueba de compresión confinada.

Técnicas para la investigación en el subsuelo.

Para que el ingeniero pueda proyectar una cimentación inteligente, debe tener un conocimiento razonable de las propiedades físicas y disposición de los materiales del subsuelo. A las operaciones de campo y

de laboratorio necesarias para obtener esta información esencial se les llama exploración del suelo o programa de exploración.

El método que mas se adapta a una variedad de condiciones consiste en hacer sondeos en el terreno y extraer muestras para su identificación y, en algunos casos, para hacerles pruebas. Después de que se han conocido mediante sondeos preliminares las características generales de los materiales del subsuelo, puede ser adecuado un programa mas extenso de sondeo y muestreo. O puede resultar mas efectivo investigar la consistencia o la compacidad relativa de las partes mas débiles del deposito, por medio de pruebas de penetración u otros métodos directos que no requieren muestreo.

Tipo de cimentaciones y modo de construcción

Las cimentaciones de la mayor parte de las estructuras se desplantan debajo de la superficie del terreno. Por lo tanto, no pueden construirse asta que se ha excavado el suelo o roca que esta arriba del nivel de las cimentaciones.

Ordinariamente el ingeniero especialista en cimentaciones no se encarga de elegir el equipo de excavación en un lugar dado, ni de diseñar el apuntalamiento, si se necesita. Sin embargo, generalmente es su obligación del

ingeniero aprobar o recusar el procedimiento de construcción propuesto por el constructor y revisar el proyecto del apuntalamiento.

En los suelos permeables para hacer excavaciones abajo del agua freática, usualmente se requiere desaguar el lugar antes o durante la construcción

Zapatas

Una zapata es una ampliación de la base de una columna o muro que tiene por objeto transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo. A las zapatas que soportan una sola columna se llaman individuales o zapatas aisladas. La zapata que se construye debajo de un muro se llama zapata corrida o zapata continua. Si una zapata soporta varias columnas se llama zapata combinada. Una forma especial de zapata combinada que se usa normalmente en el caso que una de las columnas soporte un muro exterior es la zapata en voladizo o cantilever.

En las zonas frías, la zapata se desplanta a una profundidad no menor que la penetración normal de la congelación en los climas mas calientes, y especialmente en las regiones semiáridas, la profundidad mínima de las zapatas puede depender de la mayor profundidad a que los cambios estacionales de humedad produzcan una contracción y expansión apreciable del suelo. La elevación a la que se desplanta una zapata, depende del carácter del subsuelo, de la carga que debe soportar y del costo del cimiento. Generalmente la zapata se colocara a la altura máxima en que pueda encontrarse un material que tenga la capacidad de carga adecuada.

La excavación de una zapata para hormigón reforzado debe mantenerse seca, para poder colocar el refuerzo y sostenerlo en su posición correcta mientras seca el hormigón. Para hacer esto en los suelos que contienen agua debe ser necesario bombear o instalar previamente un sistema de drenaje.

Cimentaciones piloteadas.

Función de los pilotes.

Cuando el suelo situado al nivel en que se desplantaría normalmente una zapata o una losa de cimentación, es demasiado débil o compresible para proporcionar un soporte adecuado, las cargas se transmiten a material mas adecuado a mayor profundidad por medio de *pilotes*. Los pilotes son miembros estructurales con un área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud, y usualmente se instalan usando una piloteadora que tiene un martinete o un vibrador. A menudo se hincan en grupos o en filas, conteniendo cada uno suficientes pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro.

Las columnas con poca carga, pueden en algunos casos, necesitar un solo pilote. Sin embargo, ya que en las condiciones del trabajo de campo, la posición real de un pilote puede quedar a varios centímetros de la posición proyectada, difícilmente pueden evitarse las cargas excéntricas. En consecuencia las cabezas de los pilotes aislados usualmente se arriostran en dos direcciones por medio de contratraveses. Si solo se necesitan dos pilotes las cabezas se unen con un cabezal de hormigón, siendo arriostradas solamente en una dirección, perpendicular a la línea que une los dos pilotes. Los grupos que contienen tres o mas pilotes están provistos de cabezales de hormigón reforzado y se consideran estables sin apoyarlos con contratraveses.

También pueden usarse pilotes verticales para resistir cargas laterales; por ejemplo, debajo de una alta chimenea sujeta al viento. Comparada con la capacidad axial, la capacidad lateral es usualmente pequeña. Cuando es necesario soportar grandes cargas laterales, pueden usarse pilotes inclinados. Las inclinaciones de 1 horizontal por 3 vertical representan aproximadamente la mayor inclinación que puede obtenerse con el equipo ordinario para el hincado. La economía favorece usualmente las menores inclinaciones, aunque tenga que usarse un mayor numero de pilotes.

Tipos de pilotes.

Clasificación. Los pilotes se construyen en una gran variedad de tamaños, formas, y materiales para adaptarse a muchos requisitos especiales, incluyendo la competencia económica.

Pilotes de madera. Probablemente los pilotes de madera son los mas utilizados en todo el mundo. Bajo muchas circunstancias proporcionan cimentaciones seguras y económicas. Los pilotes de madera no pueden soportar los esfuerzos debidos a un fuerte hincado, en ocasiones necesario para penetrar mantos muy resistentes. Pueden reducirse los daños a las puntas usando regatones de acero, pero, para un tipo dado de martinete, el peligro de romper los pilotes puede reducirse mucho únicamente limitando el esfuerzo inducido en la cabeza del pilote y el numero de golpes del martillo.

Aunque los pilotes de madera pueden durar indefinidamente cuando están rodeados permanentemente por un suelo saturado, están sujetos a pudrirse por encima de la zona de saturación. En algunas localidades pueden destruirse por insectos como las termitas. La vida de los pilotes de madera, arriba del nivel del agua puede aumentarse mucho tratándolos a presión con creosota. La duración efectiva con este tratamiento todavía no se ha determinado bien, pero se sabe que excede a los 40 años.

Los pilotes de madera en aguas estancadas o saladas también están sujetos al ataque por varios organismos marinos como el *teredo* y la *limnoria*. El deterioro puede ser completo en unos cuantos años o, en condiciones extremadamente desfavorables en unos cuantos meses.

Pilotes de hormigón. Poco después de 1900 se idearon varios tipos de pilotes de hormigón, desde entonces han aparecido numerosas variantes, y en la actualidad se dispone de una gran de pilotes entre los cuales, el ingeniero puede elegir el que mejor se adapte a una obra determinada. Los pilotes de hormigón pueden dividirse en dos categorías principales, *colados en el lugar y precolados*. Los colados en el lugar pueden subdividirse en pilotes con y sin *ademe*.

El hormigón de un pilote con ademe se cuela dentro de un molde, que usualmente consiste en un forro de metal o tubo delgado que se deja en el terreno. El forro puede ser tan delgado que su resistencia se desprecia al valuar la capacidad estructural del pilote, pero, sin embargo, debe tener la resistencia suficiente para que no sufra colapso bajo la presión del terreno que lo rodea antes de que se llene con hormigón. Los forros muy delgados y los tubos no pueden hincarse sin estar soportados en el interior por un mandril, que en si es una fuente de gastos y, cuando menos a veces ocasiona dificultades de construcción.

La supresión del ademe o forro reduce el costo de los materiales que se utilizan en el pilote; por lo tanto hay incentivos económicos en el desarrollo de pilotes sin ademe. Varios de los primeros tipos se formaron hincando un tubo abierto en el terreno, limpiándolo, y llenando la perforación de hormigón al ir sacando el tubo. Por ejemplo, al formar el pilote sin ademe tipo Franki, se deja caer directamente un martinete de gravedad en una masa de concreto en la parte inferior del tubo de hincado; el rozamiento entre el hormigón y el tubo, hince el tubo en el terreno. Cuando se ha alcanzado la profundidad necesaria, se levanta ligeramente el tubo de hincado y se sostiene para que no penetre mas al seguir echando hormigón, en tanto que el martillo sigue golpeando para que el hormigón penetre en el suelo y forme un pedestal. Luego se retira el tubo progresivamente mientras se inyectan cantidades adicionales de hormigón, compactándolo para ir formando el fuste del pilote, que presenta una superficie exterior áspera donde queda en contacto con el suelo. La variante con ademe se forma de la misma manera hasta que se crea el pedestal, luego, se inserta un forro de acero corrugado en el tubo para hincar, se coloca un tapón de hormigón en el fondo del forro, sobre el pedestal, y se hince para que arrastre al forro dentro de la parte superior del pedestal aun sin fraguar. Se saca el tubo para hincar y el resto se llena de hormigón.

Los pilotes precolados de hormigón se fabrican de muchas formas. Un tipo muy usado comúnmente para los caballetes de los puentes, y ocasionalmente en los edificios, es de sección cuadrada, armado en su interior y

acabado en punta, para facilitar así su hincado. Estos pilotes deben reforzarse para soportar su manejo hasta que están listos para hincarse, y los esfuerzos de hincado. Si se ha subestimado la longitud necesaria, resulta muy difícil prolongarlos, cortarlos es caro por lo que los fabricantes los realizan de muchas medidas diferentes.

Los pilotes precolados pueden ser también preesforzados. Con el preesforzado se trata de reducir las grietas por tensión durante su manejo e hincado y de proporcionar resistencia a los esfuerzos de flexión.

Como la mayor parte de los pilotes de hormigón pueden hincarse hasta alcanzar una alta resistencia sin daño, usualmente es posible asignarles mayores cargas admisibles que a los pilotes de madera. Bajo condiciones ordinarias no están sujetos a deterioro y pueden usarse arriba del nivel del agua freática. Las sales del agua de mar y la humedad marina, atacan el refuerzo en los pilotes a través de las grietas en el hormigón; al formarse el óxido el hormigón se desconcha. La mejor protección es usar un hormigón denso y de alta calidad. El deterioro de los pilotes preesforzados no es tan rápido porque las grietas de tensión se reducen al mínimo.

Pilotes de acero.

Se utilizan mucho como pilotes los tubos de acero, que usualmente se llenan de hormigón después de hincados, y los perfiles de acero en H cuando las condiciones requieren un hincado violento, longitudes desusadamente grandes o elevadas cargas de trabajo por pilote.

Los pilotes de perfiles de acero en H penetran en el terreno más fácilmente que otros tipos, en parte porque desalojan relativamente poco material. En consecuencia se usan frecuentemente para alcanzar un estrato de gran capacidad de carga a gran profundidad. Si el hincado es difícil y especialmente si el material superior obstruye o gravas gruesas, es posible que los patines se dañen y los pilotes se tuerzan o se doblen. Pueden producirse pocos defectos serios y pueden notarse los síntomas durante el hincado. Cuando las condiciones sugieran la posibilidad de estos daños, las puntas de los pilotes deben reforzarse.

Los pilotes de acero están sujetos a la corrosión. El deterioro es usualmente insignificante, si todo el pilote está enterrado en una formación natural, pero puede ser intenso en algunos rellenos debido al oxígeno atrapado. Si los pilotes se prolongan hasta el nivel del terreno, o más arriba del mismo, las zonas inmediatas arriba y abajo del nivel del suelo, son especialmente vulnerables. Una buena defensa para el acero es recubrir las zonas vulnerables con hormigón.

Instalación de pilotes.

Equipo para el hincado de pilotes. Los pilotes se hincan comúnmente por medio de un martinete, ocasionalmente, mediante un generador de fuerzas vibratorias. El martinete funciona en medio de un par de guías paralelas o correderas suspendidas de una grúa elevadora estándar. En la parte inferior las guías se conectan a la grúa por medio de un miembro horizontal, conocido como marcador. El marcador puede alargarse o acortarse para permitir el hincado de pilotes inclinados y también para poner a plomo las guías en el sitio de un pilote vertical. Al martinete lo guían axialmente rieles incorporados en las guías.

Martillos de impacto. Originalmente las piloteadoras estaban equipadas con martillos que caían desde el extremo superior de las guías a la cabeza del pilote. Ocasionalmente se usan todavía aparatos de este tipo, martillos de gravedad o de caída libre, pero la mayor parte de los martillos de impacto son del tipo de vapor o diesel. Los martinetes de vapor tienen un martillo que es levantado por la presión de éste y se deja caer por gravedad, con o sin la ayuda de la presión del vapor. Si la caída se debe solo a la acción de la gravedad, el martinete se llama de acción sencilla. Si la presión del vapor se suma a la energía hacia abajo, el martinete se llama de doble acción o diferencial. El martillo de los martinetes suelen tener un amortiguador reduciendo los esfuerzos de impacto. La clasificación de los martinetes se basa en la energía total del golpe.

Los martinetes diesel disponen de una cámara entre el extremo inferior del martillo y el bloque del yunque donde se produce una explosión de combustible haciendo la compresión de los gases que se levante el martillo. El martillo cae por gravedad.

Piloteadoras vibratorias. Los pilotes también se hincan valiéndose de generadores de fuerza que consisten en un peso estático y un par de pesos excéntricos que giran en sentido contrario, dispuestos de manera que las componentes horizontales de la fuerza centrífuga se anulen entre sí, mientras que las componentes verticales son aditivas. La parte vibratoria de la máquina se une positivamente a la cabeza del pilote que se va a hincar, pero el resto de la máquina se aísla del vibrador por medio de muelles, de manera que no participe en los movimientos vibratorios. La fuerza pulsante facilita la penetración del pilote bajo la influencia del peso que actúa constantemente hacia abajo,

Resistencia al hincado. Los pilotes que se hincan por medio de martinetes de impacto, ordinariamente se clavan hasta obtener una resistencia que se mide por el número de golpes necesarios para la penetración en los últimos dos o tres centímetros.

Chiflones, barrenas y pulsetas. Si los pilotes deben atravesar estratos compactos de arena o grava, con objeto de pasar a depósitos inferiores suaves, puede aflojarse la arena o la grava por medio de chiflones. En este procedimiento se descarga un chorro de agua cerca de la punta que afloja la arena y la hace movediza de manera que el pilote puede fácilmente atravesarla.

Las barrenas permiten penetrar en suelos o duros cohesivos a profundidad considerable.

Los estratos relativamente delgados de arcillas firmes o de roca blanda a poca profundidad, pueden atravesarse algunas veces con pulsetas, es decir, puntas duras de metal que se clavan en el terreno y se sacan antes de producir los pilotes.

Comportamiento de los pilotes con cargas verticales.

Pilotes individuales. Los pilotes se clasifican comúnmente en pilotes de punta o de fricción. Los pilotes de punta obtienen toda su capacidad de carga de la roca o suelo que está cerca de la punta, y muy poca del suelo que rodea su fuste. Por otra parte, un pilote de fricción adquiere su capacidad de carga principalmente del suelo que lo rodea, por la resistencia al corte que se desarrolla entre el suelo y el pilote. El suelo que está cerca del extremo inferior del pilote soporta un porcentaje muy pequeño de carga.

Una de las decisiones técnicas más importantes en conexión con cualquier trabajo en el que vayan a usarse pilotes es la elección del tipo más apropiado para las circunstancias particulares de cada caso. Poseer un concepto claro de la manera en que los pilotes de las diferentes características transmiten su carga al suelo bajo condiciones de trabajo puede servir de base para el desarrollo de un buen criterio a medida que el ingeniero acumula experiencia.

A los pilotes de punta rodeados de suelo, algunas veces se les considera erróneamente como columnas libremente apoyadas sin que el suelo que las rodea les de apoyo lateral. Sin embargo, tanto la experiencia como la teoría han demostrado ampliamente que no existe peligro de flexión transversal en un pilote de punta, de las dimensiones convencionales, cargado axialmente por soporte lateral inadecuado, aunque esté rodeado por los suelos más blandos. Por lo tanto, los esfuerzos en estos pilotes, bajo las cargas de trabajo, pueden tomarse como la de los materiales que están hechos cuando se sujetan a compresión directa.

Para tener la seguridad de obtener la resistencia necesaria en el hormigón de los pilotes colados en el lugar, debe controlarse el revenimiento entre los límites de 7.5 y 15 cm o más. Para los tubos lisos hincados verticalmente es conveniente un revenimiento de 9cm; por otra parte, en un pilote inclinado, o en un pilote vertical con forro corrugado o con refuerzo, el revenimiento debe ser de 15 cm o menos.

Si el estrato de apoyo no es excepcionalmente firme habría que colocar un pilote con una punta muy grande. La punta puede ser una placa o de hormigón precolado, o bien puede tener forma de una ampliación o pedestal, hecho inyectado hormigón fresco en el suelo blando que quede directamente arriba del estrato de apoyo. La capacidad de tal pilote no puede aumentarse por ningún efecto de cuña, porque la penetración del pilote en el estrato resistente, está gobernada enteramente por la capacidad y compresibilidad del suelo sobre el cual se apoya el propio pilote.

El término de pilote de fricción es algo incorrecto, ya que implica que las fuerzas de corte entre el pilote y el suelo, provienen necesariamente del rozamiento; pueden provenir también de la adherencia. En cualquier caso la capacidad de los pilotes de fricción depende de las características del material que rodea al pilote.

Pruebas de carga en los pilotes. Las diversas variables que influyen en el comportamiento de un pilote bajo carga y la naturaleza compleja de los fenómenos envueltos, han llevado a la técnica a efectuar pruebas de carga en uno o mas pilotes en el lugar de las obras importantes.

La carga se aplica usualmente por incrementos por medio de un gato hidráulico apoyado contra un peso muerto o contra un yugo sujetado contra un par de pilotes de anclaje. A cada incremento se observa el hundimiento de la cabeza del pilote en función del tiempo, hasta que la rapidez del hundimiento sea muy pequeña. Se aplica luego otro incremento. Al aproximarse a la capacidad de carga, el tamaño de los incrementos se disminuye, con objeto de poder apreciar mas precisamente cuando se llega a la capacidad de carga del pilote. Se mide la altura de la cabeza del pilote cuando se quita la carga.

Una prueba de carga puede proporcionar datos con respecto a las características de carga, asentamiento y capacidad de un pilote, solamente en el tiempo y bajo las condiciones de la prueba.

Grupos de pilotes. En el desarrollo anterior solo se ha tratado el comportamiento de los pilotes individuales. Sin embargo, los pilotes casi nunca se usan así, sino combinados, formando grupos o conjuntos.

El comportamiento de un grupo de pilotes puede no estar relacionado directamente al de los pilotes aislados, sujetos a la misma carga por pilote en el mismo deposito. Cuando se carga un sólo pilote, como en una prueba de carga, una gran parte de su apoyo puede deberlo al suelo que está a lo largo de su fuste, por fricción lateral, aunque el suelo sea relativamente débil y compresible. Si el mismo pilote tiene muchos vecinos, a los que el suelo que lo rodea proporciona apoyo, el esfuerzo acumulado en todo el bloque de suelo en que está encajado el grupo puede tender gradualmente a comprimir el terreno y, por tanto, permitir que los pilotes se hundan, cuando menos ligeramente, con lo que una porción mayor de la carga se transmite directamente de los pilotes al estrato firme. En los grupos grandes, la mayor parte de la carga puede, tarde o temprano, quedar apoyada en la punta, cualquiera que sea la magnitud de la fricción lateral, que haya podido desarrollarse a elevaciones mayores alrededor de un solo pilote en una prueba de carga.

Elección del tipo de pilote.

La elección final del tipo de pilote para un obra la dictan las condiciones del subsuelo, las características de hincado de los pilotes, y el probable comportamiento de la cimentación, y la economía. Las comparaciones económicas deben basarse en el costo de toda la cimentación y no únicamente en el costo de los pilotes. Por ejemplo, el costo de doce pilotes de madera con 18 toneladas de capacidad cada uno, puede ser menor que el de cuatro pilotes de hormigón de 54 toneladas, pero el mayor tamaño del cabezal necesario para transmitir la carga de la columna a los pilotes de madera, puede aumentar el costo de la cimentación con éstos, hasta ser mayor que el de la cimentación con pilotes de hormigón.

Datos técnicos ofrecidos por empresas dedicadas a la cimentación.

Fabricación.

El procedimiento técnico de fabricación, permite garantizar el suministro de pilotes de muy alta tecnología (hormigón de 450 kp/cm²), gran capacidad de resistencia frente a los agentes químicos, tanto sulfatos como agua marina (al fabricarse con cemento SR/MR), y gran compacidad (por los automatismos de puesta en molde y vibrado del hormigón).

Hinca.

La hinca de los pilotes se hacen con los modernos equipos de caída libre, donde una maza de peso variable entre 4 y 6 toneladas es elevada por un sistema simple de cable, o bien mediante los mas avanzados métodos de accionamiento hidráulico, de elevado rendimiento y control.

Estos equipos son totalmente autónomos, por lo que no necesitan prestaciones auxiliares, y de fácil movimiento al ir montados sobre grúas de oruga.

Previamente se efectúa la planificación de la obra, en donde se analiza la secuencia de hinca de los pilotes de prueba, las zonas de apilado, etc. Los pilotes de prueba (pilotes penetrómetros) servirán de referencia para definir las profundidades óptimas de los pilotes, como confirmación de lo previsto en el estudio geológico del terreno realizado con anterioridad a la hora de la redacción del proyecto. Este estudio como se explicó con anterioridad lo llevarán a cabo expertos que nos mandaran un informe detallado del terreno existente en la zona de cimentación.(Explanada de España, Alicante).

Juntas.

Las juntas es el elemento que permite la unión de diferentes tramos de pilotes para alcanzar la profundidad necesaria.

Las juntas con materiales de alta calidad. Están calculadas para resistir mayores esfuerzos incluso que la propia sección tipo del pilote, como han demostrado los distintos ensayos a flexión, compresión y tracción realizados a las mismas.

Todos los elementos que la componen quedan totalmente recubiertos por hormigón y protegidos del genero circundante a excepción de la chapa exterior que carece de función estructural una vez hormigonado el pilote.

Además todos los elementos de conexión se encuentran embebidos en una grasa protectora contra la corrosión (certificada por el Instituto de Técnica Aeroespacial), y ajustadas las piezas que la componen, de forma que una vez unidos los diferentes elementos, se genera una pretensión que asegura una perfecta transmisión de esfuerzos.

Las cualidades anteriores junto con su fácil puesta en obra y la posibilidad de inspección visual de la junta, hacen de este elemento constructivo un garantía de calidad en consonancia con la del propio pilote, como demuestra en la practica su uso continuado desde hace 50 años.

Todas las empresas tienen un elevado control de calidad para sus productos pudiendo ofrecer a sus clientes la máxima garantía de sus productos a la vez de un precio económico haciendo que la empresa sea competitiva en el mercado.

Control.

Control en factoría.

Los pilotes prefabricados se controlan sistemáticamente tanto durante su fabricación en factoría como durante su instalación en obra.

Se efectúan los siguientes controles:

- De recepción de los materiales: Agua, cemento, áridos, armaduras y aditivos, realizándose los ensayos que prescribe la norma EH-91 Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en masa o armado.
- De resistencia y geometría: De los pilotes, azuches, collares y juntas.
- De fabricación: Preparación de los moldes, adecuada instalación de las armaduras, correcta dosificación y colocación del hormigón, vibrado, manejo, curado.

De la resistencia y consistencia del hormigón: Los ensayos se realizan a las 24 horas, 7 días y 28 días con resistencias mínimas de 175, 375 y 450 Kg/cm² respectivamente.

Control en obra.

–Medida de rechazo: Sobre todos y cada uno de los pilotes se mide el rechazo, que es la penetración del pilote en una serie de 10 golpes dados con la maza del equipo de hinca. A través de la medida del mismo se controla que se ha alcanzado la capacidad de carga que debe soportar el pilote.

–Pruebas estáticas de carga: En este tipo de ensayos y con la ayuda de otros pilotes o anclajes como reacción, se somete al pilote a cargas superiores a la máxima de servicio, observándose su comportamiento y obteniéndose la curva carga-asiento.

– Analizador hinca de pilotes: Usado cada vez con mayor frecuencia, por su bajo coste y elevada rapidez. Este ensayo avalado por una gran experiencia a nivel mundial, permite de una forma rápida y no destructiva analizar tanto las condiciones del terreno como el desarrollo de la hinca, controlando la integridad del pilote y su capacidad de carga. Se consigue en muchos casos mejorar el diseño de la cimentación, con la optimización de los coeficientes de seguridad.

–Analizador de integridad de pilotes: Se emplea para controlar específicamente la integridad de los pilotes. Está basado en la teoría de propagación de onda de choque a través de los mismos. De una forma sencilla, y con un equipo de mano, es posible chequear un gran numero de pilotes en una sola jornada.

–Control de vibraciones: Cuando el entorno en que esta situada la obra lo requiera, es posible controlar la transmisión de vibraciones y onda aérea que provoca la instalación de los pilotes. Su cuantificación permite confirmar los criterios de hinca y adecuarlos al entorno.

Obras singulares.

La topología de los pilotes , el elevado rendimiento y la autonomía de los equipos de los equipos de hinca, así como el cuidado del medio ambiente del sistema, permiten la realización de obras de características muy especiales:

- Obras marítimas (pantanales, muelles, etc.)
- Estructuras que requieren pilotes inclinados, como viaductos.
- Grandes superficies (depuradoras, centros comerciales, etc.)

A continuación adjuntaremos varias fotocopias y planos de obras realizadas por cimentación con micropilotes, realizadas por empresas importantes, de ámbito tanto nacional como internacional.

Características técnicas.

Los pilotes prefabricados están capacitados para absorber esfuerzos verticales de compresión en el entorno de los 125 Kp/cm*, al tratarse de pilotes de categoría I, prefabricados con todos los controles en instalaciones fijas según la norma Tecnológica NTE-CPP 78.

Se fabrican en todos los casos con hormigones de resistencia característica 450 Kp/cm*, (H-450 según norma EHE-99)

Así mismo se emplea cemento CEM I 42,5-SR (RC-97), que hace que los pilotes sean resistentes a los sulfatos y al agua de mar.

Van armados en toda su longitud, y en sus esquinas, con cuatro u ocho barras de acero corrugado y calidad mínima AEH-400 (límite elástico 4100 Kp/cm*).

Zunchados también a lo largo de toda su longitud mediante una armadura transversal en acero AE-215l (lisa, de límite elástico 2200 Kp/cm*), de 6 mm de diámetro. El paso es de 16 cm, reduciéndose a 8 cm en los 0,8m próximos a los extremos y en la zona de los ganchos de izado.

Para concluir, abría que comentar, que este tipo de cimentaciones se están imponiendo en todas las obras de gran envergadura, donde el terreno en el que se va a construir no cumple con las características necesarias de resistencia que necesitamos para el aguante de las cargas producidas por la obra.

Topografía y construcción. Cimentación por pilotes.
