

4. CIMENTACIONES

4.1 PRINCIPIOS GENERALES

El **cimiento** es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas actuantes sobre la totalidad de la construcción 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 pilares y muros de carga.

Una cimentación deberá **cumplir tres requisitos** fundamentales:

- a) El nivel de la cimentación deberá estar a una profundidad tal que se encuentre libre del peligro de heladas, cambios de volumen del suelo, capa freática, excavaciones posteriores
- b) Tendrá unas dimensiones tales que no superen la estabilidad o capacidad portante del suelo
- c) No deberá producir un asiento en el terreno que no sea absorbible por la estructura (asientos admisibles)

Muchos suelos, fundamentalmente los que tienen arcillas expansivas, varían mucho de volumen según su contenido de humedad. Dichos suelos deberán evitarse o recurrir a unas cimentaciones más profundas que apoyen en terrenos más estables

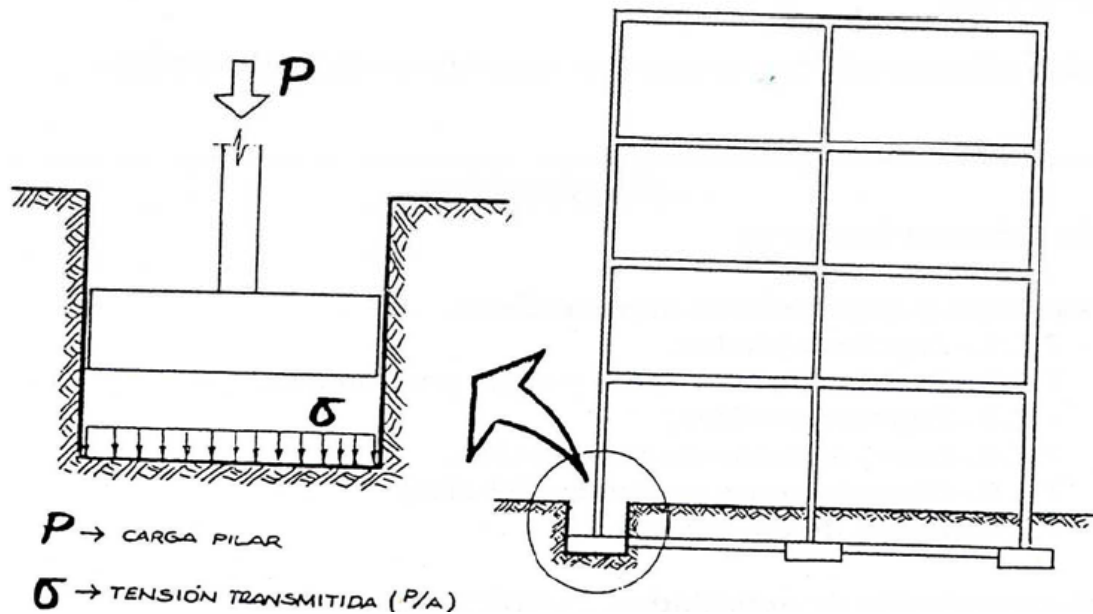
Otras veces, sin llegar al caso anterior, las alternancias de estaciones secas y húmedas o la proximidad de árboles caducifolios con riego o la rotura de conducciones de agua generan hinchamiento del suelo que puede producir el fallo de la estructura. Por ello conviene alejarla de todas las causas citadas como medida de precaución

La exploración del terreno es necesaria para proporcionar al ingeniero proyectista datos sobre:

- a) La profundidad de la capa freática.
- b) Las diferentes capas del terreno conociendo su inclinación, espesor y características mecánicas (compresión simple, ensayo triaxial, etc.) y químicas (sulfatos, carbonatos, etc.).
- c) Muestras del suelo para conocer otras características mecánicas y la capacidad de asientos sobre suelos inalterados

El **firme** es el plano horizontal del estrato de terreno sobre el cual apoyamos nuestra cimentación, el cual debe ser capaz de soportar las tensiones transmitidas por la misma.

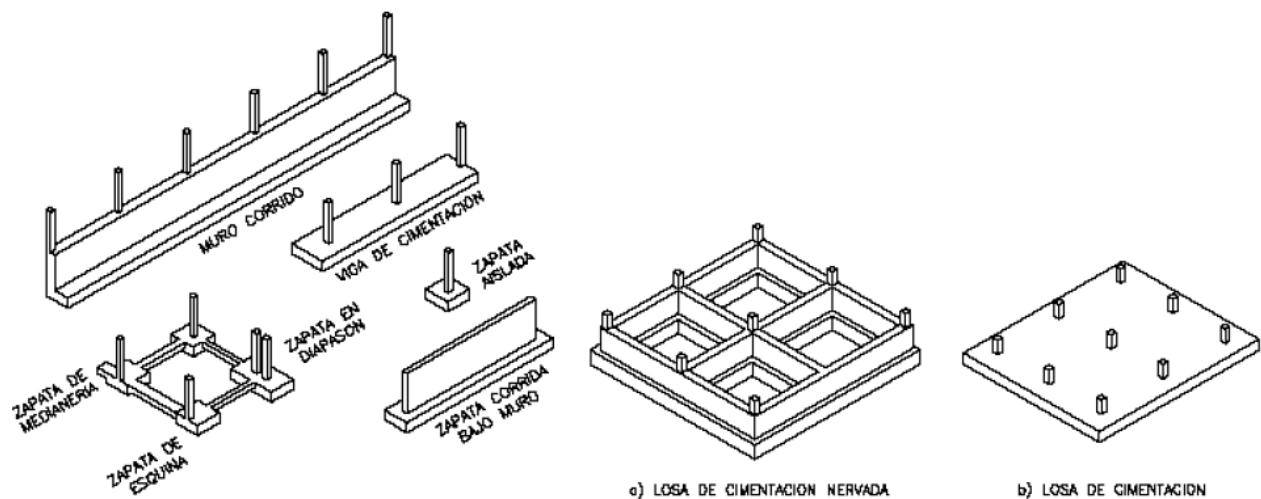
La **capacidad portante** de un terreno es la carga máxima (expresada en unidades de presión) que es capaz de soportar el terreno sin que se desencadene su rotura o asiento incontrolado de la construcción que descansa sobre el mismo. También se denomina carga de hundimiento, de rotura o última. La **carga admisible** es la carga de hundimiento dividida por un factor de seguridad.



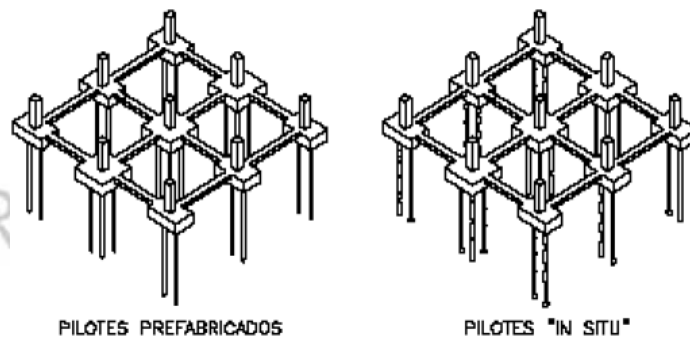
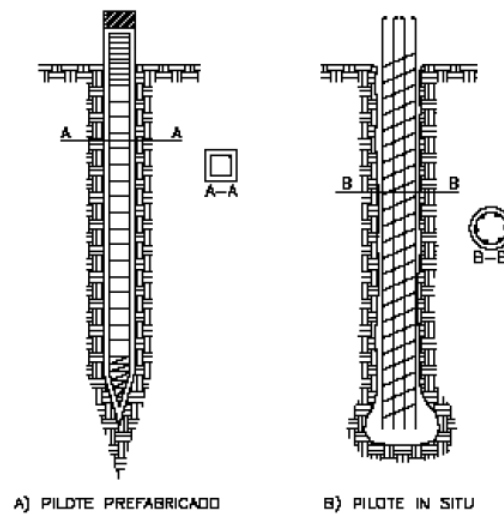
4.2 TIPOLOGIA DE LAS CIMENTACIONES

Las cimentaciones se clasifican en:

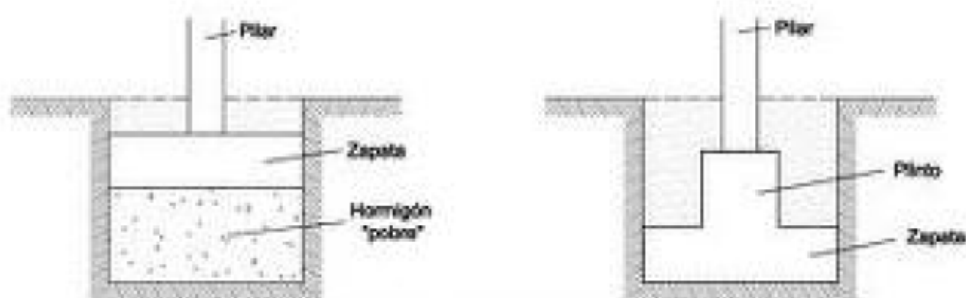
Superficiales o directas: cuando a nivel de la zona inferior de la estructura o próximo a él, el terreno presenta características adecuadas desde los puntos de vista técnico y económico para cimentar sobre él. La cimentación se realiza cercana a la superficie del suelo (profundidad aproximada desde 0,5m hasta los 4 metros) y se produce una repartición de cargas en al superficie. Es el caso de las **zapatas**, **losas (o placas)**, **vigas** y **muros**.



Profundas: cuando el nivel apto para cimentar está muy por debajo de la zona inferior de la estructura. Son elementos de gran longitud con respecto a su sección, que se hincan en el terreno o se construyen en una cavidad previamente excavada en el terreno. Es el caso de los **pilotes y micropilotes**



Semiprofundas: cuando el nivel de cimentación se encuentra a niveles intermedios de los casos anteriores es el caso de los **pozos de cimentación**.



Debido a la extensión del tema únicamente detallaremos los siguientes tipos:

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Zapata aislada

Son un tipo de cimentación superficial que sirve de base de elementos estructurales puntuales como son los pilares, de modo que esta amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite, en general son de planta cuadrada, pero en la proximidad de los lindes suelen hacerse rectangulares o circulares (figura 1a y 1b). Como excepción, se considera también como zapata aislada aquélla sobre la que cargan dos pilares contiguos separados por una junta de dilatación, tipo «diapasón» (Figura 1c) A todos los efectos de cálculo, en lo que sigue, ambos pilares se consideran como un pilar único con perímetro el circunscrito.

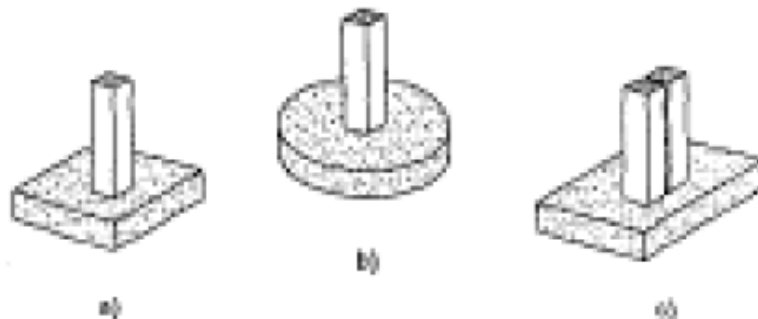


Figura 1

En cuanto a su construcción, antes de realizar la zapata, se ha de verter una capa de 10cm de hormigón de limpieza, el cual nos asegura una regularización de la superficie de contacto, que las tierras no entren en contacto con las armaduras, y facilita las labores de replanteo y colocación de las mismas. Dicho hormigón suele ser un HM-100 o HM-125, ya que no tiene ninguna función resistente.

Las armaduras deben tener un recubrimiento de 5cm para protegerlas de la oxidación y para que trabajen solidariamente con el hormigón, por lo que en su colocación, no las podemos dejar apoyadas en el hormigón de limpieza, sino que irán sobre unos separadores que me aseguren dicho recubrimiento.

Zapata Corrida

Las zapatas corridas pueden ser bajo muros, o bajo pilares, y se define como la que recibe cargas lineales, en general a través de un muro, que si es de hormigón armado, puede transmitir un momento flector a la cimentación. Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal. Las zapatas corridas están indicadas cuando:

- Se trata de cimentar un elemento continuo
- Queremos homogeneizar los asientos de una alineación de pilares y nos sirve para arriostramiento

- Queremos reducir el trabajo del terreno
 - Para puentear defectos y heterogeneidades del terreno
 - Por la proximidad de las zapatas aisladas, resulta más sencillo realizar una zapata corrida
- Ver (Figura 2)

Zapata Medianera o Excéntrica

La necesidad de su uso aparece en cuanto se disponen soportes junto a las lindes de propiedad del terreno en que se va a construir el edificio. Cuando tengamos pilares justo al borde de nuestro solar (medianera) como no podemos ocupar terreno del solar colindante, dispondremos la zapata de forma que el pilar descansa en su borde, en cuyo caso la denominaremos zapata medianera.

Al recibir la carga el pilar de forma excéntrica, esta carga crea un momento de vuelco que tiende a levantar a la zapata, pudiendo producirse una falta de equilibrio en la misma o la rotura del terreno. Es corriente que la dimensión paralela a la medianera sea el borde que la dirección perpendicular, lo cual reduce la excentricidad, pero no la elimina.

Para solucionarlo, se colocan en la dirección del vuelco (perpendicular a las medianeras) unas vigas de hormigón armado o **vigas centradoras** que unen las zapatas medianeras con las zapatas adyacentes, de forma que ambas trabajan solidariamente y de esta forma se evita el vuelco de la primera ya que dicho vuelco tendría que afectar todo el conjunto zapata medianera viga centradora-zapata centrada. Las zapatas de esquina, como tienden al vuelco en las dos direcciones, necesitarán de dos vigas centradoras que la unan a las zapatas medianeras adyacentes.

Aparte de estas vigas centradoras, existen las **vigas riostras, vigas de atado o zunchos de atado**, que son elementos de menor sección que las vigas centradoras cuya misión es unificar a toda la cimentación ante los posibles asientos diferenciales del terreno debido a su heterogeneidad. Ver (Figura 2).

Zapata de esquina

Esta tipo de cimentaciones aparecen en los edificios, bien en las esquinas en que concurren dos medianeras o bien en las que concurren una medianera y una fachada en límites de vía pública. Son por tanto muy frecuentes en construcciones urbanas y en ciertos tipos de construcciones industriales. Ver (Figura 2).

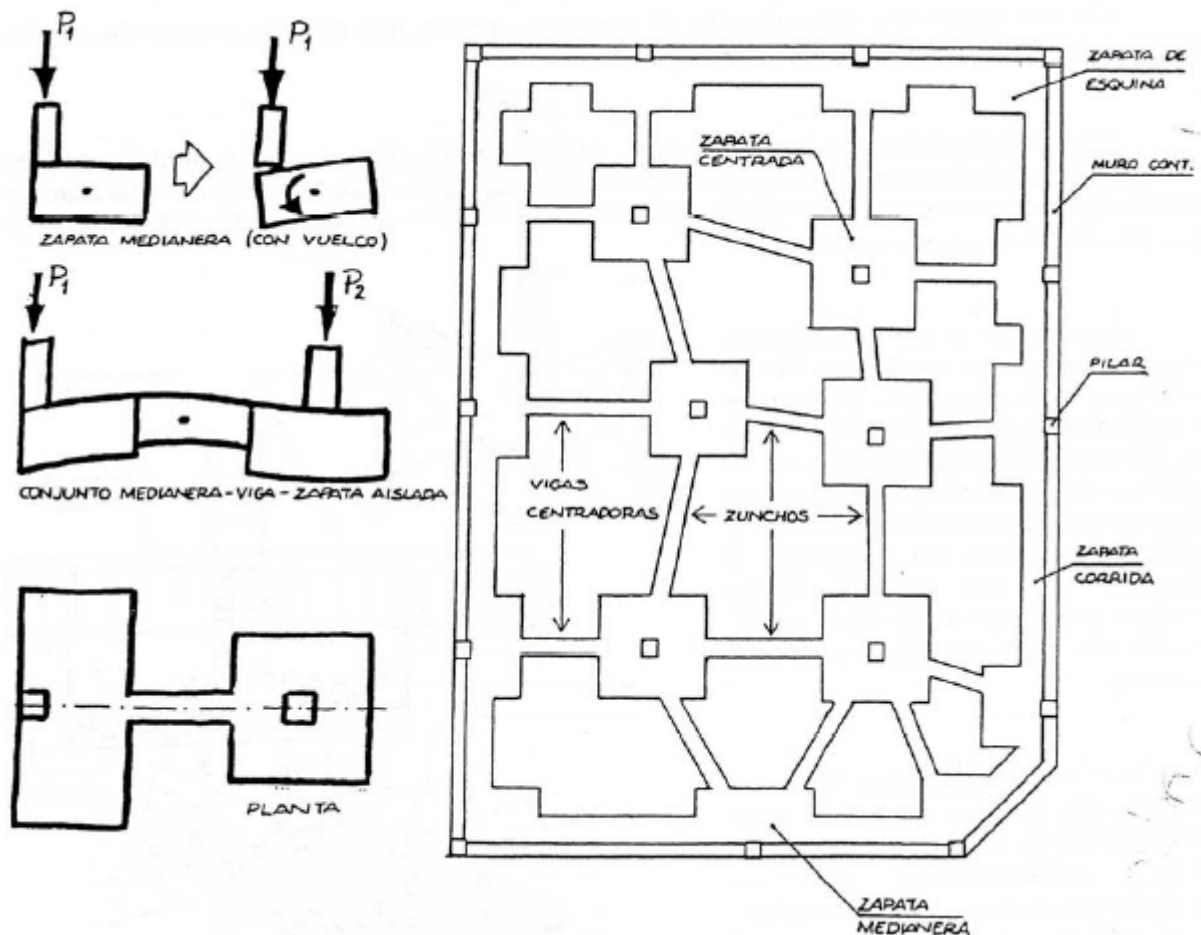


Figura 2

Zapata Combinada

Se entiende por zapata combinada la que cimienta dos pilares. En general, es una buena práctica dimensionar el cimiento de forma que el centro de gravedad de su superficie en planta coincida con el de las acciones.

Esto puede conseguirse de varias formas (figura 3). Una de ellas consiste en construir la zapata de ancho constante, de forma que el centro de gravedad del rectángulo de la planta de la zapata coincida con el punto de paso de la resultante de las cargas de los dos pilares. Esta solución también se puede alcanzar con otras formas de planta, como por ejemplo la trapezoidal, pero tiene el inconveniente de complicar mucho la ferralla, al organizarla con barras de longitud variable, por lo que muy rara vez se recurre a esta solución. Actualmente, por motivos económicos, se tiende a dar a las zapatas combinadas canto constante,

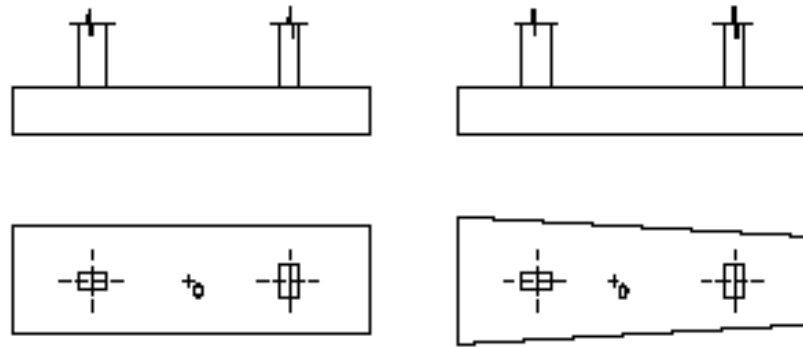


Figura 3

Viga de Cimentación

Se entiende por viga de cimentación aquella sobre la que apoyan tres o más pilares. De nuevo aquí la sección transversal puede ser rectangular o bien adoptar la forma de T invertida con economía de hormigón y acero, pero con un mayor coste de encofrados y mano de obra. La tendencia actual es hacia secciones rectangulares, salvo en grandes cimentaciones, en las que las formas más complicadas pueden compensar desde un punto de vista económico.

Losa o placa de cimentación

Tiene por objeto transmitir las cargas de la construcción al terreno distribuyendo los esfuerzos uniformemente. Es una buena solución cuando:

- La construcción posee una superficie pequeña en relación al volumen (rascacielos, depósitos, silos)
- El terreno tiene estratificación desigual y son previsibles asentamientos irregulares
- La superficie de cimentación que ocuparían las zapatas aisladas supere el 50% de la superficie de la construcción
- La capacidad portante del terreno es muy pequeña

CIMENTACIONES PROFUNDAS

PILOTES

El **sistema de pilotaje se utiliza** en los siguientes casos:

1. Cuando las cargas transmitidas por la construcción o estructura no se pueden distribuir adecuadamente en una cimentación superficial excediendo la capacidad portante del terreno
2. Cuando el terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales por hinchamientos y/o retracción
3. Cuando la construcción o estructura esta situada bajo el agua o con la capa freática muy cerca del nivel de suelo

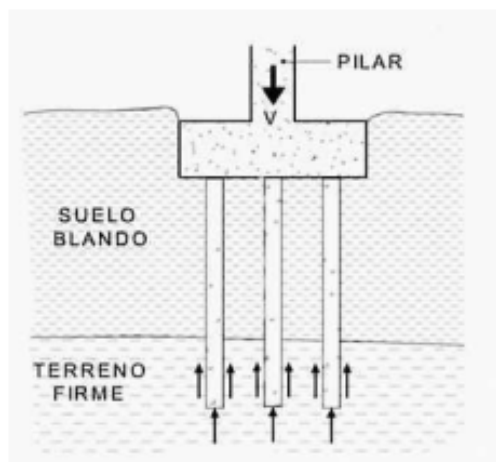
4. Cuando los cimientos están sometidos a tracción, tal como ocurre en edificios altos sometidos a cargas de viento, o estructuras que necesitan elementos sometidos a tracción para lograr la estabilidad, como estructuras de cables o cualquier estructura anclada al suelo

Estableceremos dos **tipologías de pilotes**:

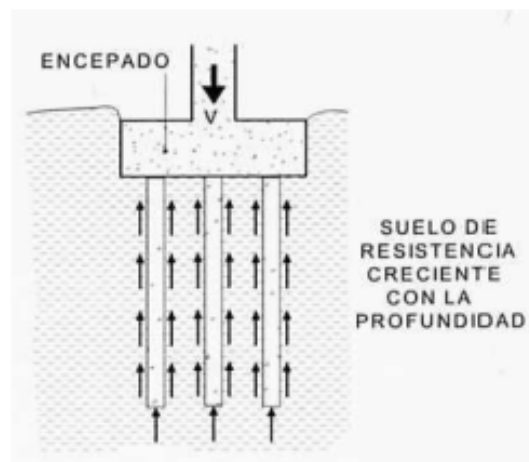
1) Según la forma de trabajar

Pilotes que trabajan por punta (pilotes columna) que son aquellos en los que la carga se transmite por la punta del pilote, esto sucede cuando esta empotrado en un terreno mucho mas competente que le resto de terreno que esta por encima de él.

Pilotes que trabajan solo por fuste (pilotes flotantes) son aquellos en los que la carga recibida por el pilote es transmitida al terreno por el rozamiento entre el terreno y el fuste del pilote



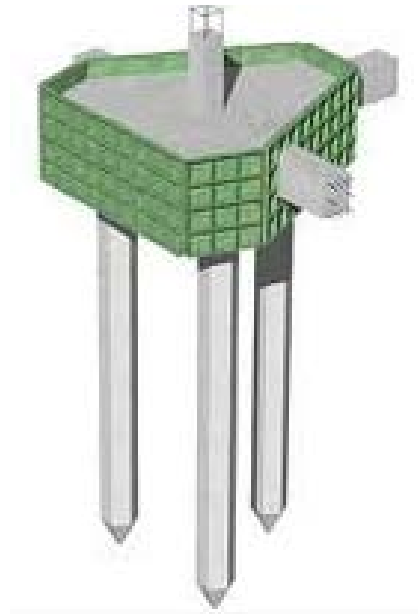
Pilote trabajando por punta



Pilote trabajando por fuste

Para completar la solución de pilotajes como sistema de cimentación profunda , debe de ejecutarse en la cabeza de los pilotes el elemento que denominamos **encepado**.

Definimos el encepado como una pieza prismática que une las cabezas de un grupo de pilotes que trabajan conjuntamente. Como caso particular , pueden existir encepados de un solo pilote . El encepado sirve de base al soporte que descansa sobre el, de forma análoga a lo que seria una zapata aislada . Se puede decir que es el elemento de transición entre la estructura y los pilotes, que por un lado reparte los esfuerzos del pilar a los pilotes del grupo y por otro lado sirve de enlace a las vigas de centrado y/o atado.



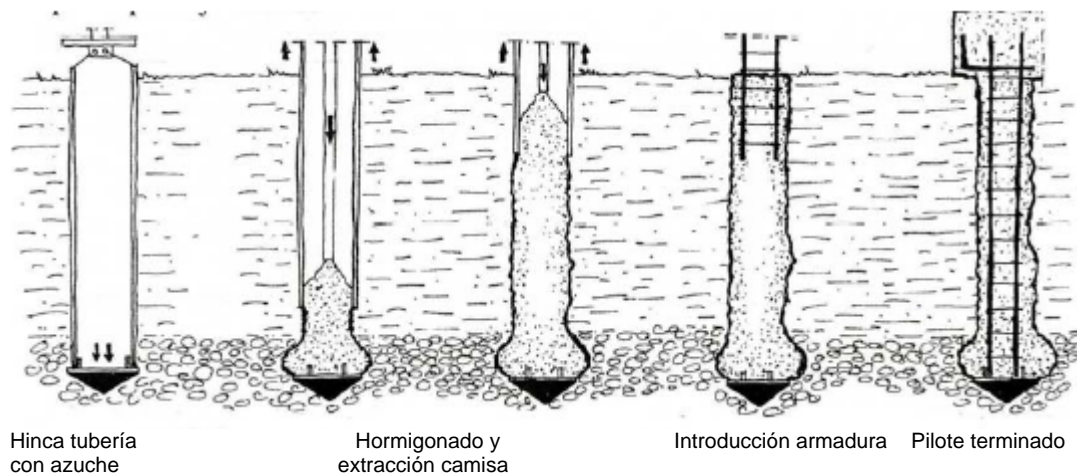
2) Según el procedimiento de ejecución

Se pueden clasificar en dos grandes grupos: **pilotes de desplazamiento**, cuando se introduce dentro del terreno un pilote de un determinado material y **pilotes de extracción**, cuando se extrae el terreno que posteriormente se rellenará con el material resistente

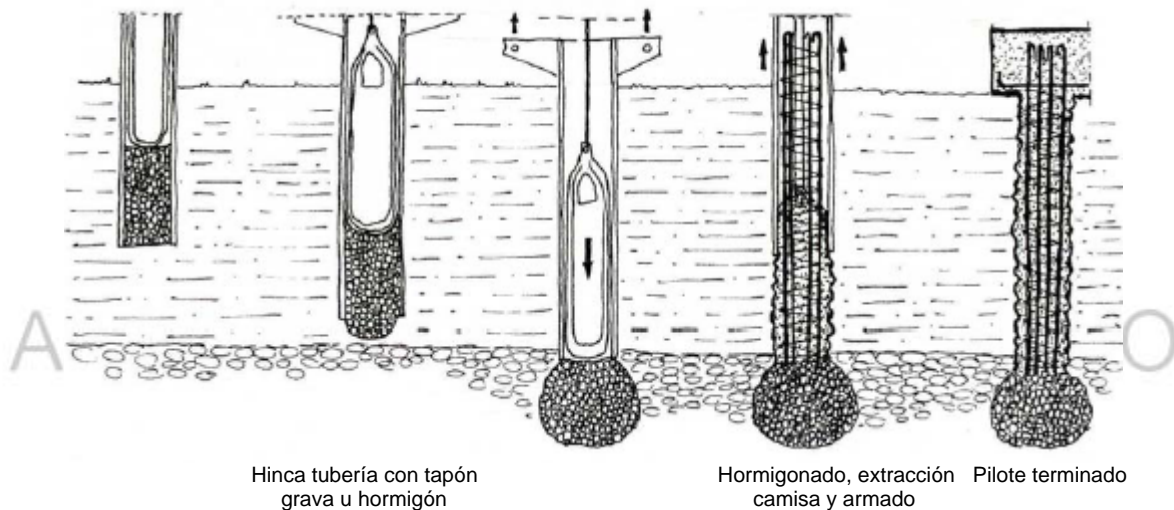
Pilotes de desplazamiento

Pilotes hincados prefabricados: consiste en clavar literalmente el pilote en el terreno. Como no se extrae el terreno, este se compacta al clavarse el pilote, son en general caros y pueden no alcanzar la profundidad de cálculo si se encuentran una capa competente de terreno en su camino. El material utilizado es generalmente hormigón prefabricado pero en ocasiones pueden ser de madera y/o acero.

Pilotes hincando una tubería y hormigonados in situ: consisten en hincar una tubería a golpe de maza hasta alcanzar la profundidad de cálculo, alcanzada esta se introduce la armadura y se hormigona. Se ejecuta la hincada con una entubación que posee un azuche de punta cónica o plana en su extremo inferior, la entubación puede ser metálica o de hormigón, con golpes de maza o martillo se hincan desde la parte superior y la entubación se encaja hasta la profundidad que se requiere para el pilotaje. La entubación que es cerrada en el fondo se deja perdida, si el cerramiento inferior es una pieza prefabricada (CPI-2 según la NTE). Si el cierre inferior es un tapón de gravas u hormigón (CPI-3 según la NTE), la entubación se puede recuperar, siempre después del armado y el hormigonado.



Esquema de ejecución del CPI-2

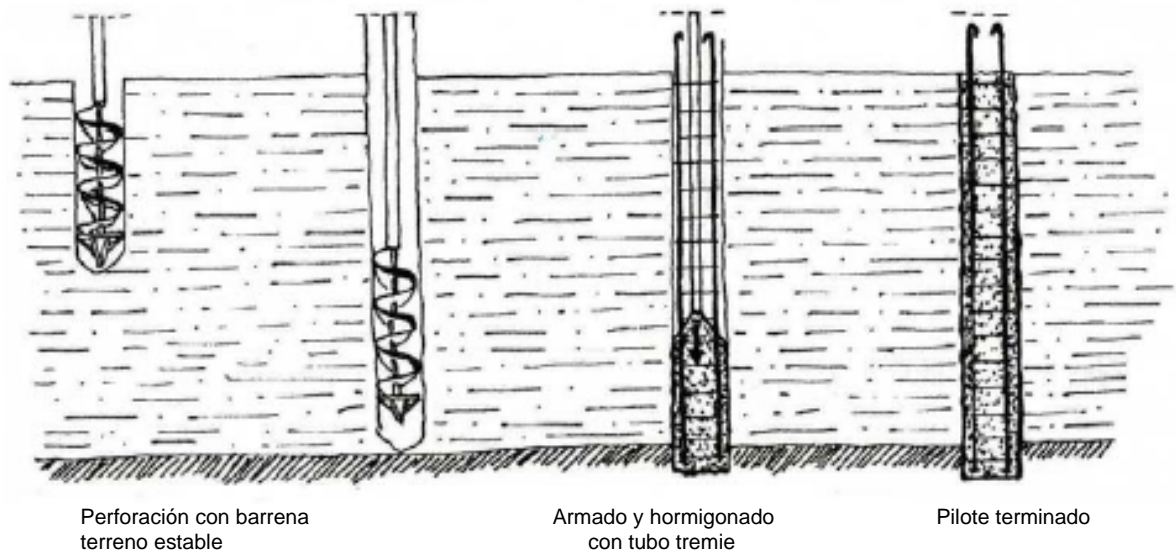


Esquema de ejecución del CPI-3

Pilotes de Extracción

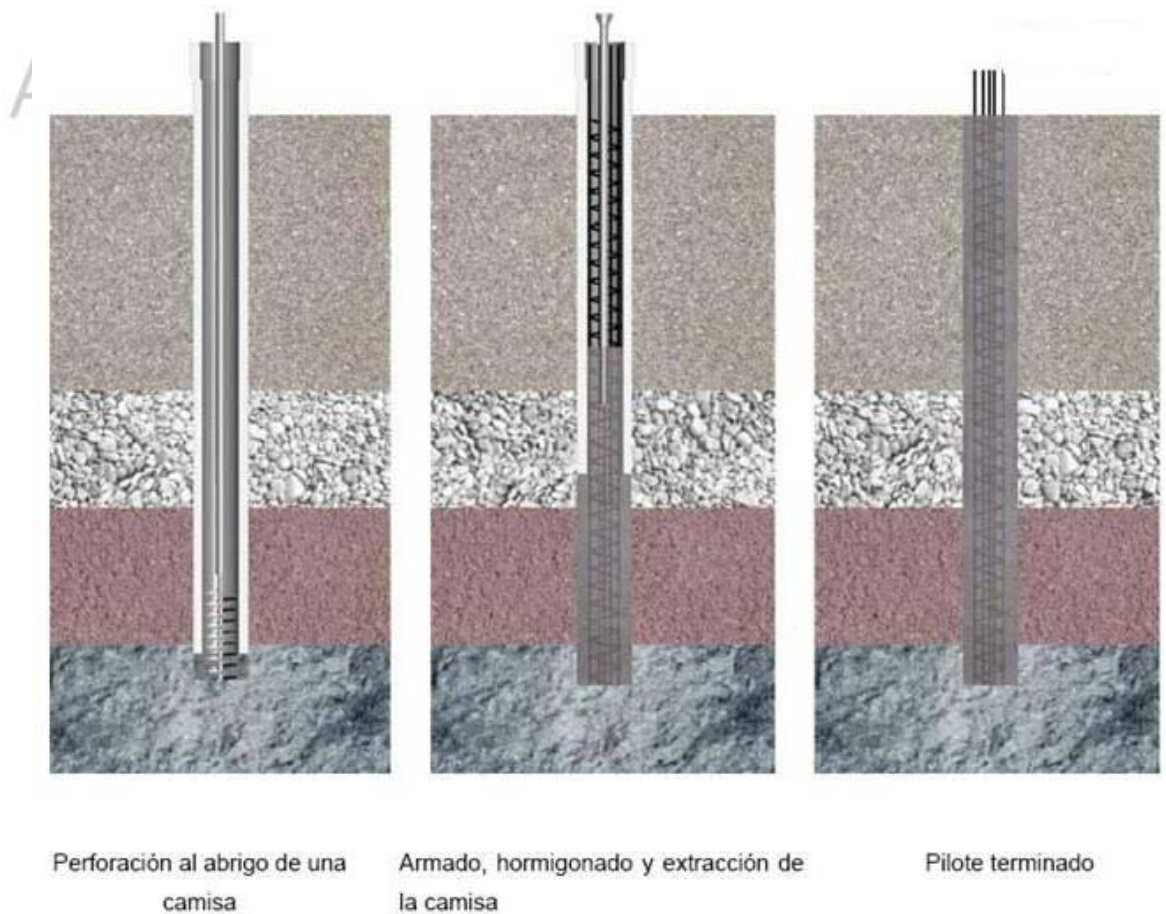
En función de la estabilidad de las paredes surgen distintos métodos de ejecución, la mayoría de los problemas de cimentaciones profundas se resuelven con alguno de estos tipos que a continuación se describen.

Pilotes barrenados sin entubación (CPI-7): consiste en perforar en terreno con una barrena o hélice, que es estable gracias a su cohesión interna, armar el pilote y hormigonar. Normalmente este tipo de pilotes se ejecutan en terrenos en los que no existe el agua. Es habitual que la presencia de nivel freático desestabilice el terreno y sea necesario recurrir a otra tipología de pilotes que se explicarán mas adelante, pero puede darse el caso en el que a pesar del agua el terreno sea estable (porque es muy compacto o es muy impermeable) si ocurre esto el pilote se perfora utilizando un cazo o bucket.



Esquema de ejecución del CPI-7

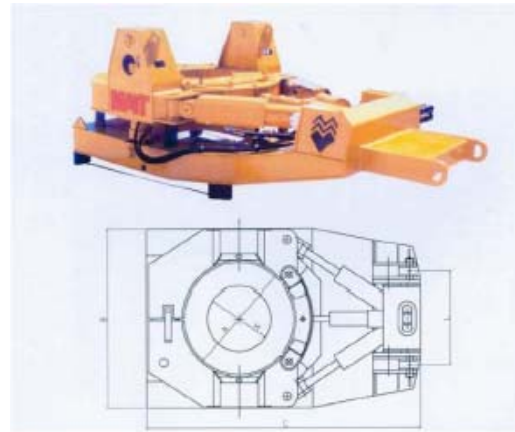
Pilote encamisados o de extracción con entubación recuperable (CPI-4): consiste en introducir un tubo metálico (llamado también camisa), que sujete las paredes inestables de la perforación. La longitud de la camisa debe cubrir la capa inestable y empotrar en la capa estable. La introducción y extracción de la camisa se realiza con vibradores (en terrenos granulares) y entubadoras o morsas.



Esquema de ejecución del CPI-4



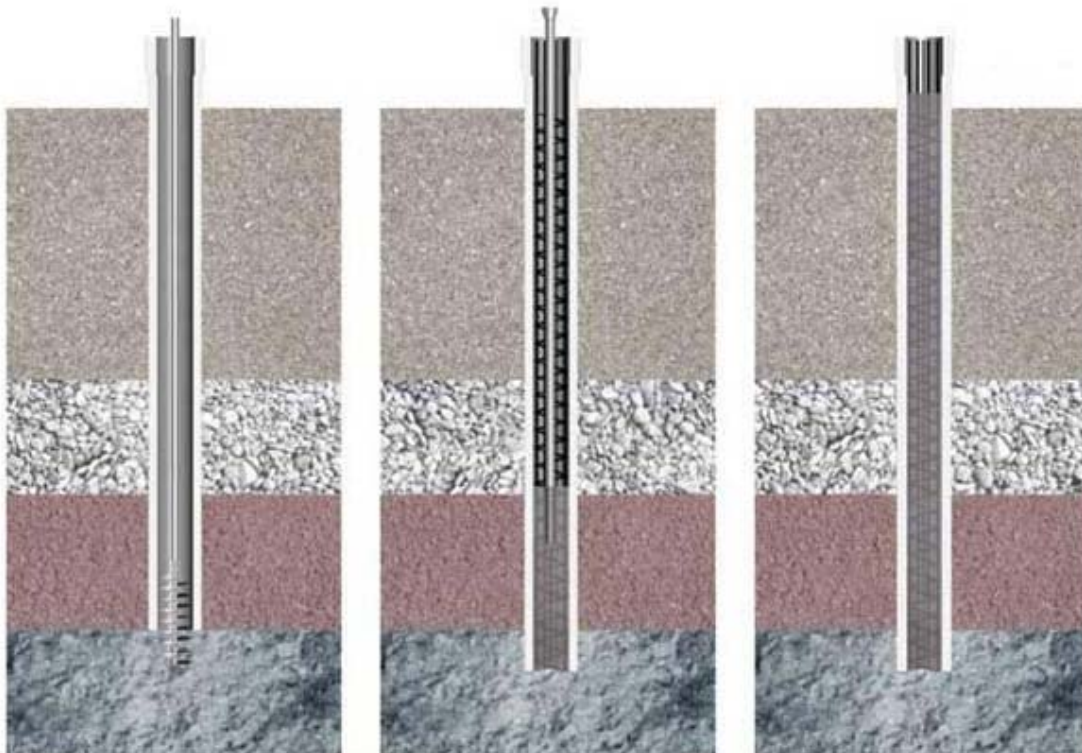
Barrena



Morsa

Pilote con camisas perdidas o pilotes de extracción con camisa perdida (CPI-5): consiste en introducir una camisa que contendrá el terreno durante la ejecución del pilote que quedará perdida, y que:

- Protegerá al hormigón de corrientes de agua subterránea o de terrenos muy agresivos químicamente
- Contendrá al hormigón dentro de la camisa sirviendo ésta de encofrado cuando el pilote atraviesa cavidades subterráneas, como galerías antiguas en las ciudades y karstificaciones en macizos rocosos



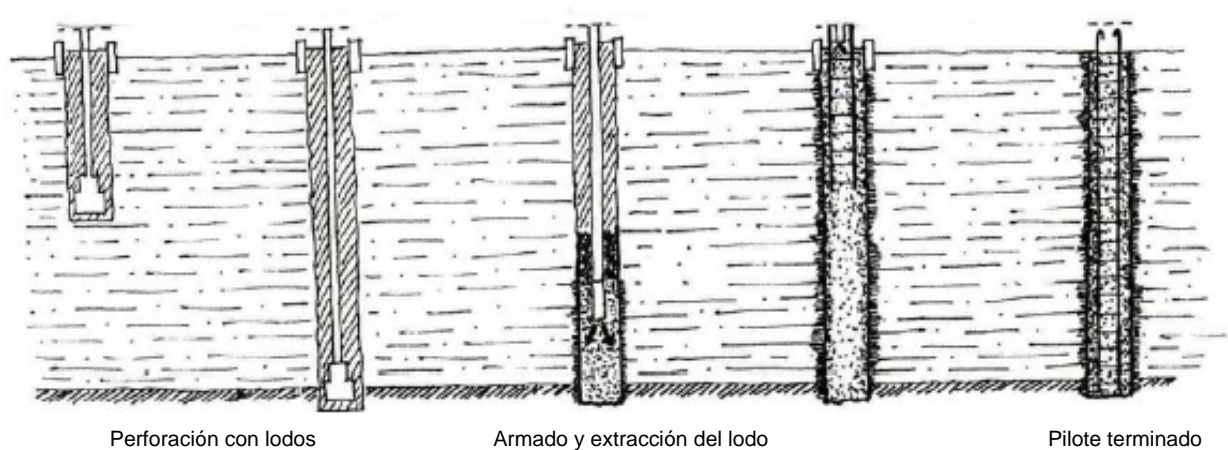
Perforación al abrigo de una
camisa

Armado y hormigonado

Pilote terminado con la camisa
perdida

Esquema de ejecución del CPI-5

Pilotes con lodos o sin entubación con lodos tixotrópicos (CPI-6): consiste en contener las paredes del terreno con un lodo mientras se perfora. El lodo tiene una densidad superior a la del agua, y se vierte a medida que se perfora el pilote, de forma que se establece una presión hidrostática superior en el interior de la perforación que impide que las paredes del terreno se desmoronen. Este tipo de terreno no se puede perforar con hélices o barrena ya que el detritus desecho, he impregnado de lodo resbala por la hélice, para extraer el terreno perforado se utiliza una herramienta llamado cazo o bucket.



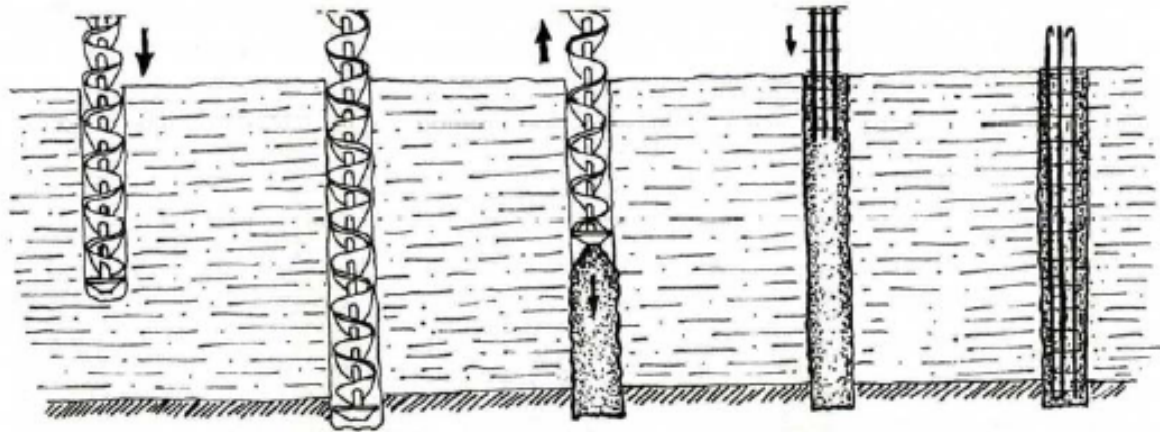
Esquema de ejecución del CPI-6

ALBERTO VILLARINO OTERO



Cazo o Bucket

Pilotes con barrena continua o barrenados (CPI-8): consiste en introducir una barrena hueca por rotación en el terreno, esta barrena es igual a la longitud del pilote. Durante la penetración de la barrena no se extrae el terreno.



Introducción a rotación de la
barrena continua

Hormigonado a través del
vástago de la barrena

Hincado de la armadura

Pilote terminado

Esquema de ejecución del CPI-8

POZOS DE CIMENTACIÓN

Los pozos de cimentación se plantean como solución entre las cimentaciones superficiales, (zapatas, losas, etc..) y las cimentaciones profundas. La elección de pozos de cimentación aparece como consecuencia de resolver de forma económica, la cimentación de un edificio cuando el firme se encuentra a una profundidad de 4 a 6 mts.

