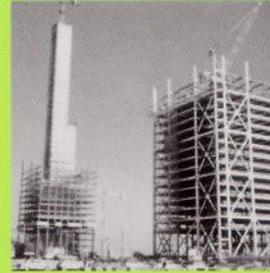
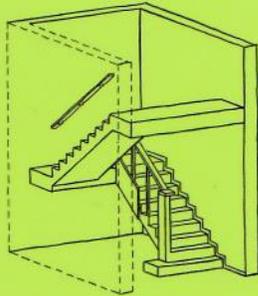
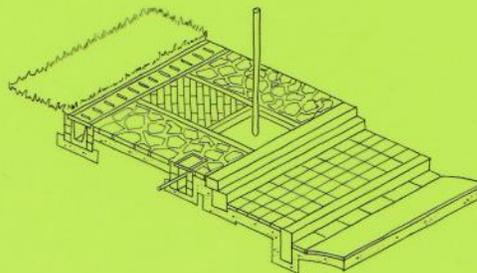


José Luis González
Albert Casals
Alejandro Falcones



Claves del construir arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS
Elementos del exterior, la estructura y la compartimentación



GG®

José Luis González
Albert Casals
Alejandro Falcones

Claves del construir arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS
Elementos del exterior, la estructura
y la compartimentación

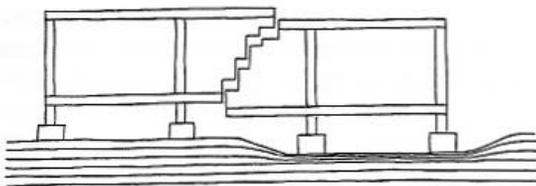
GG[®]

TEMA 3. Cimentaciones

- 3.1. El terreno de cimentación
- 3.2. Cimentaciones superficiales
- 3.3. Cimentaciones por pilotes
- 3.4. Contención de tierras en sótanos

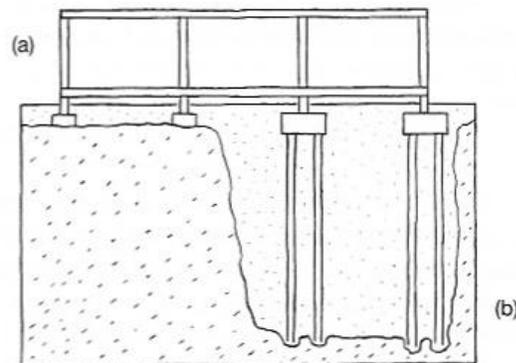
Se entiende por cimentación el conjunto de elementos en contacto con el terreno sobre los que se apoyan los elementos verticales de la estructura portante. Su función es distribuir las cargas provenientes del edificio en una superficie suficientemente grande como para que la tensión de compresión resultante sea inferior a la que es capaz de soportar el terreno, siempre mucho menor que la de cualquier material de construcción. La diferencia de secciones entre un pilar de hormigón que puede resistir 200 kg/cm^2 y un terreno que sólo puede 2 kg/cm^2 nos da idea de que la superficie necesaria se debe multiplicar más o menos por 100.

Pero, a pesar de ser bajas las tensiones, todo terreno sometido a una carga se deforma. Un correcto diseño de la cimentación no solamente busca que no se rompa, sino que esas deformaciones o asentamientos sean las mismas en todos los elementos de la cimentación. Si eso no ocurre así, es decir, si existen asentamientos diferentes, normalmente llamados diferenciales, la estructura del edificio va a estar sometida a unas tensiones para las cuales no está preparada y acabará por fisurarse o agrietarse.



Los diferentes tipos de cimentación no surgen, como ocurre en el resto de los elementos constructivos, de consideraciones sobre los materiales utilizados o de los procedimientos de puesta en obra, ya que, en este caso, prácticamente el material es único, el hormigón, casi siempre armado, y su realización, casi siempre *in situ*.

En realidad, los diferentes tipos de cimentaciones surgen de combinar los dos tipos básicos de estructuras, de muros o de pórticos, con las diferentes estrategias que es preciso desarrollar para adaptarse a la gran diversidad de terrenos sobre los que se puede edificar.



En el caso de terrenos buenos situados a poca profundidad y edificios que ejercen poca presión relativa, el tipo más usual es la cimentación superficial, que consigue, con una excavación reducida, distribuir las cargas mediante un ensanchamiento de la superficie de apoyo (a).

Si el terreno no es tan bueno con relación a la carga a soportar, la dimensión del cimiento se puede agrandar hasta llegar al extremo de ocupar toda la planta del edificio con unas losas armadas. Pero también es posible utilizar las denominadas cimentaciones profundas, basadas en pilotes que buscan en capas más profundas un terreno resistente o reparten la carga en el terreno deficiente mediante el rozamiento que producen sus superficies de contacto (b).

En los dos temas específicos que se desarrollan a continuación se consideran ambos tipos de cimentación.

3.1 El terreno de cimentación

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS
CLASIFICACIÓN GENERAL
INFLUENCIA DEL AGUA
ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Del terreno nos interesa conocer dos variables fundamentales:

- la profundidad a la que se encuentra el estrato que puede proporcionar una respuesta adecuada a las cargas transmitidas por el edificio, y
- las características que determinan su respuesta, es decir, la tensión que puede admitir sin romperse y su deformabilidad o capacidad de asentamiento.

En casi la totalidad de los casos los terrenos son muy heterogéneos, de manera que casi siempre nos encontramos estratos de apoyo cuyas características resistentes o de asentamiento o la cota de profundidad pueden variar en pocos metros de distancia. De manera que además de lo anterior es necesario conocer:

- las heterogeneidades que pueden provocar asentamientos diferenciales y deformaciones en la estructura o en los cerramientos del edificio.

La complejidad del comportamiento mecánico del terreno se acrecienta por el hecho de que su contenido de agua o humedad puede influir decisivamente, con lo cual a las anteriores se ha de añadir esta nueva variable, que puede afectar a los estratos resistentes o sólo a los superficiales.

CLASIFICACIÓN GENERAL

Desde el punto de vista de la Geotécnica, o ciencia que nos proporciona el conocimiento del terreno como elemento resistente, los terrenos se clasifican en rocas y suelos. La definición de roca es equivalente a la del lenguaje corriente: un material compacto y resistente, para cambiar la forma del cual son necesarios medios y herramientas contundentes (explosivos, martillos

neumáticos, etc.). En cambio, un suelo es un agregado de granos y partículas que se pueden separar por acciones mecánicas más o menos sencillas como máquinas excavadoras.

Como las rocas en pocas ocasiones afloran en la superficie, la mayoría de los edificios están contruidos sobre suelos.

Considerando su comportamiento mecánico, las diferencias son algo más precisas: las rocas son materiales a los que se les puede aplicar la teoría de la elasticidad, al igual que a casi todos los materiales de construcción; por el contrario, los suelos tienen una respuesta mecánica que dista mucho de poderse considerar elástica. El estudio de ambos tipos de terrenos da lugar a dos ramas de la ciencia diferenciadas: la Mecánica de rocas y la Mecánica del Suelo. Sigamos con la clasificación.

Las rocas se dividen en:

- 1) según su origen en:
 - magmáticas,
 - sedimentarias,
 - metamórficas.
- 2) según su estructura material en:
 - rocas isótropas, sin visible estratificación (granitos, dioritas, etc.) de origen magmático,
 - rocas estratificadas (pizarras, esquistos, etc.) de origen sedimentario y metamórfico.

Las tensiones que pueden soportar, según el tipo de roca, y la dirección de la carga en relación con la de los estratos, oscila entre 10 kg/cm² y 80 kg/cm².

La clasificación de los suelos requiere considerar de qué tipo de materiales pueden estar compuestos en relación con el tamaño de sus granos. Por una lado tenemos de grano grueso o áridos, gravas y arena, y por otro los de grano

fino, los limos y las arcillas. La frontera entre unos y otros queda definida por la normativa y sin entrar en demasiados detalles es suficiente decir que el diámetro de gravas y gravillas es mayor de 2 mm, el de arenas gruesas y medias entre 2 mm y 0,2 mm, arenas finas entre 0,2 y 0,06 mm, limos inorgánicos menor de 0,06 mm y las arcillas, inferior a 0,002 mm.

El comportamiento mecánico ante la acción de la carga de un edificio de cada uno de los tipos es diferente. Los suelos de grano grueso reaccionan por efecto del rozamiento interno entre granos y son muy poco compresibles. Los de grano fino reaccionan por la cohesión y pueden ser muy compresibles. Los primeros se denominan suelos sin cohesión o granulares y los segundos suelos coherentes.

En realidad, nunca encontramos un suelo que sólo contenga un único tipo de grano sino que siempre son mezcla de varios y con proporciones totalmente variables, lo cual requiere utilizar expresiones como arcilla arenosa o arena arcillosa. Según todo lo anterior, complementado con su capacidad portante, los suelos se pueden clasificar en:

1) terrenos sin cohesión, formados fundamentalmente por áridos, grava, arena y limo inorgánico, pudiendo contener arcillas en cantidad moderada, y que a su vez pueden ser:

- terrenos de graveras, si predominan las gravas y gravillas,
- terrenos arenosos gruesos, si predominan las arenas gruesas y medias,
- arenosos finos.

Las tensiones que pueden admitir están entre 1,5 y 8 kg/cm².

2) terrenos coherentes, formados fundamentalmente por arcillas, que pueden contener áridos en cantidad moderada. Al secarse forman terrones que no pueden pulverizarse con los dedos. Según su consistencia y su resistencia a compresión en estado natural no alterado, se clasifican en:

- duros, cuando los terrones con su humedad natural se rompen difícilmente con la mano, con resistencia a compresión superior a 4 kg/cm².
- semiduros, cuando los terrones con su humedad natural se amasan difícilmente con la mano, con resistencia entre 2 y 4 kg/cm².

- blandos, cuando los terrones con su humedad natural se amasan fácilmente, permitiendo obtener entre las manos cilindros de 3 mm de diámetro, con resistencia entre 1 y 2 kg/cm².

- fluidos, cuando los terrones con su humedad natural, presionados en la mano cerrada fluyen entre los dedos, con resistencia inferior a 1 kg/cm².

3) terrenos deficientes cuando en general no son aptos para la cimentación. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- fangos inorgánicos, limos inorgánicos y arcillas con gran cantidad de agua, que no permite la formación de cilindros que resistan su propio peso.
- terrenos orgánicos, los que contienen proporción notable de materia orgánica.
- terreno de relleno o echadizos, de naturaleza artificial, como vertederos sin consolidar.

INFLUENCIA DEL AGUA

El agua puede variar notablemente la respuesta mecánica de los suelos, especialmente la de los coherentes o arcillosos. Veamos con algunos ejemplos cómo lo puede hacer.

Si cargamos un terreno coherente saturado puede ocurrir que, aunque la tensión esté muy alejada de la de rotura, se deforme excesivamente por expulsión parcial del agua que contiene y la consiguiente disminución de volumen. Si esta disminución es exactamente igual bajo todo el plano de la cimentación, no se produce ninguna rotura en el edificio. Pero esa igualdad es difícil ya que el propio terreno no es homogéneo y los edificios, en general, también dan cargas diferentes según las zonas.

La complejidad de la influencia del agua se incrementa por el hecho de su variabilidad según la época del año y la frecuencia de las lluvias. A pesar de que la superficie de los terrenos llanos no montañosos esté seca, en las capas inferiores existen mantos de agua en las capas permeables. El nivel de profundidad en el que se empieza a encontrar agua se denomina nivel freático. En campo abierto, este nivel varía según la época del año más que en las ciudades, en las que influyen otras variables

como la rotura de conducciones de agua, construcciones de muros enterrados que cambian las corrientes subterráneas, etc.

Estos cambios de humedad provocan modificaciones en las características del suelo. Por ejemplo, en los suelos arenosos puede disminuir la resistencia al corte, o en los arcillosos un aumento de humedad disminuye la cohesión.

En este caso, es necesario buscar zonas en que el nivel freático sea constante, y cimentar por encima o bien por debajo de los niveles de fluctuación.

No hay que olvidar, a pesar de no ser tan decisivas, otras dos variables relacionadas con el agua: la cota de socavaciones y la cota de heladicidad.

En terrenos poco edificados puede ocurrir que una corriente subterránea produzca un desplazamiento de parte del terreno. Si es así, ha de buscarse una cota para cimentar por debajo de la zona previsiblemente afectada.

Por último, la posibilidad de que el agua del terreno se hiele y provoque alteraciones en su capacidad portante, se evita cimentando en una cota inferior a la que pueden alcanzar las temperaturas de congelación, lo cual en nuestro país se consigue profundizando como mínimo un metro.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

La importancia del conocimiento de un elemento tan complejo y fundamental en un edificio como es el terreno, que al mismo tiempo presenta multitud de variables que determinan su comportamiento, obliga a establecer unos procedimientos de análisis sistemáticos denominados Estudios Geotécnicos, que deben estar realizados por personal especializado. En nuestro país están regulados por la NTE-CEG.

Su realización consta de tres fases:

- la elaboración de la Información previa,
- la campaña de reconocimiento de campo, y
- ensayos de laboratorio sobre muestras tomadas en la segunda.

En la primera, se ha de conseguir el máximo de datos ya existentes sobre:

- el proyecto del edificio a realizar,

- el terreno en concreto: plano acotado, usos, obras anteriores, posibles modificaciones del perfil original, etc.,

- de los terrenos colindantes, estudios geotécnicos ya hechos,

- de las edificaciones situadas en un radio de 50 m, número de plantas, tipos de estructuras, etc.,

- de toda la zona, estudios geológicos generales que den información sobre existencias de rocas o estratos resistentes utilizados normalmente para cimentar, capas freáticas, etc.

La campaña de reconocimiento de campo se centra sobre el terreno y se basa en un estudio en profundidad de varios puntos. En cada uno de ellos se trata de averiguar la naturaleza del terreno hasta la profundidad que sea necesaria.

Las técnicas de reconocimiento más usuales son los pozos o calicatas, los sondeos y los ensayos con penetrómetros.

La realización de pozos, si bien permite la observación directa del terreno y la extracción de muestras, es lenta y cara. Mucho más usual es el sondeo que se realiza con diferentes herramientas que consiguen realizar una perforación profunda de la que se van extrayendo informaciones.

Los ensayos mecánicos dan información sobre la resistencia del terreno. Se ha de citar, por su uso habitual, el SPT (Standard Penetration Test). Se basa en introducir en el suelo una cuchara hueca (que también puede tomar muestras) mediante el impulso producido por una maza de caída libre. La resistencia del terreno se cuantifica por el número de golpes necesario para producir una penetración de 30 cm.

Mediante todo este conjunto de importaciones se puede determinar la naturaleza de las diferentes capas en profundidad del terreno. Relacionando entre sí los distintos puntos en los que se han realizado los sondeos, podemos llegar a deducir unos cortes estratigráficos de toda la parcela en estudio.

En la tercera fase se acaba de completar el conocimiento de las diferentes capas mediante ensayos de laboratorio que precisan sus propiedades físico-mecánicas.

Con todo ello se elabora finalmente el Informe geotécnico imprescindible en cualquier tipo de obra de construcción.

3.2 Cimentaciones superficiales

COMBINATORIA TIPOLOGICA

CIMENTACIONES PARA MUROS

CIMENTACIONES PARA PILARES

- Terreno firme asequible
- Cimentaciones en medianería
- Terreno firme no asequible

INTEGRIDAD DE LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES

COMBINATORIA TIPOLOGICA

Para **muros**, podemos distinguir los siguientes casos:

1) terreno firme a profundidad asequible (< 4m):

- cimentación continua de mampostería u hormigón en masa,
- cimentación continua de hormigón armado,

2) terreno firme a una profundidad que no permite las cimentaciones anteriores pero que no justifica la cimentación profunda:

- cimentación por pilares y arcos,
- cimentación por pilares y vigas.

Para **pies derechos o pilares**:

1) terreno firme asequible:

- macizos aislados de hormigón en masa,
- zapatas aisladas de hormigón armado,

2) terreno firme a gran profundidad, pero con la posibilidad de repartir las cargas en una cimentación superficial que ejerza tensiones bajas sobre el terreno no bueno pero accesible:

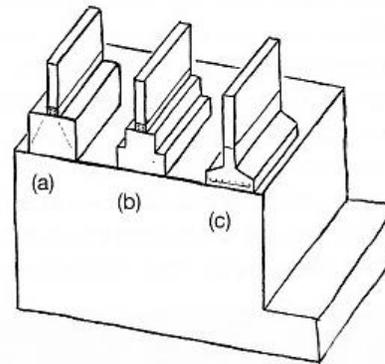
- cimentación con vigas flotantes de h. a.,
- cimentación por losa de h. a.

Veamos cada uno de ellos por separado.

CIMENTACIONES PARA MUROS

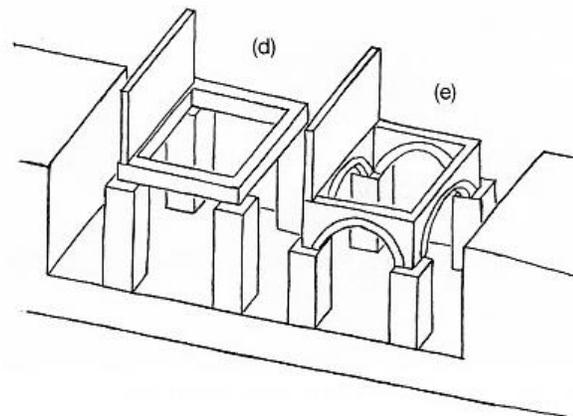
Las cimentaciones continuas son las propias de las estructuras de muros. Si no están armadas, consiguen transmitir las cargas mediante la distribución de la compresión según unos planos inclinados unos sesenta grados. Esto

requiere que la altura de la cimentación sea de una dimensión equivalente a la de su anchura. Ésta, a su vez, viene dada por la relación que existe entre las cargas que recibe y las tensiones que puede asumir el terreno (a).



Si esta altura se considera excesiva es posible reducirla mediante dos procedimientos:

- secciones verticales escalonadas (b),
- armaduras en la cara inferior, con lo que se consigue que trabaje como si fueran dos ménsulas invertidas empotradas mutuamente tal como se ve en la figura (c).



Las cimentaciones por pozos y arcos (e) o vigas (d) han sido muy frecuentes en tiempos pasados recientes. Se pueden considerar como una buena solución para una estructura de muros con el terreno firme a una profundidad media que imposibilita hacer las cimentaciones continuas vistas anteriormente. En la actualidad, dada la escasa utilización de estas estructuras, son cimentaciones poco habituales, aunque no se puede negar que puedan ser útiles en determinadas ocasiones.

CIMENTACIONES PARA PILARES

Terreno firme aseQUIBLE

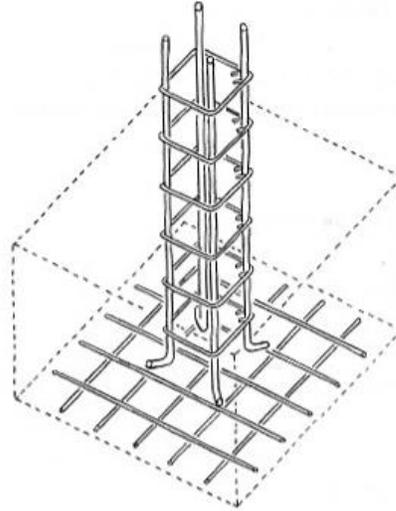
Cuando la estructura es de pilares, sólo en pocos casos se recurre a macizos sin armar y lo más habitual es utilizar las zapatas armadas.

La cimentación armada comporta menor cantidad de hormigón y en consecuencia también una reducción del peso propio. Por el contrario, comporta una mayor necesidad de trabajo de elaboración para la formación del encofrado y la colocación de la armadura metálica. Normalmente siempre es más rentable armar.

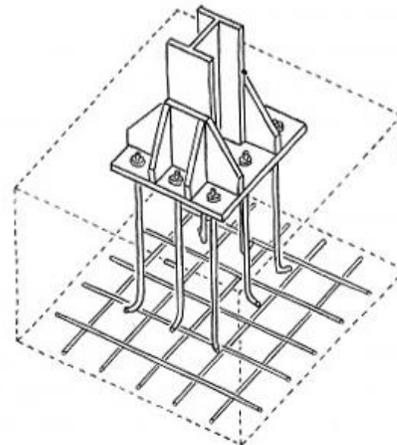


Hormigón recién vertido en un zapata superficial.

La unión entre las zapatas y los pilares se realiza según sea el material de éstos. Si es hormigón armado se produce una continuidad de las armaduras de los dos elementos, tal como se observa en la figura.



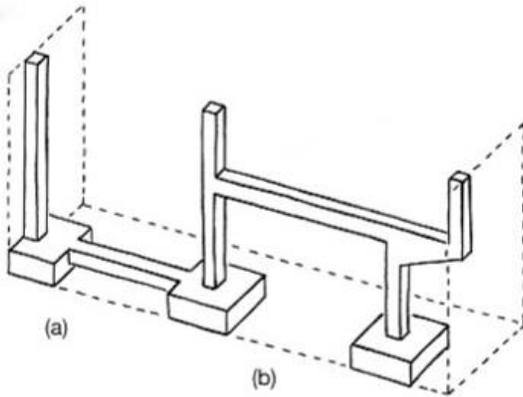
Si los pilares son de acero es preciso establecer una placa previa de anclaje que actuará de modo similar a como lo hace la zapata respecto al terreno: repartiendo la carga que transmite el acero, material mucho más resistente que el hormigón sobre el que se apoya. La necesidad de repartir al máximo esta carga aconseja en la mayoría de los casos rigidizar la placa a fin de evitar su deformación por flexión. A su vez es necesario establecer el sistema de anclaje entre la placa y el hormigón mediante los pernos roscados. La mayor dificultad que presenta la realización de esta placa es tener la seguridad de que se ha producido el contacto total entre ella y el hormigón.



Cimentaciones en medianería

En general, es factible hacer coincidir el eje del pilar con el centro de la zapata, de manera que se consigue el total reparto de la carga transmitida.

Sin embargo, en situación urbana con edificios entre medianeras, los pilares situados en los límites de la propiedad se tienen que apoyar en zapatas que no pueden tampoco traspasar este límite, y en consecuencia el eje y el centro no coinciden. Esta falta de coincidencia genera una excentricidad y una heterogeneidad de las cargas e incluso un posible giro de la zapata.



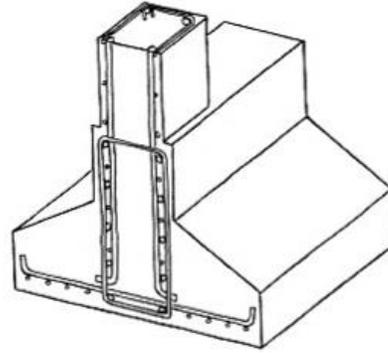
Para evitarlo, la solución más habitual es unir las zapatas de medianería con las más cercanas del interior del edificio, mediante vigas de hormigón armado, denominadas vigas centradoras para evitar aquel giro (a).

Es posible también, aunque de más difícil realización, situar el pilar de planta baja coincidiendo con el centro de la zapata y desplazar en el primer nivel que sea posible el pilar hacia la medianera, lo cual obliga a un elemento robusto de transición que trabajará en ménsula (b).

Terreno firme no asequible

Para las estructuras de pilares, si el terreno no es suficientemente resistente y las zapatas requieren dimensiones excesivas, es posible utilizar vigas o losas.

En el primer caso los pilares se apoyan en lo que podemos denominar una cimentación continua armada, pero que trabaja como una viga continua invertida, transmitiendo las cargas mediante su deformación por flexión al terreno.



Para que el procedimiento actúe correctamente es imprescindible que esa deformación de viga continua sea prácticamente nula, ya que, si no, no conseguiría repartir correctamente en toda su extensión la carga. Por lo tanto, el canto de la viga ha de ser considerable.

Si la superficie de apoyo sigue siendo insuficiente es preciso recurrir a la extensión del elemento resistente a toda la superficie posible mediante las losas de cimentación, que no dejan de ser algo similar a una zapata del tamaño de todo el edificio. La dimensión clave de estas losas es el canto que va a permitir que la losa sea lo suficientemente rígida como para repartir de una forma efectiva la carga entre el máximo de superficie.

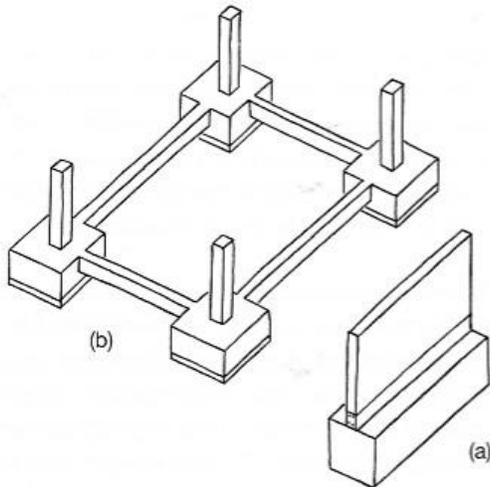
En estos casos es conveniente que la distribución de pilares sea lo más isótropa y homogénea posible, aconsejándose en consecuencia una distribución en planta en retícula cuadrada o rectangular de lados lo más similares al cuadrado.

En los casos en los que por deficiencias del terreno son necesarias las dos soluciones anteriores también es posible la alternativa de las cimentaciones profundas.

INTEGRIDAD DE LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES

En todos los casos, hay que procurar que las armaduras situadas en las caras inferiores de las zapatas queden protegidas de su oxidación por contacto con la humedad del terreno. Para ello, antes de verter el hormigón definitivo es conveniente situar una capa previa de hormi-

gón, denominado habitualmente “hormigón de limpieza”, que evite ese contacto de la armadura con el terreno, a fin de evitar los posibles ataques de la humedad de éste. Hay que prever que todas las cimentaciones pueden estar sometidas a pequeños asientos diferenciales o pequeños movimientos de desplazamiento del terreno. Es necesario establecer los procedimientos que lo eviten.



En las cimentaciones corridas que no están armadas, es conveniente coronarlas con un zunchillo perimetral de hormigón armado, que actúe a modo de cinturón, a todo lo largo de la cimentación (a).

Si son zapatas aisladas armadas es conveniente unir las entre ellas, especialmente las que están situadas en el perímetro del edificio, mediante barras horizontales de hormigón armado, denominadas vigas de atado o riostras (b).



Terreno sobre el que ya se han hecho las excavaciones para zapatas aisladas, riostras que las unen y cimentación del muro de contención de las tierras de la derecha.

3.3 Cimentaciones por pilotes

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

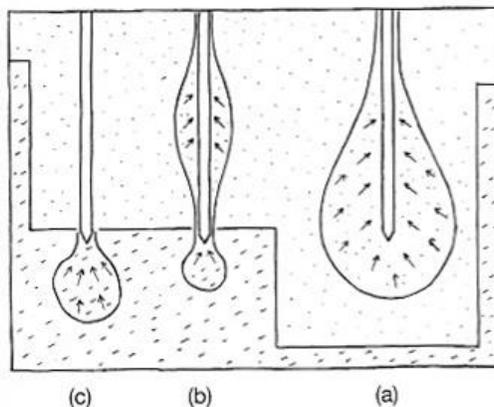
COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS

- Pilotes de madera
- Pilotes de hormigón armado
- Pilotes de hormigón *in situ*

ENCEPADOS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

El pilote es como un pilar de considerable longitud, hincado en el terreno. Su eficacia depende de los dos posibles métodos de transmisión de las cargas:



- rozamiento y adherencia entre el terreno y el fuste del pilote, que, si es necesario, puede absorber tracciones (a),
- transmisión por punta, cuando ésta está apoyada en una capa profunda de terreno resistente (c),
- la combinación de las dos (b).

La acción del terreno no se limita al rozamiento sino que al envolver al pilote también impide que se deforme por pandeo. Si no se puede confiar en esta capacidad, el pilote deberá tener más sección.

Además de resolver la cimentación en terrenos deficientes pueden ser útiles cuando los cimientos estén sometidos a tracción, como por ejemplo en edificios altos sometidos a acciones de viento, o estructuras tensadas con cables.

COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS

En una primera aproximación, los tipos existentes vuelven a ser consecuencia de combinar los materiales con los procedimientos de ejecución. Los materiales pueden ser madera, acero y hormigón armado. Los procedimientos, la hinca y el vaciado y relleno posterior.

La hinca se puede hacer con pilotes de madera, acero y hormigón prefabricado. El relleno del vaciado sólo con hormigón *in situ*.

Sin embargo, en la actualidad los pilotes de madera y de acero son muy poco frecuentes y el hormigón casi siempre se utiliza *in situ*. De manera que los tipos surgen más bien de las diferentes estratagemas que permiten la realización de éstos. Veámoslos, pero no antes de revisar someramente los tipos menos usuales.

Pilotes de madera

Ha sido el procedimiento histórico que ha permitido construir en terrenos fangosos o lacustres, tal el caso de Venecia. En general, los rollizos de madera duran mucho tiempo si se mantienen permanentemente mojados o secos.

La hinca se realiza mediante golpeteo suave de una maza movida por el martinete.

El proceso de hincado produce también una compactación del terreno que puede hacerlo más resistente. De hecho, éste era un método histórico para mejorar terrenos flojos.

En la actualidad no es un procedimiento muy utilizado y sólo es rentable en construcciones sencillas, en lugares donde la madera es abundante.

Pilotes de hormigón prefabricado

Se pueden considerar como una evolución lógica de los métodos históricos con madera en los que el material se sustituye por otro mucho más resistente, fiable y fácil de empalmar para alcanzar mayor profundidad. El procedimiento de hinca es el mismo aunque puede ser mucho más potente, ya que el hormigón se refuerza con una punta de acero denominada azuche.

Los pilotes acostumbran a tener una longitud de 6 m y a medida que se van hincando se empalman entre sí con uniones de tipo caja y espiga o bayoneta.

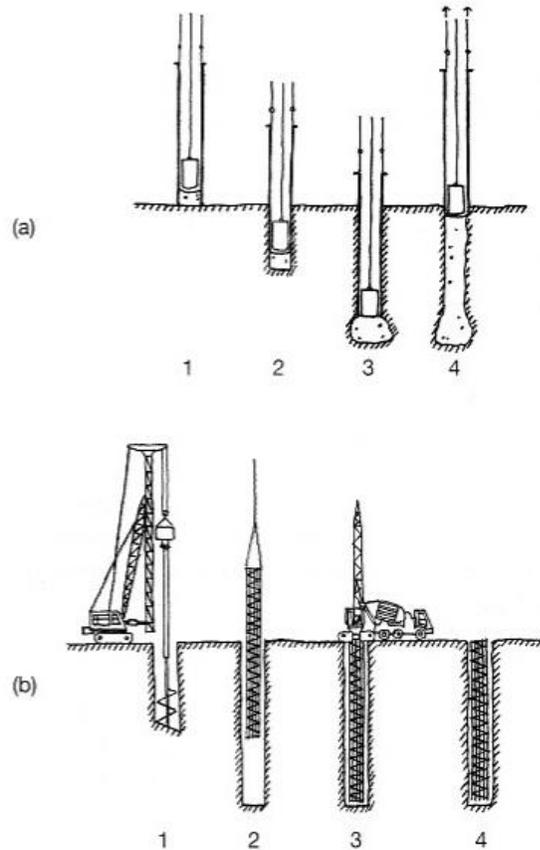
Al igual que los de madera el proceso de hincado mejora la calidad del terreno.

Las ventajas de este tipo de pilotes sobre los de madera son evidentes y, sobre los de hormigón *in situ*, son las habituales de cualquier elemento prefabricado –calidad del material garantizada, precisión dimensional, etc.– que en el caso de los pilotes se acrecienta ya que las incertidumbres de los procesos *in situ* de pilotaje son notables por las razones que se exponen en el siguiente apartado.

Los inconvenientes son consecuencia del proceso de puesta en obra, el hincado, que puede producir vibraciones y desarreglos importantes en edificaciones vecinas en el caso de que el terreno sea urbano. Si es así, el tipo de pilotaje debe ser alguno de los siguientes.

Pilotes de hormigón *in situ*

El procedimiento genérico para realizar un pilote *in situ* consiste en la excavación del terreno, el cual debe actuar a modo de encofrado perdido, sobre la que se introduce la armadura y posteriormente el hormigón. Es obvio que esta operación puede presentar multitud de dificultades como, por ejemplo, desprendimientos en terrenos flojos o entradas de corrientes de agua. Los diferentes métodos existentes para realizar los pilotes buscan evitarlas mediante estrategias adaptadas a cada tipo de terreno, combinándose con el proceso de colocación en el vaciado de la armadura y el hormigón. Las más utilizadas son las siguientes:



1) procedimiento de realización del vaciado que debe ocupar el hormigón:

- por desplazamiento, con azuche o con tapón de gravas, (a) por efecto de la presión ejercida por un mazo que cae sobre la camisa que evita el desprendimiento de tierras,
- por extracción, mediante una cuchara especial,
- por barrenado, mediante una barrena de diámetro del pilote (b).

2) procedimiento para evitar que las tierras se desprendan y ocupen el hueco realizado:

- camisa o entubación recuperable, o tubo de acero que después de realizado el hueco se retira (a),
- camisa perdida, lo mismo pero sin retirarlo por la presencia de agua, por ejemplo,
- lodos tixotrópicos, que, si no hay presencia de agua, actúan como sólidos que impiden el desprendimiento de tierras (b).

La norma NTE-CPI considera siete tipos posibles de pilotes según se combinan entre sí estos procedimientos.

En (a) se observan cuatro momentos de un proceso genérico: 1) posicionamiento y formación del tapón de gravas, 2) hincado de la camisa, 3) formación del bulbo de base, 4) recuperación de la camisa y hormigonado.

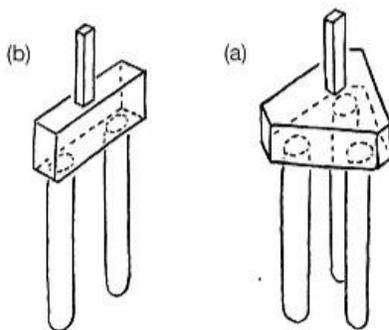
En (b) se observan: 1) perforación, 2) colocación de la armadura, 3) hormigonado, 4) pilote acabado.



Perforación de un pilote.

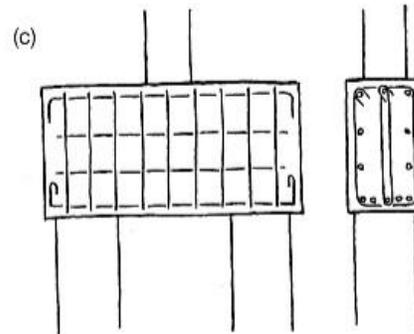
ENCEPADOS

Debido a que los pilotes son elementos de poca sección y que precisamente trabajan sobre terrenos de resistencia deficiente, lo habitual es necesitar más de un pilote para poder transmitir la carga proveniente de cada uno de los pilares del edificio.



La disposición habitual es de dos (b), tres (a) o cuatro pilotes por cada pilar.

Es necesario, por lo tanto, disponer de un elemento que actúe de distribuidor de las cargas del pilar sobre los pilotes. Son los denominados encepados, que no son sino unas vigas de gran canto apoyadas en los pilotes que reciben una carga puntual en su centro.



Las cargas a que están sometidos requieren un canto muy grande y unas armaduras dispuestas convenientemente para absorber los esfuerzos de tracción y, especialmente, cortantes (c).



Las armaduras de espera de los pilares sobresalen de los encepados: los de la derecha sobre tres pilotes, los centrales sobre dos y los de la izquierda sobre uno.

3.4 Contención de tierras en sótanos

RECALCES

MUROS PANTALLA

Realización

Tipos según su método de estabilidad

Es frecuente que los edificios dispongan de plantas subterráneas que requieran en su perímetro elementos de contención del terreno que los rodea. Las dificultades son mayores o menores dependiendo de dos factores clave: el número de plantas subterráneas y la situación urbana del edificio, aislado o entre medianeras. Si el edificio está aislado y las plantas subterráneas son una o dos, es posible realizar muros de hormigón de los vistos en II-4.2 protegidos según los criterios de III-6, adaptados al caso.

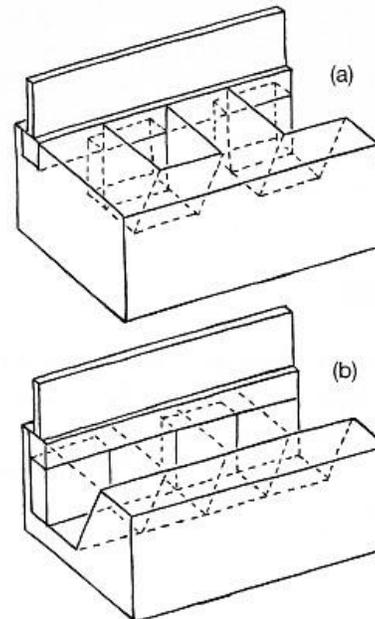


Muros de hormigón armado de una planta de aparcamiento semienterrado.

En la situación entre medianeras, las dificultades provienen de la imposibilidad de ocupar el terreno del vecino y la obligación de no producirle ningún tipo de daño a su edificio, en el caso de que esté construido, especialmente si lo está a la manera tradicional y sin plantas subterráneas. En este caso es necesario realizar lo que se denomina un recalce, consistente en la realización de una nueva cimentación por debajo de la existente que alcance la profundidad necesaria.

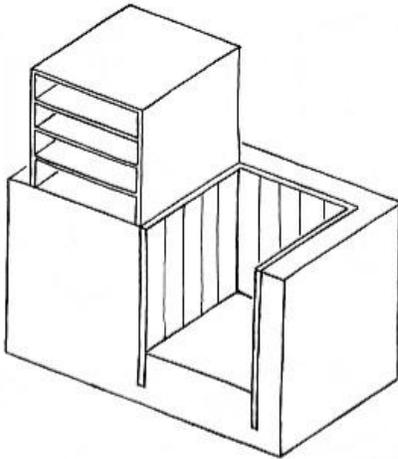
RECALCES

La excavación por debajo de los cimientos no debe hacerse de una vez –ya que éstos quedarían sin su elemento de sustentación– sino por tramos de alrededor de un metro de anchura. Es posible una realización simultánea en varios tramos de la cimentación siempre que estén suficientemente separados. Cada uno de estos tramos se denomina batache.



En una primera fase (a) se excavan dos o más bataches separados entre sí una distancia suficiente para que el terreno que queda entre ellos dé soporte al cimiento no excavado. A continuación se realiza el recalce que prolonga el cimiento hacia abajo. Una vez se han endurecido los morteros u hormigones utilizados, se realiza la misma operación en los tramos no excavados antes (b). Posteriormente se excava todo el terreno sobrante.

MUROS PANTALLA



Si la profundidad es mucho mayor, por ejemplo cuatro o cinco plantas subterráneas, en vez de una planta como en el caso anterior es preciso ir a los denominados muros pantalla. Su espesor es de 60 a 80 cm y se diferencian de los muros de contención vistos en II-2.1 en que, al igual que los pilotes, es el propio terreno excavado el que actúa como encofrado del muro. Pero a diferencia de los pilotes, en los que el terreno queda como encofrado perdido, en el caso del muro-pantalla ese terreno es preciso eliminarlo porque ésta es la finalidad del muro.

Estas cuestiones ya nos anuncian cuáles son las dificultades de su concepción y realización.

Generalmente, los muros-pantalla sirven también como cimentación de la parte de la estructura perimetral del edificio que se sitúa sobre ellos. Por esta razón pueden considerarse como un caso particular de cimentaciones profundas.

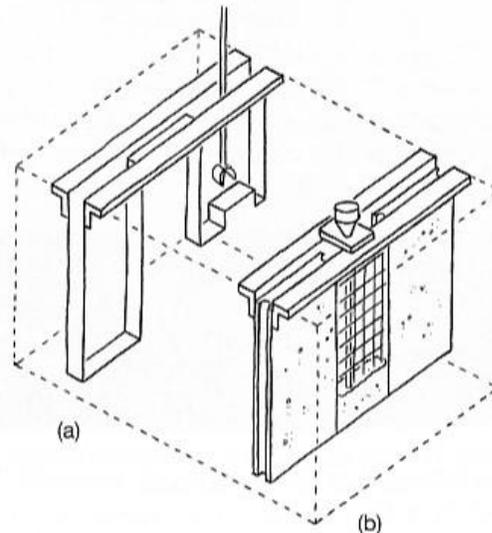
Realización

Las dificultades de excavación ya citadas para los pilotes se hacen todavía más importantes en este caso. La excavación es muy profunda y estrecha, y si el terreno no es excesivamente coherente es fácil que se produzcan desprendimientos que impidan la colocación de la armadura y el posterior correcto hormigonado. Uno de los procedimientos se basa en la utilización de lodos bentoníticos que, si bien son líquidos, tienen la particularidad de actuar como ele-

mento de relleno que impide esos desprendimientos, debido a la presión hidrostática; lodos que a su vez dejan paso a la armadura y después al hormigón más denso que los lodos.

Previamente a la excavación de los paneles debe construirse un denominado murete guía que sirve para fijar el recorrido de la máquina excavadora.

El orden de excavación también se tiene que hacer por el procedimiento denominado anteriormente por damas o bataches, a fin de evitar que la excavación total del muro provoque el desprendimiento generalizado del terreno vecino. El proceso de ejecución queda expresado en las figuras adjuntas.



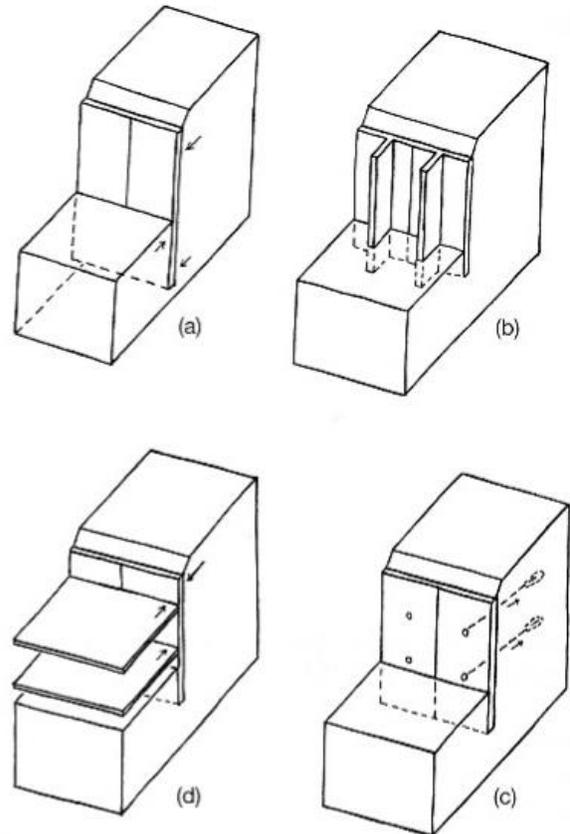
En una primera fase (a), se procede a la excavación de las damas impares -1,3,5 etc.- la colocación en ellas de las armaduras y el hormigón. Una vez endurecido éste, se realiza la operación en las damas pares (b).

Para formar las juntas entre los diferentes tramos se utilizan tubos, tubos con aletas o planchas metálicas, para conseguir la continuidad mecánica del muro una vez hechas todas las damas.

Finalmente se procede a descabezar los últimos 50 cm de las pantallas, para dejar al descubierto las armaduras y para eliminar el hormigón de mala calidad que se queda en la parte superior. A continuación se arma una viga cadena longitudinal generalmente de un gran canto (1 m), en la cual se dejan los anclajes de los soportes verticales de la estructura del edificio superior.



Momento en el que los operarios introducen la armadura del tramo en ejecución del muro pantalla.



Una vez acabado el muro y hecho un primer rebaje de tierras, la perforadora está preparando el anclaje del muro al terreno.

Tipos según su método de estabilidad

El muro pantalla ha de aportar la necesaria indeformabilidad a la flexión originada por los empujes que recibe del terreno vecino.

Si se acepta una cierta deformación porque no existen edificaciones colindantes, cabe la posibilidad de utilizar el denominado sistema autoportante en el que la pantalla actúa como una ménsula empotrada en el terreno (a).

Si no es así, será necesario disponer de algún procedimiento complementario que impida esa deformación, como por ejemplo contrafuertes (b) o anclaje en el terreno vecino (c). Normalmente, una vez construidos, los forjados de las plantas subterráneas son los encargados de arriostrar definitivamente a los muros pantalla (d).