

CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Víctor Yepes Piqueras

Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de
Ingeniería Civil

Agradecimientos

Un manual de construcción resulta incompleto e incluso incomprensible sin una buena documentación gráfica capaz de apoyar el texto explicativo. Este libro no hubiera sido posible sin la colaboración de muchos años de los profesores que forman parte de la unidad docente de la asignatura de “Procedimientos de Construcción” de la Universitat Politècnica de València. Asimismo, me gustaría agradecer de forma expresa a Esther Valiente y a Ignacio Serrano la cesión del uso de sus fotografías para este libro. A este respecto me gustaría recomendar tanto el libro de Esther sobre ingeniería de la edificación como el blog de geotecnia de Ignacio, desde murete.com. También agradezco el permiso que he recibido para el uso de algunas imágenes de armado de cimentaciones a la empresa CYPE, de su biblioteca de detalles constructivos, así como las imágenes de empresas dedicadas a la maquinaria y a la construcción. Una parte de las imágenes se han referenciado también por su enlace en internet para su acceso por parte de aquellas personas interesadas. El resto de las imágenes, aquellas sin referenciar, se corresponden con el fondo documental de la unidad docente, material que se ha utilizado durante años para la explicación de la asignatura.

Nota a la segunda edición

Un libro de texto es un ente vivo, cambiante, que debe adaptarse y estar atento a las innovaciones o mejoras tecnológicas, especialmente cuando se trata de un libro de ingeniería. En esta segunda edición, se ha ampliado el contenido con aspectos relacionados con el control del agua. En efecto, no se puede la construcción sin considerar detenidamente la influencia que tiene el agua tanto durante la etapa constructiva como posteriormente, tanto en la propia obra como en sus inmediaciones. Por tanto, se han ampliado tres temas relacionados con las técnicas de control del agua, los procedimientos para su extracción y para su contención. Se ha conservado el objetivo de explicar las técnicas constructivas y la maquinaria empleada. Este aspecto es el que le da valor añadido a la obra, pues es escasa la bibliografía dedicada específicamente a estos temas. También se han añadido un buen número de preguntas de autoevaluación, con sus respuestas correspondientes. Se ha ampliado el vocabulario básico, así como la bibliografía empleada. Espero que esta edición sea del agrado del lector, quedando abierto a cualquier sugerencia o mejora.

Índice

Contenido

1	Concepto y clasificación de las cimentaciones	7
1.1	Concepto	7
1.2	Clasificación	8
1.3	Criterios de elección del tipo de cimentación	10
2	Cimentaciones superficiales	11
2.1	Zapatas	12
2.1.1	Zapata aislada	12
2.1.2	Zapata combinada	21
2.1.3	Zapata continua bajo pilares	22
2.1.4	Zapata continua bajo muro	24
2.1.5	Zapata arriostrada o atada	25
2.2	Emparrillados de cimentación	27
2.3	Losas de cimentación	28
3	Cimentaciones profundas	32
3.1	Cimentación por pozos	32
3.2	Cimentación por cajones	34
3.2.1	Cimentación por cajones abiertos o cajones indios	34
3.2.2	Cimentaciones por cajones neumáticos	36
3.2.3	Cimentaciones sobre cajones flotantes	39
3.3	Cimentación por pilotes	41
3.3.1	Conceptos fundamentales y clasificaciones	41
3.3.2	Comportamiento del terreno frente a la perforación o la hincada	45
3.3.3	Pilotes de desplazamiento	46
3.3.4	Pilotes de extracción	75
3.3.5	Pilotes inyectados	98
3.3.6	Micropilotes	99
4	Estructuras de contención de tierras	103
4.1	Muros	103
4.1.1	Muros de gravedad	105
4.1.2	Muros estructurales	112

4.1.3	Muros mixtos	118
5	Pantallas de hormigón	122
5.1	Tipología de pantallas	123
5.2	Muros-pantalla continuos	125
5.2.1	Construcción de los muros guía	126
5.2.2	Excavación del panel	127
5.2.3	Relleno con lodos de excavación	132
5.2.4	Colocación de los moldes de junta.....	134
5.2.5	Colocación de las armaduras.....	136
5.2.6	Hormigonado.....	137
5.2.7	Extracción de los encofrados de junta	138
5.2.8	Descabezado del muro pantalla	139
5.2.9	Construcción de la viga de atado	142
5.2.10	Acabado del muro pantalla	143
5.2.11	Sostenimiento del muro pantalla.....	144
5.3	Muros-pantallas discontinuos.....	146
6	Anclajes	151
6.1	Clasificaciones de los anclajes.....	152
6.2	Zonas de un anclaje.....	153
6.3	Ejecución de un anclaje.....	154
7	Entibaciones	158
7.1	Con madera	159
7.2	Muro berlinés	161
7.3	Entibación de zanjas mediante paneles metálicos	163
7.3.1	Entibación ligera con paneles de aluminio.....	164
7.3.2	Sistema de entibación mediante paneles con guías deslizantes	165
7.3.3	Sistemas de entibación por presión hidráulica	168
7.3.4	Sistemas de entibación con cajones de blindaje o escudos.....	169
8	Tablestacas	172
8.1	Tipología	173
8.1.1	De madera	174
8.1.2	De hormigón.....	175
8.1.3	Metálicas	175
8.2	Métodos de instalación	177
8.2.1	Tablestacas autoportantes.....	177
8.2.2	Tablestacas arriostradas con anclajes al terreno	178

8.2.3	Tablestacas arriostradas con puntales	179
8.2.4	Tablestacas atirantadas.....	180
9	Procedimientos de hinca de pilotes y tablestacas	183
9.1	Hinca por percusión o impacto	183
9.1.1	Mazas de caída libre	185
9.1.2	Martillos neumáticos.....	187
9.1.3	Martillos hidráulicos.....	188
9.1.4	Martillos diésel	189
9.2	Vibrohincadores	190
9.3	Hinca por presión	192
9.4	Especiales y mixtos.....	193
9.4.1	Hinca por inyección de agua	194
9.4.2	Prebarrenado	195
10	Técnicas de control del agua	197
10.1	Conceptos básicos del agua en medio poroso	197
10.2	El problema del agua en las excavaciones	202
10.3	Las tensiones efectivas en geotecnia	207
10.4	El sifonamiento en las excavaciones	208
10.5	Clasificación de las técnicas de control del agua	210
10.6	Selección del sistema de control del agua	213
10.7	Ensayos de permeabilidad en suelos y rocas	217
11	Procedimientos para la extracción del agua	218
11.1	Agotamiento del nivel freático.....	218
11.1.1	Bombeos superficiales y sumideros	219
11.1.2	Drenaje mediante zanjas perimetrales	221
11.2	Rebajamiento del nivel freático	224
11.2.1	Descenso del nivel freático por bombeo	224
11.2.2	Pozos de alivio sobre acuíferos confinados.....	251
11.2.3	Pozos filtrantes profundos	252
11.2.4	Lanzas de drenaje (<i>wellpoints</i>).....	256
11.2.5	Pozos eyectores.....	259
11.2.6	Drenajes horizontales mediante zanjadoras.....	261
11.2.7	Pozos horizontales ejecutados con perforación horizontal dirigida	264
11.2.8	Drenes californianos.....	266
11.2.9	Pozos radiales.....	268
11.2.10	Galerías de drenaje	271

11.2.11	Electroósmosis	273
12	Procedimientos para la contención del agua	275
12.1	Tipologías de contención del agua	275
12.2	Contención del agua mediante ataguías y pantallas.....	278
12.2.1	Contención del agua mediante ataguías.....	279
12.2.2	Contención del agua mediante pantallas.....	288
12.3	Contención del agua mediante tratamiento del terreno.....	306
12.3.1	Inyección del terreno	306
12.3.2	Congelación del terreno.....	332
12.4	Contención del agua mediante escudos	336
12.4.1	Escudos de aire comprimido	336
12.4.2	Escudos de lodo.....	338
12.4.3	Escudos de presión de tierras	341
13	Cuestiones de autoevaluación	346
13.1	Planteamiento de las cuestiones	346
13.2	Respuestas seleccionadas	410
13.3	Vocabulario básico	430
14	BIBLIOGRAFÍA	431

1 Concepto y clasificación de las cimentaciones

1.1 Concepto

La **cimentación** de una estructura es aquello que la sustenta sobre el terreno. Generalmente se encuentra enterrada y transmite al terreno su propio peso y las cargas recibidas, de modo que la estructura que soporta sea estable, la presión transmitida sea menor a la admisible y los asentamientos se encuentren limitados (Figura 1). La cimentación consta de dos partes, el elemento estructural encargado de transmitir las cargas al terreno, o **cimiento**, y la zona del terreno afectada por dichas cargas, o **terreno de cimentación**. La cimentación debe resistir las cargas y sujeta la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La tensión que actúa sobre el terreno se debe a los esfuerzos producidos por la estructura sobre el cimiento, a los que hay que añadir el peso propio del cimiento más las tierras u otras acciones que actúen sobre él. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del propio terreno, de la forma y tamaño de la cimentación y de la flexibilidad de la estructura.

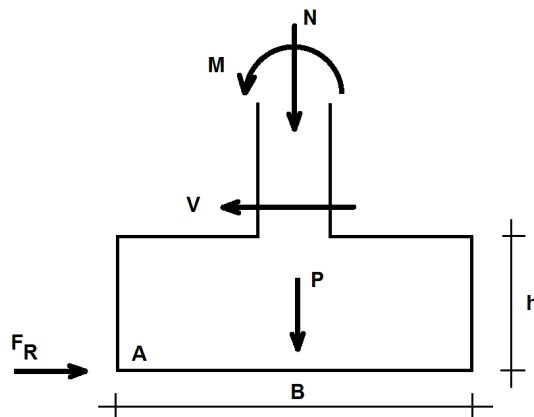


Figura 1. Cargas sobre una cimentación superficial

Las cimentaciones se diseñan para no alcanzar los estados límites últimos o de servicio. Los primeros llevan a la situación de ruina (estabilidad global, hundimiento, deslizamiento, vuelco o rotura del elemento estructural), mientras que los segundos limitan su capacidad funcional, estética, etc. (por ejemplo, movimientos excesivos). Se denomina **capacidad portante** a la máxima presión que transmite una cimentación sin alcanzar un estado límite último, mientras la **presión admisible** es aquella que no se alcanza en ningún estado límite, ya sea último o de servicio, presentando un coeficiente de seguridad respecto a la capacidad portante.

Otros problemas a considerar son la estabilidad de la excavación, los problemas de ataques químicos al hormigón, la posibilidad de heladas, el crecimiento de vegetación que deteriore la cimentación, los agrietamientos y levantamientos asociados a las arcillas expansivas, la disolución kárstica, la socavación, los movimientos del nivel freático, los daños producidos a construcciones existentes (Figura 2) o futuras, laderas inestables, deslizamientos, las vibraciones de maquinaria o los efectos sísmicos sobre el terreno, especialmente cuando existe posibilidad de licuefacción, o terrenos colapsables (yesíferos, eólicos, loess, cenizas volcánicas).

Los procedimientos constructivos influyen notablemente en el comportamiento de una cimentación. Hay que tener en cuenta que la construcción de la cimentación altera el terreno circundante, lo cual puede modificar algunas de las hipótesis de cálculo. A modo de ejemplo, los pilotes perforados descomprimen el terreno influyendo en la resistencia por fuste, por lo que es conveniente hormigonar de inmediato. La alteración del terreno debida a la excavación puede originar asentos no previstos. La hincada de pilotes en limos y arenas sueltas saturadas aumenta la presión intersticial, lo que disminuye temporalmente la capacidad del pilote e incluso causar la licuefacción del terreno.



Figura 2. Descalce de una cimentación vecina durante la excavación. Imagen: E. Valiente

Todo lo anteriormente expuesto implica que el diseño de las cimentaciones no solo debe considerar las bases teóricas procedentes de la mecánica de suelos y rocas, sino también los procedimientos constructivos, los condicionantes económicos locales y los medios para el control de la calidad y la ejecución.

1.2 Clasificación

La cimentación puede clasificarse atendiendo a la profundidad a la que se realiza (Figura 3). La diferenciación se plantea en función de la esbeltez de la cimentación. Así, si llamamos D a la profundidad a la que se encuentra el contacto entre la cimentación y el terreno y B la dimensión menor de la cimentación en planta, éstas se pueden clasificar en:

- Cimentación superficial o directa:

$$D/B < 4$$

$$D < 3 \text{ m}$$

- Cimentación semiprofunda o pozos:

$$4 \leq D/B \leq 8$$

$$3 \text{ m} \leq D \leq 6 \text{ m}$$

- Cimentación profunda o pilotaje

$$D/B > 8$$

$$D > 6 \text{ m}$$

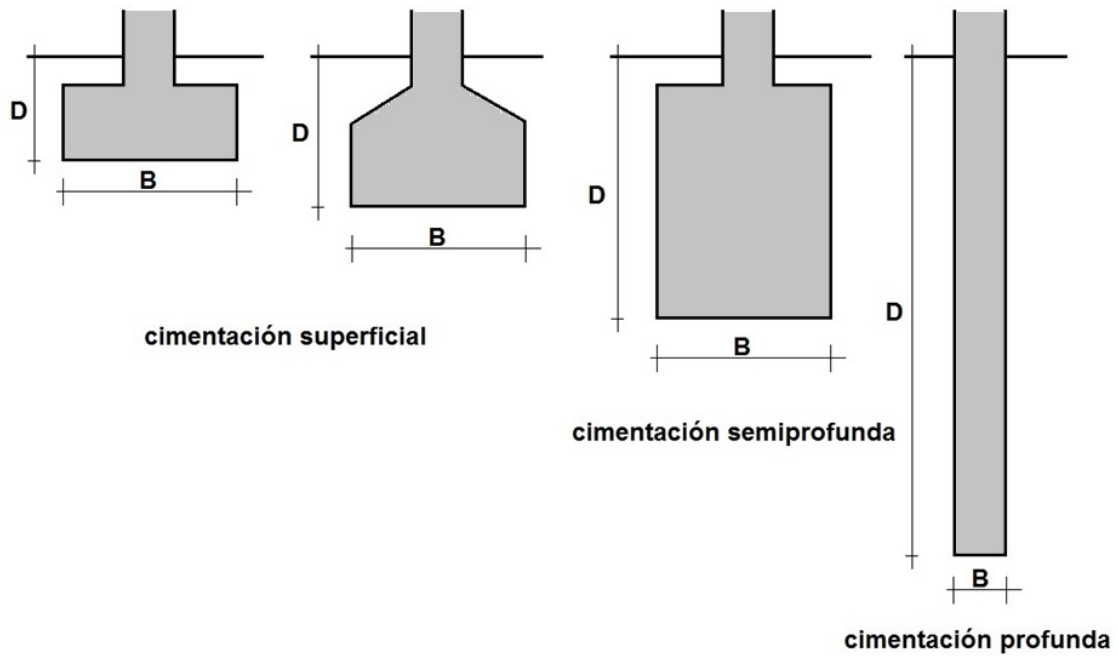


Figura 3. Clasificación de las cimentaciones en función de la profundidad de apoyo
Existen distintos tipos de cimentaciones superficiales, tal y como se aprecia en la Figura 4.

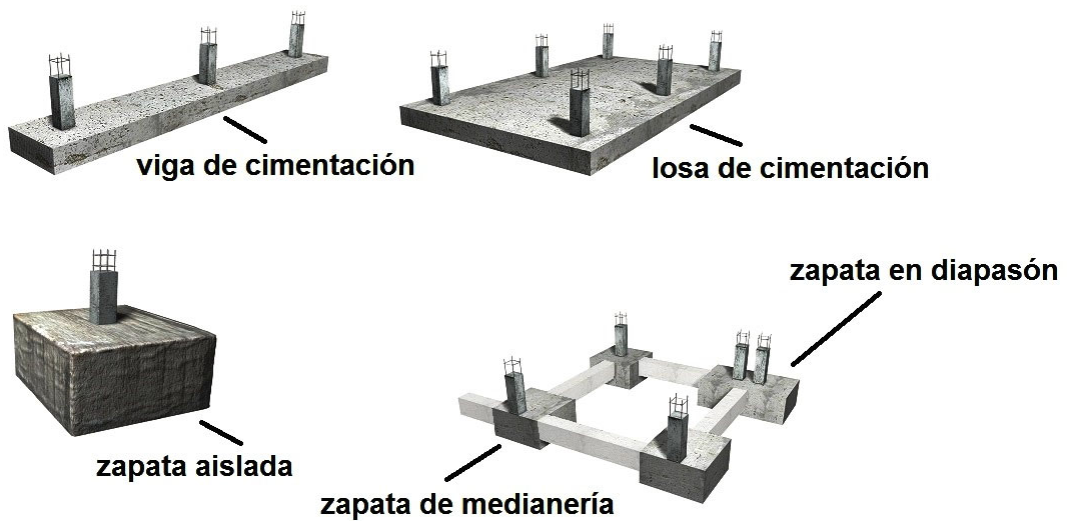


Figura 4. Algunos tipos de cimentaciones superficiales. Imagen elaborada a partir de:
<http://www.generadordeprecios.info/>

En la Tabla 1 se ha asignado a cada cimiento directo el tipo de elemento estructural al que sirve de cimentación.

Tabla 1. Tipología de cimiento y elemento estructural más usual al que sirve de cimentación

Tipo de cimiento directo	Elementos estructurales más usuales a los que sirve de cimentación
Zapata aislada	Pilar aislado, interior, medianero o de esquina
Zapata combinada	Dos o más pilares contiguos
Zapata corrida	Alienaciones de tres o más pilares o muros
Pozo de cimentación	Pilar aislado
Emparrillado	Conjunto de pilares y muros distribuidos, en general, en retícula
Losa	Conjunto de pilares y muros

1.3 Criterios de elección del tipo de cimentación

El tipo de cimentación se selecciona en función el tipo de terreno, del tipo de estructura y de la interacción con los edificios próximos. El terreno influye por su capacidad portante, por su deformabilidad, por la existencia de nivel freático, por su excavabilidad o alterabilidad, entre otros. En el tipo de estructura son determinantes las cargas, las tolerancias a los asientos y la presencia de sótanos. Son muy susceptibles aquellos edificios cercanos antiguos con cimentación somera o cuando las cargas van a ser muy diferentes entre los edificios próximos.

La **cimentación por zapatas** constituye la solución tradicional por economía y facilidad de ejecución. Es una buena solución cuando la resistencia del terreno es de media a alta, sin estratos blandos interpuestos. Es la cimentación ideal si el terreno presenta una cohesión suficiente para mantener verticales las excavaciones, no existe afluencia de agua y el nivel de apoyo se encuentra a menos de 1,5 m, si bien se puede rellenar la diferencia con un hormigón pobre en el caso de mayores profundidades. En edificios ligeros y muros de carga se utilizaban zapatas de hormigón en masa, si bien hoy día se realizan con hormigón armado. Cada pilar asienta de forma independiente sobre cada zapata. Como inconveniente cabe citar la escasa resistencia a giros y a desplazamientos horizontales, que pueden resolverse con riostras, zapatas combinadas o vigas de cimentación.

La **cimentación por losa** se utiliza en terrenos menos resistentes o heterogéneos, especialmente para tensiones admisibles menores a $0,15 \text{ N/mm}^2$. Es económica si la superficie de la cimentación supera la mitad de la extensión que ocupa el edificio. Una ventaja adicional es que anula o reduce los asientos diferenciales. Asimismo, se aconseja cuando el edificio presenta un sótano bajo el nivel freático, combinado con muros-pantalla. La facilidad constructiva sugiere losas de canto constante, salvo en edificios con zonas cargadas de forma diferente para garantizar la compatibilidad de las deformaciones.

Se recurre a la **cimentación por pilotaje** cuando el apoyo no existe a una profundidad alcanzable mediante zapatas o pozos, normalmente más de 5 m. Los pilotes reducen los asientos de la estructura, cuando la permeabilidad u otras condiciones del terreno impiden la ejecución de cimentaciones superficiales, existen cargas muy fuertes o concentradas o bien se pretende evitar la influencia sobre cimentaciones adyacentes.

En cuanto a criterios económicos, para un mismo edificio cimentado sobre suelos de distintas características, se puede decir “grosso modo” que las zapatas son la solución menos costosa, frente a los pozos de cimentación, que pueden ser un 50% más caros para una profundidad de