



mr
manual de referencia

INGENIERIA CIVIL

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

2ª edición

Víctor Yepes Piqueras



Editorial
Universitat Politècnica
de València

INGENIERÍA CIVIL

Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención

2ª edición

Víctor Yepes Piqueras

Colección *Manual de Referencia*

Los contenidos de esta publicación han sido evaluados mediante el sistema *doble ciego*, siguiendo el procedimiento que se recoge en http://bit.ly/Evaluacion_Obras

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Yepes Piqueras, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. 2ª ed. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Víctor Yepes Piqueras

© 2020, Editorial Universitat Politècnica de València
Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0328_09_02_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-903-1
Impreso bajo demanda

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es.

Impreso en España

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 elmuete.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 posible 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

1	Concepto y clasificación de las cimentaciones	1
1.1	Concepto	1
1.2	Clasificación	2
1.3	Criterios de elección del tipo de cimentación	4
2	Cimentaciones superficiales	7
2.1	Zapatas	8
2.1.1	Zapata aislada	8
2.1.2	Zapata combinada	18
2.1.3	Zapata continua bajo pilares	19
2.1.4	Zapata continua bajo muro	21
2.1.5	Zapata arriostrada o atada	22
2.2	Emparrillados de cimentación	25
2.3	Losas de cimentación	26
3	Cimentaciones profundas.....	31
3.1	Cimentación por pozos.....	31
3.2	Cimentación por cajones	33
3.2.1	Cimentación por cajones abiertos o cajones indios	33
3.2.2	Cimentaciones por cajones neumáticos	35
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 hinca	46
3.3.3	Pilotes de desplazamiento.....	46
3.3.4	Pilotes de extracción.....	77
3.3.5	Pilotes inyectados.....	106
3.3.6	Micropilotes.....	106

4	Estructuras de contención de tierras.....	111
4.1	Muros	112
4.1.1	Muros de gravedad.....	114
4.1.2	Muros estructurales	120
4.1.3	Muros mixtos.....	127
5	Pantallas de hormigón.....	131
5.1	Tipología de pantallas.....	132
5.2	Muros-pantalla continuos	134
5.2.1	Construcción de los muros guía.....	135
5.2.2	Excavación del panel.....	137
5.2.3	Relleno con lodos de excavación	142
5.2.4	Colocación de los moldes de junta	144
5.2.5	Colocación de las armaduras	146
5.2.6	Hormigonado.....	147
5.2.7	Extracción de los encofrados de junta.....	149
5.2.8	Descabezado del muro pantalla	150
5.2.9	Construcción de la viga de atado.....	153
5.2.10	Acabado del muro pantalla.....	154
5.2.11	Sostenimiento del muro pantalla	155
5.3	Muros-pantallas discontinuos	157
6	Anclajes.....	163
6.1	Clasificaciones de los anclajes	164
6.2	Zonas de un anclaje.....	165
6.3	Ejecución de un anclaje.....	166
7	Entibaciones	171
7.1	Con madera	172
7.2	Muro berlinés	175

7.3	Entibación de zanjas mediante paneles metálicos.....	177
7.3.1	Entibación ligera con paneles de aluminio.....	179
7.3.2	Sistema de entibación mediante paneles con guías deslizantes.....	179
7.3.3	Sistemas de entibación por presión hidráulica	182
7.3.4	Sistemas de entibación con cajones de blindaje o escudos	183
8	Tablestacas	187
8.1	Tipología	189
8.1.1	De madera	189
8.1.2	De hormigón.....	190
8.1.3	Metálicas	191
8.2	Métodos de instalación	193
8.2.1	Tablestacas autoportantes	193
8.2.2	Tablestacas arriostradas con anclajes al terreno	194
8.2.3	Tablestacas arriostradas con puntales	195
8.2.4	Tablestacas atirantadas.....	196
9	Procedimientos de hinca de pilotes y tablestacas.....	199
9.1	Hinca por percusión o impacto	200
9.1.1	Mazas de caída libre	202
9.1.2	Martillos neumáticos.....	204
9.1.3	Martillos hidráulicos.....	205
9.1.4	Martillos diésel	206
9.2	Vibrohincadores	207
9.3	Hinca por presión	210
9.4	Especiales y mixtos.....	212
9.4.1	Hinca por inyección de agua.....	212
9.4.2	Prebarrenado	214

10	Técnicas de control del agua	215
10.1	Conceptos básicos del agua en medio poroso	215
10.2	El problema del agua en las excavaciones.....	220
10.3	Las tensiones efectivas en geotecnia	226
10.4	El sifonamiento en las excavaciones	228
10.5	Clasificación de las técnicas de control del agua.....	230
10.6	Selección del sistema de control del agua.....	233
10.7	Ensayos de permeabilidad en suelos y rocas	237
11	Procedimientos para la extracción del agua.....	241
11.1	Agotamiento del nivel freático	241
11.1.1	Bombeos superficiales y sumideros	241
11.1.2	Drenaje mediante zanjas perimetrales	243
11.2	Rebajamiento del nivel freático	246
11.2.1	Descenso del nivel freático por bombeo.....	246
11.2.2	Pozos de alivio sobre acuíferos confinados.....	274
11.2.3	Pozos filtrantes profundos	275
11.2.4	Lanzas de drenaje (<i>wellpoints</i>)	280
11.2.5	Pozos eyectores.....	282
11.2.6	Drenajes horizontales mediante zanjadoras	284
11.2.7	Pozos horizontales ejecutados con perforación horizontal dirigida	287
11.2.8	Drenes californianos.....	290
11.2.9	Pozos radiales	293
11.2.10	Galerías de drenaje.....	296
11.2.11	Electroósmosis.....	297
12	Procedimientos para la contención del agua	301
12.1	Tipologías de contención del agua	301

12.2	Contención del agua mediante ataguías y pantallas	304
12.2.1	Contención del agua mediante ataguías	305
12.2.2	Contención del agua mediante pantallas	315
12.3	Contención del agua mediante tratamiento del terreno	333
12.3.1	Inyección del terreno	333
12.3.2	Congelación del terreno	361
12.4	Contención del agua mediante escudos.....	365
12.4.1	Escudos de aire comprimido	365
12.4.2	Escudos de lodo.....	367
12.4.3	Escudos de presión de tierras.....	369
13	Cuestiones de autoevaluación.....	375
13.1	Planteamiento de las cuestiones.....	375
13.2	Respuestas seleccionadas	441
13.3	Vocabulario básico	460
	BIBLIOGRAFÍA.....	461

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 sujetar 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.

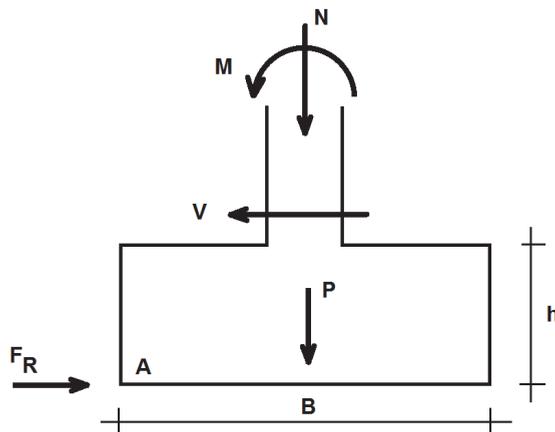


Figura 1. Cargas sobre una cimentación superficial

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 asentamientos 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:
 $D/B > 8$
 $D > 6 \text{ m}$

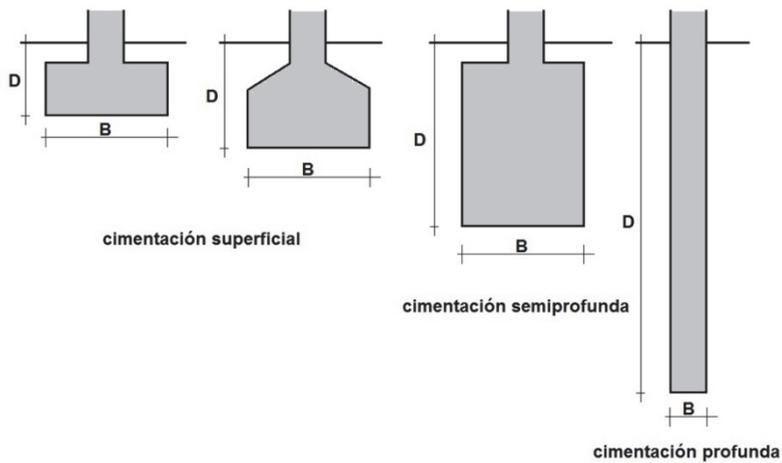


Figura 3. Clasificación de las cimentaciones en función de la profundidad de apoyo

Existen distintos tipos de cimentaciones superficiales, tal y como se aprecia en la Figura 4.

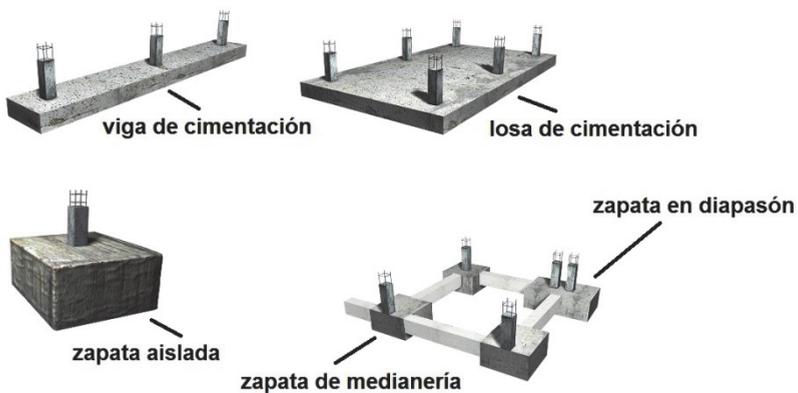


Figura 4. Algunos tipos de cimentaciones superficiales.
Imagen elaborada a partir de: <http://www.generadordeprecios.info/>

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 asentos 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 asentos 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 asentos 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 3 m y las losas, tres veces más caras. En el caso de pilotes, suponiendo una longitud de 11 m, el precio puede superar casi seis veces al de las zapatas aisladas.

2 Cimentaciones superficiales

Las cimentaciones superficiales suelen ser las más utilizadas, especialmente en el ámbito de la edificación, pues presentan un menor coste por carga soportada y una mayor facilidad de ejecución. Los esfuerzos, tanto los verticales, los horizontales, como los momentos, se transmiten en su totalidad al terreno a través de su base de contacto y origina en el terreno unas distribuciones que se consideran normalmente planas. No debe rebasarse la capacidad portante del terreno y las deformaciones producidas deben ser admisibles para la estructura. En la Figura 5 se puede ver cómo una excentricidad en la carga puede provocar zonas de despegue de tensiones en el apoyo de la zapata.

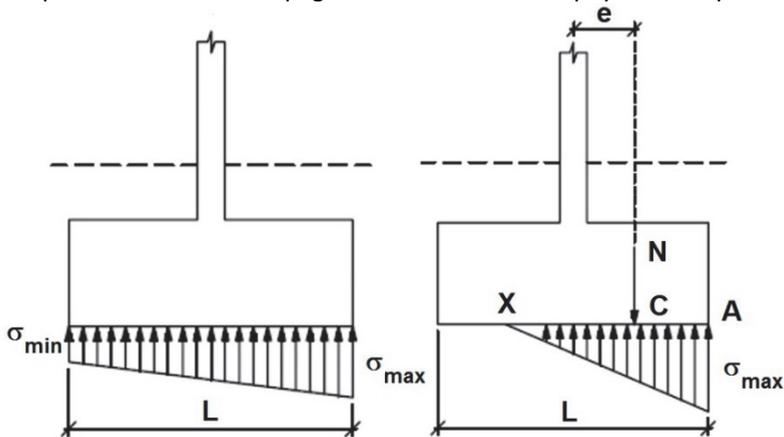


Figura 5. Distribución de la tensión transmitida al terreno

La deformabilidad del cimiento respecto a la del terreno permite diferenciarlas en flexibles o rígidas atendiendo a la importancia del efecto entre el suelo y la estructura. Esta diferenciación es trascendente para distinguir cuándo es necesario realizar cálculos de esfuerzos en la cimentación con o sin consideración del efecto de interacción. En la Figura 6 se observa cómo cambia la distribución de presiones en función de tipo de suelo (cohesivo, granular o roca) y del tipo de zapata (rígida o flexible).

Sin embargo, con cimentaciones corridas o aisladas y con los vuelos de zapata habituales, se acepta una distribución uniforme de presiones. Hay que considerar la forma en que se transmiten los esfuerzos al terreno, puesto que la carga soportada por éste es mucho menor que la del elemento en contacto con él.

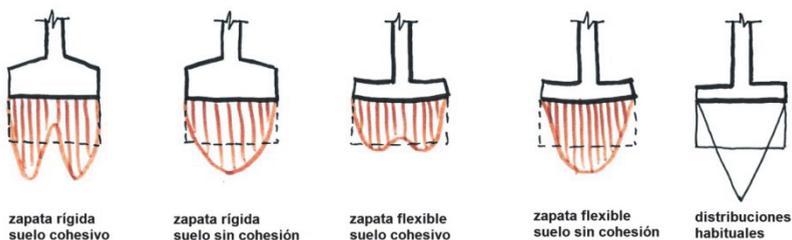


Figura 6. Distribución de tensiones en función de la naturaleza del suelo

Otro aspecto de gran importancia es la presencia de agua, pues su agotamiento supone un incremento en coste y un aumento de plazo que puede hacer inviable una cimentación superficial. Por otra parte, el nivel freático no influirá en la capacidad portante del terreno si se encuentra por debajo de la superficie del cemento a una profundidad mayor a 1,5 veces el ancho de la zapata.

Hay dos casos frecuentes en obra que pueden alterar la estructura del suelo sobre el que se apoya una cimentación directa. En el caso de limos o arenas finas, un bombeo puede suponer un sifonamiento del fondo de la excavación, e incluso un descenso de la superficie exterior del terreno que puede afectar a estructuras próximas. Se aconseja en este caso un bombeo desde pozos filtrantes y no desde sumideros. El segundo caso es cuando el terreno es arcilloso y se ablanda al absorber agua de lluvia y por el efecto de remoldeo que se produce simplemente caminando sobre ella. Ello obliga a verter el hormigón de limpieza sin demora tras la excavación, o bien dejar de excavar los últimos 10-15 cm hasta el último momento.

2.1 Zapatas

Las zapatas son cimentaciones superficiales indicadas para cimentar elementos aislados de una estructura, tales como pilares o muros. Se pueden clasificar en función de su forma de trabajo, tal y como se describe a continuación.

2.1.1 Zapata aislada

Una **zapata aislada** es una cimentación puntual que recibe un solo sistema de carga, como son los pilares (Figura 7). Se emplea en terreno firme y competente, transmitiendo una tensión de media a alta y provocando asientos pequeños o moderados. Es la cimentación más económica sobre roca o suelos con tensiones admisibles habituales superiores a $0,15 \text{ N/mm}^2$, lo cual implica su uso en edificios de entre 5 y 15 pisos. Son cuadradas, aunque se usan rectangulares cuando existen luces diferentes en dos sentidos perpendiculares, los momentos flectores se dan en una sola dirección, los pilares son de sección rectangular, se levantan dos pilares contiguos separados por una junta de dilatación o en casos especiales de geometría difícil. En otros casos pueden ser de formas circulares o poligonales. Si existe una junta de dilatación, se dispone la zapata en diapasón, con dos soportes adosados, tal y como se aprecia en la Figura 8.

Las zapatas aisladas se pueden clasificar atendiendo a su forma (Figura 9): rectas (de canto constante), escalonadas, piramidales y nervadas o aligeradas. En el caso de una cimentación con canto variable, como la tipología piramidal, si el ángulo de inclinación es menor a 30° , suele emplearse un hormigón relativamente seco, sin necesidad de encofrado; sin embargo, esta tipología hace difícil la vibración del hormigón, por lo que es preferible el canto constante, excepto en grandes cimientos, donde la economía del material manda.

La norma de hormigón estructural EHE, en cambio, cataloga las zapatas en rígidas y flexibles (Figura 10). Este concepto de rigidez o flexibilidad se refiere únicamente a la estructura, siendo independiente de la rigidez del terreno. El canto mínimo establecido en los extremos es de 40 cm en zapatas de hormigón en masa y 25 cm si son de hormigón armado, aunque por criterios de anclaje de las armaduras de arranque de los pilares, se recomienda superar los 40 cm. Normalmente se utiliza un hormigón de baja resistencia característica, imponiendo la EHE un mínimo a emplear de HA-25. Se suele utilizar un acero B 500 S/SD en el armado. Las zapatas rígidas proporcionan un mejor reparto de tensiones, sin embargo, las flexibles son más económicas.

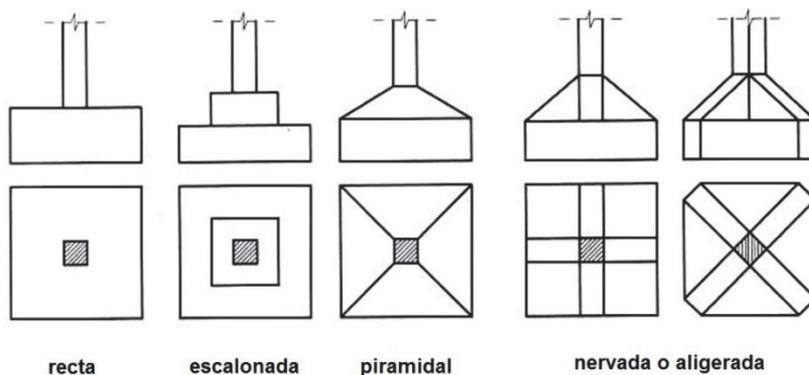


Figura 9. Tipología de zapatas atendiendo a su forma

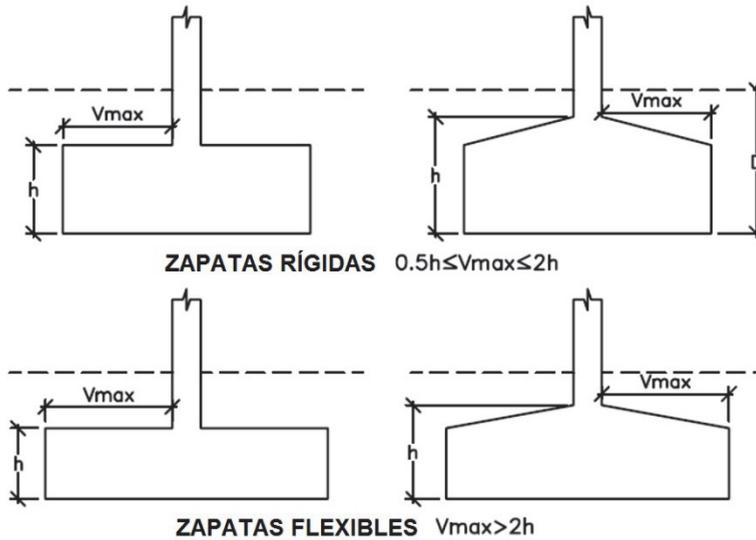


Figura 10. Tipología estructural de zapatas atendiendo a la EHE

A los efectos de interacción suelo-estructura, una zapata se considera rígida si se cumple la siguiente condición:

$$h \geq \alpha \cdot v$$

Donde:

h = Canto de la zapata en su encuentro con la cara del pilar

v = Vuelo, o distancia horizontal entre la cara del pilar y la cara vertical más próxima de contorno de la zapata

α = Coeficiente adimensional que puede estimarse mediante la siguiente relación:

$$\alpha = 2,2 \cdot \left(\frac{E}{E_h} \right)^{1/3}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del terreno de cimentación

E_h = Módulo de elasticidad del material que forma la zapata

Las expresiones anteriores son aproximadas y se deducen suponiendo que la deflexión o flecha diferencial de la estructura de cimentación es aproximadamente igual a la décima parte del asiento máximo. Suele ser habitual que el canto sea tal que la zapata sea rígida, aunque las zapatas más económicas son las flexibles, al contener un menor volumen de hormigón y acero.

Las zapatas aisladas pueden ser centradas, medianeras o de esquina, según la columna se encuentre en el centro del cimiento, en el borde o en la esquina. La **zapata de medianería** transmite la carga de soportes excéntricos situados en una de las caras de la zapata (Figura 11). La **zapata de esquina**, tal y como se ilustra en la Figura 12, tiene situada la columna en una de las esquinas. Ambos casos son habituales cuando se disponen soportes junto a las lindes de propiedad del terreno sobre las que se va a construir la estructura.



Figura 11. Zapata de medianería.

Imagen de J. Martinez (<http://www.soloarquitectura.com/foros>)

La excentricidad de la carga sobre una zapata de medianería provoca un momento de vuelco que tiende a levantarla (Figura 13). Para evitarlo, tal y como muestra la Figura 14, se puede atar la cimentación al forjado o viga superior (a,b), mediante un tirante (c,d) o mediante una viga centradora (e). La viga centradora une zapatas de medianería o de esquina redistribuyendo las cargas y presiones sobre el terreno.

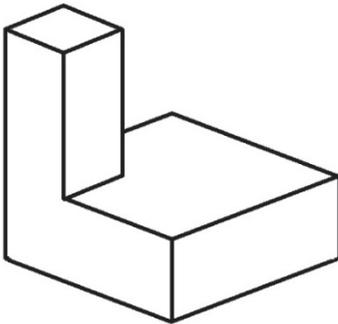


Figura 12. Zapata de esquina

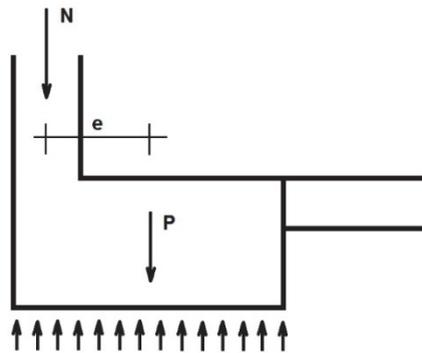


Figura 13. La carga del pilar provoca un momento de vuelco

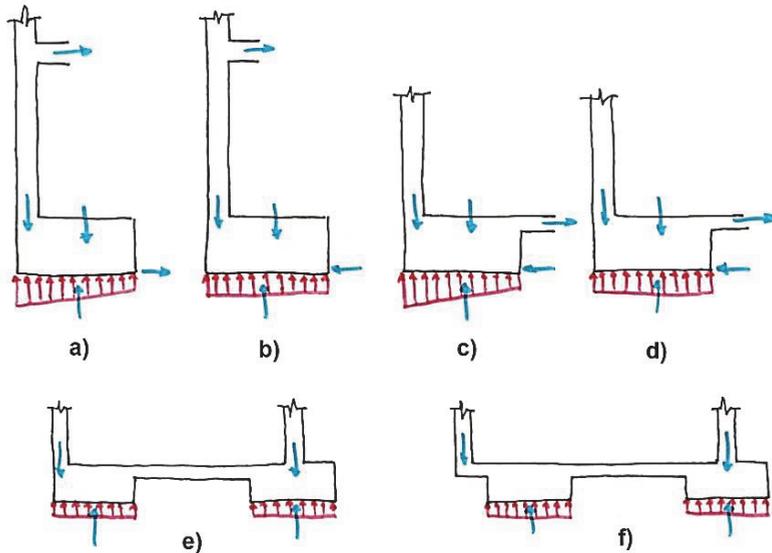


Figura 14. Problema de la excentricidad de la carga. Esquema basado en Calavera (2015)

Las **fases de ejecución** de una zapata aislada se pueden resumir de la siguiente forma: limpieza y desbroce del solar, comprobación de medidas y niveles, replanteo del movimiento de tierras, excavación hasta la cota superior del cimiento y excavación de zapatas y riostras. A continuación se vierten unos 10 cm de hormigón de limpieza, se encofran las zapatas y riostras, se coloca la armadura inferior con los separadores, se dispone la armadura de espera de pilares, se arman las riostras, se vierte, vibra y cura el hormigón. En las siguientes fotografías (Figuras 15-32) se pueden apreciar algunas de estas fases.



Figura 15. Limpieza y desbroce del solar.
Imagen: V. Yepes



Figura 16. Marcado de la cimentación.
Fuente: <http://www.newjoquesa.net/>



Figura 17. Replanteo del movimiento de tierras.
Imagen: V. Yepes



Figura 18. Excavación hasta la cota superior del cimiento. Imagen: V. Yepes



Figura 19. Hormigón de limpieza.
Imagen: V. Yepes



Figura 20. Excavación hasta la cota superior del cimiento. Imagen: V. Yepes



Figura 21. Inestabilidad de las paredes.
Fuente: <http://www.elblogdeapa.com/>



Figura 22. Encofrado de zapatas. Fuente:
<http://constructorinmobiliario.blogspot.com.es/>



Figura 23. Replanteo sobre hormigón de limpieza. Imagen: V. Yepes



Figura 24. Colocación de armadura. Imagen: V. Yepes



Figura 25. Colocación de armadura. Imagen: V. Yepes



Figura 26. Error en la colocación. Fuente: <http://www.elblogdeapa.com>



Figura 27. Hormigonado con tubo. Fuente: arq.clarin.com



Figura 28. Hormigonado con cubilote. Fuente: <http://emetresemestudio.blogspot.com.es/>



Figura 29. Vibrado del hormigón.
Fuente: <http://www.newjoquesa.net/>



Figura 30. Vibrado del hormigón.
Imagen: E. Valiente



Figura 31. Curado del hormigón. Fuente:
<http://constructoraindustrialyminas.com/>



Figura 32. Desencofrado. Imagen: I. Serrano
(www.desdeelmurete.com)

Además, se deben respetar algunas **disposiciones constructivas**, entre las que destacan las siguientes:

- La excavación deberá estar de 0,5 a 0,8 por debajo de la rasante, incluso con terreno firme. La profundidad mínima será tal que no permita la penetración normal de la congelación en zonas frías.
- Se dispondrá de unos 10 cm de hormigón de limpieza, con un tamaño máximo de árido de 40 mm (Figura 33). Caso de no hacerlo, las armaduras se separarán del suelo un mínimo de 70 mm. Esta solera de regularización crea una superficie de apoyo y evita, además, que penetre la lechada en el terreno en suelos permeables.
- Se deberían excavar los últimos 20 cm justo antes de verter el hormigón de limpieza, especialmente en suelos cohesivos y con posibilidad de lluvias.
- Debe guardarse el recubrimiento mínimo prescrito por las normas, usándose separadores para apoyar las armaduras (Figura 34).

- Las armaduras verticales de los pilares deben penetrar en la zapata hasta el nivel de la capa inferior de armadura de ésta. A las esperas del pilar de hormigón se les denomina “enanos”.
- Se hormigonará a sección de excavación completa, después de la limpieza de fondo y si las paredes son coherentes; en caso contrario, se deberá realizar un encofrado.
- Se evitará la caída libre de hormigón.
- No se circulará sobre el hormigón fresco.

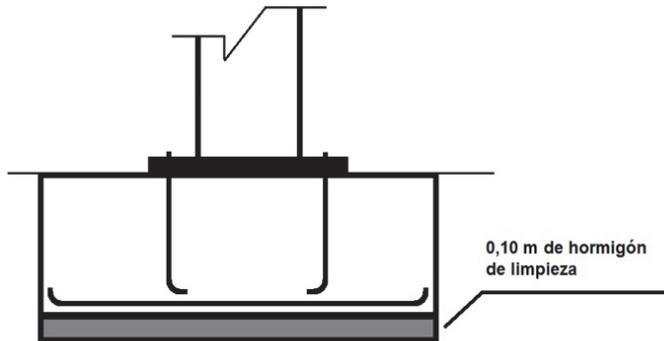


Figura 33. Disposición de hormigón de limpieza



Figura 34. Separadores.

Fuente: <http://separadoresatecon.com/>

En el caso de una zapata con pilar de acero estructural, deberán dejarse pernos en el hormigón fresco para luego fijar el pilar, tal y como se observa en la Figura 35.



Figura 35. Zapata con pilar metálico.
Fuente: <http://www.alvarocarnicero.com/>

2.1.2 Zapata combinada

La zapata combinada es aquella sobre la que se apoyan dos o más columnas, siempre que las cargas no sean muy grandes. Se utiliza cuando las zapatas están cerca, complicando la excavación, o bien cuando se buscan asientos uniformes en los pilares, al comportarse de forma rígida. La forma del cimiento debería hacer coincidir el centro de gravedad de la superficie con el de las acciones. Además, se recomienda que el canto sea constante por motivos económicos.

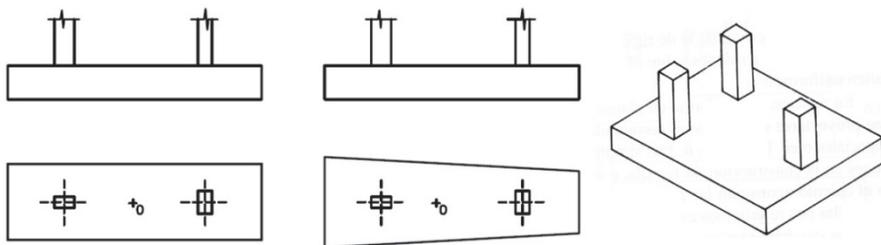


Figura 36. Disposiciones de zapatas combinadas



Figura 37. Zapata combinada. Fase de preparación de parrilla superior.
 Fuente: <http://maquinariayconstruccion.blogspot.com.es/>

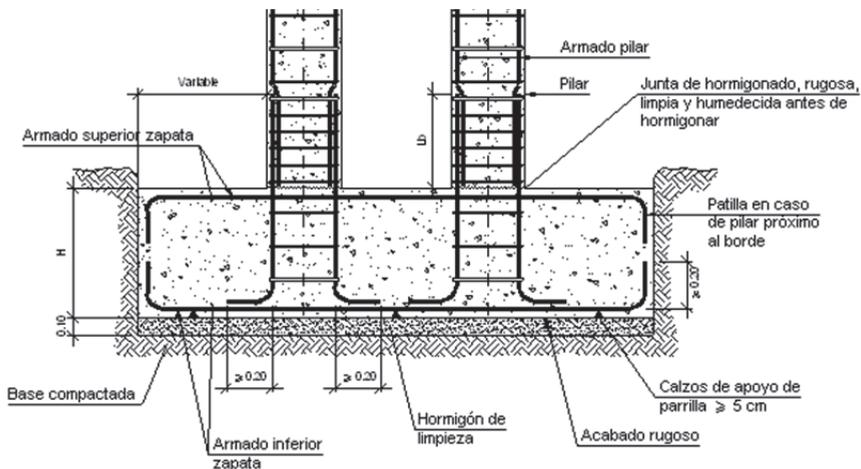


Figura 38. Disposición típica de armado en zapata combinada.

Imagen cortesía de CYPE, Biblioteca de detalles constructivos, Regalado et al., (2004)

2.1.3 Zapata continua bajo pilares

Las **vigas de cimentación** son zapatas continuas o corridas, que reciben tres o más pilares (Figuras 39, 40 y 41). Se caracterizan por gran longitud en comparación con su sección transversal. Son menos sensibles que las zapatas aisladas a asientos diferenciales u oquedades. Su cálculo se realiza como viga flotante, de sección rectangular o T invertida. Para el cálculo de las tensiones bajo la viga hay que atender a las características del terreno.

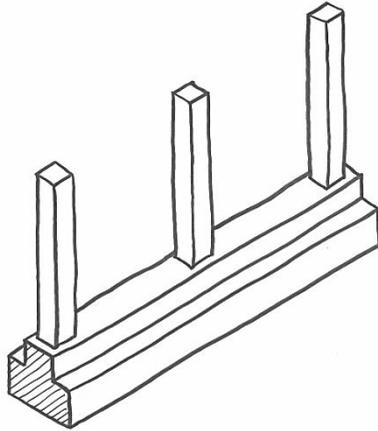


Figura 39. Zapata continua bajo pilares



Figura 40. Detalle de encofrado en zapata continua bajo pilares.
Fuente: <http://todoarquitecturadisenoconstruccion.blogspot.com.es/>



Figura 41. Detalle de zapata continua bajo pilares.

Imagen de J.A. Fernández (<https://acercatealaarquitectura.wordpress.com/>)

2.1.4 Zapata continua bajo muro

La zapata continua o corrida bajo muro presenta una gran longitud comparada con las otras dimensiones (Figura 42). Suele usarse como base de muros portantes y cimentación de elementos lineales. Se busca la homogeneidad en los asientos y la reducción de las tensiones en el terreno frente a una solución por zapatas aisladas. Además, presenta una mayor facilidad constructiva.

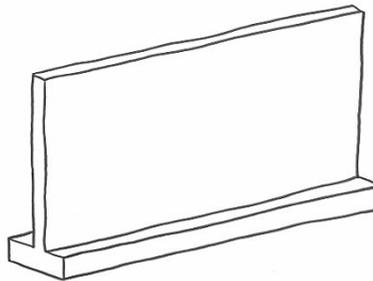


Figura 42. Zapata corrida bajo muro

La cimentación superficial corrida para muros portantes, aunque puede ser de mampostería (Figura 43) o de hormigón en masa, actualmente se construyen de hormigón armado (Figura 44). En época calurosa se disponen juntas de hormigonado separadas 16 m si el clima es seco, y de 20 m si es húmedo. En época fría, dichas distancias serán de 20 y 24 m, respectivamente.



Figura 43. Zapata corrida de mampostería para muros portantes.
Fuente: <http://www.aguascalientes.gob.mx/>



Figura 44. Detalle de zapata corrida bajo muro.
Imagen: V. Yepes

2.1.5 Zapata arriostrada o atada

Las riostras son vigas de hormigón armado encargadas de enlazar las zapatas. Su misión es evitar los corrimientos relativos entre las zapatas y absorber cargas horizontales, especialmente el sismo. En la Figura 45 se muestra un ejemplo típico de armado con zapatas arriostradas. En la Figura 46 se observa cómo el hormigón de limpieza debe disponerse también en las vigas riostras. Se debe realizar un atado perimetral, y en función de la aceleración sísmica, este atado será unidireccional ($0,06 g < a_c < 0,16 g$) o

bidireccional ($a_c \geq 0,16 g$). En la Figura 47 se comprueba la diferencia en la densidad de vigas de atado en función de la sismicidad.

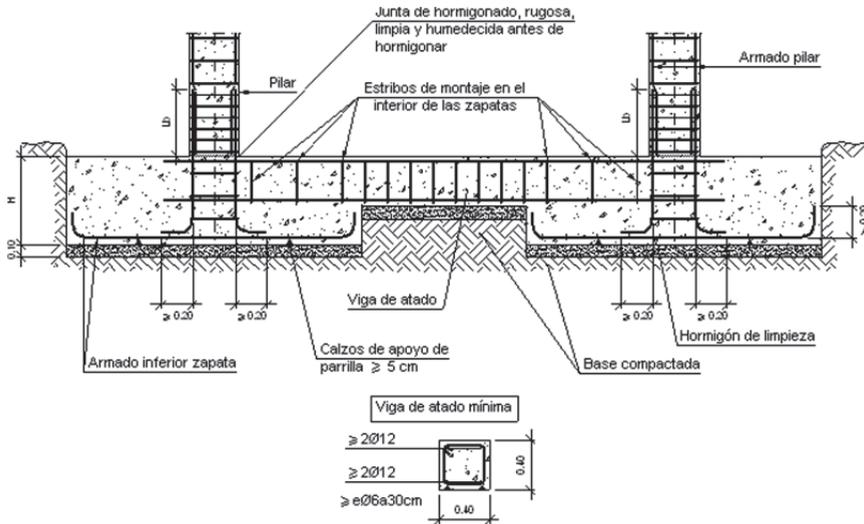


Figura 45. Armado típico de un par de zapatas arriostradas.

Imagen cortesía de CYPE, Biblioteca de detalles constructivos, Regalado et al., (2004)

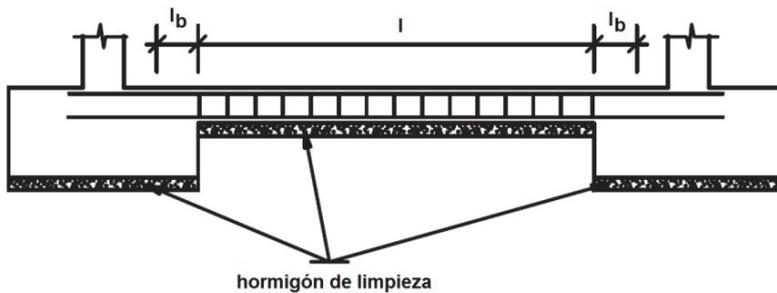


Figura 46. Hormigón de limpieza bajo zapatas arriostradas

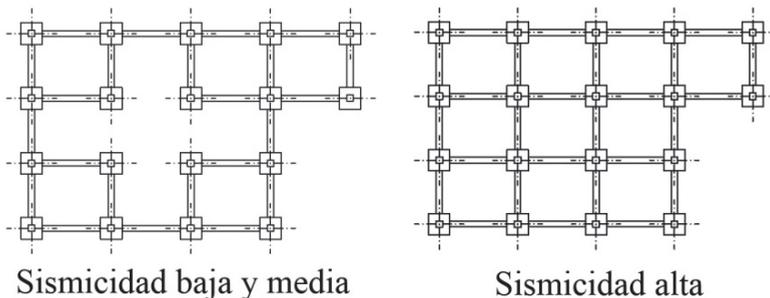


Figura 47. Disposición de vigas de atado entre zapatas según la sismicidad



Figura 48. Detalle de zapatas arriostradas.
Fuente: www.construccionlabassa.com



Figura 49. Detalle de armado de zapatas arriostradas.
Imagen: E. Valiente

También se pueden atar zapatas a distinto nivel, tal y como vemos en la Figura 50.

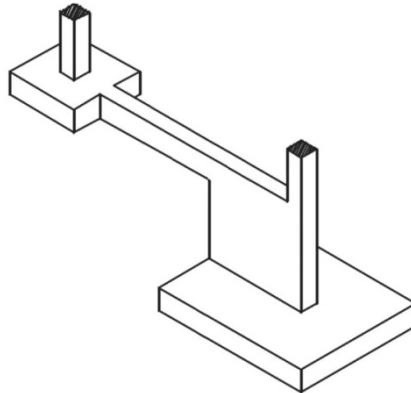


Figura 50. Zapatas aisladas con desnivel de cotas de asiento

2.2 Emparrillados de cimentación

Los emparrillados recogen los pilares de la estructura en una única cimentación, consistente en zapatas corridas entrecruzadas en malla habitualmente ortogonal, de gran rigidez (Figuras 51 y 52). Al igual que en las vigas de cimentación, los emparrillados son menos sensibles a las heterogeneidades, oquedades o a los defectos locales del terreno. Suelen emplearse cuando la presión admisible del terreno es baja, existe una elevada deformabilidad o se esperan importantes asientos diferenciales, aunque la alternativa es la losa de cimentación. No obstante, en España se usan poco, tendiéndose hacia la losa de cimentación. En la Figura 53 se observa una especie de emparrillado de cimentación que usa elementos para aligerar lo que sería una losa y que en una vivienda sirve de forjado sanitario.



Figura 51. Emparrillado de cimentación.

Fuente: puntaltec.com

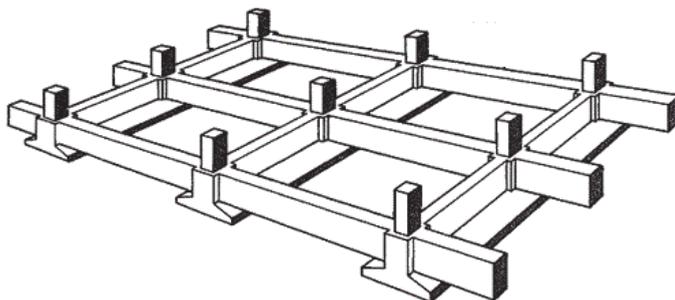


Figura 52. Esquema de emparrillado de cimentación.

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/>



Figura 53. Emparrillado de cimentación con aligeramientos Daliforma.

Fuente: <http://www.admasarquitectura.com/>

2.3 Losas de cimentación

Las losas o placas de cimentación se caracterizan porque la dimensión en planta es mucho mayor que el canto. Se utiliza cuando la superficie de las zapatas supera el 50% de la superficie de la planta. Se aconsejan con sótanos estancos cuya cota inferior se sitúe por debajo del nivel freático, así como para reducir los asientos diferenciales. También son útiles cuando la capacidad portante del terreno es escasa y en construcciones donde la superficie es pequeña en relación al volumen, tales como rascacielos, depósitos o silos. Así, es frecuente su uso en edificios de más de 8 plantas con una capacidad portante media-baja, estando comprendida la tensión admisible entre 0,08 y 0,15 N/mm².

A efectos de interacción suelo-estructura, tanto las losas como los emparrillados y vigas continuas de cimentación pueden considerarse rígidas cuando se cumple la siguiente condición:

$$h \geq \beta \cdot l$$

Donde:

h = Canto de la losa

l = Luz libre entre apoyos

β = coeficiente adimensional dado por la expresión siguiente:

$$\beta = 2 \cdot \left(\frac{K_b \cdot l}{E_h} \right)^{1/3}$$

Donde:

K_b = Módulo de balasto

E_h = Módulo de elasticidad del material que forma el elemento

Al igual que hicimos en el caso de las zapatas, las expresiones anteriores se han deducido suponiendo que la máxima deflexión o flecha diferencial de la estructura de cimentación sea igual a la décima parte del asiento máximo. En la práctica habitual, los cantos de las losas de cimentación suelen ser tales que las hacen flexibles. En la Figura 54 se pueden ver distintos tipos de losas de cimentación. En la Figura 55 se comprueba cómo se integra la losa de cimentación con el soporte de la grúa que va a trabajar en la construcción del edificio.

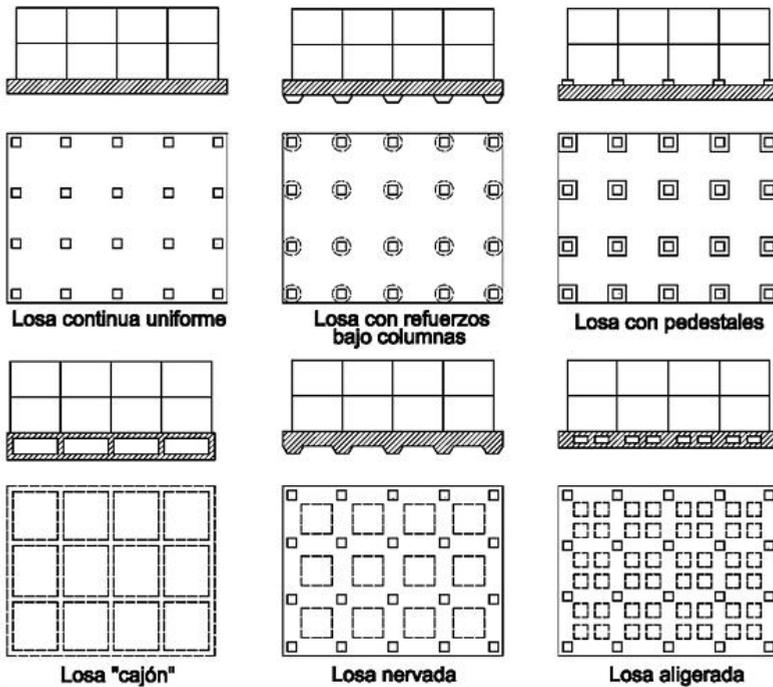


Figura 54. Tipos de losa de cimentación, según CTE DB SE-C.

Fuente: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd314-2006.nor7.html



Figura 55. Detalle del armado de una losa de cimentación.

Imagen: E. Valiente

Un aspecto a tener en cuenta en el diseño, normalmente asociado a una excavación importante para ejecutar los sótanos de un edificio, es el posible levantamiento del fondo durante la ejecución de la cimentación. En efecto, la excavación supone la supresión de las presiones verticales que actuaban sobre el suelo al nivel de la cota de cimentación. Por tanto, si esta excavación supera determinado valor, el fondo se hace inestable y falla, cualesquiera que sean la resistencia y tipo de entibación utilizado en las paredes laterales. Para ello deben ejecutarse en estos casos pantallas laterales con empotramiento suficiente por debajo del fondo de excavación para impedir este tipo de rotura.

También se usan las losas de cimentaciones cuando se proyectan cimentaciones “compensadas”. En este tipo de edificaciones, los sótanos son tales que el peso de las tierras excavadas equivale aproximadamente al peso total del edificio. De esta forma, la losa distribuye uniformemente las tensiones en toda la superficie y los asientos esperados son reducidos. Hay que tener en cuenta las juntas estructurales entre las distintas zonas del edificio, que afectan también a la cimentación.

Otro aspecto a considerar son los asientos inducidos a las edificaciones colindantes en el caso de cimentar un edificio sobre una losa de cimentación sobre un terreno compresible.

En la Figura 56 se ve cómo son necesarias varias bombas de hormigón cuando se quiere hormigonar una losa de grandes dimensiones. A este respecto, se debe prever una adecuada logística y equipos de reposición para garantizar el vertido continuo al efecto de minimizar el número de juntas de trabajo.

Para seguir leyendo, inicie el proceso de compra, [click aquí](#)