

**PRONTUARIO  
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS  
DE LOS TERRENOS Y  
CIMENTACIONES ADECUADAS  
A LOS MISMOS**



<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. SUELOS</b>	<b>2</b>
2.1. ESTUDIO GEOTECNICO	2
2.2. CLASES DE SUELO	4
2.3. MODIFICACIONES DEL SUELO	7
2.3.1. Movimientos de tierras	7
2.3.2. Estabilización o mejora	8
<b>3. CIMENTACIONES</b>	<b>10</b>
3.1. GENERALIDADES	10
3.2. CLASES	10
3.2.1. Cimentaciones directas	11
3.2.2. Cimentación en pozo	14
3.2.3. Cimentaciones profundas	15
3.3. EJECUCION	18
3.3.1. Cimentaciones superficiales	18
3.3.2. Cimentaciones profundas	19
<b>4. MUROS Y PANTALLAS</b>	<b>20</b>
4.1. PANTALLAS	20
4.2. MUROS DE SOTANO	22
<b>5. ANCLAJES</b>	<b>24</b>

# SUELOS Y CIMENTACIONES

## 1. INTRODUCCION

La cimentación puede definirse en general como el conjunto de elementos de cualquier edificación cuya misión es transmitir al terreno que la soporta las acciones procedentes de la estructura. Su diseño dependerá por tanto no solo de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno.

La importancia del conocimiento de los caracteres propios del suelo se pone de manifiesto desde el momento de la propia ejecución de la obra por su influencia sobre la seguridad de los trabajadores en la realización de excavaciones y movimientos de tierras así como en la de los elementos auxiliares de la construcción: cimbras, encofrados, pozos y zanjas de cimentación líneas enterradas, etc.

Una cimentación inadecuada para el tipo de terreno, mal diseñada o calculada se traduce en la posibilidad de que tanto el propio edificio como las fincas colindantes sufran asientos diferenciales con el consiguiente deterioro de los mismos pudiendo llegar incluso al colapso.



**Grietas producidas en fachadas de edificios por asientos diferenciales**

## 2. SUELOS

### 2.1. ESTUDIO GEOTECNICO

El estudio geotécnico tiene por finalidad conocer las características del terreno que soportará la obra tanto en su fase de ejecución definiendo:

- la naturaleza de los materiales a excavar
- modo de excavación y utilización de los mismos
- los taludes a adoptar en los desmontes de la explanación
- la capacidad portante del terreno para soportar los rellenos y la estructura
- la forma de realizarlos y sus taludes, tanto en fase de obra como en fase de puesta en servicio previendo los asentamientos que puedan producirse y el tiempo necesario para que se produzcan
- los coeficientes de seguridad que deben adoptarse
- las medidas a tomar para incrementarlos caso de no ser aceptables
- las operaciones necesarias para disminuir los asentamientos y/o acelerarlos

Como información previa a la realización del estudio geotécnico, y parte integrante del mismo, se debe conocer todos aquellos datos que puedan condicionar sus características, solicitaciones e influencias. En particular, y sin ánimo exhaustivo, cabe mencionar el perfil del terreno, la existencia de vertidos, canalizaciones y servicios enterrados, la existencia de posibles fallas, terrenos expansivos, terrenos agresivos, existencia y ubicación de rellenos, pozos, galerías, depósitos enterrados, la naturaleza y configuración de las cimentaciones de los edificios colindantes, etc. Es de especial interés disponer de los datos que se hayan recogido en el estudio geotécnico realizado con motivo de las obras de urbanización de la zona.

Deben preverse tomas de muestras adicionales a medida que la obra avanza con objeto de detectar alteraciones en las condiciones del suelo, aparición de estratos diferentes a los previstos, alteraciones en el nivel de la capa freática, etc.

A efectos del reconocimiento del terreno, la unidad a considerar es el edificio o el conjunto de edificios de una misma promoción. El número de puntos de reconocimiento, con un número mínimo de tres, debe determinarse ajustándose a las disposiciones del código técnico de la edificación que establece las distancias máximas entre ellos y su profundidad en función del tipo de edificio y de la naturaleza general del terreno. El Código Técnico de la Edificación (CTE) distingue los siguientes tipos de construcciones y de terrenos:

a) Construcciones

**C-0:** Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m<sup>2</sup>

**C-1:** Otras construcciones de menos de 4 plantas

**C-2:** Construcciones entre 4 y 10 plantas

**C-3:** Construcciones entre 11 a 20 plantas

**C-4:** Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

b) Terrenos

**T-1** Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.

**T-2** Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.

**T-3** Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores.

En particular se considerarán en el grupo T-3 los siguientes terrenos: suelos expansivos, colapsables, blandos o sueltos, terrenos kársticos en yesos o calizas, terrenos variables en cuanto a composición y estado, rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m, terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos, rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades, terrenos con desnivel superior a 15°, suelos residuales y marismas.

Las distancias máximas y profundidades orientativas de los puntos de análisis se muestran en la tabla siguiente.

Grupo de terreno	T1		T2	
	d <sub>máx</sub> (m)	P (m)	d <sub>máx</sub> (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

Los datos de número mínimo de sondeos mecánicos que deben realizarse y el porcentaje posible de sustitución por pruebas continuas de penetración se muestran en la tabla siguiente en función del tipo de obra y de la naturaleza general del terreno.

	Número mínimo		% de sustitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
C-0	-	1	-	66
C-1	1	2	70	50
C-2	2	3		
C-3	3	3	50	40
C-4			40	30

En el caso de que las obras tengan elementos singulares de gran importancia, como por ejemplo en los puentes, debe comprobarse que el estudio geotécnico contempla específica y exhaustivamente los puntos en los que van a situarse elementos sensibles de la propia estructura (apoyos, cimientos, contrafuertes, etc.) o de elementos auxiliares (p.e. cimbrados) con objeto de evitar en lo posible el riesgo de que se produzcan corrimientos de tierras o asientos diferenciales durante la ejecución o durante su vida útil. Cuando en las proximidades de la zona que ocupará el edificio se encuentren desniveles apreciables (trincheras de carretera, hondonadas, etc.) resulta imprescindible que el estudio geotécnico incluya el análisis de la estabilidad de los taludes con objeto de evitar corrimientos de tierras debidos a la presión de la cimentación sobre el terreno.

Por último, hay que señalar que el estudio geotécnico específico para un proyecto de edificación debe contener la información y las recomendaciones precisas para el correcto diseño de los sistemas de cimentación: perfil de tensiones admisibles, presencia de estratos inestables, análisis de la influencia sobre los cimientos de los edificios colindantes, acciones recomendables de mejora de suelos, etc.

## 2.2. CLASES DE SUELO

Desde un punto de vista constructivo, los suelos se clasifican atendiendo a su integridad y capacidad portante en rocas, suelos granulares y suelos finos.

### a) **Rocas**

Se definen como rocas los suelos coherentes que son susceptibles de soportar con escasa deformación el peso de las edificaciones. Atendiendo al tipo de roca, y de modo orientativo, las tensiones admisibles sobre el terreno en la cota de apoyo de la cimentación se muestran en la tabla siguiente.

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm <sup>2</sup> )
Rocas ígneas y metamórficas sanas (Granito, diorita, basalto, gneís)	10 (100)
Rocas metamórficas foliadas sanas (Esquistos, pizarras)	3 (30)
Rocas sedimentarias sanas. Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4 (10 a 40)
Rocas arcillosas sanas	0,5 a 1 (5 a 10)
Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1 (10)

Los valores apuntados son válidos suponiendo que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada con estratificación o foliación subhorizontal. Los macizos rocosos con discontinuidades inclinadas, especialmente en las cercanías de taludes, deben ser objeto de análisis especial. Salvo que se indique, no se admiten discontinuidades con separaciones inferiores a un metro.

Se considera roca diaclasada cuando la roca está decolorada en la pared, la meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades y el material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana aunque este material débil representa menos del 50% del total.

Las rocas calizas, areniscas y rocas pizarrosas con separaciones pequeñas entre los planos de estratificación así como las demás que estén muy diaclasadas o meteorizadas requieren un estudio específico. Se considera que existe una meteorización alta cuando más de la mitad del material se encuentra descompuesto a suelo.

#### Suelos granulares

Este tipo de suelos está constituido por materiales de origen sedimentario en los que el porcentaje de material fino (limos y arcillas) es inferior al 35% en peso.

Los valores de tensión admisible que se consideran para este tipo de suelo se suponen para anchos de cimentación mayores o iguales a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación por debajo de ésta.

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm <sup>2</sup> )
Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6 (>6)
Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6 (2 a 6)
Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2 (<2)
Arena muy densa	>0,3 (>3)
Arena medianamente densa	0,1 a 0,3 (1 a 3)
Arena suelta	<0,1 (<1)

#### b) Suelos finos

Los suelos finos están también constituidos por materiales detríticos pero en ellos el porcentaje de elementos finos es superior al 35% en peso.

Las tensiones admisibles en estos suelos que se muestran en la tabla siguiente son orientativos y cuando sean suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asientos de consolidación así como en los suelos arcillosos potencialmente expansivos deberán ser objeto de un estudio especial.

Tipos y condiciones admisibles	Mpa (Kp/cm <sup>2</sup> )
Arcillas duras	0,3 a 0,6 (3 a 6)
Arcillas muy firmes	0,15 a 0,3 (1,5 a 3)
Arcillas firmes	0,075 a 0,15 (0,75 a 1,5)
Arcillas y limos blandos	<0,075 (<0,75)

Por último, es preciso considerar la composición química del suelo y de las aguas freáticas puesto que determinados componentes pueden resultar agresivos para el hormigón y afectar a su durabilidad y resistencia. La calificación del medio como agresivo determina la necesidad de emplear cementos especiales de acuerdo con la norma EHE.

## Clasificación de la agresividad química de suelos, rocas y aguas (EHE)

Tipo de Medio Agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		Qa	Qb	Qc
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Agua freática	Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> agresivo (mg CO <sub>2</sub> /l)	15-40	40-100	> 100
	Ión amonio (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	15-30	30-60	> 60
	Ión magnesio (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	300-1000	1000-3000	> 3000
	Ión sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	200-600	600-3000	> 3000
	Residuo seco a 110° C (mg/l)	75-150	50-75	< 50
Suelo	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20		
	Ión sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / kg de suelo seco)	2000-3000	3000-12000	> 12000

### 2.3. MODIFICACIONES DEL SUELO

Se puede definir la modificación del suelo como todo cambio en las condiciones naturales de este como consecuencia de las operaciones propias de la ejecución de la obra (rellenos, desmontes) o las específicamente dirigidas a mejorar las características resistentes, sean estas derivadas de la detección de deficiencias durante el estudio geotécnico, previamente reflejadas en el propio proyecto, o durante la ejecución en cuyo caso deberán estar debidamente documentadas en el libro de órdenes y disponer del oportuno proyecto adicional. El resultado final de estas operaciones debe ser adecuadamente comprobado.

#### 2.3.1. Movimientos de tierras

En esencia el movimiento de tierras que más puede afectar a la resistencia del suelo es el relleno en las explanaciones. El material de relleno, aunque pueda con el tiempo dar lugar a suelos con buenas características resistentes, suele adolecer de una esponjosidad elevada lo que les proporciona unos altos valores de permeabilidad y compresibilidad y disminuye su capacidad para evitar la erosión interna debida a la escorrentía del agua. Estos fenómenos son particularmente importantes cuando se produce un aporte de tierras con un porcentaje elevado de arcillas. Estas provocan la formación de terrones muy difíciles de disgregar por presión y que, por lo tanto, originan un porcentaje elevado de huecos. La disgregación posterior por secado de los terrones tiene como consecuencia la aparición de importantes asientos de compresión. Es por esta razón que, además de controlar la naturaleza de las tierras, tras el aporte del material es necesario proceder al compactado del mismo.

Básicamente, la compactación se realiza por medios mecánicos mediante apisonadoras (presión estática) aunque, atendiendo a la naturaleza del material se puede emplear también la vibración y el impacto.

### 2.3.2. Estabilización o mejora

Se incluyen en este apartado en sentido amplio todas aquellas operaciones cuyo objetivo sea aumentar la capacidad portante del terreno o su rigidez, es decir, la compactación, el drenaje, la pre-consolidación y la protección de la superficie contra la erosión y la infiltración de la humedad aunque en la actualidad se va restringiendo a la modificación de la composición del suelo.

Esta modificación suele consistir en la adición de materiales que mejoran la capacidad portante y reducen la permeabilidad del terreno. Uno de los métodos más utilizados es la inyección de una mezcla fluida que posteriormente fragua y endurece. Los principales tipos son:

- **Impregnación:** Sustitución del agua y/o gas intersticial en un medio poroso, por una lechada inyectada a una presión suficientemente baja, que asegure que no se producen desplazamientos significativos de terreno.
- **Relleno de fisuras:** Inyección de lechada en las fisuras, diaclasas, fracturas o discontinuidades en general de formaciones rocosas.
- **Relleno de huecos:** Consiste en la colocación de una lechada, con un alto contenido de partículas, para el relleno de grandes huecos.
- **Inyección por compactación:** Consiste en un método de inyección con desplazamiento del terreno, en el cual se introduce un mortero de alta fricción interna en una masa de suelo.
- **Fracturación hidráulica:** Consiste en la inyección del terreno mediante su fracturación por lechada, con una presión por encima de su resistencia a tracción y de su presión de confinamiento. También se denomina **hidrofracturación, hidrofisuración, "hidrojacking" o "claquage"**.

Los materiales que se emplean en estas operaciones son **conglomerantes hidráulicos**, que incluyen los cementos y productos similares que se emplean suspendidos en el agua para la preparación de las lechadas. En su selección se debe tener en cuenta su granulometría en relación con las dimensiones de las fisuras o huecos existentes en el terreno a tratar. Para reducir la sedimentación y variar la viscosidad y la cohesión de la lechada, consiguiéndose, además, una mejora de la capacidad de bombeo se utilizan

**arcillas naturales** de carácter eminentemente plástico y estructura laminar, siendo conveniente el empleo de arcillas de tipo bentonítico, activadas o modificadas, por su mejor calidad en cuanto al efecto superficie de sus partículas así como por la mayor regularidad de sus propiedades.

Las **arenas** y los **filleres** se emplean en las lechadas de cemento y en las suspensiones de arcilla como aditivos de masa o bien como productos para variar la consistencia de la lechada, mejorar su comportamiento frente a la acción del agua, su resistencia mecánica y su deformabilidad. En general pueden utilizarse arenas naturales o gravas, filleres calcáreos o silíceos, puzolanas y cenizas volantes siempre que se asegure que no contienen elementos perjudiciales.

También se usan productos químicos tales como los silicatos y sus reactivos, resinas acrílicas y epoxi, materiales hechos a base de lignina y poliuretanos así como otros aditivos orgánicos e inorgánicos que se añaden, en general en cantidades reducidas, a la lechada con el objetivo de modificar sus propiedades y controlar sus parámetros, tales como viscosidad, tiempo de fraguado y estabilidad durante el proceso de inyección, además de la resistencia, cohesión y permeabilidad una vez colocada la lechada. Como aditivos se usan, entre otros, superplastificantes, productos para retener agua y productos para arrastrar aire.

Otro método de estabilización es el **jet-grouting**. Este proceso consiste en la desagregación del suelo (o roca poco compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante (normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante. Se utilizan sistemas de fluido único, que por lo general es la lechada cementante, o combinado agua-lechada, lechada-aire o agua-aire-lechada.

Por último, cabe la mezcla del material que constituye el suelo con otro suelo natural distinto para obtener una mejora de las propiedades. Esta operación se debe tratar como un relleno por lo que requiere las oportunas operaciones posteriores de compactación.

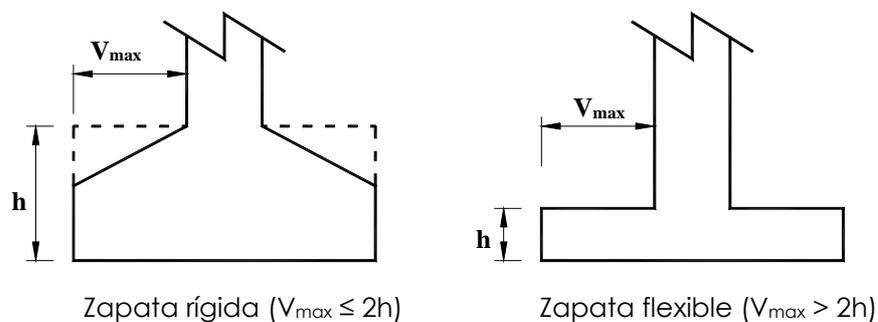
### 3. CIMENTACIONES

#### 3.1. GENERALIDADES

Las cimentaciones tienen como misión transmitir al terreno las cargas que soporta la estructura del edificio. De modo general se puede decir que existen dos tipos de cimentación según que principalmente vayan a soportar esfuerzos de compresión pura o que soporten, además, tensiones de tracción. Esta consideración afecta al material que va a constituir la cimentación.

El primer caso se corresponde con estructuras sencillas basadas principalmente en muros de carga. Se pueden emplear las cimentaciones denominadas ciclópeas en las que se emplean sillares de piedra u hormigón en masa, sin armadura aunque se recomienda la inclusión de un armado mínimo en su cara inferior con objeto de absorber las tensiones producidas por distintos factores: atado, arriostamiento, asientos diferenciales, defectos de hormigonado, etc. En el resto de los casos, que constituyen la mayoría, se emplea el hormigón armado.

A los solos efectos del estudio de la interacción suelo-cimentación, las zapatas se clasifican en rígidas y flexibles según la relación entre el canto total ( $h$ ) y el vuelo máximo ( $V_{max}$ ).



**Tipos de zapatas según su rigidez**

#### 3.2. CLASES

Los cimientos pueden clasificarse en cimentaciones propiamente dichas, anclajes y muros-pantalla. Las primeras transmiten al terreno principalmente esfuerzos de compresión y momentos flectores y se dividen atendiendo a su profundidad, contada siempre desde la línea de cota de la obra, en directas o superficiales, cimentaciones en pozo y cimentaciones profundas.

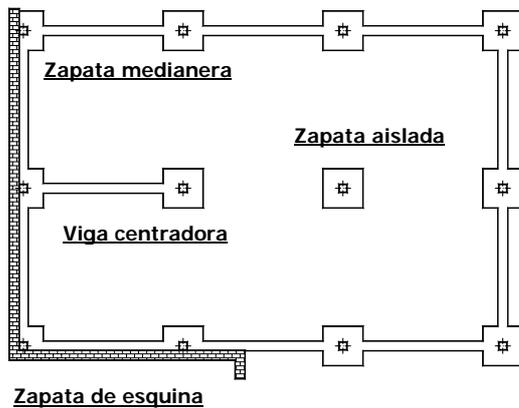
Los anclajes transmiten tensiones de tracción. Conceptualmente, los muros-pantalla destinados a la contención de tierras en excavaciones de sótanos suelen considerarse dentro de la categoría de las cimentaciones aunque su función primordial no sea la transmisión de esfuerzos al terreno. Por esa razón se hará una breve referencia a ellos.

### 3.2.1. Cimentaciones directas

Básicamente se consideran cuatro tipos: zapatas aisladas, combinadas o corridas, emparrillados y losas.

#### a) **Zapatas aisladas**

Las zapatas aisladas son bloques de hormigón armado de planta cuadrada o rectangular. Normalmente soportan un único pilar salvo en casos excepcionales, por ejemplo cuando por motivos de la longitud de la sección del edificio se requiere duplicar la estructura en algún punto para establecer juntas de dilatación. Se utilizan cuando el terreno es firme, con presiones medias altas y se esperan asientos diferenciales reducidos.

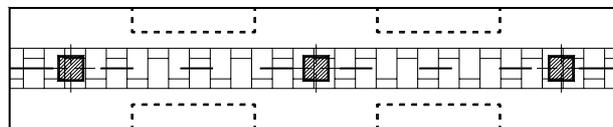


Planta de cimentación con zapatas aisladas

Cuando las zapatas sufran una elevada excentricidad en una o las dos direcciones principales (soportes medianeros y de esquina) es necesaria la disposición de vigas centradoras o de atado entre las zapatas con objeto de disminuir los momentos aplicados. En todo caso, resulta conveniente la disposición de estos elementos en el perímetro de la cimentación al objeto de disminuir la incidencia de los asientos diferenciales.

**b) Zapatas combinadas o corridas**

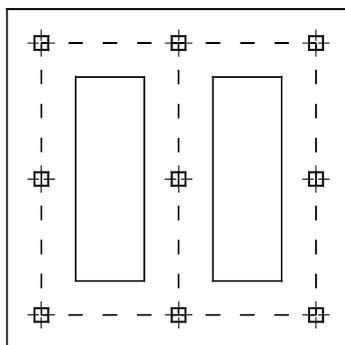
Este tipo de cimentación se emplea cuando las zapatas aisladas se encuentran muy próximas o incluso se solapan. Las causas que originan esta situación son varias: la proximidad de los pilares, la existencia de fuertes cargas concentradas que pueden dar lugar a elevados asentamientos diferenciales, la escasa capacidad resistente del terreno o la presencia de discontinuidades en este. Si el número de pilares que soporta es menor de tres se denominan combinadas y corridas en caso contrario. También se utilizan para apoyar muros con capacidad portante (muros de carga o muros de contención de tierras) ya tengan o no soportes embutidos en cuyo caso la anchura de la zapata puede ser variable.



**Zapata corrida**

**c) Emparrillados**

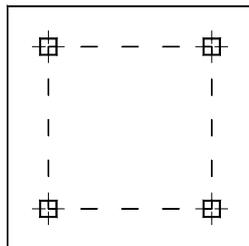
En el emparrillado, la estructura se asienta en una única cimentación constituida por un conjunto de zapatas corridas dispuestas en forma de red ortogonal. Este tipo de cimentación se emplea cuando la capacidad portante del terreno es escasa o cuando presenta una elevada heterogeneidad, lo que hace prever que puedan producirse asentamientos diferenciales importantes que constituyan un riesgo elevado para la integridad del edificio.



**Cimentación en emparrillado**

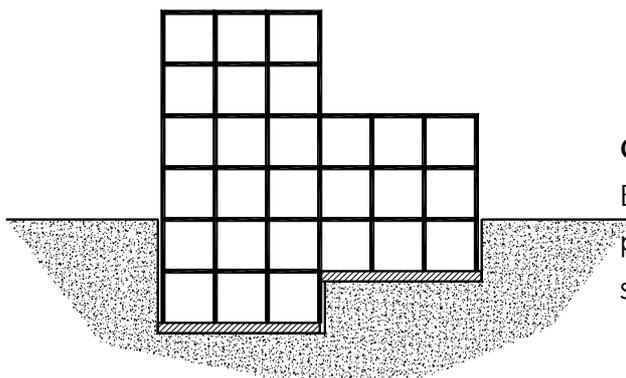
#### d) Losas

La cimentación por losa se emplea como un caso extremo de los anteriores cuando la superficie ocupada por las zapatas o por el emparrillado represente un porcentaje elevado de la superficie total. La losa puede ser maciza, aligerada o disponer de refuerzos especiales para mejorar la resistencia a punzonamiento bajo los soportes individualmente (denominados pedestales si están sobre la losa y refuerzos si están bajo ella) o por líneas (nervaduras).



**Cimentación en losa**

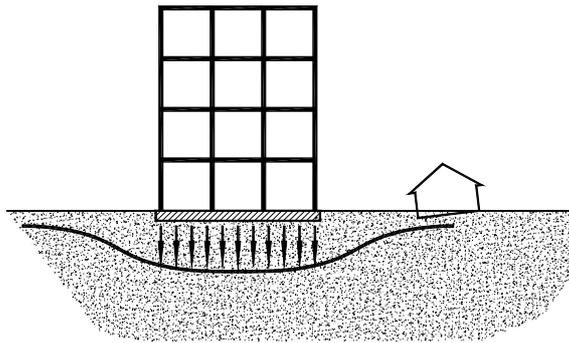
En particular, también cabe emplear este tipo de cimentaciones cuando se diseñan cimentaciones "compensadas". En ellas el diseño de la edificación incluye la existencia de sótanos de forma que el peso de las tierras excavadas equivale aproximadamente al peso total del edificio; la losa distribuye uniformemente las tensiones en toda la superficie y en este caso los asentamientos que se esperan son reducidos. Si el edificio se distribuye en varias zonas de distinta altura deberá preverse la distribución proporcional de los sótanos así como juntas estructurales.



**Cimentación compensada**

El volumen de sótano es proporcional al volumen de edificio sobre él

La cimentación por losa en terrenos compresibles, al crear un hundimiento generalizado de los estratos inferiores, requiere un estudio adicional de los asentamientos inducidos en las edificaciones colindantes.

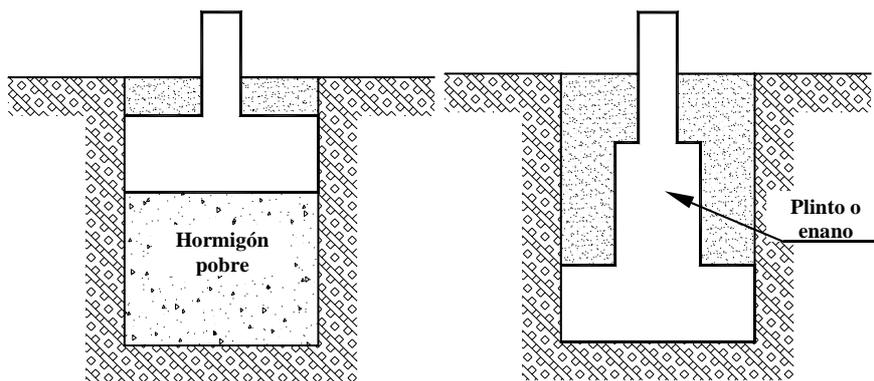


Asientos inducidos por cimentación con losa

### 3.2.2. Cimentación en pozo

La cimentación en pozo constituye una solución intermedia entre cimentaciones profundas y superficiales. Se aplica cuando la resistencia del suelo requerida se alcanza a profundidades medias pero sin que se justifique la necesidad de cimentar con pilotes.

Para su ejecución se excava un pozo hasta la cota resistente y, a partir de aquí, existen dos posibilidades. La primera consiste en rellenar el pozo con hormigón pobre hasta cota conveniente y, sobre esta columna, se apoya la zapata. La segunda consiste en ejecutar la zapata directamente sobre el suelo y, con objeto de no aumentar la esbeltez del pilar, apoyar este sobre un plinto de hormigón. En ambos casos es preciso considerar en el cálculo el peso adicional, sea del bloque de relleno de hormigón o de la tierra sobre la zapata.



Tipos de pozos de cimentación

Cuando existan momentos o esfuerzos horizontales elevados aplicados en la base del pilar y el empuje lateral del terreno sea escaso deben introducirse vigas centradoras.

### 3.2.3. Cimentaciones profundas

Las cimentaciones profundas se emplean cuando los estratos superiores del terreno no son aptos para soportar una cimentación con zapatas.

En general, se considera una cimentación como profunda cuando su extremo inferior sobre el terreno se encuentra a una profundidad superior a ocho veces su anchura o diámetro. Por su mayor complejidad tanto en su modo de trabajar como en la ejecución o en los materiales empleados no existe una clasificación clara por lo que pasamos a exponer estos aspectos aclarando que cada pilote se obtiene combinando todas ellos.

#### a) **Configuración**

Se consideran cuatro configuraciones principales: pilotes aislados, grupos de pilotes, zonas pilotadas y micropilotes.

Los **pilotes aislados** son aquellos que están lo suficientemente alejados de los demás pilotes como para que no exista interacción geotécnica entre ellos. Los **grupos de pilotes** se encuentran unidos por elementos lo suficientemente rígidos como para que los pilotes trabajen conjuntamente. Las **zonas pilotadas** son aquellas en las que los pilotes no sirven de apoyo directo a los soportes sino que están colocados para reducir los asientos o asegurar la estructura. En estos casos los pilotes son de escasa capacidad portante individual y estar situados a distancias regulares.

Por último, los **micropilotes** son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles colocados en un taladro de pequeño diámetro inyectado con lechada de mortero a presión más o menos elevada. Este tipo de elementos se emplea fundamentalmente en operaciones de recalce de cimentaciones que han sufrido asientos diferenciales de suficiente importancia como para haber producido deterioros en la integridad del edificio.

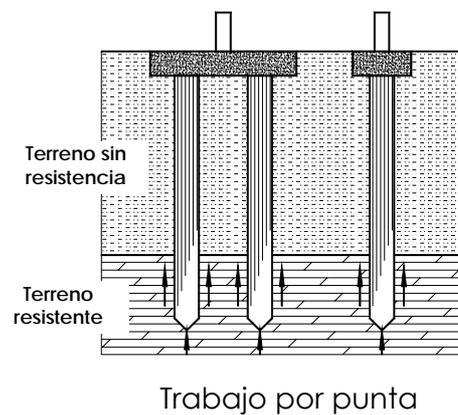
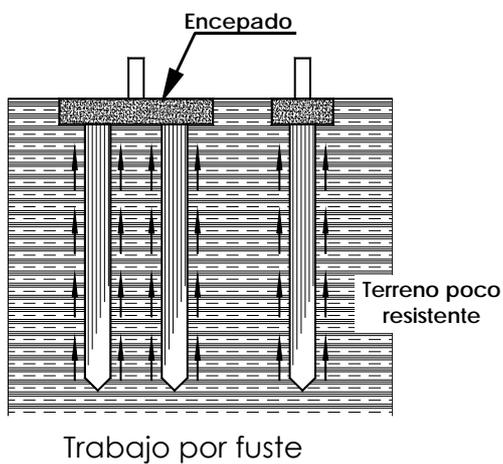


Recalce de cimentación con micropilotes

### b) Forma de trabajo

Los pilotes tienen tres partes: punta, fuste y encepado o apoyo. Su modo de trabajo depende de la naturaleza del terreno y de la profundidad a la que se encuentre un estrato resistente.

Cuando no resulta técnica o económicamente viable alcanzar un estrato con resistencia adecuada se diseñan los pilotes para su trabajo **por fuste**, en cuyo caso se denominan **flotantes**, y transmiten la carga al terreno por rozamiento. Si existe la posibilidad de llegar a una zona de mayor resistencia se considera que el pilote trabaja **por punta**, con contribución o no del fuste.



Los encepados se pueden arriostrar cuando resulte necesario mediante vigas centradoras en una o en dos direcciones y/o con un forjado de solera.

### c) **Materiales**

La construcción de pilotes admite distintos materiales:

- **Hormigón armado** ejecutado "in situ" mediante excavación previa, aunque también podrán realizarse mediante desplazamiento del terreno o con técnicas mixtas (excavación y desplazamiento parcial)
- **Hormigón prefabricado** que podrá ser hormigón armado (hormigones de alta resistencia) u hormigón pretensado o postensado. Hay que tener en cuenta que, si los pilotes son de gran longitud, los armados deben estar previstos para soportar las tensiones derivadas del transporte.
- **Acero** configurado en secciones huecas de forma tubular o con perfiles en doble U; también perfiles laminados en H.
- **Madera** que se podrá utilizar para pilotar zonas blandas amplias, como apoyo de estructuras con losa o terraplenes
- **Mixtos**, formados de acero tubular rodeados y/o rellenos de mortero

### 3.3. EJECUCION

#### 3.3.1. Cimentaciones superficiales

Este tipo de cimentaciones admite dos métodos de ejecución en función, principalmente, de la naturaleza del terreno situado sobre la cota de asiento de las zapatas aunque caben otras consideraciones.

En primer lugar, en suelos coherentes con poco riesgo de desmoronamiento de desmoronamientos se procede a la excavación directa del hueco de la zapata, se coloca una capa de hormigón de limpieza, se sitúan las armaduras y se hormigona directamente actuando la excavación como cajón de encofrado.



Cuando, por el contrario, el terreno presenta poca cohesión se hace preciso realizar excavaciones más amplias y emplear un encofrado convencional.



Cajones de encofrado para zapatas

Teniendo en cuenta que estas excavaciones ampliadas pueden dificultar el movimiento de la maquinaria, en ocasiones resulta preferible descalzar el terreno hasta la cota de apoyo de los cimientos, realizar las zapatas encofrando con cajones y, una vez terminada la cimentación, rellenar.

### 3.3.2. Cimentaciones profundas

En la colocación de pilotes existen tres técnicas diferentes, el hincado, la colocación y la ejecución "in situ".

El **hincado** consiste en la introducción en el terreno de los pilotes ya formados mediante vibración o percusión con martinets provistos de mazas. Estos métodos se emplean con pilotes de hormigón prefabricado, de madera o perfiles metálicos provistos, en cualquiera de los casos, de protecciones metálicas adecuadas en la punta (**azuches**). La maquinaria debe estar dotada de dispositivos de control que impidan el descentrado de las mazas. Teniendo en cuenta que esta operación produce desplazamientos laterales en el terreno, el proyecto de hincado debe contemplar una ejecución desde el interior de la obra hacia el exterior.

La **colocación** se restringe a pilotes metálicos que se introducen en pozos excavados previamente y que, posteriormente, se rellenan con mortero o con hormigón.

La **ejecución "in situ"** consiste en realizar una excavación en pozo con o sin entibado hasta cota de asiento donde se introducen el hormigón y las armaduras. Los pozos se entiban con camisas que se retiran a medida que avanza el hormigonado salvo que existan condiciones susceptibles de cortar o deteriorar el hormigón (corrientes subterráneas, suelos deformables) en cuyo caso debe considerarse el perderlas. Cabe también la entiba sustitutiva o complementaria mediante relleno de lodos bentoníticos.

Las ejecuciones sin entibación son admisibles en suelos estables y siempre que no exista riesgo de alteración de las paredes o el fondo del pozo. También cuando se emplea la perforación con barrena continua en la que la entibación la constituye el propio elemento perforante; el hormigonado se produce a través del eje de la barrena a medida que se retira y las armaduras se hincan a posteriori en el hormigón fresco. Este último método no se

considera recomendable en pilotes aislados, cuando tengan una inclinación mayor de 6° o cuando existan capas de terreno inestable con un espesor mayor que 3 veces el diámetro del pilote. Tampoco en zonas consideradas de riesgo sísmico.

## **4. MUROS Y PANTALLAS**

Estos elementos no pueden ser considerados realmente como una forma de cimentación puesto que su misión es la contención de tierras en excavaciones y/o en muros de sótanos.

### **4.1. PANTALLAS**

Se denomina pantallas a los elementos de contención de tierras que se emplean para realizar excavaciones verticales en aquellos casos en los que el terreno, los edificios u otras estructuras cimentadas en las inmediaciones de la excavación, no serían estables sin sujeción, o bien, se trata de eliminar posibles filtraciones de agua a través de los taludes de la excavación y eliminar o reducir a límites admisibles las posibles filtraciones a través del fondo de la misma, o de asegurar la estabilidad de éste frente a fenómenos de sifonamiento. Si la excavación se produce por debajo del nivel freático, habrá que prever una impermeabilización suplementaria al propio

La pantalla cumple una labor estructural de contención de tierras, y de impermeabilización del vaso de excavación, pero no puede considerarse un elemento totalmente terminado ni absolutamente impermeable, dadas las características intrínsecas del material y del proceso de ejecución. En cualquier caso se hace necesario prever un acabado final de su superficie puesto que se hormigona contra el propio terreno. En general, la fase crítica en la vida de la pantalla es la de la ejecución.

Teniendo en cuenta que el peso propio de la pantalla es relativamente reducido, es necesario que la longitud de hincado en el terreno sea importante así como la disposición de elementos de anclaje.

Las pantallas pueden conformarse empleando elementos prefabricados: paneles de hormigón o tablestacas metálicas, de hormigón o de madera, aunque estos sistemas son poco o nada utilizados en edificación sino en contención de taludes abiertos. Para la construcción, en particular en zonas

urbanas con edificaciones en las proximidades se emplean pantallas continuas o de pilotes fabricadas "in situ".

Las pantallas continuas generalmente consisten en la excavación de una zanja, cuyo espesor varía normalmente entre 0,4 y 1,50 m, por paños o módulos de un ancho que oscila generalmente entre un valor mínimo correspondiente a la apertura de la cuchara y un valor máximo, generalmente de 2,5 a 4,5 m en función de la estabilidad del terreno, movimientos y deformaciones admisibles u otras condiciones de la obra. Un panel puede tener una o varias jaulas de armadura a lo largo de su longitud. En terrenos con cohesión y por encima del nivel freático, las zanjas, de las dimensiones antes indicadas para cada módulo y de la profundidad total de la pantalla, podrán ser estables sin necesitar ningún elemento de contención, debido, en parte, al efecto tridimensional asociado a sus proporciones.

Sin embargo, en general, y especialmente si se trata de suelos sin cohesión, como arenas y limos, bajo el nivel freático, las zanjas no serán estables por sí mismas. La estabilidad sin entibación se conseguirá llenando cada módulo de zanja con lodos tixotrópicos (suspensiones en agua de arcillas tixotrópicas, de muy alta plasticidad, como bentonitas, sepiolitas, etc).

Comúnmente las pantallas de pilotes se efectúan mediante pilotes perforados, aunque en determinadas ocasiones podrían ejecutarse con pilotes prefabricados hincados. En la coronación de los pilotes se sitúa una viga de atado. Si la altura de la pantalla lo hace necesario, se colocan anclajes de tracción.

Si no hay necesidad de que la pantalla sea estanca, los pilotes podrán disponerse con una cierta separación entre ellos, con separaciones entre ejes inferiores al doble del diámetro de los pilotes. La separación entre pilotes se determinará en función de la naturaleza del terreno, de los esfuerzos que deba resistir y de la capacidad de flexión de los pilotes. Si la excavación tiene que permanecer abierta mucho tiempo, y sobre todo, si el terreno es meteorizable y pierde rápidamente sus características resistentes en contacto con el aire, debe protegerse la banda de terreno que queda vista entre pilotes por medio de hormigón proyectado.

Cuando haya que excavar bajo el nivel freático será necesario que los pilotes sean secantes entre sí, por lo que la pantalla deberá efectuarse mediante

pilotes perforados o aplicar otras técnicas de tratamiento del terreno entre pilotes.



**Pantalla de pilotes**

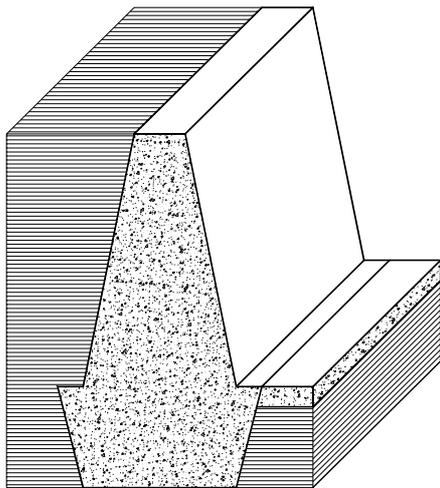
#### 4.2. MUROS DE SOTANO

Los muros se definen como elementos de contención destinados a establecer y mantener una diferencia de niveles en el terreno con una pendiente de transición superior a lo que permitiría la resistencia del mismo, transmitiendo a su base y resistiendo con deformaciones admisibles los correspondientes empujes laterales. En el caso de muros de sótano, éstos se utilizan para independizar una construcción enterrada del terreno circundante. Se diferencian de las pantallas en que su contacto con el terreno se produce mediante cimentaciones directas mientras que en aquellas se basa en la penetración en el suelo en una longitud estimable.

Por los materiales empleados, los muros generalmente son de hormigón en masa o armado, mampostería o fábrica. Por su concepto estructural se distinguen, entre otros, los muros de gravedad, de gravedad aligerados, de contrafuertes, en L o en ménsula, de sótano y los realizados por bataches a medida que se ejecuta la excavación.

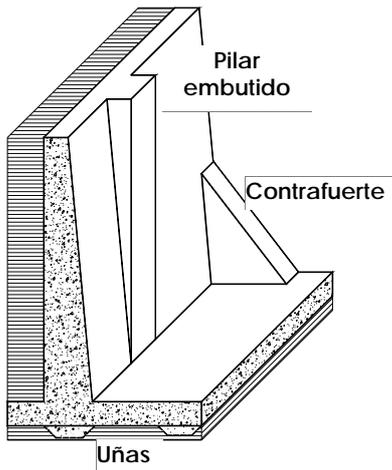
Los **muros de gravedad** son elementos de contención cuyas dimensiones son suficientemente grandes como para equilibrar los empujes únicamente por su peso, sin que se produzcan tracciones en la fábrica u hormigón o siendo éstas despreciables. Estos muros en general no precisan armadura y son los más resistentes a los agentes destructivos. Sus formas son muy variadas, y para el

enlace de las partes construidas sucesivamente suelen dejarse retallos o llaves. En el caso de **muros de gravedad aligerados**, al reducirse el espesor del alzado del muro, las pequeñas tracciones correspondientes se absorben con una ligera armadura. El pie ha de sobresalir en ménsula para mantener el ancho de base necesario, por lo que es necesario también la colocación de armadura en la base de la zapata. En algunos casos, el muro se aligera recortando su trasdós en la zona donde las presiones transmitidas al terreno son menores.



**Muro de gravedad**

En los **muros en L o en ménsula**, la base del muro esta constituida por una losa o zapata sobre la que se levanta el alzado, que suele ser de espesor reducido, absorbiéndose las flexiones de la ménsula mediante armadura sencilla o doble. Para mejorar la resistencia al deslizamiento, estos muros pueden llevar zarpas centrales o en el talón posterior y si los esfuerzos son importantes el empotramiento en la zapata puede reforzarse mediante cartabones. Los **muros de contrafuertes** son una variante de los anteriores en los que el ancho del muro se refuerza a determinados intervalos para reducir su flexión y conseguir además una orientación más favorable de los empujes. Las placas frontales pueden ser planas o abovedadas, de directriz circular preferentemente. Si es necesario, pueden llevar zarpas en el talón de la placa de base.

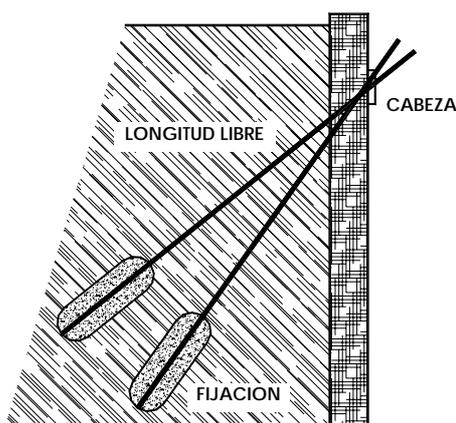


**Muro en ménsula con contrafuertes**

Los muros de sótano generalmente tienen forma de cajones cerrados y están sometidos al empuje del terreno y, en su situación definitiva, a las cargas procedentes de forjados, y en ocasiones a las de soportes o muros de carga que nacen de su cúspide. Los forjados actúan como elementos de arriostramiento transversal.

## 5. ANCLAJES

Los anclajes al terreno son elementos que tienen como misión contribuir a la estabilidad de muros y pantallas así como la resistencia a subpresión en estructuras. Constan de una cabeza transmisora, una longitud libre y un sistema de fijación al terreno o bulbo de anclaje que, habitualmente, se forma por inyección de una masa de hormigón. Los cables de sujeción pueden estar pretensados.



**Anclaje**

A los efectos de su diseño y control se distingue entre anclajes provisionales, cuya duración no es superior a dos años, y permanentes para periodos de tiempo más prolongados.