

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua

A la Libertad por la Universidad !!



INGENIERÍA GEOLÓGICA II

Cimentaciones

Dr. Ingeniero Tupak Obando R., Geólogo
Doctorado en Geología y Gestión Ambiental
Celular: 84402511
Website: <http://blogs.monografias.com/>

Managua, 2010

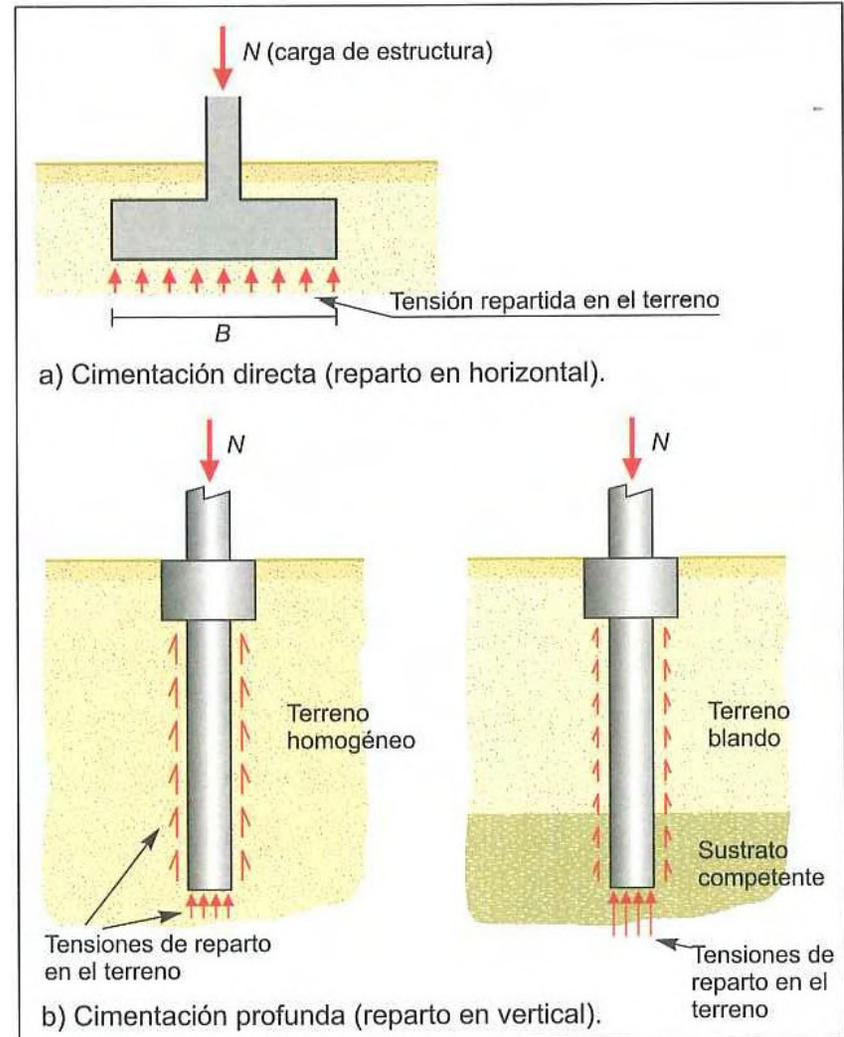
CONTENIDO

1. Introducción
2. Cimentaciones directas
3. Cimentaciones profundas
4. Cimentaciones superficiales en roca
5. Cimentaciones en condiciones geológicas complejas
6. Reconocimientos geotécnicos

Introducción

Toda estructura ha de apoyarse necesariamente en el terreno, que puede considerarse un material más de los que la conforman. Sin embargo, en comparación con el resto de los materiales estructurales, como el hormigón o el acero, el suelo es menos resistente y más deformable. Por consiguiente, no puede resistir las mismas tensiones y resulta preciso dotar a la estructura de unos apoyos o **cimentaciones** que repartan y transmitan al terreno unas presiones que sean compatibles con su resistencia y con su deformabilidad.

La forma y las dimensiones de esos apoyos son función de las cargas y de la naturaleza del terreno. Cuando éste lo permite se suele acudir a **cimentaciones directas**, que reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal (Figura 8.1a). Habitualmente, pero no siempre, este tipo de cimentación se construye a poca profundidad bajo la superficie, por lo que también son llamadas **cimentaciones superficiales**. En otras ocasiones el suelo no tiene la competencia suficiente, la resistencia o rigidez adecuadas para permitir el apoyo directo, y es necesario acudir a **cimentaciones profundas**, que transmiten las cargas de la estructura fundamentalmente en vertical, ya sea de forma repartida o concentrada (Figura 8.1b).



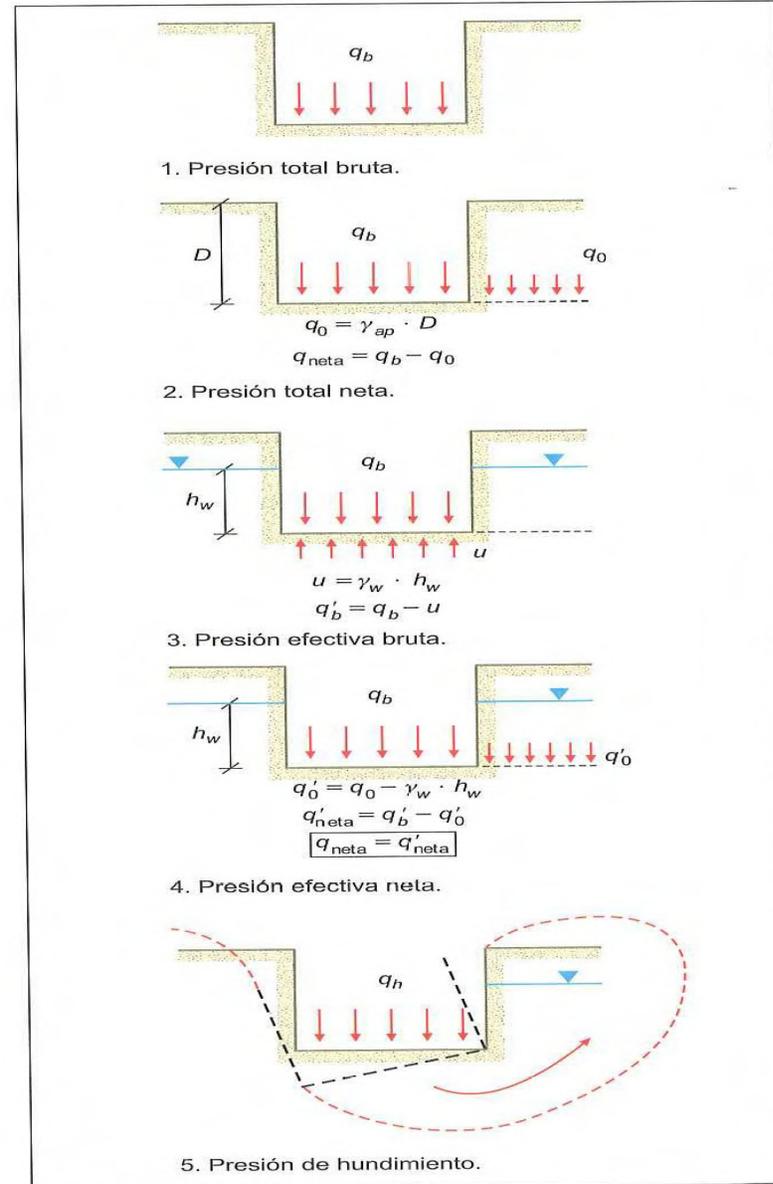
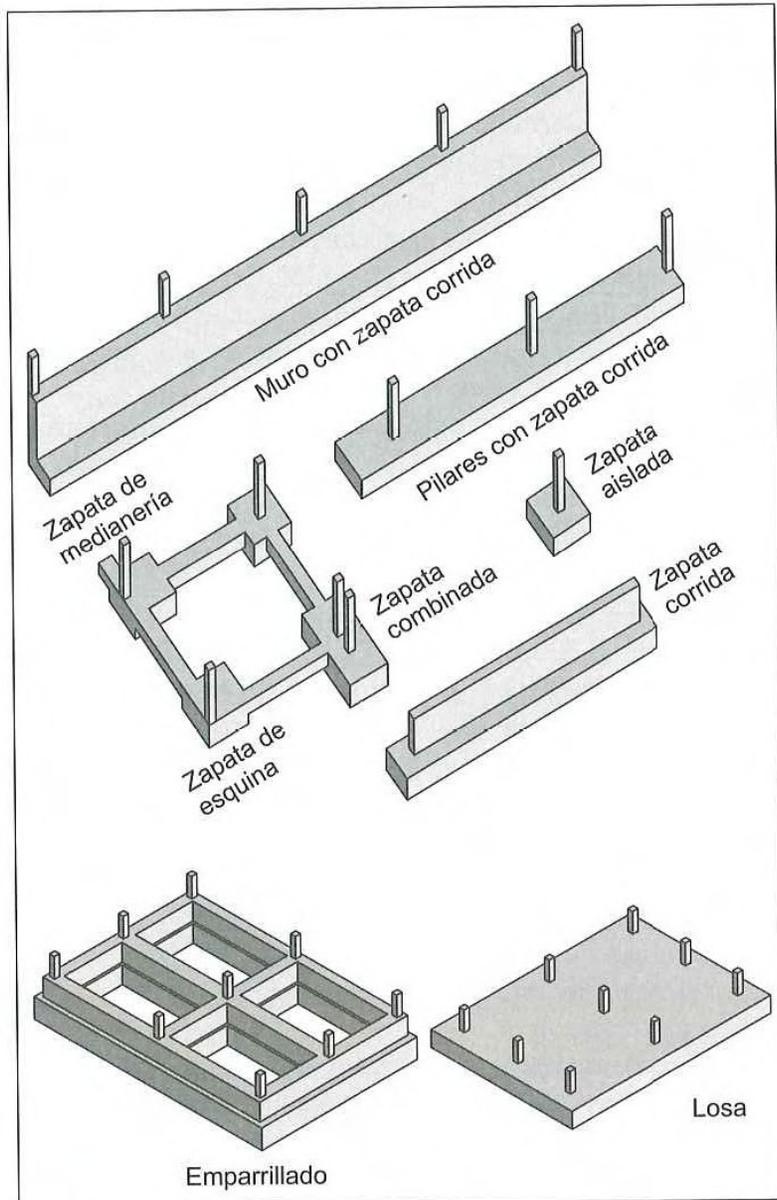
Tipos básicos de cimentación.

Criterios generales de diseño

Para que el diseño de una cimentación sea adecuado se requiere:

1. Que sea **estable**, es decir, que el coeficiente de seguridad disponible (relación entre la carga que produciría el agotamiento de la resistencia del terreno y el hundimiento de la cimentación), sea adecuado.
2. Que sus **deformaciones** sean **admisibles**, o que los movimientos (asientos, desplazamientos horizontales, giros) causados por la deformación del terreno sometido a las tensiones transmitidas por la cimentación, sean tolerables por la estructura.
3. Que no afecte a **construcciones cercanas**, en el sentido de que los efectos originados en el terreno por una cimentación no se hagan notar más allá de los límites estrictos de la estructura a construir. Por tanto, hay que asegurar que no afecte negativamente a construcciones vecinas.
4. Que sea **perdurable**, o que las premisas anteriores se mantengan durante toda la vida útil de la estructura, lo que hace necesario considerar la posible evolución de las condiciones iniciales debida a:
 - Cambios de volumen espontáneos, como en el caso del colapso de rellenos mal compactados o suelos naturalmente colapsables (loess, algunos limos yesíferos, etc.).
 - Cambios de volumen debidos a modificaciones en el estado de humedad de terrenos arcillosos potencialmente expansivos.
 - Socavación en los cauces y orillas de los ríos.
 - Erosión interna del terreno por rotura de colectores u otras conducciones de agua.
 - Deterioro de los hormigones de los cimientos en contacto con terrenos o aguas subálveas agresivas.
 - Oscilaciones del nivel del agua que puedan dar lugar a cambios en los niveles de tensiones efectivas o a alteraciones de la resistencia y la deformabilidad del suelo.
 - Deslizamientos si la estructura se sitúa en una ladera inestable.

Cimentaciones directas



Definiciones básicas

(ver Figura 8.4)

1. **Presión total bruta** (q_b): es la presión vertical total que actúa en la base de la cimentación (cociente entre la carga total y el área de la cimentación); incluye todas las componentes verticales: sobrecargas, peso de la estructura, peso del propio cimiento, etc.
2. **Presión total neta** (q_{neto}): es la diferencia entre q_b y la presión vertical total del terreno (q_0) al nivel de la base de la cimentación (sobrecarga de tierras); usualmente q_{neto} es el incremento de tensión vertical total a dicho nivel.
3. **Presión efectiva bruta** (q'_b): es la diferencia entre la presión total bruta y la presión intersticial (u) al nivel de la cimentación.
4. **Presión efectiva neta** (q'_{neto}): es la diferencia entre q'_b y la presión efectiva vertical (q'_0) debida a la sobrecarga de tierras al nivel de la cimentación (obsérvese que $q_{\text{neto}} = q'_{\text{neto}}$)

$$\begin{aligned}q'_{\text{neto}} &= q'_b - q'_0 = (q_b - u) - (q_0 - u) = \\ &= q_b - q_0 = q_{\text{neto}}\end{aligned}$$

5. **Presión de hundimiento** (q_h, q'_h): es la presión vertical para la cual el terreno agota su resistencia al corte; puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

6. **Presión admisible frente al hundimiento** (q_{ad}, q'_{ad}): es la presión vertical para la cual se cuenta con un coeficiente de seguridad adecuado frente al hundimiento; puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas. Esta presión no tiene por qué ser la finalmente seleccionada como admisible para la estructura; así, aunque cuente con suficiente seguridad frente al hundimiento, no incluye ninguna limitación especial frente a los asentos, de forma que la estructura podría deformarse en exceso, aunque no se hunda.
7. **Presión admisible de trabajo** (q_{adr}, q'_{adr}): es la presión vertical admisible para una determinada estructura teniendo en cuenta no sólo la seguridad frente al hundimiento, sino también su tolerancia a los asentos; obviamente será igual o menor que q_{ad} . Puede expresarse en términos de tensiones totales o efectivas, brutas o netas.

Cálculo de la presión de hundimiento

$$q_h(\text{bruta}) = cN_c + q_0N_q + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma$$

donde:

- N_c , N_q , N_γ se denominan factores de capacidad de carga y dependen exclusivamente del ángulo de rozamiento interno efectivo del suelo.
- c es la cohesión del terreno.
- q_0 es la tensión vertical debida a la sobrecarga total de tierras al nivel de la cimentación.
- B es el ancho del cimiento.
- γ es el peso específico del suelo por debajo de la cimentación.

Capacidad de carga en condiciones sin drenaje

Carga en faja

$$q_h(\text{bruta}) = S_u N_c + q_0 = 5,14 S_u + \gamma D$$

donde:

- γ es el peso específico aparente del terreno situado por encima de la base de la cimentación.
- D es la profundidad de la base del cimiento.

Capacidad de carga en condiciones drenadas

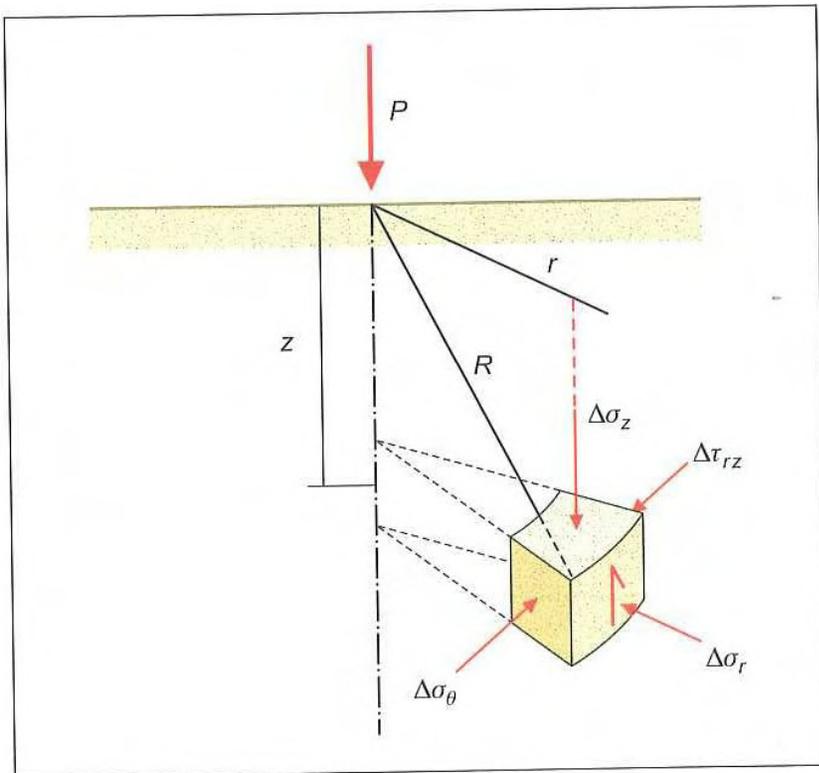
Carga en faja

La expresión básica de la presión de hundimiento efectiva bruta para una carga en faja (zapata corrida indefinida), resulta:

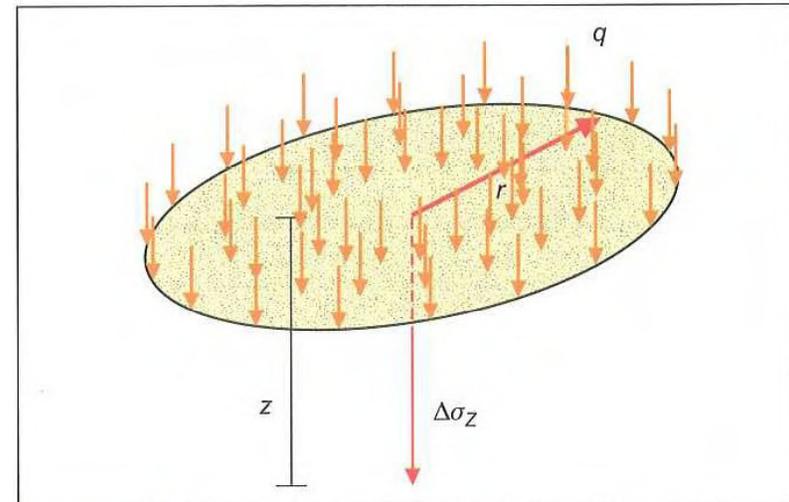
$$q'_h(\text{bruta}) = c'N_c + q'_0N_q + \frac{1}{2}B\gamma''N_\gamma$$

donde los factores de capacidad de carga tienen el mismo significado que en los apartados anteriores y los parámetros de resistencia al corte (c' , ϕ') vienen expresados en tensiones efectivas. El peso específico γ'' es aquél necesario para calcular las tensiones efectivas por debajo del cimiento (γ_{ap} en caso de terreno sin saturar o $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ en caso de suelo saturado con presiones de agua hidrostáticas).

Distribución de tensiones en el terreno bajo áreas cargadas



Tensiones debidas a una carga puntual en un semiespacio elástico.

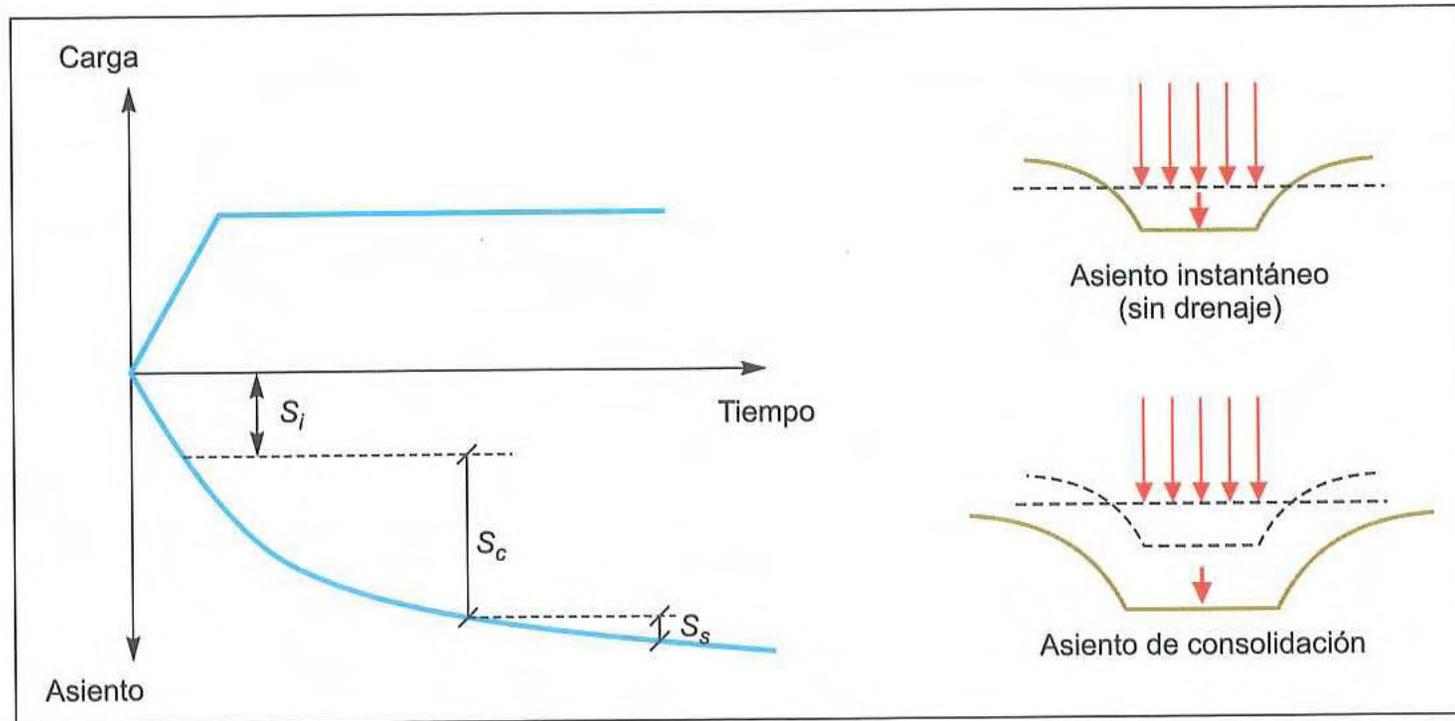


Tensiones verticales bajo el centro de un área circular cargada uniformemente.

La estimación de asientos en suelos

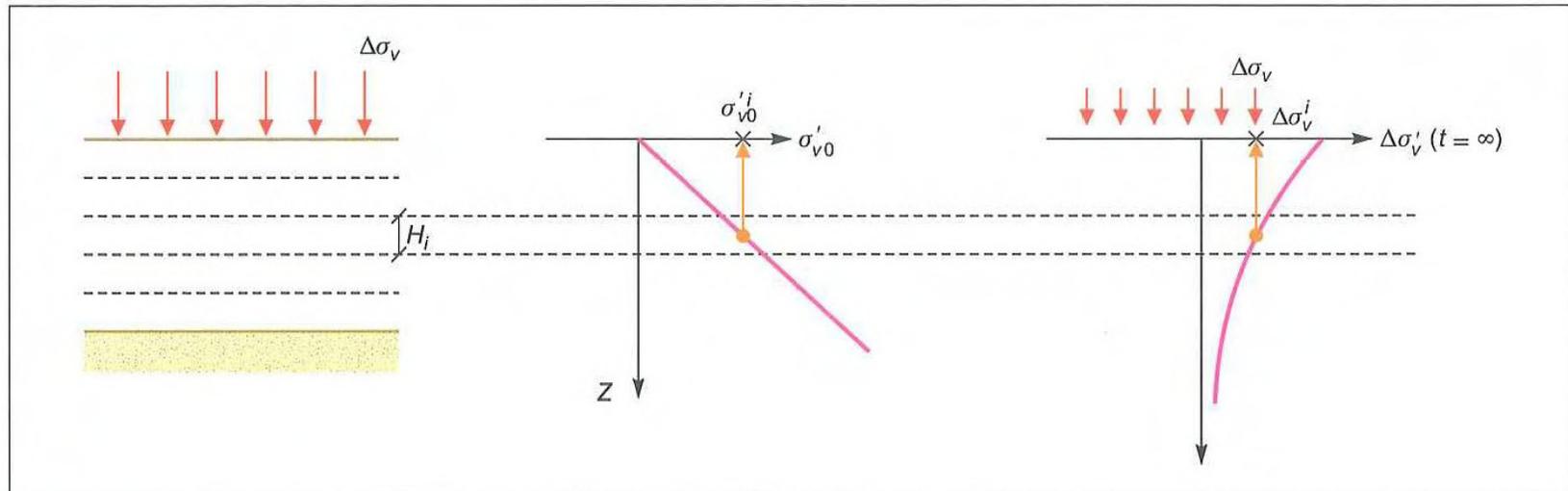
Asiento instantáneo, de consolidación primaria y de consolidación secundaria

En consecuencia, el asiento total resultante será la suma de los tres componentes anteriores: **instantáneo, consolidación primaria y consolidación secundaria.**



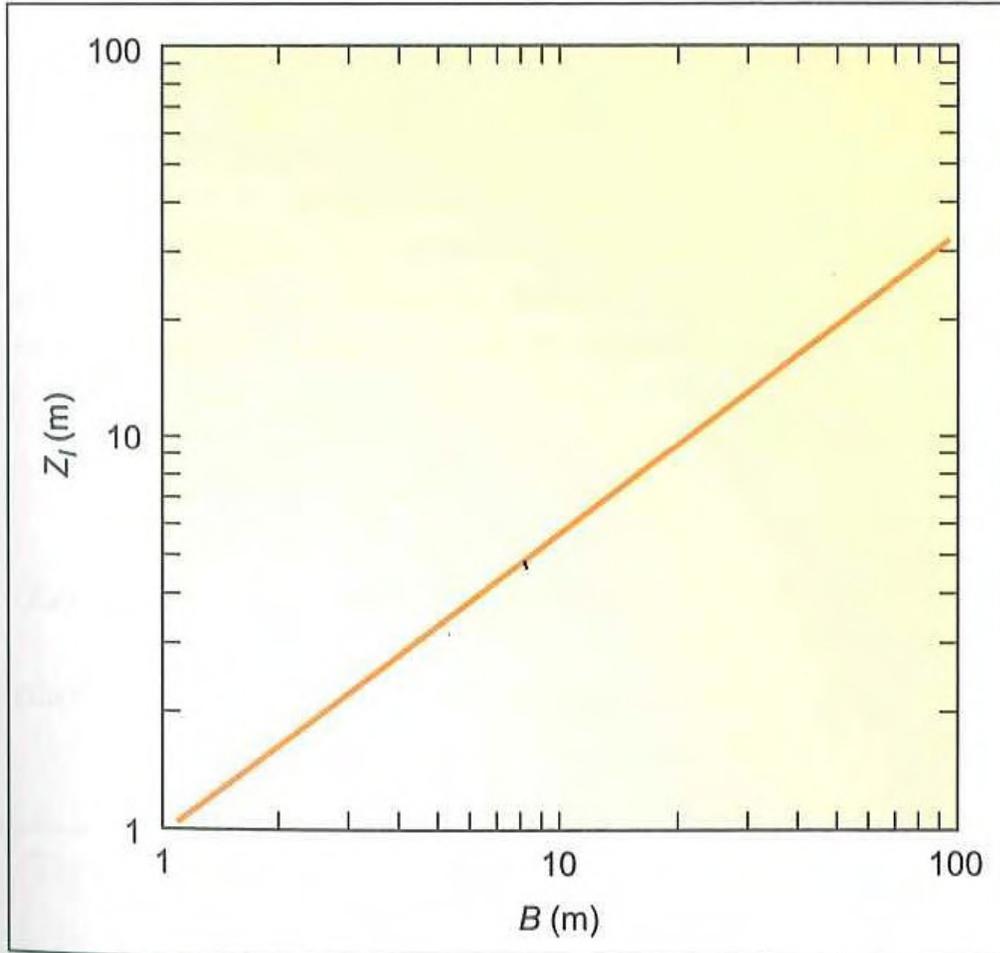
Definición de asiento instantáneo, de consolidación primaria y secundaria.

Asientos instantáneos y de consolidación primaria en arcillas saturadas



Procedimiento para calcular los asientos de consolidación edométrica o unidimensional bajo cargas no indefinidas.

Asientos en terrenos granulares



La estimación de asientos en terrenos granulares suele llevarse a cabo mediante métodos empíricos. Entre ellos, quizás uno de los más sencillos sea el propuesto por Burland y Burbridge (1985). De acuerdo con esta metodología, el asiento más probable de una cimentación en

Zona de influencia en función del ancho, B , de la cimentación (Burland et al, 1977).

Asientos en arcillas rígidas

El empleo del método unidimensional o edométrico en arcillas rígidas, casi siempre sobreconsolidadas, da lugar en muchas ocasiones a estimaciones de asientos

sustancialmente mayores a los que se producen en la realidad. Por otra parte, también los cálculos puramente elásticos realizados a partir de módulos de deformación obtenidos en ensayos triaxiales suelen dar lugar a estimaciones de asientos superiores a las reales. Las razones principales de estas discrepancias son múltiples (perturbación de muestras, deformabilidad propia de los aparatos del ensayo, dificultades en el refrentado de las probetas, no linealidad del módulo de deformación del terreno, elevada rigidez con pequeñas deformaciones, etc.) y pueden consultarse en Jiménez Salas, J. A. (1992 a y b).

La realización de una estimación fiable de asientos en estos materiales requiere el empleo de técnicas de laboratorio o de investigación *in situ* muy especializadas que exceden al alcance de este texto.

En cualquier caso, dado que los asientos obtenidos por métodos convencionales suelen ser mayores a los reales, su estimación podrá realizarse empleando métodos elásticos a partir de módulos de deformación obtenidos en ensayos triaxiales o ensayos *in situ* debidamente contrastados.

Cimentaciones profundas

Cuando los niveles superficiales del terreno son poco resistentes o muy compresibles, puede resultar imposible conseguir mediante cimentaciones directas el adecuado coeficiente de seguridad, o limitar los asentos a valores admisibles para la estructura. Asimismo, aunque el terreno sea resistente, puede suceder que las cargas sean muy elevadas y, en ese caso sea difícil conseguir un adecuado coeficiente de seguridad. En circunstancias especiales en que sea preciso limitar estrictamente los asentos diferenciales, las cimentaciones directas pueden no ser una solución apropiada. En esos casos será necesario apoyar o transmitir las cargas a niveles más profundos y más competentes.

Asimismo, cuando se está en presencia de suelos estructuralmente inestables, como arcillas expansivas o suelos colapsables, una posibilidad de cimentación es no apoyar directamente sobre estos suelos, sino referir las cargas a niveles más profundos.

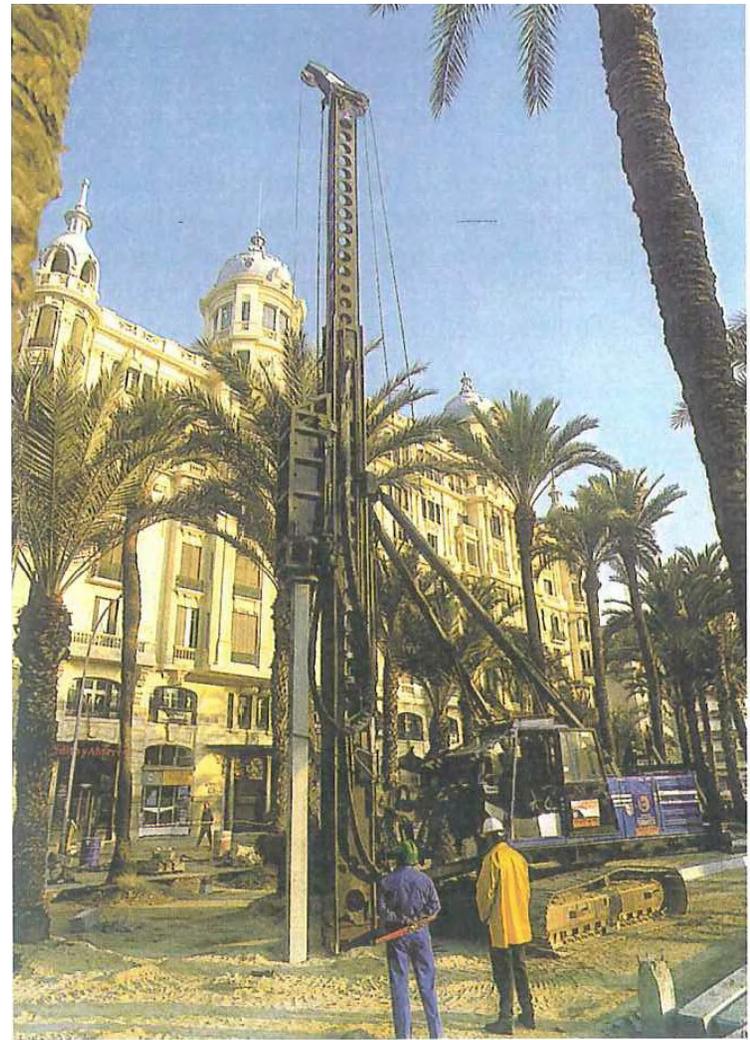
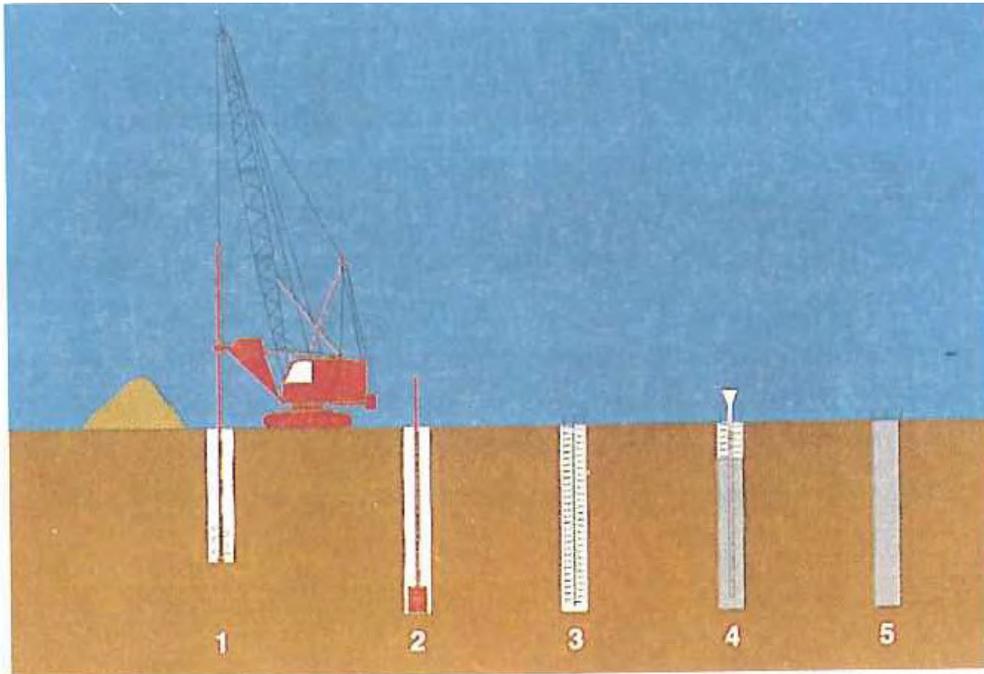
Esto se consigue mediante cimentaciones llamadas profundas o por pilotaje. Básicamente un **pilote** es un elemento de cimentación en el que predomina la longitud sobre cualquier otra dimensión. Normalmente se considera que un cimiento profundo es un pilote cuando la longitud total del elemento es igual o superior a ocho veces el ancho o dimensión mínima del mismo.



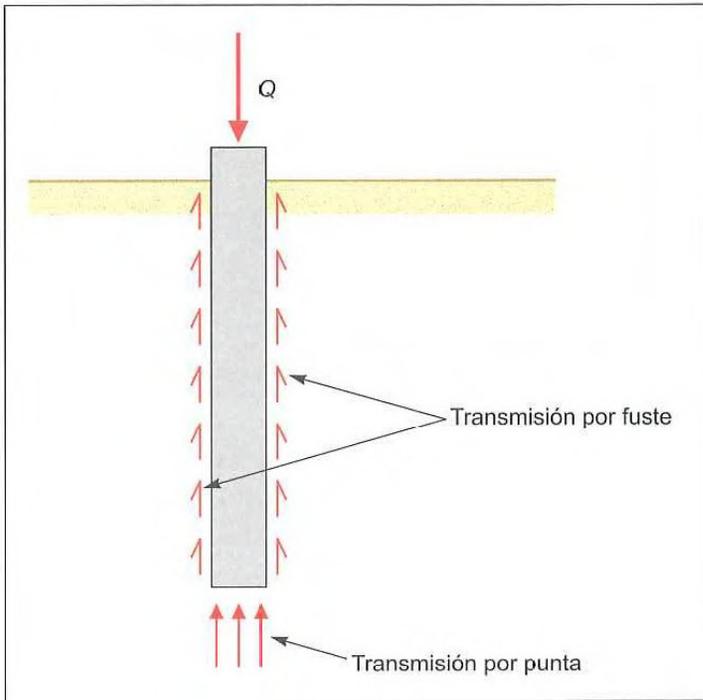
Pilotes formando una pantalla (cortesía de Uriel y Asociados, S.A.).

Tipos de pilote

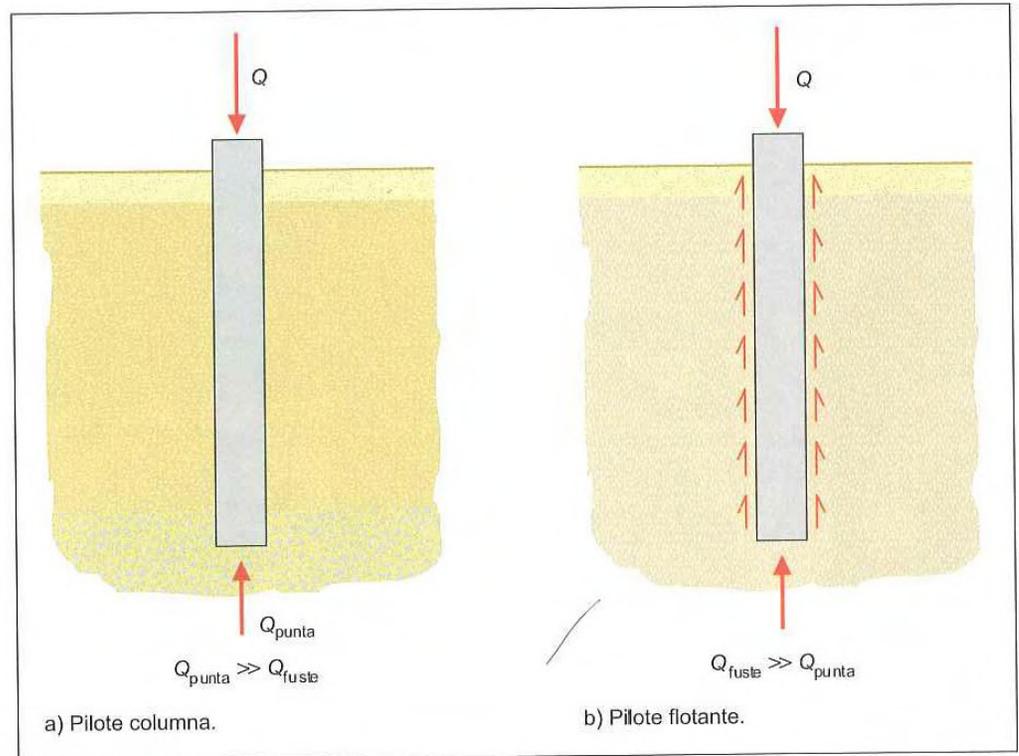
Pilote aislado



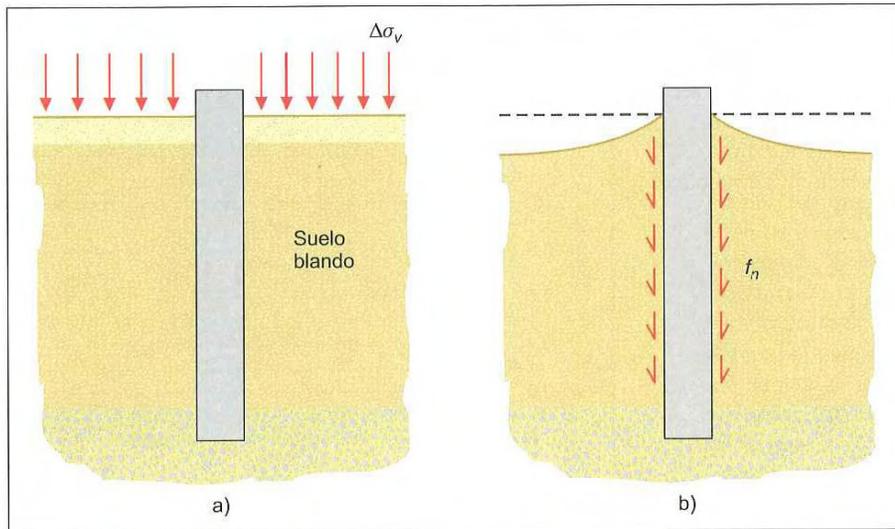
Hinca de pilotes prefabricados (cortesía de Grupo Terratest).



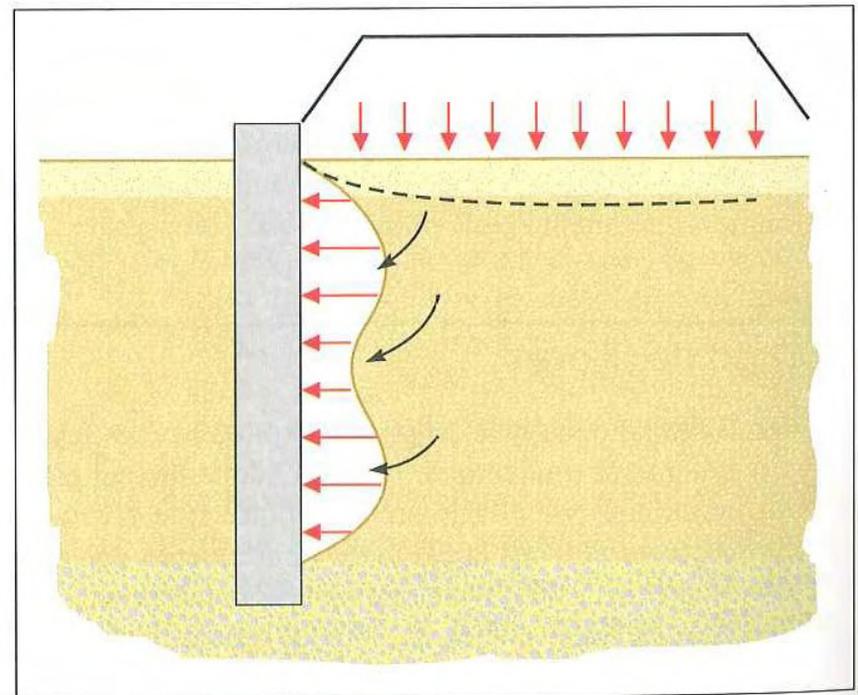
Transmisión de cargas al terreno.



Pilote columna y pilote flotante.

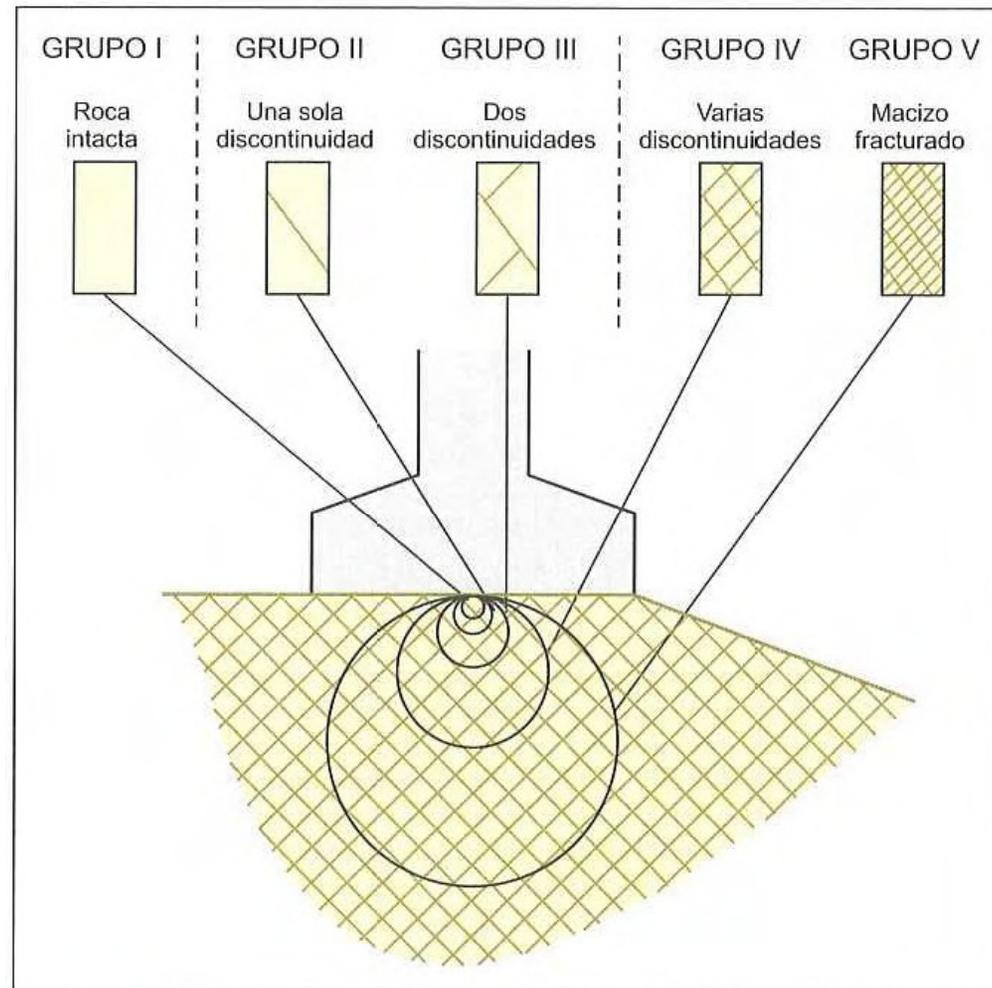


Sobrecarga en superficie alrededor de un pilote y perfil de asientos correspondiente.
Rozamiento negativo.



Empujes laterales sobre pilotes.

Cimentaciones superficiales en roca



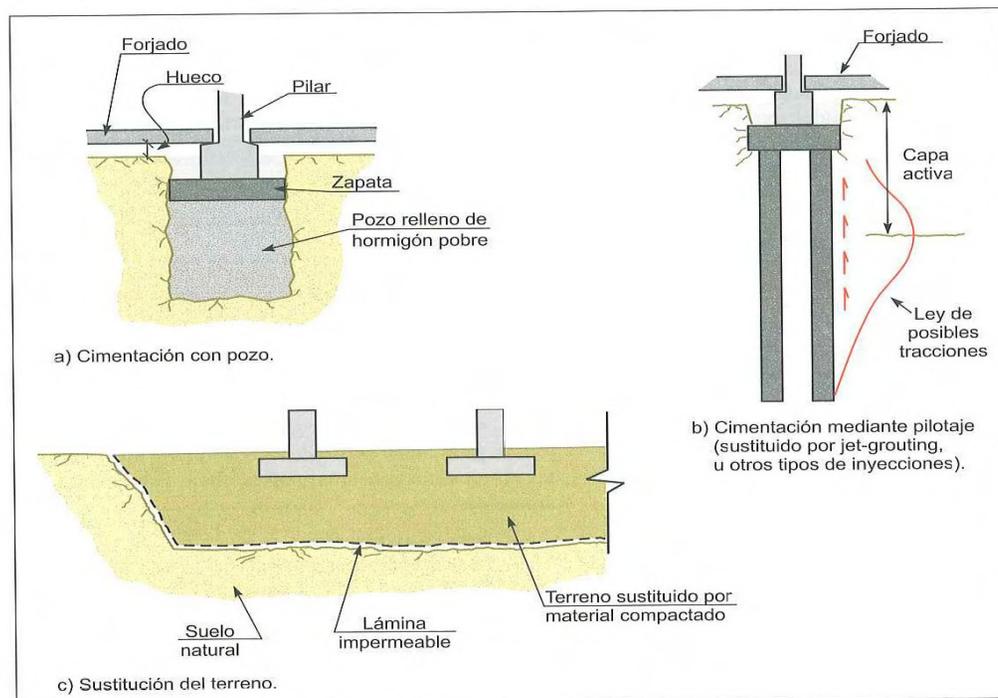
Representación simplificada de la influencia de la escala en el comportamiento del macizo rocoso para el diseño de cimentaciones superficiales.

Cimentaciones en condiciones geológicas complejas

Los problemas geológico-geotécnicos más frecuentes en cimentaciones, en países como España, son los siguientes:

- Arcillas expansivas.
- Suelos colapsables.
- Cavidades kársticas y volcánicas.
- Suelos blandos muy compresibles.
- Rellenos antrópicos.

Suelos expansivos



Posibles soluciones de cimentación en suelos expansivos.

Suelos colapsables

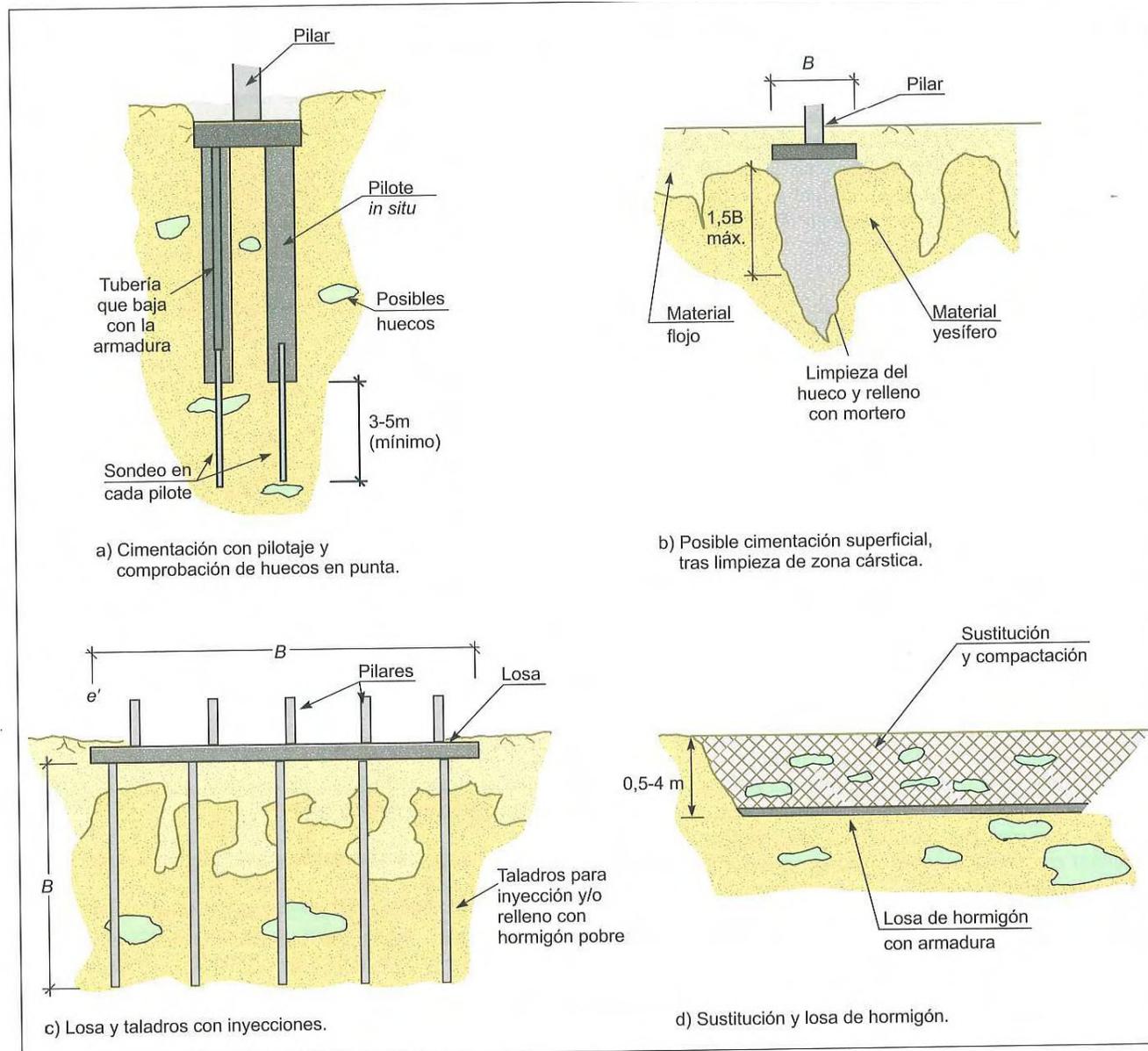
En este caso el cambio de volumen es negativo y se puede originar por:

- Humectación y eliminación de presiones intersticiales negativas que se producen alrededor de contactos de granos en los meniscos que forma el agua en un suelo semisaturado; la saturación disminuye la presión efectiva y da lugar a disminuciones de volumen que pueden llegar al 5-7 % (por ejemplo, en las arenas terciarias del centro de España cuando son vertidas sin compactar).
- Concentración de tensiones en contactos de granos que dan lugar a su rotura (colapso estructural), como puede ocurrir en escolleras y rellenos con aglomerados volcánicos, por altura excesiva de relleno, durante una inundación, etc.
- Disolución de puentes de unión entre partículas limosas, por inundación, como sucede en el limo yesífero y en el loess, provocando fuertes disminuciones de volumen.

Las soluciones de cimentación para los dos primeros casos pueden ser de varios tipos:

- **Remover el material** y volver a compactarlo adecuadamente. En el caso de las arenas del Plioceno del centro de España, como en los limos yesíferos de Aragón, este procedimiento puede dar lugar a un resultado aceptable (de mejor calidad en el primer tipo de terreno); en el caso de los limos yesíferos la sustitución puede hacerse con el mismo material (la densidad seca puede pasar de 1,15-1,25 g/cm³ en estado natural a 1,70-1,75 g/cm³ en estado bien compactado) o con otro de aportación, según la calidad de la estructura a cimentar. En cualquier caso hay que asegurar que el agua no llegue a la parte profunda, no sustituida, mediante láminas, tratamientos superficiales de impermeabilización, etc.
- **Compactación** desde superficie de una zona del terreno, utilizando técnicas como la de compactación dinámica, cuyo resultado suele ser más eficaz en el caso de arenas que en el de limos yesíferos.
- Utilizar **columnas de grava** que, al ser construidas con adición de agua, producen un colapso de la masa del terreno y, a la vez, lo dejan más resistente gracias a la aportación de grava y a su compactación.
- Refuerzo del terreno mediante **inyecciones** de lechada de cemento, creando una estructura térrica más rígida que la inicial, aunque suelen inducir un colapso apreciable del terreno durante su realización.
- Recurrir a las clásicas soluciones de **cimentación profunda** (pilotes, micropilotes, etc.).

Cavidades kársticas



Algunas posibles soluciones de cimentación en zonas karsticas.

Cavidades en rocas volcánicas

En determinadas formaciones volcánicas la presencia de cavidades es relativamente frecuente, aunque la mayoría son de pequeño tamaño. Entre las coladas de basaltos escoriáceos se forman huecos de muy variado volumen, con mayor desarrollo horizontal que altura y geometría irregular, con tendencia a formar «burbujas» o «lentejones». Las cuevas y «tubos volcánicos» son menos frecuentes, pero su tamaño puede ser muy grande (por ejemplo en Los Jameos del Agua, en Lanzarote).

El principal problema de estas cavidades es su detección, lo que obliga a realizar investigaciones *in situ* muy detalladas y numerosas. Las técnicas más utilizadas son los sondeos a rotación y los taladros a rotopercusión. La utilización de cámaras de vídeo en el interior de estos reconocimientos puede ser muy útil (ver Figura 14.41 del Capítulo 14). Los métodos geofísicos en zonas volcánicas pueden no ser resolutivos, aunque el georadar y la gravimetría se han utilizado en ocasiones con buenos resultados.

Las soluciones en este tipo de cavidades de materiales volcánicos incluyen el relleno con hormigón de

la cavidad, transferir la carga de la estructura a una capa resistente mediante micropilotes o pilotes, construcción de losas, inyección de cavidades, etc.

Rellenos antrópicos

Los rellenos antrópicos incontrolados y vertederos constituyen un material muy abundante en las ciudades y su periferia. Dada su heterogeneidad y muy baja compactación, son depósitos altamente densificables y con riesgo de colapso, incluso bajo cargas pequeñas. En general, la solución más habitual consiste en apoyar la estructura sobre pilotes o pozos transfiriendo la carga al sustrato resistente, teniendo en cuenta el efecto de rozamiento negativo a que dan lugar estos rellenos. Si son de poco espesor la mejor solución es su eliminación.

En algunas ocasiones se han tratado con inyecciones convencionales, «jet-grouting», compactación dinámica, precarga y otros sistemas de mejora del terreno. Cuando se dan colapsos en los rellenos, las medidas que se adoptan son las descritas anteriormente para los suelos colapsables.

Suelos blandos

Los suelos blandos muy compresibles no son aptos para apoyar directamente sobre ellos cimentaciones. La solución habitual es utilizar pilotes apoyados sobre un nivel resistente. Estos suelos pueden dar lugar a rozamiento negativo. Dependiendo del tipo de estructura y de los asientos admisibles, en ocasiones se han utilizado columnas de grava para acelerar el proceso de consolidación, o se han vertido escolleras. También es frecuente la realización de precargas o sobrecargas para consolidar el terreno de cimentación de obras de tierras.

Reconocimientos geotécnicos

Los **reconocimientos geotécnicos** se deben realizar en las siguientes fases:

1. **Estudios previos.**
 - Reconocimiento geológico-geotécnico preliminar.
 - Revisión bibliográfica y experiencia local.
 - Calicatas y ocasionalmente sondeos.
2. **Reconocimientos de anteproyecto.**
 - Sondeos, calicatas y penetraciones dinámicas.
 - Geofísica.
 - Ensayos de laboratorio.
3. **Reconocimientos de proyecto.**
 - Sondeos complementarios.
 - Ensayos *in situ* (placa de carga, presiómetros, ensayos de permeabilidad, etc.).
 - Ensayos complementarios de laboratorio.
4. **Reconocimientos durante la construcción.**
 - Ensayos de control (placa de carga, ensayos de penetración, ensayos de compactación, etc.).

Los resultados de la investigación geotécnica se recogen en el **informe geotécnico** que debería contener datos suficientes para:

1. Elegir el tipo de cimentación más adecuada y los métodos constructivos.
2. Fijar el nivel o los niveles de apoyo de los cimientos o las condiciones para establecerlos con precisión durante el transcurso de las obras.
3. Determinar las presiones admisibles, en caso de cimentaciones directas, o las resistencias por fuste y por punta, en caso de pilotajes.
4. Estimar la magnitud de los asentos.
5. Adoptar medidas que eviten posibles daños estructurales por agresividad al hormigón o expansividad, colapsabilidad de suelos, etc.
6. Establecer los procedimientos de excavación y dimensionamiento de muros, pantallas u otros elementos de contención de tierras.

Para poder dar respuesta a todos estos aspectos se debe disponer de datos suficientes sobre la tipología de la estructura a cimentar, cargas, separación entre pilares, sótanos, etc.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN