

Patología de las cimentaciones: causas

Apellidos, nombre	Basset Salom, Luisa (lbasset@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a enumerar y explicar las causas que originan la patología de las cimentaciones. Es muy importante conocer claramente las causas de la patología de estos elementos estructurales para evitar los daños antes de que se produzcan o bien, una vez producidos, para establecer un diagnóstico correcto y plantear una estrategia de intervención efectiva

2 Introducción

Las cimentaciones del edificio son elementos estructurales cuya misión consiste en transmitir las cargas (horizontales y verticales) al terreno, sin sobrepasar su capacidad portante ni producir asentamientos que no sean admisibles, garantizando asimismo el equilibrio global del edificio.

La patología de las cimentaciones se debe, generalmente, a una Inadecuación de la cimentación con las características del terreno, por deficiencias o deterioro del elemento estructural de la cimentación o por insuficiencia de la capacidad de carga del terreno, aunque también puede producirse por causas externas al propio edificio.

Los fallos de las cimentaciones producen daños estructurales (pudiendo incluso provocar el colapso completo de la estructura) siendo su reparación, en ocasiones, compleja y muy costosa ya que puede involucrar a las edificaciones colindantes y puede ser necesario interrumpir el uso del edificio o desalojarlo.

La diagnosis de este tipo de patologías no es inmediata. Deben analizarse los síntomas, esencialmente grietas y movimientos sufridos por el edificio (giros, asentamientos, desplazamientos) para poder deducir, a la vista de la cimentación existente y del conocimiento geotécnico del terreno de apoyo, el verdadero origen de la patología producida, es decir, la causa que la ha producido.

Conocida la causa se intervendrá sobre la estructura propiamente dicha, sobre el terreno modificando las propiedades geotécnicas (tratamientos de mejora y refuerzo), sobre la propia cimentación existente (recalces).

3 Objetivos

Una vez el alumno lea detenidamente este documento será capaz de:

- Enumerar las causas de la patología de las cimentaciones.
- Identificar las causas más probables en función de las lesiones observadas

4 Causas de fallos en las cimentaciones

Los fallos en la cimentación producen daños en el edificio que se manifiestan con la aparición de lesiones apreciables a simple vista (asentamientos, desplazamientos horizontales y giros). Las principales causas, que desarrollaremos a continuación, son errores de proyecto, defectos de ejecución, falta de calidad y durabilidad de los materiales, variaciones en las hipótesis de proyecto o en las condiciones del entorno, cimentaciones en terreno inestable o descensos generalizados.

4.1 Errores de proyecto

Se trata de errores de concepción, diseño o cálculo del proyecto que, por ser previsibles, si se tienen en cuenta el riesgo de que provoquen daños se minimiza.

a) conocimiento insuficiente del suelo

Para diseñar adecuadamente una cimentación es necesario un conocimiento del suelo que permita, junto con las características del edificio y del entorno escoger el sistema más conveniente en cada caso.

Para ello debe realizarse un Estudio Geotécnico (EG) completo en el propio solar, aunque se disponga de información sobre el suelo colindante, ya que puede haber variaciones importantes con respecto al del propio edificio. Los resultados del EG deben ser, además, correctamente interpretados.

La falta de información o la mala interpretación de los resultados del EG puede conducir a conclusiones erróneas sobre las características del suelo, a la ignorancia de posibles circunstancias negativas (existencia de falsos firmes, falta de homogeneidad, terrenos agresivos) o de riesgos especiales geotécnicos presentes (arcillas expansivas, suelos colapsables, rellenos antrópicos, suelos blandos, etc.) y, por tanto a un diseño incorrecto de la cimentación o a una mala elección de la cota de cimentación.

b) errores de diseño

Los errores principales de diseño (tanto del edificio como de la cimentación) son:

- Excentricidad excesiva o distribución irregular de las cargas a nivel de cimentación.
- No consideración de las condiciones del entorno de la estructura proyectada: edificaciones colindantes, infraestructuras subterráneas, posibles socavaciones, arrastres, descalces, movimientos de nivel freático, etc.
- Mala elección del tipo de cimentación
- Cimentaciones de distinto tipo en el mismo edificio.
- Apoyo de la cimentación a la misma cota sobre suelos de distinta naturaleza
- Apoyo de la cimentación a distinta cota
- Soluciones constructivas inadecuadas (por ejemplo falta de vigas centradoras o de atado de zapatas en zona sísmica)
- Infravaloración del riesgo geotécnico
- Cimentación sobre rellenos estructurales inadecuados

c) errores de cálculo

Son poco frecuentes pero no inexistentes y se pueden dar en cualquier momento del proceso, tanto en el establecimiento de los datos iniciales del problema como en el cálculo mismo o en la interpretación de los resultados.

Estos errores pueden producirse en la evaluación de las acciones o el establecimiento de hipótesis de carga, en la estimación de las características geotécnicas del terreno, en la previsión de asentos o inadecuación de las hipótesis de asentos adoptadas en el cálculo con la realidad, en la estimación de las acciones sobre la cimentación y el cálculo de los esfuerzos, en la estimación de la capacidad de carga, en las dimensiones de la cimentación y/o elección de la cota de cimentación, en la definición de soluciones constructivas y en la estimación de la influencia de los elementos de la cimentación del propio edificio y del edificio con los colindantes,

4.2 Defectos de ejecución

Tan importante como un buen diseño de la cimentación y una adecuada calidad de los materiales empleados es una ejecución correcta, dado que cualquier error en este proceso puede provocar fallos en la cimentación o facilitar la concurrencia de otras causas determinantes.

Podemos nombrar los siguientes:

- **Apreciación errónea de los estratos resistentes** confundidos con capas de poco espesor, bolos erráticos, etc.
- **Errores de replanteo**
- **Factores que afectan directamente al hormigón** como calidad de los materiales (consistencia inadecuada, resistencia inferior a la requerida, mala dosificación), curado, compactación, fraguado, vertido, transporte
- **Lavado y segregación del hormigón fresco**
- **Errores en los diámetros de las armaduras o en su colocación** (ausencia de separadores, recubrimientos insuficientes, longitudes de anclaje inadecuadas)
- **Deficiente ejecución del elemento de la cimentación**

La ejecución de pilotes realizada por personal inexperto o con control insuficiente puede propiciar la existencia de pilotes inservibles en una cimentación.

En los pilotes prefabricados hincados puede producirse un fallo de los empalmes en pilotes de acero o de madera, un falso rechazo, la desviación respecto del eje del pilote, la rotura de la punta durante la hinca, la elevación del terreno durante la hinca, etc.

En los pilotes hormigonados in situ puede producirse una defectuosa extracción de la entubación, cortes del hormigón ocasionando discontinuidades y estrangulamiento del fuste (reducción de sección), etc.

- **Ejecución deficiente de rellenos estructurales** sobre los que apoya la cimentación

4.3 Calidad y durabilidad de los materiales

La calidad y durabilidad de los materiales influye en los fallos de la cimentación. A largo plazo, los materiales se deterioran, pudiendo llegar a dejar de cumplir su función con el tiempo.

Respecto al deterioro a largo plazo, hay que prestar atención a la posible disgregación de los morteros así como a la alteración y meteorización de los elementos pétreos especialmente en el caso de cimentaciones de edificios históricos, a la pudrición por humedad y exposición al aire por descenso del nivel freático en el caso de pilotes de madera y a la degradación de las cimentaciones de hormigón por la acción de numerosos productos contenidos en las tierras o disueltos en las aguas (sulfatos, cloruros, aguas ácidas naturales, ácidos orgánicos, aceites animales, vegetales o minerales)

4.4 Variaciones en las hipótesis de proyecto

A lo largo de su vida útil, un edificio puede sufrir modificaciones de proyecto que afecten a su cimentación, especialmente si se produce una rehabilitación o cambio de actividad, la construcción de nuevas plantas o la excavación de sótanos. Estos cambios pueden propiciar esfuerzos no tolerables para la cimentación o para el suelo, iniciando procesos patológicos debido al aumento general de las sobrecargas, nuevas distribuciones interiores, cambio de función

de la estructura, redistribución de cargas, solicitaciones dinámicas de maquinaria no previstas inicialmente, etc.

4.5 Variaciones en las condiciones del entorno

Las actuaciones posteriores en el entorno de un edificio construido (excavaciones, túneles o edificios de nueva construcción en las proximidades de edificios existentes) pueden tener consecuencias negativas en éste, ya que pueden variar las características del suelo. En todas ellas debe tenerse en cuenta el edificio preexistente.

4.5.1 Construcción de edificios vecinos

Las causas principales de los daños que puede producir en nuestra cimentación la ejecución de la cimentación de un edificio adyacente por:

- **vibraciones por el empleo de maquinaria** en la ejecución de la nueva estructura y su cimentación
- **introducción de nuevas cargas en el terreno** que pueden incrementar las tensiones por debajo de la cimentación existente.
- **inducción de movimientos y/o esfuerzos adicionales** (asientos, empujes horizontales, desplazamientos y giros, rozamiento negativo) por los propios movimientos de la cimentación del edificio nuevo, por el cambio en la forma de trabajo de un sistema de cimentación diferente, por descompresión del terreno situado por debajo de la cimentación cuando la cota de excavación es inferior o por la eliminación de reacciones y empujes pasivos existentes por el derribo del edificio colindante preexistente.

No es adecuado construir un edificio con cimentación superficial junto a otro con cimentación por pilotes, ya que al asentar el terreno inducirá asientos y rozamiento negativo en los pilotes más próximos del edificio existente. Si, además, el terreno es blando, las cargas en superficie producirán desplazamientos horizontales que podrían transmitirles empujes horizontales. Tampoco es adecuado cimentar con losa junto a un edificio con zapatas pues generará asientos adicionales

4.5.2 Excavaciones próximas

Toda excavación induce en sus proximidades asientos y movimientos horizontales aunque se empleen métodos de ejecución adecuados y se realice una entibación rígida y cuidada, por eso, si está cerca de un edificio deberemos proyectarla y realizarla con cuidado para no provocarle daños.

La zona de influencia puede extenderse hasta una distancia del doble o el triple de la profundidad de excavación, por lo que cualquier edificio que se encuentre dentro de ella sufrirá asientos diferenciales y movimientos horizontales de mayor o menor magnitud, que podrán ser admisibles o no según sus características. También influyen las características del terreno, la velocidad de excavación la rigidez de la contención y los elementos de soporte lateral (anclajes, entibación...).

4.5.3 Vibraciones y efectos dinámicos

Las vibraciones pueden, dependiendo de su intensidad, duración, frecuencia, velocidad de propagación de la vibración, etc., producir densificación de

arenas, sobrepresiones intersticiales en arcillas, licuefacción de suelos limosos o asentamientos de rellenos.

Su origen puede ser muy diverso: demoliciones, ejecución de pilotajes hincados, circulación de tráfico pesado, explosiones y voladuras en excavaciones o canteras próximas o funcionamiento de maquinaria pesada.

4.5.4 Sismo

Los daños o la ruina de una estructura tras un sismo son en ocasiones el resultado del incorrecto diseño de la cimentación más que de la incapacidad antisísmica de la propia estructura. Por eso, las principales actuaciones tienden al atado y refuerzo de los cimientos y a la seguridad frente a la licuefacción del terreno.

Cuando sobre un suelo potencialmente licuable (suelos granulares flojos, arenas-limos saturados) actúa una fuerza exterior, generalmente, una fuerza cíclica sin drenaje, (como cargas sísmicas que provoquen aceleraciones en el terreno que superen una determinada magnitud si la duración del terremoto es suficiente) pasa a comportarse como un líquido y pierde completamente su resistencia a esfuerzo cortante y su capacidad de carga, generando movimientos verticales y horizontales de su masa. Las estructuras cimentadas sobre un terreno que se licúa sufren deslizamientos, grandes asentamientos o el hundimiento.

4.5.5 Defectos producidos por el agua

El agua es la causante de muchos fallos de la cimentación.

Las causas más frecuentes son:

a) Oscilación del nivel freático/variación del contenido de humedad del terreno, debido a las condiciones climáticas (riadas e inundaciones), a la ejecución o eliminación de pozos de bombeo o drenajes, arbolado, riego excesivo del terreno del entorno, fugas, ejecución de túneles o pantallas, excavaciones próximas con rebajamiento del nivel freático.

Modifica las presiones efectivas y provoca la consolidación de los estratos arcillosos blandos, variación en la capacidad portante del terreno, humedades (posible agresión al hormigón y a las armaduras) y cambios de volumen en terrenos expansivos. A lo largo del tiempo se traduce en asentamientos y empujes no previstos.

b) Empujes hidrostáticos, subpresiones, sifonamientos

Cuando las aguas subterráneas bañan una construcción producen empujes hidrostáticos o subpresiones. Si se desea que el edificio no se levante es preciso que su peso supere dicho empuje.

En casos extremos, las corrientes de agua en arenas pueden llegar a provocar el sifonamiento de las mismas.

c) Daños causados por heladas

Cuando un terreno saturado padece una helada, el agua se convierte en hielo y aumenta su volumen. Con el deshielo tiene lugar el fenómeno inverso.

Si el terreno es de grano fino y saturado, la expansión del hielo no puede hacerse libremente, separando las partículas y esponjándolo.

Las cimentaciones ligeras y poco enterradas, en este tipo de suelos, se levantarán con las heladas y descenderán con el deshielo. Es recomendable

que las cimentaciones lleguen a profundidades donde la influencia de la helada sea nula.

d) Socavaciones y arrastres

La acción de corrientes subterráneas naturales o la rotura de conducciones de agua o saneamiento arrastra las partículas del suelo y lo erosiona provocando la formación de cavidades que van descalzando los cimientos.

e) Arcillas expansivas:

Las arcillas expansivas son sensibles a los cambios de humedad del suelo, traduciéndose en cambios de volumen que pueden provocar daños.

Las patologías por cimentación en arcillas expansivas, dependen de:

- La naturaleza geológica y geotécnica del suelo (porcentaje de finos).
- El grado de expansividad.
- Cambios de humedad del terreno.
- Tipo de cimentación, profundidad y presión transmitida al terreno.
- Peso de la estructura y superficie expuesta
- Elementos constructivos de protección (pavimentación, aceras, juntas) y cuidado de las instalaciones de distribución y evacuación de aguas pluviales.

f) Suelos colapsables:

Los suelos colapsables son suelos de naturaleza inestable (suelos limo-yesíferos o limo-arenosos), que en determinadas circunstancias, provocan asientos bruscos de cm o dm.

En ausencia de agua, estos suelos cementados se mantienen estables, pero en presencia de agua, las partículas más finas y los cementos yesíferos que ocupan sus huecos se disuelven, perdiéndose su escasa capacidad portante y produciéndose el colapso.

El riesgo de colapso depende de la colapsabilidad potencial del suelo (determinada mediante los ensayos y el reconocimiento geotécnico) y de las condiciones de contorno como cambios de humedad, inundación o concentración de tensiones.

Las cimentaciones más recomendables sobre este tipo de suelos son las cimentaciones profundas, que deben tender a sobrepasar los niveles colapsables.

4.5.6 Rellenos junto al edificio

En terrenos compresibles, los rellenos de tierras pueden originar asientos en la edificación adyacente.

Si la cimentación es superficial la deformación del terreno que produce el relleno producirá asientos diferenciales y, por tanto, desplomes o grietas.

En edificios con pilotes flotantes el asiento del terreno puede provocar rozamiento negativo en los pilotes más cercanos disminuyendo su capacidad portante con un descenso desigual según la distancia al relleno.

En edificios con pilotes trabajando por punta la deformación del terreno no tiene, en principio, efectos directos sobre el pilotaje ya que éste no descansa sobre el terreno blando deformable sino en un estrato duro más profundo. Sin embargo, el peso del relleno produce en el suelo que rodea al pilote un empuje lateral que puede no ser tolerado por éste provocando su rotura.

4.5.7 Anclajes bajo el edificio

La puesta en carga de anclajes para anular empujes en muros de contención comprime el suelo que se encuentra entre el anclaje y el muro, y descomprime el suelo a partir del bulbo de anclaje. Si estos anclajes se sitúan por debajo de un edificio, esta descompresión puede producir daños en el mismo a causa de los asentamientos que se producirán en la parte de cimentación situada en su zona de influencia.

4.6 Cimentaciones en laderas o taludes inestables.

Cuando un edificio está situado en una ladera inestable lo más probable es que aparezcan lesiones causadas por los propios movimientos de ésta.

Se trata de un problema difícil de resolver que precisa de costosas obras de estabilización de los taludes (estructuras de contención, cosido mediante anclajes profundos, gunitado, etc.) ya que la cimentación profunda a base de pilotes no suele ser adecuada por los elevados empujes laterales que generan las masas de suelo en movimiento y los recalces tampoco suelen ser efectivos.

4.7 Descensos generalizados: subsidencias y hundimientos

Los descensos generalizados de grandes zonas de terreno pueden ser movimientos lentos (subsidencias) o repentinos (hundimientos).

Las subsidencias se deben a cambios tensionales inducidos en el terreno por descenso del nivel freático, procesos lentos de disolución y lavado de materiales, procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos, extracción de agua, gas o hidrocarburos, minería subterránea y túneles.

Los hundimientos se producen por colapso de los techos de cavidades subterráneas, más o menos profundas, de origen natural o antrópico.

- Las cavidades o cuevas naturales están asociadas a materiales kársticos o solubles (calizas, dolomías, yesos) cuya disolución crea huecos que, al alcanzar ciertas dimensiones, provocan la rotura de la bóveda o techo de la cavidad. Si es poco potente o poco resistente, se hundirá la superficie del terreno.

Los yesos (mucho más blandos que las calizas y dolomías) presentan mayor capacidad de disolución y los movimientos de reajuste de los materiales a los huecos son más continuos y paulatinos. Cuando las aguas subterráneas circulan por un terreno con yeso, además de que se transforman en agresivas, forman cavidades llamadas bolsas de disolución de yeso, cuyas dimensiones llegan a tener un volumen de varios miles de metros cúbicos.

Se recomienda siempre cimentar por debajo de las cavidades mediante cimentaciones profundas y rigidizar la estructura para que soporte sin deterioro hundimientos localizados. Para ello, debemos detectar con anterioridad la presencia de estas cuevas mediante métodos geofísicos.

- Las cavidades artificiales que pueden dar lugar a hundimientos o colapsos repentinos son las explotaciones mineras subterráneas o excavaciones para otros usos, como túneles, cuevas, galerías, bodegas, criptas, aljibes. Son causa frecuente de daños en edificios en cascos urbanos más o menos antiguos.

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto las distintas causas que producen fallos en las cimentaciones y dado algunas recomendaciones para evitarlas.

¿Qué causas te parecen evitables¹?

6 Bibliografía

6.1 Libros:

[1] Auzmendi, E.; Solabarrieta, J; Villa, A: "Cómo diseñar materiales y realizar tutorías en la formación *online*", en Cuadernos monográficos del ICE, Nº 11, Ed. Universidad de Deusto, 2003, pág. 55-69.

[2] "Enciclopedia Broto de patologías en la construcción. Patología de los elementos constructivos (III): cimentaciones. Ed. Broto y Comerma, 2005.

[3] Monjo, J., Maldonado, L.: "Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas". Ed. Munilla-Lería, 2001

[4] Serrano, F.: "Patología de la edificación el lenguaje de las grietas". Fundación Escuela de la Edificación, 3ª edición, 2005

[5] Tratado de rehabilitación. Tomo 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. I. Recalces, apeos y demoliciones. 1. Patología de cimentaciones García López M., Máster de Restauración Arquitectónica UPM. Dep. Construcción y Tecnología Arquitectónicas. ETSAM, Ed. Munilla-Lería, 2008.

¹ Efectivamente siempre son evitables todas aquellas que dependen del proyecto y control de ejecución del edificio. Por otra parte, cuando se actúa sobre un edificio construido debe estudiarse detenidamente su cimentación y el terreno para ver si se va a producir una modificación sustancial de su capacidad portante.