



Proceso patológico de la estructura: lesiones, síntomas y 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, una vez definido lo que entendemos por patología estructural, vamos a enumerar y explicar los diferentes tipos de lesiones estructurales y constructivas (físicas, mecánicas y químicas), sus síntomas, así como las principales causas (directas e indirectas) que los producen.

2 Introducción

La patología estructural es el estudio de los daños o problemas estructurales que se presentan en el edificio (alteración y/o deterioro de los materiales y/o de los elementos estructurales/constructivos) y que determinan la carencia de algunas de sus condiciones básicas de funcionamiento (relativas a funcionalidad, seguridad o habitabilidad).

Incluye, por tanto, la definición de las causas que originaron los daños, su evolución y el alcance que podrían llegar a tener, la evaluación de la condición de la estructura, la emisión de un diagnóstico y la determinación de las actuaciones más apropiadas para restaurar las condiciones básicas del edificio (siempre que sea posible desde un punto de vista técnico y económico).

Es muy importante identificar la tipología de las lesiones y sus síntomas asociados, porque siendo la manifestación final del proceso patológico, son el punto de partida de su estudio. De la identificación y determinación de la gravedad de las lesiones y del establecimiento de las causas, dependerá el proceso a seguir para el establecimiento de un diagnóstico acertado y el planteamiento de una estrategia de intervención efectiva.

3 Objetivos

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

- Enumerar los distintos tipos de lesiones y sus síntomas.
- Enumerar las causas de la patología de la estructura.
- Identificar las causas más probables en función de las lesiones observadas.

4 Lesiones y síntomas

Las lesiones son daños de tipo estructural o constructivo provocados por causas directas o indirectas, que se concretan en deformaciones, roturas o alteraciones en los materiales y que, por tanto, pueden afectar a las prestaciones de la propia estructura (a su totalidad o a parte de ella) o de otros elementos constructivos (fachadas, particiones, solados, cubiertas, etc.). En función del carácter y la tipología del proceso patológico, las lesiones se pueden clasificar en físicas, mecánicas y químicas.

Los síntomas son aquellas evidencias u otro tipo de indicios reveladores de una lesión y que pueden aparecer en la propia estructura, en otros elementos constructivos, o en ambos.

4.1 Lesiones físicas

Se producen por la acción de fenómenos o agentes físicos (agua, heladas, viento, cambios de temperatura, etc.) provocando la alteración y el deterioro progresivo de las superficies de los materiales (disgregación, exfoliación), la pérdida de material (desprendimientos, rotura de piezas) y, consecuentemente, disminución de resistencia. Afecta a los elementos estructurales situados al exterior, generalmente, de obra de fábrica y de hormigón, por su carácter poroso, pero también al acero y la madera.

Se consideran 3 tipos de lesiones físicas: humedad, erosión física y suciedad.

La humedad se debe a la presencia de agua en un porcentaje superior al considerado como normal en un material o elemento constructivo, llegando a producir variaciones de las características físicas del material, pasando incluso de daños constructivos a daños estructurales más graves. Puede originar además otras lesiones secundarias como desprendimientos de material o eflorescencias. Los síntomas habituales de este tipo de lesión son las manchas permanentes y el goteo de agua. La humedad puede generarse durante el proceso constructivo o bien por capilaridad, filtración o condensación. También puede producirse de forma accidental por rotura de conducciones.

La erosión física consiste en la pérdida o transformación superficial de un material por la acción física de los agentes atmosféricos (agua: lluvia, granizo, nieve, helada, sol, viento), provocando desprendimiento o rotura de piezas.

La suciedad se debe al depósito por gravedad de partículas en suspensión en la atmósfera sobre la superficie de las fachadas, pudiendo producir exfoliaciones en elementos de fábrica.

4.2 Lesiones mecánicas

Se producen por el agotamiento de la capacidad resistente del material frente a las acciones verticales y horizontales (compresión, tracción, cortante, flexocompresión, etc.), a movimientos o a variaciones dimensionales debidas a cambios de temperatura o humedad. Este agotamiento implica la presencia de un esfuerzo mecánico sobre un determinado elemento del edificio que no había sido previsto o que resulta superior al que se había calculado y, por tanto, superior al que ese elemento puede soportar, provocando roturas (grietas y fisuras), deformaciones, desprendimientos o desgaste (erosión mecánica) de materiales o elementos estructurales y constructivos.

Las lesiones que pueden afectar a los elementos estructurales son las grietas y fisuras y las deformaciones.

Las grietas y las fisuras (anchura menor de 1 mm) son aberturas longitudinales que afectan a un elemento estructural o constructivo pudiendo provocar la pérdida de su consistencia o integridad. Ambas ponen de manifiesto la existencia de un defecto más o menos grave o de un mal comportamiento de la cimentación o la estructura (figura 1).

Las deformaciones son cualquier variación en la forma de un elemento estructural o no (figura 2), como consecuencia de esfuerzos mecánicos, por

ejemplo, flechas alabeos, desplomes o pandeos. Las deformaciones pueden originar lesiones secundarias como fisuras, grietas o desprendimientos.



Figura 1. Grietas muro por acciones sísmicas



Figura 2. Deformaciones viga y pilar

4.3 Lesiones químicas

Se producen por la presencia de elementos químicos (sales, ácidos o álcalis) que reaccionan provocando descomposiciones que afectan a la integridad del material y reducen su durabilidad (corrosión, carbonatación, erosión química y eflorescencias) o por la presencia de organismos vivos (insectos xilófagos, mohos, hongos) que alteran la estructura química y/o física del material.

La corrosión (figura 3) consiste en la destrucción o deterioro progresivo de la superficie de los metales debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente. Puede producirse por combinación espontánea de los átomos metálicos con el oxígeno, formando finas capas de óxidos (oxidación) o bien por la acción de una pila electroquímica en la que el metal actuará como ánodo perdiendo electrones a favor del cátodo (corrosión). Afecta tanto a las estructuras metálicas como a las armaduras del hormigón.

La carbonatación se produce por la reacción del hidróxido de calcio del hormigón con el dióxido de carbono de la atmósfera formando una red porosa. No origina problemas en el hormigón, pero cuando la profundidad del frente carbonatado alcanza el recubrimiento de las armaduras, éstas dejan de estar protegidas frente a la corrosión.

Las eflorescencias son los depósitos de sales minerales solubles del propio material que son disueltas por el agua y arrastradas durante su evaporación hacia la superficie exterior del material donde cristalizan. (Figura 4). Afectan a la durabilidad y resistencia a los agentes atmosféricos.



Figura 3. Corrosión de estructura metálica



Figura 4. Eflorescencias

5 Causas

Un punto fundamental del estudio del proceso patológico es la identificación de las causas que han originado las lesiones.

Las causas físicas (lluvias, viento, heladas, cambios térmicos etc.), mecánicas (cargas, empujes, impactos, rozamientos etc.) o químicas (agentes contaminantes, organismos, humedad, etc.) se llaman causas directas, ya que consisten en una acción concreta sobre el elemento estructural, el elemento constructivo o sus materiales. Son difíciles de eliminar, pero se puede actuar con protecciones o con productos o aditivos aplicados al mismo material.

Además, hay causas indirectas, es decir, factores del proceso constructivo que, con la acción de las causas directas, posibilitan la aparición de lesiones, como, por ejemplo, errores de proyecto; defecto de los materiales; errores de fabricación, ejecución y control; variaciones en las condiciones de proyecto y/o anomalías de utilización; variaciones en las condiciones del entorno y situaciones accidentales. Son evitables o corregibles mediante una intervención de reparación o refuerzo.

5.1 Errores de proyecto

Pueden ser errores de diseño, de cálculo y/o de documentación del proyecto.

a) errores de diseño

La fase de diseño de la estructura es tan importante como su cálculo. Los errores de diseño más comunes son:

- mala concepción de la estructura por una elección inadecuada de la tipología estructural
- modelización de nudos y consideración de vínculos entre barras no acordes o poco ajustadas al comportamiento real de los elementos o de los materiales constructivos
- diseño incorrecto de elementos estructurales y definición insuficiente de las condiciones de estabilidad de la estructura
- elección errónea del material (por ejemplo: tipo de hormigón en función de la agresividad del medio ambiente)
- Incompatibilidad de materiales
- uniones mal concebidas y/o mal diseñadas

b) errores de cálculo

Estos errores, aunque poco frecuentes, no son inexistentes. Se pueden producir en cualquier momento del proceso de cálculo, desde la propia utilización

incorrecta del programa de cálculo como en el planteamiento del modelo de cálculo (modelización de forjados, vínculos entre barras, apoyos, etc.), la evaluación de las acciones (Infravaloración o no consideración de acciones que pueden afectar a la estructura, tanto cargas permanentes como sobrecargas de uso, cargas de nieve o viento, el establecimiento de hipótesis de carga, las comprobaciones de los estados límite último y de servicio, el cálculo de punzonamiento de los forjados, la estimación de asentos, las dimensiones de la cimentación, el cálculo de uniones, etc.

c) errores en la documentación del proyecto

Se deben principalmente a la definición gráfica incompleta o errónea de los planos de proyecto (errores de acotación o falta de cotas, escala, errores o falta de especificación de elementos y materiales; errores, poca definición o falta de detalles constructivos de nudos y armados; errores de orientación de pilares, etc.), a la falta de documentación actualizada de las modificaciones de proyecto y/o a la ausencia de un pliego de condiciones específico.

5.2 Defectos de los materiales (calidad y durabilidad)

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

El empleo de materiales de calidad inferior a la prevista conducirá a una resistencia inferior a la requerida. En el caso del hormigón la calidad depende de todos sus componentes: cemento, áridos, agua, aditivos y acero de las armaduras.

Independientemente de la calidad, la durabilidad puede verse alterada por errores durante la fabricación o la ejecución, así como por la falta de protección o mantenimiento, sobre todo en el caso de elementos expuestos a atmósferas agresivas (marinas, industriales o urbanas fuertemente contaminadas).

5.3 Errores de fabricación, ejecución y control

Todos los materiales y/o elementos constructivos deben llegar a la obra con todas las características especificadas en proyecto, necesarias para que su comportamiento sea acorde con lo establecido en el diseño y cálculo del edificio. De lo contrario, podría facilitar la aparición de una lesión, disminuyendo su durabilidad.

Tan importante como la calidad de los materiales o la fabricación es el proceso de ejecución, ya que los defectos durante el mismo son los que originan un mayor número de lesiones, que a menudo se manifiestan al cabo de los años. Para evitar los errores durante el proceso de ejecución es necesario contar con un buen control de calidad en obra. Su ausencia es un error importante.

Enumeraremos, a continuación, los errores de fabricación y ejecución que afectan a las estructuras de hormigón y a las estructuras metálicas.

a) ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Los errores de fabricación están relacionados con características, propiedades y proporción de los componentes del hormigón inadecuadas:

- Dosificación de cemento excesiva o insuficiente
- Relación agua/cemento escasa o elevada
- Granulometría de los áridos inadecuada
- Cantidad de finos excesiva
- Tamaño máximo de árido incorrecto
- Empleo o dosificación inadecuada de los aditivos

Los errores en las etapas de la puesta en obra del hormigón (transporte, vertido, compactación y curado) pueden provocar defectos graves en un hormigón que estaba bien fabricado y contaba con una calidad adecuada como, por ejemplo, disgregación, falta de homogeneidad, deformaciones, variaciones en la compactación, disminución de la resistencia, falta de protección de las armaduras, etc.

Los errores más comunes son:

- Vertido inadecuado del hormigón
- Mala colocación y/o sujeción de los elementos del encofrado o falta de estanqueidad del mismo
- Vibrado inadecuado y compactación deficiente
- Curado inadecuado

El descimbrado de los forjados antes de que el hormigón haya alcanzado la resistencia suficiente puede producir deformaciones excesivas e incluso el colapso progresivo de la estructura. Un ejemplo de este error es el colapso parcial del edificio Skyline Plaza (Virginia) en 1973 [10].

Durante el proceso de ejecución se pueden producir también errores relacionados con las armaduras como, por ejemplo: insuficiencia de la cuantía de acero, falta o exceso de armado, confusión de diámetros, ausencia de separadores, recubrimientos insuficientes o excesivos, errores de corte o doblado, longitudes de anclaje insuficientes, mala disposición de las barras, etc.

b) ESTRUCTURAS METÁLICAS

Los elementos de las estructuras metálicas se fabrican en taller siguiendo las indicaciones de los planos del proyecto. Los errores se deben a modificaciones de la forma y tamaño de los perfiles, de la situación o longitudes de los cordones de soldadura, de las posiciones de los taladros para las uniones atornilladas.

Durante la fase de montaje se producen muchos fallos e incluso colapsos de las estructuras metálicas, debido a que, hasta que la estructura no esté completa puede ser inestable, necesitando arriostramientos provisionales. Un error común es no tener previstos estos arriostramientos o que sean insuficientes.



Figura 5 Viga alveolada: desajuste con proyecto y según proyecto

Otros errores de esta fase se deben a un replanteo erróneo, a fallos en la ejecución de nudos (articulaciones, empotramientos) y encuentros, a desajustes respecto de lo indicado en los planos (orientación de los perfiles, posición de los elementos), etc. En la figura 5 se aprecia, a la izquierda, una viga alveolada colocada en obra con los alveolos huecos en la zona del apoyo en contra de lo indicado en el proyecto, y, a la derecha, con los alveolos macizos, una vez identificado el fallo y subsanado.

5.4 Variaciones en las condiciones de proyecto

Un edificio puede sufrir modificaciones a lo largo de su vida útil: cambio de uso, aumento del número de plantas, excavación y habilitación de sótanos, rehabilitaciones, etc.

Las variaciones en las condiciones iniciales del proyecto pueden afectar a la estructura si se produce un aumento o redistribución de cargas o un cambio de función de la estructura, si se generan solicitaciones dinámicas (causadas por la maquinaria) no previstas inicialmente, si se suprimen elementos estructurales principales o si se abren huecos en muros de carga, entre otras.

El uso indebido del edificio o parte de este puede ser también causa de lesiones por aplicación de sobrecargas de uso mucho mayores a las previstas (uso residencial que se destina a local comercial o a almacén, por ejemplo). Un ejemplo de esto es el colapso de una parte de forjado de una sala destinado a actuaciones musicales en Suecia. Teniendo una capacidad para 250 personas sentadas, se autorizó un concierto de rock con 700 jóvenes bailando y saltando. Unos 8m² se hundieron cayendo 50 jóvenes al piso inferior de los cuales 29 requirieron hospitalización [8].

Por otra parte, cualquier estructura debe conservar las condiciones para las que fue proyectada a lo largo de toda su vida útil. Es, por tanto, una buena práctica realizar inspecciones periódicas de la estructura que permitan la detección, a tiempo, de posibles fallos en la misma.

5.5 Variaciones en las condiciones del entorno

Cualquier modificación del entorno de un edificio ya construido, como por ejemplo la construcción de un edificio próximo, excavaciones (para un sótano o instalaciones, etc.), ejecución de rellenos, vibraciones o efectos dinámicos, puede generar lesiones en el edificio existente, ya que pueden afectar a su cimentación, modificar las características del terreno y provocar asentamientos diferenciales. Si ese es el caso, aparecerán fisuras de forma progresiva en cerramientos y muros antes que en los elementos estructurales (pilares, vigas y forjados). Por este motivo, cualquier actuación junto a un edificio debe realizarse extremando las precauciones y tras un conocimiento previo del terreno y de la cimentación.

5.6 Situaciones accidentales

Se consideran situaciones accidentales aquellas que se producen por la actuación de las llamadas acciones accidentales, cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña y que actúan en función de un acontecimiento aislado como sismo, incendio, impactos o explosiones.

Para evitar daños irreparables en la estructura deben tenerse en cuenta las recomendaciones de la normativa vigente en función de las características de la estructura y de la ubicación del edificio. La figura 6 muestra algunos de los daños estructurales ocasionados por el terremoto de Lorca (mayo 2011)



Figura 6. Daños causados por el sismo de Lorca (mayo 2011)

6 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto los distintos tipos de lesiones, sus síntomas y sus causas.

Se recomienda la lectura de la referencia [8] en la que se incluyen muchos ejemplos sobre fallos en estructuras metálicas, así como una explicación de las causas. así como de la referencia [9] en la que se explican las razones del fallo del Estadio De Grolsch Veste (Holanda) en 2011.

Asimismo, te invito a que te fijes en la figura 7 y me digas a qué se deben los daños en el pilar. ¿Te parece que pueden haber sido causados por acciones sísmicas¹?



Figura 7. Daños en pilar

7 Bibliografía

7.1 Libros:

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

¹. Efectivamente, se trata de daños causados por un terremoto, por tratarse de un pilar corto.

- [2] Guía para la inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes. Documento reconocido: DRB 04/06, Instituto Valenciano de la edificación, ed. Generalitat Valenciana, 2ª ed., 2010.
- [3] Manual de patología de la edificación tomo 2- patología de las estructuras: hormigón y madera. Cap. 1 Patología de las estructuras de hormigón, Jaime Santa Cruz Astorqui. Dep. Tecnología de la Edificación (E.U.A.T.M), UPM, 2004
- [4] Monjo, J., Maldonado, L.: "Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas". Ed. Munilla-Lería, 2001
- [5] Muñoz Hidalgo M. Manual de patología de la edificación (detección, diagnosis y soluciones), 2012
- [6] Serrano, F.: "Patología de la edificación el lenguaje de las grietas". Fundación Escuela de la Edificación, 3ª edición, 2005
- [7] 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.

7.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [8] Alpsten G. Causes of Structural Failures with Steel Structures". Disponible en: <http://www.stbk.se/1662c-paper34-iabse-2017-01-24.pdf>
- [9] Borsje H., Renier B., Burggraf H. Collapse of the roof of a football stadium (2014). Disponible en: https://www.iabse.org/Images/Docs/PDF/WG8_Forensics/Borsje_2014.pdf
- [10] Schellhammer J., Delatte N., Bosela P. (2013). Another Look at the Collapse of Skyline Plaza at Bailey's Crossroads, Virginia. J. Perform. Constr. Facil., 27(3), 354-361. Disponible en: https://engagedscholarship.csuohio.edu/encee_facpub/22/

7.3 Figuras:

- Figura 1. Grietas muro por acciones sísmicas (autoras: L. Basset y A. Guardiola)
- Figura 2 Deformaciones viga y pilar (autora: L. Basset)
- Figura 3 Corrosión de estructura metálica (autora: L. Basset)
- Figura 4 Eflorescencias (autora: L. Basset)
- Figura 5. Viga alveolada: desajuste con proyecto y según proyecto (autora: L. Basset)
- Figura 6. Daños causados por el sismo de Lorca (mayo 2011) (autoras: L. Basset y A. Guardiola)
- Figura 7. Daños en pilar (autoras: L. Basset y A. Guardiola)