



# Proceso de diagnóstico y técnicas de inspección en estructuras de hormigón

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

## 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a presentar las distintas fases del proceso de diagnóstico de la patología de las estructuras de hormigón: información previa, inspección preliminar, inspección técnica, diagnóstico e informe final.

## 2 Introducción

Los problemas en las estructuras de hormigón se manifiestan mediante una serie de lesiones, principalmente fisuras o grietas, en los elementos estructurales: pilares, vigas, zunchos, forjados, dinteles, etc., y también en los elementos constructivos que están en contacto con ellos (tabiques, pavimentos, etc.)

Cuando se detectan lesiones en los elementos estructurales, antes de proceder a realizar una intervención, debe determinarse la causa y el origen de las mismas. Para ello debemos realizar un diagnóstico detallado del estado actual de los elementos estructurales que concluirá con un informe final en el que se describan, además de las causas, las posibles soluciones de intervención.

Debe prestarse especial atención al posible riesgo de colapso parcial o total de la estructura, en cuyo caso será necesario definir un sistema de apuntalamiento que garantice, de forma temporal, la estabilidad del edificio.

## 3 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este documento será capaz de:

- Enumerar las fases del proceso de diagnóstico de la patología de estructuras de hormigón
- Identificar los datos necesarios para tener una buena información previa.
- Determinar los datos relevantes para un conocimiento exhaustivo de las lesiones y proponer un procedimiento de monitorización de la evolución de los daños.
- Identificar las comprobaciones a efectuar sobre los elementos estructurales
- Identificar las diferentes técnicas de inspección (ensayos a realizar in situ o en laboratorio).

## 4 Proceso de diagnóstico

Cuando se observen lesiones en un edificio con estructura de hormigón, debe iniciarse un proceso de diagnóstico que consta de las siguientes fases:

1. Información previa
2. Inspección preliminar
3. Inspección técnica
4. Diagnóstico
5. Informe final

## 4.1 Información Previa

Por información previa se entiende toda aquella que puede y debe recopilarse antes de visitar el edificio.

Se recomienda que el técnico recopile el mayor número de datos identificativos, administrativos, gráficos y descriptivos del edificio y de su entorno, antes de la primera visita de inspección al edificio. Esta información puede obtenerse directamente de los propietarios o bien se puede acudir a fuentes de información como la sede electrónica del catastro, así como a archivos de organismos o entidades municipales, colegios profesionales, etc.

La información previa debe incluir:

- Datos identificativos y administrativos (dirección, referencia catastral, año de construcción, plano de emplazamiento, grado de protección si lo tiene, fotografía de la fachada).
- Documentación gráfica y descriptiva del edificio y del entorno
  - Proyecto original, siempre que sea posible, incluyendo memoria, planos de distribución, alzados, secciones, planos de estructura y de cimentación.
  - Información sobre el historial del edificio: usos anteriores, modificaciones estructurales o arquitectónicas, intervenciones y también Informes o inspecciones previas, si las hubiere.
  - Estudio geotécnico.
  - Documentación fotográfica si la hubiere, sobre el estado del edificio y lesiones en épocas anteriores.
- Normativa de aplicación vigente en el momento de la construcción.
- Información sobre otras circunstancias que hayan podido afectar directa o indirectamente al edificio desde su construcción: construcción de edificios adosados o próximos, excavaciones, redes de saneamiento, modificaciones del nivel freático, etc.
- Testimonios de personas que puedan completar la información obtenida y que incluso tengan datos de daños previos, fechas, etc.

## 4.2 Inspección Preliminar

La visita de inspección preliminar comienza con un reconocimiento visual del edificio con el fin de obtener y verificar la información previa del edificio, de los materiales empleados y de la estructura. Se persigue tener una primera visión del problema, analizar el estado actual de la estructura del edificio y registrar las lesiones detectables a simple vista en los diferentes elementos constructivos, así como la presencia de factores de deterioro del hormigón.

Se realizará un inventario de lesiones (grietas, fisuras, desplomes, etc.), describiéndolas (forma, dimensiones, longitud, profundidad) y representándolas en los planos de planta, alzados y secciones (mapas de grietas). Se acompañará el inventario con fotografías referenciadas.

Tras la inspección preliminar se redactará un informe describiendo los daños observados, estableciendo las primeras hipótesis de las causas y definiendo un plan de actuación en el que se especifiquen las inspecciones técnicas a

realizar para poder llegar a conclusiones definitivas acerca del proceso patológico y las causas que lo han producido y poder establecer las actuaciones necesarias para eliminar esas causas y posteriormente reparar los daños. Es importante determinar si las lesiones están todavía activas, por lo que el informe deberá incluir una planificación de la monitorización de éstas.

Asimismo, se indicará la necesidad de tomar medidas de prevención (figura 1) cuando proceda, con el fin de garantizar la estabilidad del edificio hasta el momento en que se realice la intervención.



*Figura 1. Apuntalamiento de vigas y forjado (Lorca, 2011).*

### 4.3 Inspección técnica

La inspección técnica incluye la medición y monitorización de la progresión de los daños, así como el conjunto de pruebas y ensayos establecidos y planificados tras la inspección visual. Los resultados de estos ensayos permitirán profundizar en el conocimiento del proceso patológico de la estructura.

Para el seguimiento y control de la evolución de las fisuras observadas es importante la colocación de testigos numerados y fechados (fecha de colocación y fecha de rotura) para poder referirse a ellos en los informes posteriores, indicándose al colocar los testigos la posible edad de las fisuras y su aspecto. Los testigos podrán ser de yeso o de vidrio. Los testigos dan una información de tipo cualitativo, por lo que deben efectuarse mediciones para conocer la magnitud de los movimientos. Para ello pueden emplearse regletas, o fisurómetros (deformómetros, fisurómetros de regleta, cuentahilos, ...).

Se realizarán ensayos in-situ y en laboratorio. Los ensayos in-situ se pueden agrupar en no destructivos, semi-destructivos o destructivos, según los efectos sobre la integridad de la estructura.

#### **ENSAYOS IN SITU NO DESTRUCTIVOS**

Los ensayos no destructivos no representan un debilitamiento de los elementos estructurales. Pueden considerarse no destructivos los ultrasonidos, el ensayo de determinación del índice de rebote con el esclerómetro, la determinación de la posición de las armaduras con el pachómetro, la potencial de corrosión de

la armadura con el corrosímetro, el examen con microscopio electrónico de barrido y las pruebas de carga.

#### A) Ultrasonidos

Estos ensayos miden la velocidad que tardan las ondas o impulsos ultrasónicos en recorrer la distancia entre el emisor y el receptor, obteniendo, de forma aproximada el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón, mediante una correlación con ensayos destructivos. La figura 2 muestra un ensayo con ultrasonidos en una probeta de hormigón en laboratorio.

Permite, asimismo, comprobar la homogeneidad del hormigón, determinar la profundidad de fisuras y/o grietas y la presencia de coqueas en su interior, así como medir los espesores afectados por el fuego, si fuera el caso. Respecto de otro tipo de ensayos, tiene la ventaja de no verse influido por la carbonatación ni por otros factores superficiales del elemento estructural.



*Figura 2. Prueba de ultrasonidos en una probeta de hormigón*

#### B) Esclerómetro

Con el esclerómetro (figura 3) se obtiene, de forma aproximada, la resistencia a compresión del hormigón. Se mide el índice de rebote de una masa de acero que se libera por un percutor al ejercer presión sobre la superficie de hormigón. Se suele correlacionar con los resultados de ensayos de ultrasonidos y de ensayos de probetas testigo.

Se trata de un ensayo de ejecución fácil y rápida, pero tiene como inconveniente que es muy sensible a múltiples factores como, por ejemplo, la rugosidad de la superficie, la humedad, la posible carbonatación del elemento estructural, la dosificación, el tipo de árido o la proximidad de las armaduras.



*Figura 3. Esclerómetro*

Este ensayo, así como el de ultrasonidos no sustituyen a los ensayos de rotura a compresión como método para conocer la resistencia del hormigón, sino que proporcionan información complementaria ya que pueden realizarse en un mayor número de elementos.

#### C) Pachómetro

El pachómetro mide, en diferentes puntos de la superficie del hormigón, la alteración del campo magnético generado por una sonda electromagnética, determinando la posición de las armaduras y, con menor precisión, sus diámetros y el espesor de los recubrimientos.

Cuando la densidad del armado es alta o el espesor del recubrimiento es muy grande, pueden producirse errores, por lo que será necesario contrastar los

resultados obtenidos con la medida directa practicando catas en algunos puntos si se requiere mayor precisión.

D) Corrosímetro

Mide la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de referencia colocado sobre la superficie del hormigón y el acero de la armadura, por lo que permite estimar la velocidad y el potencial de corrosión. Indica la posibilidad de que haya comenzado el proceso de corrosión en el momento de hacer la lectura, aunque no permite cuantificar el grado de corrosión que presentan las barras. La posición de las armaduras se determina previamente con el pachómetro.

E) Microscopio electrónico de barrido

Mide el ancho de las microfisuras o fisuras que no se pueden medir a simple vista, así como la composición mineralógica y su cristalografía.

F) Prueba de carga

El objetivo de las pruebas de carga es verificar el comportamiento y resistencia de forjados o vigas (u otros elementos que trabajen a flexión), sometiéndolos, de forma artificial, a un estado de cargas progresivo, durante el cual se van midiendo las deformaciones (flechas y giros) que experimenta en diversos puntos. Alcanzado el valor final de la carga se procede a la descarga, también de forma progresiva, midiendo asimismo las deformaciones, con el fin de comprobar si se recupera la situación inicial.

Se trata de un ensayo que debe ser ejecutado y supervisado por personal especializado.



Figura 4. Prueba de carga en el Convento del Carmen (Valencia)

### **ENSAYOS IN SITU SEMI DESTRUCTIVOS**

Se pueden considerar ensayos de este tipo los siguientes:

A) Arrancamiento o "pull-out"

Este ensayo permite determinar, de forma indirecta, la resistencia a compresión del hormigón en estructuras nuevas o existentes. Consiste en arrancar una pieza metálica que se ha introducido en el hormigón (habitualmente antes del vertido). Se mide la fuerza de tracción necesaria y se deduce la resistencia mediante ábacos.

B) Profundidad de la carbonatación

La determinación de la posible carbonatación del hormigón y la profundidad de la misma se realiza impregnando el hormigón con un indicador de pH a través de un pequeño corte perpendicular a la superficie del hormigón. El producto más utilizado es una solución alcohólica de fenolftaleína al 1 %.

Cuando el hormigón no cambia de color quiere decir que está carbonatado. La zona no carbonatada adquiere un color rosáceo (figura 5).



Figura 5. Test de fenolftaleína

### **ENSAYOS IN SITU DESTRUCTIVOS**

Dentro de este apartado se encuentran la extracción de probetas de hormigón y la extracción de muestras de armaduras, para su posterior ensayo en laboratorio.

#### A) Extracción de probetas testigo

Consiste en extraer testigos de los elementos estructurales para ensayar en laboratorio y determinar la resistencia a compresión del hormigón, humedad, etc. Deberán extraerse de puntos representativos en los que se debilite lo menos posible la sección resistente, rellenando el taladro posteriormente.

#### B) Extracción de muestras de armaduras

La extracción de una muestra de las armaduras es necesaria sobre todo cuando haya que recalcular la estructura, con el fin de determinar el tipo de acero y sus características mecánicas. Las armaduras se localizan con un pachómetro, se corta un trozo de barra, restituyéndola con otra barra de igual diámetro soldada por solapo. Finalmente se reconstruye la parte de hormigón destruido.

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

En el laboratorio se realizarán ensayos químicos y ensayos de resistencia sobre probetas de hormigón o sobre muestras de las armaduras.

La figura 6 corresponde a un ensayo a compresión simple de una probeta cilíndrica de hormigón.



Figura 6. Ensayo de compresión simple

## **4.4 Diagnóstico**

Tras el proceso de obtención de información y la inspección técnica se procede al análisis minucioso de los datos de la estructura, con el fin de establecer las causas que han originado el proceso patológico, explicar los daños observados, determinar la capacidad mecánica residual de la estructura y evaluar su funcionalidad, durabilidad y seguridad actual.

Para confirmar y justificar el comportamiento de la estructura, suele ser necesario recalcularla a partir de un modelo de cálculo (figura 7) que tenga en cuenta la geometría y los parámetros mecánicos de los elementos estructurales obtenidos de los ensayos.

A partir de este análisis estructural, se hará una propuesta de intervención (consolidación, reparación, refuerzo o sustitución) en la estructura del edificio. Se indicarán las medidas preventivas necesarias y se definirá el control y seguimiento durante la ejecución y la puesta en carga posterior.

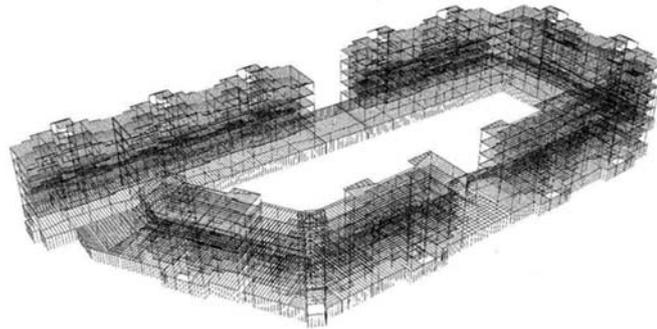


Figura 7. Modelo de cálculo de la estructura

## 4.5 Informe final

El resumen de todas las fases del proceso, de los resultados obtenidos y de las propuestas de intervención se incluye en el informe final. El informe contendrá los siguientes apartados: a) descripción de los antecedentes, trabajos realizados, lesiones y causas; b) evaluación de la funcionalidad y seguridad de la estructura del edificio; c) definición del tipo de intervención (*reparación, refuerzo o sustitución*) y d) Conclusiones y recomendaciones

## 5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos descrito las fases de diagnóstico de la patología de estructuras de hormigón, desde la recopilación de la información previa hasta el informe final.

Para comprobar que has aprendido a distinguir los distintos ensayos, ¿qué utilizarías para determinar la posición de las armaduras en un pilar?<sup>1</sup>

## 6 Bibliografía

### 6.1 Libros:

[1] Monjo Carrió J., Maldonado Ramos L. Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas, , ed. Munilla-Lería, 2001.

---

<sup>1</sup> Para determinar la posición de las armaduras en un pilar se utiliza el pachómetro. Sus características y para qué se utiliza están descritas en la página 4 de este documento.

[2] Tratado de rehabilitación, tomo 3, -patología y técnicas de intervención. elementos estructurales (varios autores). IV. Patología y recuperación de estructuras de hormigón y metálicas. © Editorial Munilla-Lería. Madrid, 1998

[3] Santa Cruz Astorqui J. Manual de patología de la edificación tomo 2- patología de las estructuras: hormigón y madera. Cap. 1 Patología de las estructuras de hormigón,. Dep. Tecnología de la Edificación (E.U.A.T.M), UPM, 2004

[4] Broto C. Enciclopedia broto de patologías de la construcción., ed. Broto y Comerma

[5] UNE 41805-6 IN diagnóstico de edificios 7: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de hormigón. AENOR, 2009

[6] Muñoz Hidalgo, M. Manual de patología de la edificación (detección, diagnosis y soluciones), 2012

[7] 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.

[8] Halicka, A., Grabias, M. Failures of concrete and masonry structures. Identification of damage and causes. Monografie – Politechnika Lubelska. Lublin 2016

## 6.2 Figuras:

Figura 1.- Apuntalamiento de vigas y forjado (Lorca, 2011). Autora: Luisa Basset

Figura 2.- Prueba de ultrasonidos en una probeta de hormigón. Autora: Luisa Basset

Figura 3.- Esclerómetro. Autora: Luisa Basset

Figura 4.- Prueba de carga en el Convento del Carmen (Valencia). Autores: Liliانا Palaia y José Monfort

Figura 5.- Test de fenolftaleína. Autora: Luisa Basset

Figura 6.- Ensayo de compresión simple. Autora: Luisa Basset

Figura 7. Modelo de cálculo de la estructura. Autores: Eugenio Abdilla, Luisa Basset