



Patología de las estructuras de fábrica: diagnóstico y ensayos

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

Cuando sobre una obra de fábrica se identifican una serie de lesiones es necesario hacer un diagnóstico de las causas, del alcance del daño, del estado de la fábrica y del posible peligro de estabilidad. A partir del diagnóstico se proyectará, si fuese necesario, la intervención de reparación, refuerzo o sustitución más adecuada. En este artículo vamos a presentar los distintos ensayos que pueden realizarse sobre la estructura de fábrica para poder establecer ese diagnóstico.

2 Introducción

La fábrica es un material estructural compuesto formado por piezas, generalmente ladrillos, bloques de hormigón, sillerías o piedras de cantería irregulares, unidas mediante un mortero que actúa de elemento aglutinante y cuya resistencia es principalmente a compresión.

Las deficiencias en la construcción, las acciones sísmicas o del viento, el deterioro del material por efectos de tipo ambiental o el mal comportamiento de los cimientos son algunos factores que pueden poner en riesgo la estabilidad o la durabilidad de las estructuras de fábrica.

Para restituir la capacidad portante original, incrementar las propiedades resistentes o, en el caso de una rehabilitación, para el cumplir la normativa de seguridad vigente, las estructuras de fábrica pueden necesitar intervenciones de reparación, refuerzo o sustitución, que se proyectarán una vez efectuado un diagnóstico que defina, con precisión, los daños existentes, las causas que han originado el proceso de deterioro, su posible evolución y el estado actual de la fábrica.

3 Objetivos

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

- Enumerar e identificar los ensayos in situ y de laboratorio adecuados para diagnosticar el estado de las obras de fábrica.
- Determinar el o los ensayos adecuados en función del tipo de lesión y de la información que se quiere obtener de los mismos.

4 Proceso de diagnóstico. Ensayos

Antes de realizar cualquier tipo de intervención en una obra de fábrica debe realizarse un diagnóstico previo completo que comenzará con una inspección previa inicial a partir de una información preliminar en la que se ha recabado información sobre el edificio (proyecto, historial, documentación fotográfica, etc.).

Cuando ésta no sea suficiente, se realizará un estudio detallado del edificio que incluirá una inspección detallada, ensayos in situ, ensayos de laboratorio, inventario de lesiones con medidas y monitorización de su progresión (grietas, desplomes, etc.), inspección de la cimentación y estudio del terreno (si se

considera que los daños pueden deberse a asientos). En ocasiones puede ser necesario definir un modelo para efectuar un cálculo estructural. Finalmente se elaborará un informe que establecerá las causas y las posibles soluciones.

4.1 Ensayos in situ

Los ensayos in situ se realizan sobre estructuras reales en servicio y proporcionan información sobre parámetros mecánicos y sobre tensiones *in situ* de la estructura, y más modernamente sobre el efecto de las acciones ambientales sobre el proceso de deterioro.

Pueden ser no destructivos o destructivos, recurriendo a los primeros siempre que sea posible y, especialmente, en el caso de patrimonio. Algunos de estos métodos de ensayos son parcialmente destructivos (por requerir extraer parte del material de la estructura) pero se consideran no destructivos debido al escaso daño que causan a la estructura y a que se pueden reparar fácilmente.

Propagación de impulsos mecánicos o prueba sónica

Se trata de un ensayo no destructivo que proporciona información cualitativa sobre resistencia, heterogeneidades, huecos o grietas o cuantitativa si se efectúan comparaciones.

Se basa en la medición de la velocidad de propagación de impulsos mecánicos con frecuencias de sonido audible (20-20000 Hz) generadas en un muro por un martillo instrumentado (se mide la fuerza de impacto) y recibida por un sensor (acelerómetro piezoeléctrico) en otro punto, conectados a un amplificador de señal y un convertidor analógico-digital de visualización y registro de datos en un PC (ver figura 1).



Figura 1. Sensores y martillo en una prueba sónica [7]

Ensayos radar

Se trata de un ensayo no destructivo (alternativa a los ensayos sónicos) que permite detectar la presencia de otros materiales (anclajes metálicos, madera) en el interior de la fábrica, definir la morfología de la sección del muro (espesor, capas), detectar zonas con mohos, la presencia y nivel de humedad, los huecos y discontinuidades.

Se obtiene una medida del tiempo que tardan los impulsos del radar (ondas electromagnéticas) en atravesar la superficie reflejando el interior de los muros de fábrica.

Tomografía

La imagen tomográfica es una técnica computacional que utiliza un método iterativo para el procesado de una gran cantidad de datos.

Los datos de los ensayos ultrasónicos, sónicos o de radar se emplean como datos de entrada de un algoritmo de reconstrucción tomográfica proporcionando una representación, bidimensional o tridimensional, de la estructura interna y de las propiedades de una determinada sección de un elemento, al asignar a cada punto de la sección un color en función de la velocidad de transmisión de la onda que atravesase por ese punto. Permite, por tanto, el estudio detallado de una sección, mediante la combinación de mediciones en diferentes direcciones a través de la misma. (figura 2)

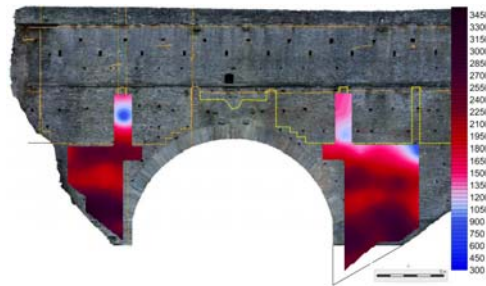


Figura 2. Tomografía [7].

Termografías

Es una técnica no destructiva que utiliza la banda de la radiación infrarroja para detectar la presencia de humedad e identificar las grietas.

Cada material emite espontáneamente energía en forma de radiación infrarroja, caracterizada por su temperatura, composición y emisividad. La cámara termográfica detecta y divide esta radiación emitida registrándola sobre una emulsión fotográfica sensible a infrarrojos proporcionando la imagen térmica del objeto, a través de escalas de colores o distintos tonos de grises, correspondientes a un intervalo de temperatura del orden de fracción de grado centígrado (figura 3).

La captación del flujo de energía infrarroja se realiza a distancia, sin ningún contacto físico con la superficie examinada



Figura 3: termografía [7]

Endoscopia

Permite la inspección visual directa del interior de los elementos de fábrica a través de los taladros perforados específicamente para ello o de huecos existentes. Se puede considerar un ensayo débilmente destructivo ya que causa pocos daños. Es muy efectivo y el coste es asequible.

El conjunto completo comprende una micro cámara y un procesador de vídeo conectados a un ordenador portátil con software especial instalado, una sonda

con un haz de fibras ópticas para la iluminación y un sensor que captura y transmite la señal al procesador, que las reconstruye en el video donde se pueden almacenar como película o fotografía



Figura 4: Prueba endoscópica [7]

Extracción de testigos continuos

Esta técnica semi-destructiva, permite conocer por observación directa la estratigrafía del muro, verificando la presencia y localización de discontinuidades. La extracción de los testigos se realiza, en los puntos especificados, mediante un núcleo continuo de perforación mecánica, con la precaución de no comprometer la seguridad de la estructura (figura 5).

Se puede combinar con el endoscopio. Los testigos se ensayan posteriormente en laboratorio determinando la composición físico-química (estudio mineralógico-petrográfico) del mortero y los agregados, evaluando su estado de conservación y su resistencia (ensayo de compresión uniaxial).



Figura 5: Extracción de testigos continuos [7]

Ensayo de gato plano (flat Jack)

Se trata de un ensayo específico para fábrica que proporciona una medida directa de la relación tenso-deformacional en una muestra in situ e inalterada así como resistencia de la fábrica y, por tanto de su módulo de elasticidad.

La gran ventaja de este ensayo reside precisamente en que el muro se ensaya en sus condiciones originales inalteradas y de que la superficie ensayada es lo suficientemente amplia como para proporcionar características representativas del comportamiento medio de la obra de fábrica.

Se basa en la ubicación de un gato hidráulico de pocos milímetros de espesor, dentro de un tendel del que se ha extraído previamente el mortero, realizándose el registro de presiones del gato y deformaciones simultáneas que experimenta la obra de fábrica en la dirección normal a los tendeles. Una vez realizado el ensayo éste se puede extraer fácilmente y rellenándose de nuevo la junta. Tiene dos modalidades: gato plano simple y gato plano doble.

El gato plano simple (figura 6a) se utiliza para medir las tensiones en un plano del muro perpendicular al esfuerzo.

El ensayo comienza colocando unas bases de medida sobre la estructura fijadas a un extensómetro mecánico, con el que medimos la distancia inicial. Los sensores de desplazamiento se colocan en posición simétrica con respecto a la hendidura.

Posteriormente, se practica con la radial una hendidura perpendicular al esfuerzo que se quiere determinar y se mide la disminución de la distancia entre las dos bases producida por el reajuste tensional al practicar el corte.

Una vez hecha esta medición, se introduce el gato plano en el corte realizado aplicando presión en el interior del gato (generalmente mediante bomba hidráulica) hasta recuperar la distancia inicial entre las dos bases, es decir, toda la deformación.

La presión del gato en el momento en que se recupera la distancia inicial es aproximadamente la tensión producida en el plano considerado por las cargas que actúan sobre el muro (tensión existente antes de realizar el corte).

La medida del estado tensional se obtiene directamente de la lectura de la presión del gato

El gato plano doble (figura 6b) se utiliza para obtener el diagrama tensión-deformación de una fábrica y estimar el módulo de elasticidad.

El procedimiento es similar al anterior. Tras colocar las bases de medida verticales, en este caso, en la zona comprendida entre los dos cortes idénticos, se realizan éstos en los tendeles separados ≈ 50 cm, colocando dos gatos planos horizontales. Estos gatos se someten a ciclos de carga y descarga, con escalones crecientes de carga, tomando lectura de las distancias medidas por unos extensómetros mecánicos entre las bases.

Se miden los movimientos sobre cuatro bases verticales y una horizontal, con dispositivos electrónicos especiales de lectura continua y se traza la curva tensión-deformación de la zona ensayada del muro a partir de los desplazamientos medidos, junto con la presión aplicada a los gatos planos en cada caso,

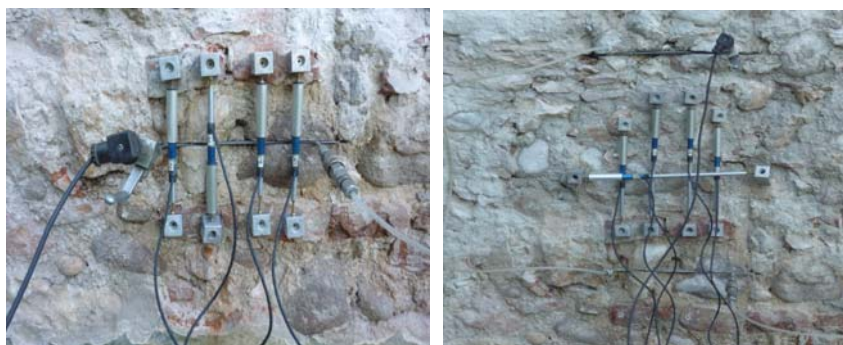


Figura 6: a) gato plano simple, b) gato plano doble [7]

Ensayo del dilatómetro o 'borehole'

Estos ensayos semi destructivos (se practican unos taladros en la obra de fábrica en los que se introduce el dilatómetro) se realizan con el fin de obtener información de la deformabilidad del interior del muro.

Su funcionamiento es semejante al del gato plano y aunque con aquel solamente se obtenía información de la capa superficial, con este ensayo los resultados que se obtienen son menos representativos, al involucrar un volumen

pequeño de muro, El ensayo, sin embargo, es útil para determinar la relación entre la deformabilidad del interior de la obra de fábrica y la de la parte exterior.

Otros ensayos in situ

Además de los ensayos citados anteriormente puede determinarse la resistencia a cizallamiento de un panel del muro mediante ensayos de carga diagonal in situ.

Para ello se aísla un panel, aproximadamente cuadrado, mediante dos cortes verticales con sierra circular o de alambre de diamante. En el ensayo de cizallamiento se aplica una fuerza de compresión en dirección diagonal mediante gatos hidráulicos, con dispositivos adecuados que reparten la carga desde las esquinas.

Se miden los desplazamientos de las dos diagonales mediante transductores adecuados y se representan los resultados en un diagrama carga-deformación, a partir del cual se pueden obtener los desplazamientos δ de los lados horizontales del panel, correspondientes a la componente horizontal V de cada fuerza F aplicada (figura 7).

También puede determinarse in situ la resistencia a cortante



Figura 7: Determinación de la resistencia a cizallamiento [7]

4.2 Ensayos de laboratorio

Las propiedades de la obra de fábrica pueden ser caracterizadas por medio de ensayos de laboratorio. Se trata de ensayos de tipo mecánico (determinación de la resistencia a compresión, cortante, cizallamiento, tracción, etc.) o de tipo mineralógico o químico.

Estos ensayos (figura 8) pueden realizarse sobre componentes elementales, como son las piezas de fábrica o los morteros; sobre pequeños ensamblajes formados por la combinación de dichos componentes, tales como probetas de dos o más piezas unidas por mortero (microelementos) o sobre ensamblajes de mayor complejidad, como son los paneles, más representativos de las condiciones mecánicas generales de las paredes (macroelementos).

La determinación del comportamiento de las juntas del mortero se realiza sobre probetas (formadas habitualmente por dos o tres piezas) que se someten a distintas configuraciones de carga obteniendo combinaciones de tensiones de compresión y corte sobre las juntas.

La determinación de la resistencia a compresión de la obra de fábrica se realiza sobre probetas que reproducen una pequeña parte del muro de fábrica (de dos piezas de largo y cuatro o cinco de alto) que son sometidas a una compresión uniaxial.

Una reproducción de obra de fábrica puede considerarse un macroelemento cuando sus dimensiones planas son un orden de magnitud mayor que la mayor dimensión de las piezas. Los paneles pueden ensayarse bajo estados homogéneos o bien heterogéneos de tensiones.

En los estados homogéneos las tensiones de compresión o tracción se aplican uniformemente a lo largo de los lados del panel de forma que la distribución de tensiones es homogénea y determinable estáticamente en todo el panel. Las tensiones se suelen aplicar mediante un gato y una viga metálica rígida que asegura el reparto uniforme. Estos estados son los únicos que permiten medir las características medias de la obra de fábrica bajo tensiones biaxiales, con el objeto de ajustar en los modelos numéricos el comportamiento observado.



Figura 8. Ensayos de laboratorio [8]

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto los ensayos in situ y de laboratorio que pueden realizarse sobre obras de fábrica con el fin de establecer un diagnóstico adecuado.

Para comprobar que has aprendido a distinguir los distintos tipos de ensayo te invito a que te fijes en la figura 9 en la que se representa el esquema de un ensayo sobre muro de fábrica. ¿Qué ensayo representa y para qué se utiliza?¹.

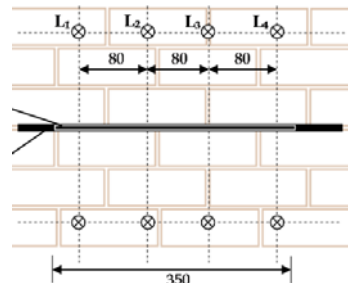


Figura 9. Esquema de un ensayo sobre muro de fábrica [9]

¹ Se trata de un ensayo de gato plano. Sus características y para qué se utiliza están descritas en la página 5 de este documento.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- [1] Basset-Salom L, Guardiola-Víllora A. Seismic performance of masonry residential buildings in Iorca's city centre, after the 11th may 2011 earthquake. Bulletin of Earthquake engineering ISSN 1570-761x, 2014, vol. 12, nº5, 2027-2048
- [2] Enciclopedia broto de patologías en la construcción. Carles Broto, Ed. Broto y Comerma
- [3] Monjo Carrió J., Maldonado Ramos, L. Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas. Ed. Munilla-Lería, 2001
- [4] Prats i Ardid, J. Guía per a la diagnosi de patologies estructurals Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya_ITEC 1993
- [5] Serrano Alcuía, F. Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. Fundación Escuela de la Edificación, 3ª edición, 2005
- [6] Tratado de rehabilitación. Tomo 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. II obras de fábrica. Máster de Restauración Arquitectónica UPM. Dep. Construcción y Tecnología Arquitectónicas. ETSAM, 2008. Ed. Munilla-Lería

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [7] Expin Srl. Advanced structural control. Spin-off dell'Università di Padova. Indagini strutturali. Diagnostica delle strutture e prove sui materiali
<http://www.expin.it/servizi/indagini-strutturali/>
- [8] 2nd Theme-Based Workshop, NCSHS, IIT Madras. Non-Destructive Testing Techniques for Historical Monuments and Heritage Structures. 15-17 December 2015. Investigations on Masonry and Timber. Arun Menon
http://www.ncshs.org/events/ndt/proceedings/NDTWorkshop_16Dec2014_AM.pdf

6.3 Figuras:

- Figura 1. Sensores y martillo en una prueba sónica [7]
Figura 2. Tomografía [7]
Figura 3: termografía [7]
Figura 4: Prueba endoscópica [7]
Figura 5: Extracción de testigos continuos [7]
Figura 6: a) gato plano simple, b) gato plano doble [7]
Figura 7: Determinación de la resistencia a cizallamiento [7]
Figura 8. Ensayos de laboratorio [8]