

Enfoque multidisciplinar para evaluar el estado estructural y de conservación de un edificio protegido

Multidisciplinary approach to evaluate the state of conservation of a protected building

■■■■
Francisco Fiol-Oliván, Javier Garabito-López y Carmelo Muñoz-Ruipérez
Universidad de Burgos. EPS. Departamento de Construcciones Arquitectónicas e I.C.T. (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8982>

Hoy en día las administraciones públicas de España están promoviendo políticas de regeneración urbana. Uno de sus principales objetivos consiste en recuperar los centros de las ciudades que estaban perdiendo población y vitalidad [1,2] por el desarrollo urbano periférico.

En estas zonas se suelen localizar las edificaciones monumentales con valores únicos, ya sean artísticos, históricos o constructivos. Para conservar estos valores los edificios son catalogados y protegidos por las regulaciones urbanísticas. Es necesario establecer un equilibrio entre protección y regeneración, de modo que los edificios conserven su valor patrimonial mientras cumplan con las normas de habitabilidad vigentes.

El marco reglamentario existente en España para comprobar las condiciones de seguridad y estabilidad de los edificios es la Inspección Técnica de Edificios (ITE) [3, 4]. Normalmente se trata de una inspección visual rápida y sencilla sin realizar estudios complementarios.

El objetivo de esta investigación es mostrar una metodología para establecer el estado de conservación real y la evaluación estructural de los edificios con un enfoque multidisciplinar, realizando estudios más complejos que aportan un mejor conocimiento del edificio. Disponer de diferentes perspectivas de enfocar un estudio permite encontrar argumentos más complejos ya que cada interacción posibilita ampliar la información.

El trabajo se desarrolla sobre un edificio situado en la calle San Juan, en el

Camino de Santiago, dentro del Conjunto Histórico de Burgos, España.

Se trata de una construcción edificada en el año 1878 que consta de planta baja, cuatro plantas y bajo cubierta. Está catalogado con protección estructural en el Plan General de Ordenación Urbana de Burgos.

En el año 2013 se realizó la ITE de este edificio detectándose problemas en la cimentación, estructura, fachadas e instalaciones, siendo el informe no favorable. En el año 2015 se redactó un informe complementario donde se proponen una serie de medidas urgentes a realizar.

1. METODOLOGÍA

1.1 PRE-DIAGNOSIS

Se realizó una evaluación del estado actual del inmueble mediante una inspección visual total del edificio, analizando y estudiando todos los elementos estructurales empleando la metodología siguiente:

- Recogida de información para comprender el proceso patológico sufrido, su intensidad e importancia.
- Inspección técnica: analizando y observando las manifestaciones externas e internas de las lesiones.

Las lesiones [5, 6] localizadas se clasificaron en: lesiones de tipo físico, mecánico [7] (las de mayor importancia porque suelen afectar a la seguridad y resistencia de los materiales y elementos) y lesiones de tipo biológico [8].

Toda la información se ordenó sistemáticamente, fotografiando y documentando las lesiones en la planimetría mediante códigos de flechas de ubicación. En base a los datos obtenidos en las inspecciones se realiza el análisis y estudio de los procesos patológicos detectados según la norma UNE 41805-8IN [9].

1.2 ESTUDIOS PREVIOS

1.2.1 Ensayos de verificación de humedad de la madera

Se han realizado mediciones del contenido de humedad de diferentes elementos estructurales de madera, de acuerdo con la norma UNE-56530 [10]. El higrómetro empleado es el modelo Higrómetro 6500 de la casa Testo.

1.2.2 Ensayos en los morteros de los muros resistentes

Se tomaron dos muestras de mortero y se realizó un ensayo de difracción de rayos X [11, 12] para evaluar su estado y composición, usando un difractómetro D8 DISCOVER DAVINCI (Bruker).

1.2.3 Estudio geotécnico

Se realizaron 3 ensayos de penetración dinámica (DPSH) y 2 calicatas. Estos ensayos se complementaron evaluando e interpretando otros estudios geotécnicos cercanos.

Se realizó un reconocimiento preliminar de la cimentación de los muros de carga con el objeto de determinar su tipología, profundidad, dimensiones y estado de conservación.

1.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL EDIFICIO SEGÚN NORMATIVA CTE-DB-SE

Con los datos obtenidos se realizó el análisis estructural del edificio, aplicando la normativa vigente en España, "Código Técnico de Edificación CTE" [13].

El CTE en su Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) nos determina la posibilidad de aplicar el ANEJO D "Evaluación estructural de edificios existentes" en el que nos permite, desde el punto de vista de la seguridad estructural, establecer la idoneidad o viabilidad del estado actual de la estructura.

El apartado D2.1 del DB-SE [13] "Criterios básicos para la evaluación" determina que la evaluación estructural se realice mediante una verificación cuantitativa. En el caso de edificios que hayan demostrado un comportamiento satisfactorio con el paso del tiempo también podrá efectuarse una evaluación cualitativa. El punto D4 del DB-SE "Análisis estructural" fija los modelos que deben emplearse para

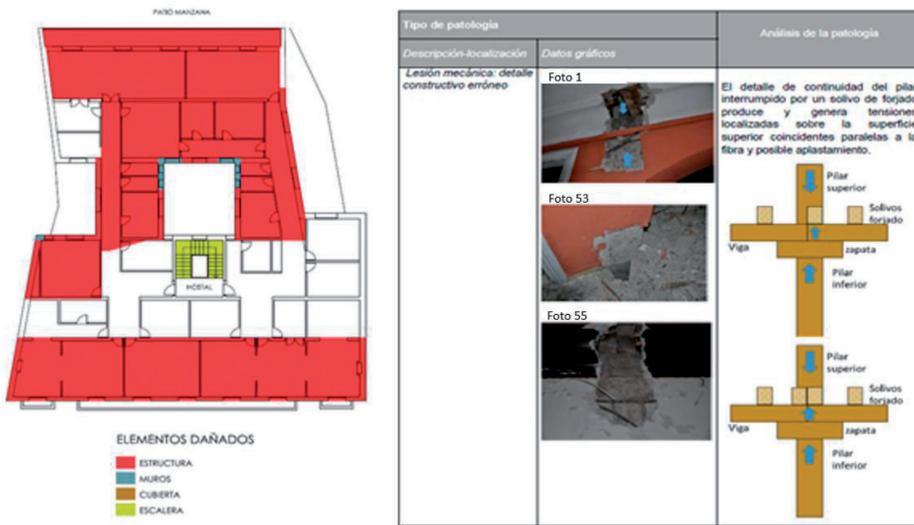


Figura 1: Mapeo de los elementos dañados de la segunda planta. Extracto de la Tabla que describe las lesiones encontradas

realizar el análisis estructural del edificio existente.

La evaluación cuantitativa y cualitativa realizada tiene los siguientes apartados:

- Inspección detallada llevada a cabo con cuantificación de daños. Se elaboran fichas donde se especifica la lesión y la gravedad de ésta.
- Actualización de la geometría y de los materiales mediante catas localizadas en todas las plantas.
- Actualización de las acciones.
- Análisis estructural mediante programa informático.
- Verificación de la capacidad portante y de la aptitud de servicio.

1.4 MEMORIA DE CARGAS

Para la cuantificación de las cargas actuales (estado actual) se determina la volumetría y se obtiene los pesos reales según el material. Igualmente se realiza una cuantificación del estado reformado aplicando el detalle constructivo de diseño con las futuras cargas, según CTE-DB-SE-Acciones en la Edificación.

La sobrecarga de nieve atendiendo al actual CTE-DB-SE-Acciones en la Edificación se estima en 0,6 kN/m² y una sobrecarga de mantenimiento de 1 kN puntual situada en el punto más desfavorable. La sobrecarga de viento a efectos de cubierta se obtiene del Anejo D del CTE-DB-SE-AE.

Para establecer la clase resistente de la madera se han utilizado los principios del Documento Básico BD-SE-M Madera y otras publicaciones sobre madera estructural [14, 15, 16] donde se establece que en edificios antiguos con el tipo de especie Pino Pinaster y con un gran número de defectos podemos considerarla ME2. Para esta calidad el CTE-DB-SE-M establece una clase resistente de C18 [13,17]. Uti-

lizando la Tabla E.1 obtenemos los valores resistentes de la madera existente.

En los forjados se consideró una estabilidad al fuego de 60 minutos, excepto el forjado de techo de planta baja con uso de local comercial y una estabilidad al fuego de 90 minutos.

Se ha calculado la estructura de cubierta para una estabilidad al fuego de 30 minutos, ya que se establece como cubierta ligera al tener una carga permanente menor de 1 kN/m².

El CTE-DB-SE-Fábrica excluye expresamente del mismo todos los muros de edificios históricos, dado que carecen de elementos de encadenado de hormigón. Para poder evaluar cuantitativamente los muros de fábrica resistente se ha verificado su estabilidad y resistencia en su estado actual.

1.5 PROGRAMA INFORMÁTICO UTILIZADO PARA LAS COMPROBACIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para las comprobaciones se utilizó el software de la empresa CYPE INGENIEROS. El programa Cypecad permite discretizar diferentes elementos de tipo barra en diferentes materiales, incluso elementos de madera, a través de su conexión al programa Cype 3d. El programa también permite incorporar muros resistentes de fábrica de ladrillo, efectuando la discretización por elementos finitos tipo lámina gruesa tridimensional, que considera la deformación por cortante. Están formados por seis nodos, en los vértices y en los puntos medios de los lados, con seis grados de libertad cada uno. Su forma es triangular y se genera un mallado del muro en función de las dimensiones, geometría y huecos, con refinamiento en las zonas críticas que reduce el tamaño de los elementos en las

proximidades de ángulos, bordes y singularidades. Tanto vigas como forjados y pilares se unen a las paredes del muro a lo largo de sus lados en cualquier posición y dirección. Todo nudo generado corresponde con algún nodo de los triángulos. La integración de los elementos estructurales permite obtener resultados acordes con la realidad.

2. RESULTADOS

2.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA

Se han mapeado las lesiones físicas y mecánicas de los elementos estructurales analizados en cada una de las plantas del edificio (muros, pilares, vigas y correas) y se han reflejado en fichas, donde se describen las lesiones, su ubicación y extensión (Figura 1).

Con las mediciones de humedad se puede afirmar que todos los pilares presentan un contenido de humedad susceptible de producir lesiones abióticas de pudrición y bióticas por hongos con contenidos superiores al 12%. Los valores son superiores al 20% en más del 50% de los pilares de la planta baja.

De la evaluación cualitativa realizada en función al CTE, apartado evaluación estructural de edificios antiguos, podemos determinar los siguientes daños:

- Humedades en los pilares de planta baja, con pérdidas importantes de sección.
- Humedades de filtración o accidentales en los patios que han provocado la pérdida de masa en los ladrillos, desagregación de los componentes de los morteros, desprendimiento y pérdida de los revestimientos de los paramentos y pudrición en los elementos de madera.
- Pudrición y deterioro generalizado de todos los elementos estructurales de la cubierta.
- Los forjados contiguos al patio central, los vanos adyacentes a la fachada principal y parte de los forjados traseros se encuentran muy deteriorados, no cumpliendo sus condiciones resistentes estructurales.
- Grietas, fisuras y deformaciones en los dinteles del patio central.
- Falta de continuidad generalizada entre los pilares superiores e inferiores.
- Asientos en las soleras del patio central y del portal.
- Ataques generalizados de insectos xilófagos en todos los elementos estructurales de madera.
- Durante el periodo de servicio del edificio se han producido cambios y refor-

mas que pudieron incrementar las acciones o haber afectado a su durabilidad.

A continuación, exponemos los resultados de la evaluación cualitativa en la Tabla 1.

sistencia baja del mortero de 5 MPa, debida a su degradación, obteniendo un valor de f_k entre 2 y 4 MPa.

La Figura 3 muestra el esquema de discretización en triángulos (imagen iz-

quierda), los resultados de los isovalores de tensiones de compresión con valores totales de f_k inferiores a 2 MPa (imagen centro) y las deformaciones en la parte superior del muro (imagen derecha), con

ELEMENTO		% LESIÓN MEDIA (1)	% LESIÓN GRAVE (2)
ELEMENTOS VERTICALES	Fachadas	25	30
	Muros patios	55	15
	Pilar madera baja	60	25
	Entramado madera	30	15
	Cubierta	15	70
ELEMENTOS HORIZONTALES	Viguetas (Solivos)	25	45
	Cubierta	20	60
ESCALERAS	Estructura	10	50
OTROS ELEMENTOS	Soleras patio-portal	-	100
	Cimentación (**)	-	-

(1) Elemento dañado respecto del total de elementos por planta como lesión media aquella que puede ser susceptible de reparación.

(2) Ídem anterior cuya intervención necesita de sustitución total del elemento.

(**) Comprobación de los elementos analizados (muros)

Tabla 1: Evaluación cualitativa: Estadística general de lesiones del edificio, extraídas de los planos de lesiones

2.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN CUANTITATIVA

2.2.1 Resultados obtenidos en los entramados de vigas y pilares

Se han realizado cálculos atendiendo a las hipótesis siguientes: la primera hipótesis con la geometría de pórticos y cargas actuales sin tener en cuenta las lesiones y en la segunda hipótesis se ha considerado el estado reformado, estimando las cargas de un futuro proyecto (local comercial en planta baja, viviendas y cubierta), caracterizando los elementos actuales considerando la reducción de resistencia por las lesiones detectadas. Para esta última hipótesis también se efectuó el cálculo de situación extraordinaria de incendio.

El estado tensional resulta no admisible en el 52% de los elementos de entramado, vigas y pilares con el análisis de la segunda hipótesis según los criterios del CTE-DB-SE-M. La comprobación tensional de los elementos de forjado es más favorable (Figura 2), resultando válidas las secciones del 70% de los elementos. Sin embargo, debido al deterioro de los forjados (podrición por hongos, humedad en apoyos de muros, etc.) se tiene que intervenir en un 45% (Tabla 1), por lo que el aprovechamiento se reduciría al 35% de los elementos.

2.3 RESULTADOS DE LOS MUROS RESISTENTES

En primer lugar, se ha determinado la resistencia característica a compresión, para lo cual se recurre a los valores de la Tabla 4.4 del CTE-DB-SE F para una fábrica de ladrillo macizo con una resistencia media estimada de 10 MPa y con una re-

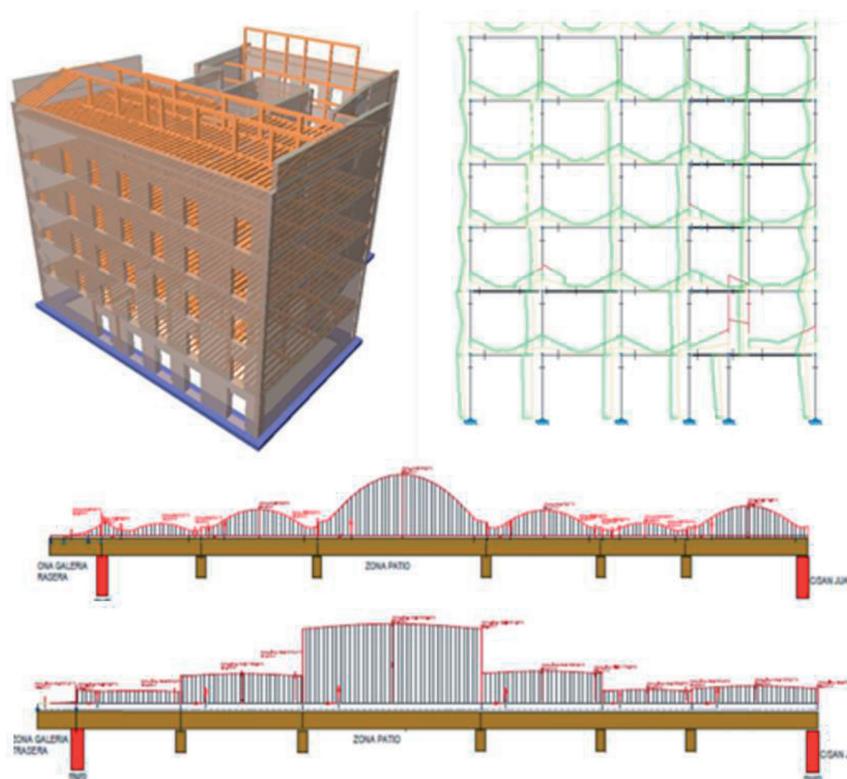


Figura 2: Discretización del edificio y comprobación de un pórtico (arriba). Estado tensional de los solivos de los forjados bajo hipótesis de cargas y comprobación frente a incendio con EF-60, considerados como isostáticos (abajo)

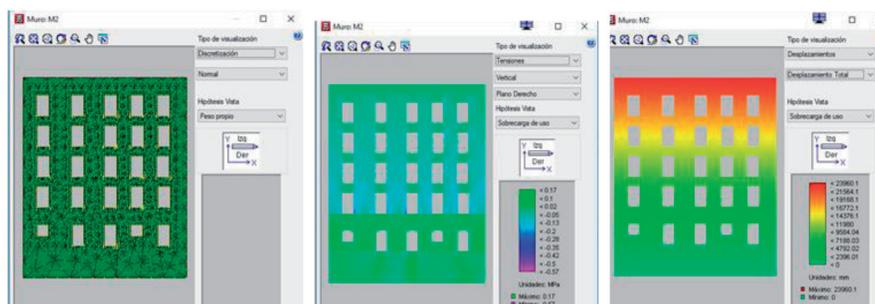


Figura 3: Imagen izquierda, discretización muro. Imagen centro, resultado tensiones verticales. Imagen derecha, resultados de deformaciones

valores inferiores al límite L/500. Esta deformación es debida al empuje de los elementos inclinados que forman parte de la estructura de la cubierta [18, 19].

La idoneidad de los muros evaluados está condicionada por el deterioro por erosión y la degradación de los morteros, por lo que se decidió analizar la composición de los morteros existentes mediante difracción de rayos X. Se tomaron muestras de los morteros de planta baja y de planta tercera. Los resultados de los ensayos se recogen en la Tabla 2.

El mortero de la planta baja está compuesto por arena silícica contaminada con feldspatos y cal. La concentración de calcita es baja, siendo éste un componente fundamental del cemento, debido a una fuerte disolución de los componentes cementicios, provocando una disminución de la resistencia del mortero y del muro.

El mortero de planta tercera está compuesto por arena silícica y yeso como conglomerante principal acompañado de dolomita. La disolución del mortero queda patente en las últimas plantas y la resistencia del muro es precaria.

La composición de los morteros empleados y la degradación de éstos determinan la dudosa capacidad de la actual fábrica resistente, precisando una rehabilitación estructural que garantice sus características resistentes.

2.4 RESULTADOS DE LA CIMENTACIÓN

La cimentación de los muros de carga está resuelta mediante una zanja corrida formada por mampuestos y piedra concertada sin mortero de unión. La cimentación del muro posterior tiene un sillar de arranque en la base y una pequeña zarpa (sobrancho) de unos 15 cm (en la cara

reconocida). Esta cimentación tiene una profundidad de 3,20 m, por lo que su apoyo se sitúa sobre gravas, previsiblemente sin apenas empotramiento dentro de dicho nivel.

Para estimar la capacidad de soporte de los materiales constitutivos de esta unidad se puede atender a la expresión general de la presión de hundimiento (Qh), determinada mediante la fórmula polinómica de Brinch-Hansen (1970) y que aparece recogida en el Documento Básico DB-SE-C del CTE, tomando los siguientes datos de partida:

- Ancho eficaz de cimentación: $B = 0,60$ m
- Longitud de la cimentación: $L = 17$ m
- Profundidad de cimentación: $D = 3,20$ m
- Densidad aparente del terreno: $\gamma = 2000\text{kg/m}^3$
- Cohesión del terreno de apoyo: $c = c_u = 0 \text{ kg/m}^2$
- Ángulo de rozamiento interno: $\phi = 31^\circ$

La presión de hundimiento resulta ser de 814 kN/m^2 .

La aplicación del actual CTE-DB-SE Cimentaciones [20] referente a edificios en rehabilitación supone el cumplimiento, en primer lugar, del estudio geotécnico correspondiente.

La información obtenida del estudio geotécnico realizado engloba las calicatas efectuadas para la comprobación del estrato de apoyo de la cimentación actual y los penetrómetros para establecer la capacidad portante del terreno. La comprobación con estos valores supone

$$E_d < R_d$$

- E_d Valor del efecto de las acciones
- R_d Valor de cálculo de la resistencia del terreno

Para ello determinaremos el efecto de las acciones y el valor de resistencia del terreno a partir de los resultados obtenidos por penetrómetros. Con ello la presión de hundimiento será:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

R_k es el valor característico de la presión de hundimiento (814 kN/m^2)

es el coeficiente parcial de resistencia cuyo valor mínimo es de 3, según el apartado 2.1. del CTE-DB-SE Cimentaciones.

Para la obtención del peso propio por metro lineal se descomponen las capas del muro, formado por un pie de ladrillo macizo ordinario, enfoscado de mortero de cal y guarnecido de yeso interior, teniendo en cuenta sus respectivas densidades unitarias, obteniendo el siguiente resultado:

$$R_{d1} = 178,9 \text{ kN/m}^2$$

La repercusión de los huecos es de un 20 %, por lo que

$$R_{d1} = 178,9 \times 0,8 = 143,1 \text{ kN/m}$$

La afección de los forjados resulta de multiplicar el ancho eficaz por la carga por metro cuadrado del forjado en estado reformado ($5,26 \text{ kN/m}^2$) y por el número de plantas, de esto resulta:

$$R_{d2} = 110,4 \text{ kN/m}^2$$

La carga total (carga muro y carga reacción forjados) transformada por metro cuadrado se divide por el ancho de la cimentación

$$R_d = \frac{110,4 + 143,1}{0,60} = 442,5 \text{ kN/m}$$

De donde,

$$\gamma_R = \frac{R_k}{R_d} = \frac{814,0}{442,5} = 1,84 < 3$$

Por lo que se incumple el valor mínimo de 3 del coeficiente parcial de resistencia.

2.5 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN CUANTITATIVA

En la Tabla 3 se especifican los resultados de la evaluación cuantitativa.

Los resultados de la evaluación de los estados límites últimos frente agotamiento muestran que más del 50% de los

Mortero de Planta Baja		
Componente	Fórmula	Concentración estimada
Cuarzo	SiO_2	Muy alta
Calcita	CaCO_3	Moderada
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	Mínima
Microclina	KAlSi_3O_8	Moderada
Mortero de Planta Tercera		
Componente	Fórmula	Concentración estimada
Cuarzo	SiO_2	Moderada
Dolomita	$\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$	Alta
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Alta
Concentración Estimada: Muy Alta (>60%), Alta (>30- ≤60%), Moderada (10- ≤30%), Baja (2- ≤10%), Mínima (>2%)		

Tabla 2: Resultados de los ensayos de difracción de Rayos X de los morteros

ELEMENTO		% NO CUMPLE CÁLCULO SIN LESIÓN (1)	% NO CUMPLE CÁLCULO SIN LESIÓN (2)	% NO CUMPLE COMPROBACIÓN INCENDIO (3)
ELEMENTOS VERTICALES	Fachadas	(*)	(*)	-
	Muros patios	(*)	(*)	-
	Pilar madera baja	18	30	95
	Entramado madera	60	70	100
	Cubierta	10	60	95
ELEMENTOS HORIZONTALES	Viguetas (Solivos)	70	40	95
	Cubierta	60		95
OTROS ELEMENTOS	Soleras patio-portal	80	90	-
	Cimentación (**)	100	-	-
	Muros			

(1) Valores de cálculo comprobados que no cumplen alguna verificación de su estado límite último. Estado original

(2) Valores de cálculo comprobados que no cumplen alguna verificación de su estado límite último. Estado actual con daños o lesiones

(3) Valores de cálculo comprobados bajo la hipótesis de incendio sin protección de la estructura.

(**) Comprobación de los elementos analizados (muros)

Tabla 3: Resultados de la evaluación cuantitativa

elementos horizontales y verticales del entramado de madera resultan no admisibles, siendo 70% el porcentaje de solivos del forjado no admisibles. Dicho porcentaje aumenta si se considera la disminución de sección de los elementos estructurales debido a las lesiones que éstos presentan.

3. CONCLUSIONES

La degradación por falta de mantenimiento de los edificios localizados en los cascos históricos es habitual. La aplicación de la normativa urbanística en una edificación protegida requiere que tengamos que emplear una metodología específica que nos permita evaluar el estado real de conservación del edificio para su rehabilitación.

El presente artículo pretende mostrar la metodología empleada en un caso real, evaluando un edificio con distintos materiales y sistemas constructivos, como muros resistentes, entramados de madera de vigas y pilares, etc.

Esta metodología es aplicable a cualquier tipología de edificio, tanto de carácter residencial como del sector terciario, especialmente en los edificios construidos con anterioridad al siglo XX o que hayan sido catalogados.

La metodología está basada en la realización de un prediagnóstico, unos estudios previos y por último el análisis estructural del edificio.

El marco reglamentario existente para la evaluación de los edificios con más de 50 años de antigüedad en España es la Inspección Técnica de Edificios, que normalmente se trata de una inspección visual rápida y sencilla sin realizar estudios complementarios. Con esta metodología hemos pretendido avanzar en el conocimiento del estado real de un edificio, con estudios más complejos (humedad de

la madera, ensayos de morteros, estudio geotécnico), realizados por un equipo pluridisciplinar, que permiten establecer el correcto diagnóstico del edificio.

El análisis estructural del edificio se realiza aplicando la normativa vigente, el Código Técnico de Edificación en su documento de Seguridad Estructural (CTE-DB-SE), donde se establecen dos caminos para validar una estructura: una evaluación cualitativa, que es difícil de verificar en edificios con un alto porcentaje de daños, y un segundo camino mediante una evaluación cuantitativa, recurriendo a una caracterización y estimación de cargas que permitan concretar la capacidad resistente de los elementos, apoyándonos en programas informáticos que nos determinan el valor tensional para, en su caso, recurrir a la sustitución o refuerzo.

La información obtenida en la evaluación cualitativa exhaustiva de una edificación, en la que se efectúan catas estratégicamente situadas y se estudian todos los componentes de la estructura, permite desarrollar posteriormente la evaluación cuantitativa con datos reales que determinan el nivel de seguridad de un edificio para así actuar consecuentemente.

En conclusión, mediante la evaluación de una edificación protegida realizada con un enfoque multidisciplinar y la realización de estudios complejos se determinan cuáles son los elementos dañados de manera cuantitativa y cualitativa, obteniendo una imagen real y técnicamente fiable del estado físico del edificio para proponer su rehabilitación.

REFERENCIAS

- [1] Pietrogrande, E., Dalla Caneva, A., Navas Salvado I. (2017) Disused areas and urban regeneration. The historic centre of Vicenza, Italy. *Journal of Architectural and Urbanism*, 41, 60-70. doi: dx.doi.org/10.3846/20297955.2017.1296796

- [2] Boeri, A., Gaspari, J., Gianfrate, V., Longo, D., Pussetti, C. (2016) The adaptive reuse of historic city centres. Bologna and Lisbon: Solutions for urban regeneration. *TECHNE*, 12, 230-237. doi: <https://doi.org/10.13128/Techne-19357>
- [3] Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Boletín Oficial del Estado del 27 de junio de 2013, Madrid, España.
- [4] Serrano, B.; Sanchis, A. (2015). La Inspección Técnica de Edificios como herramienta de la mejora energética de la edificación existente. *Informes de la Construcción*, 67 (No extra): 1 -9. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.05210.3989/ic.12.018>.
- [5] Fiol, F. (2014). *Manual de Patología y Rehabilitación*. Burgos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- [6] Boubeta, J.M. (Madrid 2001). *La Rehabilitación actual. Diagnóstico e intervención*.
- [7] Serrano, A. (2002). *Patología de la edificación. El lenguaje de las fisuras*. COOAT MADRID.
- [8] Rodríguez, J. (1998). *Patología de la Madera*. Escuela Técnico Superior de Montes. 460 Ediciones Mundiprensa.
- [9] UNE 41805-8 (2009) Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera.
- [10] UNE-56530 (1977) Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia
- [11] Riccardi, M.; Duminuco, P.; Tomasi, C.; Ferloni, P. (1998) Thermal, microscopic and X-ray diffraction studies on some ancient mortars. *Termochimica Acta*, Vol 321, 207-214. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00461-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00461-4)
- [12] Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Bibikou, K. (1995) Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. *Termochimica Acta*, Vol 269-270, 779-795. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(95\)02571-5](https://doi.org/10.1016/0040-6031(95)02571-5).
- [13] FOMENTO, M. D (2006) Código Técnico de la Edificación CTE. CTE DB-SE. Madrid.
- [14] Arriaga, F. et al (2002) Intervención en estructuras de madera. Madrid. AITIM, DL.
- [15] Arriaga, F., Esteban, M., Relea, E. (2005) Evaluation of load carrying capacity of large cross section coniferous timber in standing structures. *Materiales de Construcción*, Vol 55, 280, 43-52.
- [16] UNE-56544 (2011) Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.
- [17] UNE-EN 338 (2016) Madera estructural. Clases resistentes.
- [18] Heyman, J. (1995) Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Madrid. Editorial Centro de Estudios y Experimentación.
- [19] Miguel, J. (2009). Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros. Madrid.
- [20] Fiol, F. (2004). *Manual de cimentaciones de acuerdo al Código Técnico*. Burgos, Ediciones Burgalesas.