

EVALUACION PRELIMINAR DE LA ESTRUCTURA DE MADERA DE QUINCE (12+3) MONUMENTOS DECLARADOS B.I.C. EN CASTILLA-LEON

Alfonso Basterra, Gema Ramón, Isabel Barranco y Gamaliel López
Universidad de Valladolid, Departamento de Edificación, España

Luis Acuña, Enrique Relea, Milagros Casado
Universidad de Valladolid, Departamento de Ingeniería Agr. y Forestal, España

Miguel A. Rodríguez Nevado
KITHARIS S.L., España

RESUMEN

Este proyecto forma parte de una investigación más amplia que pretende poner a punto una metodología de inspección, representación y análisis, orientada al proyecto y que sirva de base para la toma de decisiones sobre el amplio patrimonio construido con estructuras de madera. Ha consistido en la inspección y estudio de quince (12+3) monumentos declarados BIC¹, integrando los resultados en una base de datos relacional. Esta facilita el acceso y navegación a través de diversos documentos digitales de formatos heterogéneos, cuya codificación ha sido normalizada, facilitando el análisis y la toma de decisiones derivada de él.

1. INTRODUCCIÓN

Podemos distinguir dos enfoques a la hora de aproximarse a la inspección y análisis de una estructura de madera histórica, la mayor parte de las veces parcialmente degradada por los diversos agentes agresivos para el material leñoso. Los ingenieros suelen realizar un enfoque material o directo, con prevalencia del método científico. Sus conocimientos especializados y la familiaridad con técnicas instrumentales desarrolladas para el diagnóstico de la madera viva y estructural resultan de gran valor, pero su aplicación extensiva resulta muy laboriosa y requiere pericia, instrumentos y técnicas no disponibles de forma generalizada entre los agentes intervinientes habituales.

¹ En España, la denominación de Bien de Interés Cultural –BIC– ha sustituido a la de monumento, englobando un concepto más amplio en el que se incluyen “*los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques que tengan valor artístico, histórico o antropológico*”. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (BOE 115, de 29 de junio).

Los arquitectos efectúan una aproximación más intuitiva y global, en la que aspectos no relacionados directamente con la estructura de madera intervienen de manera capital. Este enfoque indirecto ha de tener en cuenta, entre otras cosas, criterios teóricos pertenecientes a la teoría de la restauración y del proyecto arquitectónico, a la historia del monumento y su contexto, a las razones de todo tipo que motivan la intervención, etc. todo ello destilado a través de su propio criterio, sus intenciones arquitectónicas, su juicio sobre las posibilidades existentes y su propia valía y experiencia individual. La necesaria integración entre las diversas disciplinas, característica de la labor del arquitecto, exige tener en cuenta multitud de aspectos, lo que, en no pocas ocasiones, resta profundidad al estudio de aquellos que requieren análisis de cierta laboriosidad y detalle, como es el caso que nos ocupa.

Este distinto enfoque dificulta la intercomunicación y transmisión de los requisitos y los datos resultantes entre ambos mundos, disminuyendo su eficacia y rentabilidad.

Para ello se ha constituido en la Universidad de Valladolid un grupo de investigación multidisciplinar, en el que participan los Departamentos de Edificación, con sede en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, y el de Ingeniería Agrícola y Agroforestal, ubicado en la E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia. Está integrado por profesionales e investigadores con experiencia en los campos de la construcción y restauración arquitectónica y la tecnología de la madera respectivamente e incorpora, de forma rotatoria, alumnos de los últimos cursos de ambas titulaciones en condición de becarios de investigación.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto del que este trabajo forma parte pretende poner a punto una metodología de inspección, representación y análisis, que sirva de base para la toma de decisiones sobre las estructuras de madera existentes en el amplio patrimonio construido, sea de carácter monumental o no. Su desarrollo y posterior divulgación permitirá que puedan ser analizadas con criterios técnicos solventes sobre base científica, contribuyendo a su conservación.

El ámbito de aplicación abarcaría desde proyectos de intervención de rehabilitación o restauración de profundo alcance hasta las labores de mantenimiento y conservación meramente rutinarias. Una vez desarrollada, su utilización en un edificio en concreto garantizaría un procedimiento contrastado y de calidad, que sirva de base para el establecimiento de criterios y propuestas de intervención homogéneas y comparables, derivadas de su aplicación a una población de casos que se caracterizan precisamente por su diversidad en términos tipológicos, materiales, patológicos, etc.

Por lo tanto, sus destinatarios serán los técnicos encargados de intervenir en el patrimonio construido, así como los propietarios, usuarios y gestores de las administraciones públicas con competencias en la materia. Ante situaciones comparables, podrán adoptar decisiones técnicamente solventes en un proceso con garantía de calidad que facilite el acierto de las mismas y registre los procesos que llevaron a ellas para revisiones posteriores, en su caso.

Para este proyecto concreto se designaron dos tareas vertebrales:

- Preparación de la base de datos: diseño y programación de un sistema de información relacional, capaz de almacenar y acceder a información y documentación en diversos formatos digitales sobre monumentos declarados BIC y, concretamente, sobre el estado y diagnóstico de sus estructuras de madera; compatible con una hipotética extensión del trabajo a un número indeterminado de BICs.
- Ejemplificación y proyección de la misma: un número pequeño pero representativo de inspecciones, con dos niveles de intensidad, en edificios seleccionados. Los resultados se

insertarían en la base de datos anterior, desde cuyo menú principal son accesibles. Secundariamente los informes de inspección obtenidos deberían servir de asistencia técnica de cara a la futura toma de decisiones del Servicio de Restauración de la Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural de la Junta de Castilla y León, así como a la redacción de proyectos y ejecución de obras de intervención en los edificios analizados.

3. MONUMENTOS OBJETO DE ESTUDIO

Para la selección de los quince monumentos a investigar, y en función de los objetivos, se ha atendido a los siguientes criterios: interés declarado por los servicios técnicos de la Dirección General; características de la estructura objeto de estudio en términos tipológicos y materiales, atendiendo a la representatividad de las mismas en el conjunto; condiciones operativas; y, por último, dispersión geográfica. Todo ello en aras a la representatividad y mayor fiabilidad de la extrapolación que de los resultados de este trabajo se pretende efectuar. El resultado de esta selección ha quedado reflejado en el cuadro que se incluye a continuación:

Tabla 1 - Monumentos estudiados

	NºBien	Categ.	Denominación del bien	Municipio	Provincia
1	1928	MM	IGLESIA DE SANTA MARÍA MAGDALENA	VALLADOLID	VALLADOLID
2	198	MMJ	PALACIO DE LOS CONDES DE GRAJAL	GRAJAL DE CAMPOS	LEON
3	141	MM	CONVENTO DE SAN ANTONIO EL REAL	SEGOVIA	SEGOVIA
4	267	MM	MONASTERIO DE SAN SALVADOR	OÑA	BURGOS
5	287	MM	IGLESIA DE LA PURÍSIMA CONCEPCIÓN	SALAMANCA	SALAMANCA
6	64	MM	PALACIO DE MONTERREY	SALAMANCA	SALAMANCA
7	914	MM	IGLESIA PARROQUIAL	VILLAVETA - CASTROJERIZ	BURGOS
8	228	MMJ	MONASTERIO DE SAN ZOILO	CARRIÓN DE LOS CONDES	PALENCIA
9	1647	MM	IGLESIA PARROQUIAL	ALDEAMAYOR DE SAN MARTÍN	VALLADOLID
10	856	MM	IGLESIA DE SAN JUAN BAUTISTA	SANTOYO	PALENCIA
11	297	MM	IGLESIA PARROQUIAL DE FONTIVEROS	FONTIVEROS	AVILA
12			IGLESIA DE SAN PEDRO	ALAEJOS	VALLADOLID
13	78	MM	IGLESIA COLEGIATA DE STA Mª DEL MERCADO	BERLANGA DE DUERO	SORIA
14	300	MM	CONVENTO DEL SACTI SPIRITU	TORO	ZAMORA
15	2250	MMJ	COLEGIATA DE SANTAMARÍA	VILLAFRANCA DEL BIERZO	LEÓN

4. PLANTEAMIENTO Y METODOLOGÍA

4.1. Información previa

De partida se contaba con un banco de información previa constituido por dos tablas de datos heredadas: la del inventario de **Bienes de Interés Cultural (BIC)** de la Dirección General de Patrimonio de la Junta de Castilla y León y los datos básicos relativos a Castilla y León de las bases iniciales del proyecto de inventario de estructuras de madera del **Instituto de Patrimonio Histórico Español (IPHE)**². Además, de cada BIC se ha integrado

² Este amplio estudio, realizado en los años 80 y dirigido por el Dr. Enrique Nuere, estuvo orientado a la recopilación de información para un futuro inventario de estructuras de madera de interés en el Patrimonio. Con su autorización, en este trabajo se ha importado la información correspondiente a Castilla y León estructurada en una base de datos y soportes digitales obsoletos, preparando la metodología para la futura extensión al resto de los datos almacenados, en su caso. El archivo original

documentación bibliográfica convencional y documentos y datos obtenidos de arquitectos y agentes que habían intervenido anteriormente en el BIC (ver Figura 1).

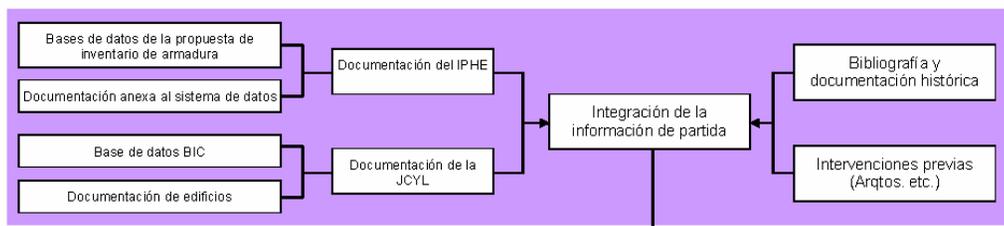


Figura 1 - Información previa integrada

4.2. Codificación de zonas y barras

La diversidad tipológica y superficies de tan distinto tamaño y forma en los edificios objeto de estudio ha requerido el desarrollo de una codificación de zonas que, para cada edificio, permita identificarlas en los documentos asociados. El sistema elegido está basado en una cuadrícula virtual, superpuesta a la planta que, a modo de hoja de cálculo, designa unívocamente cada área. Para posibilitar la entrada de un número universal de casos, a veces las celdas deben dividirse en órdenes jerárquicamente menores, de forma que la designación no tiene sólo dos caracteres, sino varios.

4.3. Codificación de archivos

El manejo de más de 1800 archivos, distribuidos en 82 carpetas, y la previsión de ampliación de la población de casos ha exigido una codificación en el nombre y formato de los mismos y su estructura de almacenamiento³, según se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 - Codificación de archivos

00010001		
0001 Número de edificio	0 Tipo de documento	001 Número de documento
	0 = Fotografías 1 = Fuentes raster (TIF) 2 = Planos vectoriales (DWG) 3 = Texto 4 = Varios (AVI,...)	010 Memoria histórica (DOC) 020 Memoria técnica (DOC) 030 Anexo de cálculo (XLS) 031 Datos barras (XLS)

pertenece y está depositado en el IPHE y el contenido importado se reproduce en 12+3 sin modificación alguna.

³ Para facilitar el intercambio de los ficheros se ha seleccionado el formato Acrobat® PDF de Adobe, por su aptitud para integrar datos heterogéneos, su fácil difusión y el carácter gratuito de su lector estándar. Permite abrir y manejar documentos generados con aplicaciones de diseño gráfico, dibujo asistido, retoque fotográfico, video digital, etc. sin necesidad de disponer de las aplicaciones capaces de manejar y generar la información en origen. Además incorpora posibilidades de navegación que, si bien no tan conocidas y familiares como las de tipo web, permiten funcionalidades parecidas.

Los archivos PDF y PLT tienen su propia extensión y carpeta (la general del documento y una específica, pero común a todos, respectivamente), por lo tanto mantienen el mismo nombre que el fichero matriz a partir del que se han generado.

4.4. Metodología

Se ha estructurado una metodología orientada desde la inspección al proyecto (ver Figura 2). En ese momento, en el que la toma de decisiones resulta crítica, debe disponerse de un análisis previo completo, en el que converjan los datos previos recopilados con los resultados de la inspección específica. Todo ello en un sistema relacional que permita navegar a través de todos ellos, en los distintos momentos del proyecto.

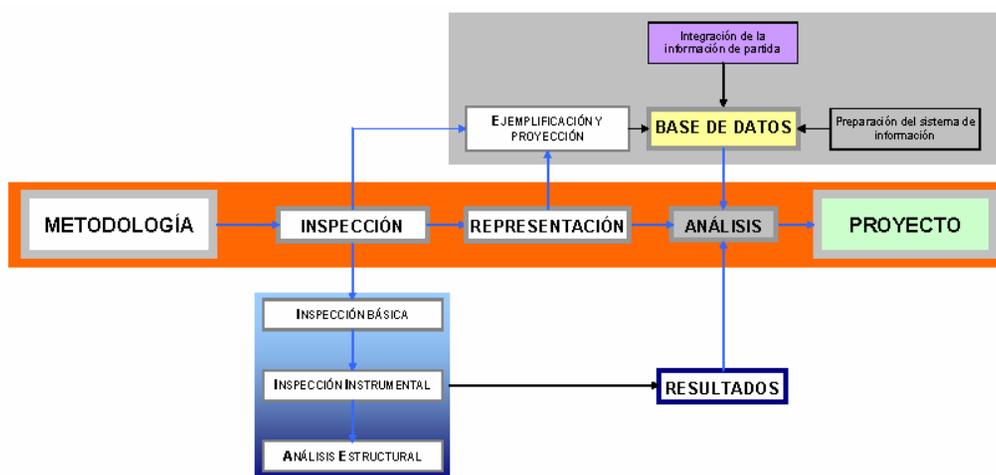


Figura 2 - Metodología general (resumen)

Para la inspección se han establecido tres niveles de análisis (ver Figura 3). El **Nivel Básico** se corresponde con la inspección ocular superficial, la ayuda de herramientas sencillas como el punzón o el martillo de goma, y el apoyo de sistemas gráficos de representación convencional: dibujo y fotografía. Puede obtenerse una razonable aproximación a la especie de que se trata e identificar y localizar familias de patologías por sus signos exteriores, incorporándolos después a un sistema de información integrada con los planos que permita establecer criterios y recomendaciones esenciales sobre la estructura. El **Nivel Instrumental** conlleva la utilización de técnicas específicas del diagnóstico en madera: xilohigrometría, lecturas de propagación de ultrasonidos y extracción de perfiles resistográficos. Además, se toman muestras para la identificación microscópica de la especie y se intensifica la adquisición de imágenes mediante video digital⁴ y fotografía exhaustiva. Se identifican patologías concretas, con representación gráfica de las zonas o barras afectadas. Por último, en tres de los edificios del estudio, el nivel de **Análisis Estructural** ha comportado el cálculo de una serie de elementos representativos de

⁴ El video digital ha demostrado su utilidad como complemento cuasi-tridimensional a la fotografía fija, aunque sus características específicas requieren sistemas de iluminación adecuados, no siempre disponibles.

la estructura aplicando los criterios de los códigos experimentales europeos –Eurocódigo 5–, directamente relacionados con el Código Técnico de la Edificación de próxima vigencia en España. Para ello se han desarrollado una serie de hojas de cálculo paramétricas que, con la variación de los datos de partida, efectúan una rápida peritación del elemento deseado.

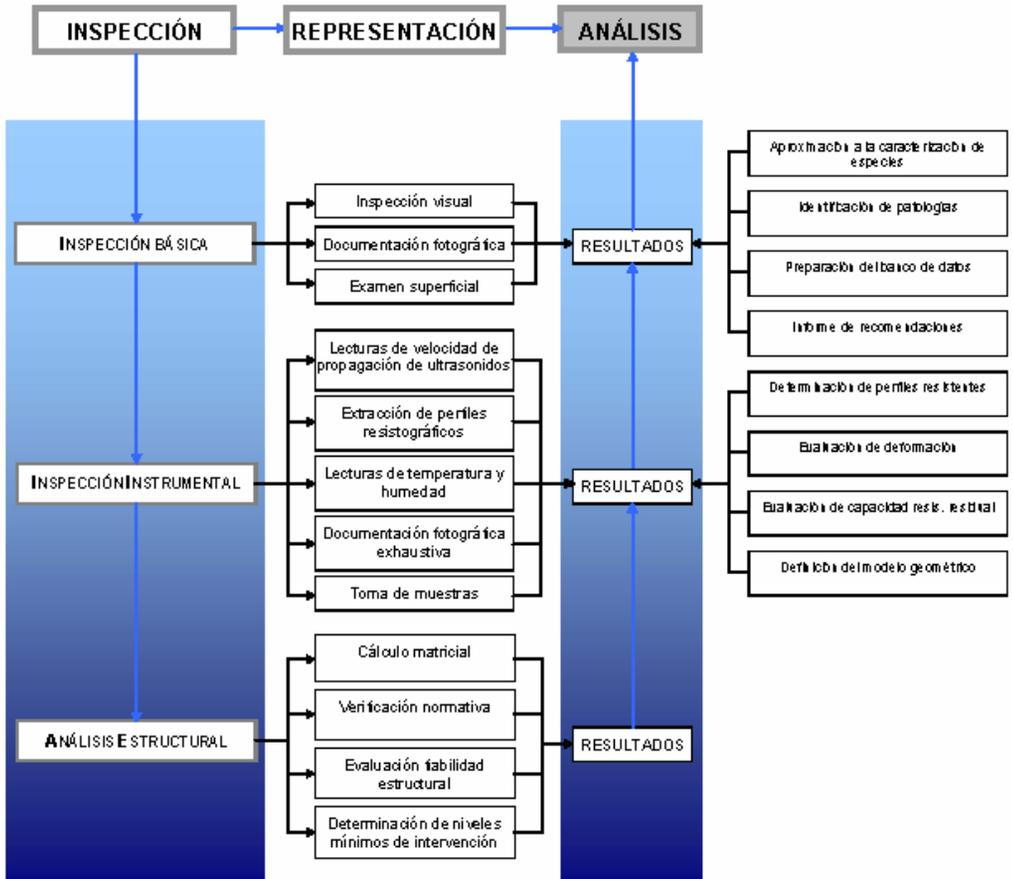


Figura 3 - Niveles de inspección

5. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

Se han redactado una serie de **inspecciones especializadas** sobre quince (12+3) monumentos declarados BIC susceptibles de servir de asistencia técnica de cara a la futura toma de decisiones del Servicio de Restauración de la Dirección General de Patrimonio y Promoción Cultural de la Junta de Castilla y León, así como a la redacción de proyectos y ejecución de obras de intervención en los edificios analizados. Tres de ellos se han ampliado con estudios basados en técnicas instrumentales específicas y anexos de cálculo sobre sistemas estructurales de madera representativos de las estructuras estudiadas.

Se ha desarrollado una **base de datos** relacional capaz de almacenar y acceder a información y documentación en formatos digitales diversos sobre los casi 2000 monumentos declarados BIC de Castilla y León y, concretamente, al estado y diagnóstico de sus estructuras de madera. Los datos cargados actualmente incluyen:

- Cuarenta y dos planos DIN-A1 de levantamiento y diagnóstico.
- Unas 1200 fotografías digitales, agrupadas por edificios.
- Más de 100 videos digitales de la estructura de madera de varios de los monumentos estudiados. Aunque han debido limitarse por su elevada ocupación en el soporte informático, su duración total sobrepasa las tres horas de filmación editada.
- El soporte DVD contiene, además, unos 230 documentos digitalizados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de fuentes externas al equipo de investigación (proyectos en archivo, documentos de arquitectos redactores, etc.)

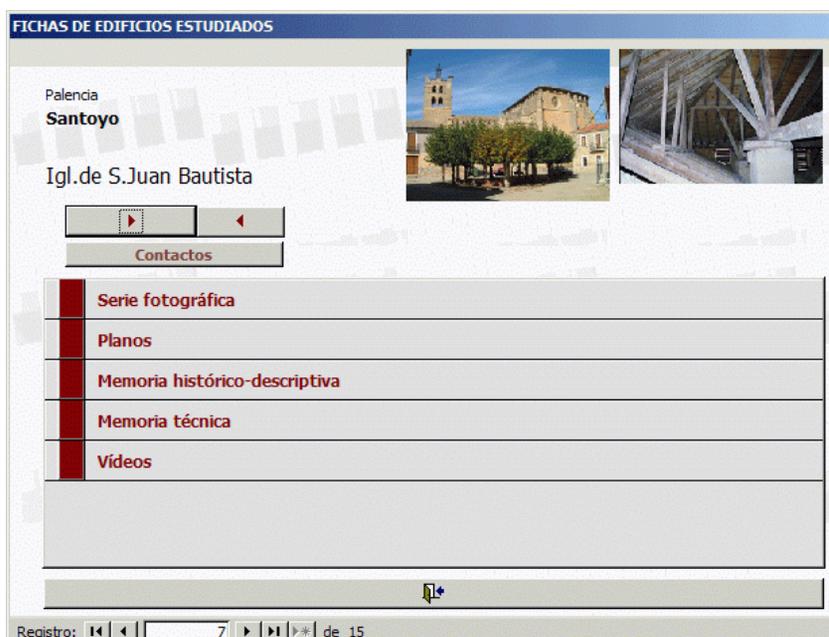


Figura 4 - Interfase de la base de datos

Las técnicas convencionales (reconocimiento visual, punzón, martillo de goma) han demostrado su competencia en un número relevante de los casos, pudiendo completarse con nuevas técnicas en desarrollo. Sistemas portátiles de iluminación halógena recargables han servido de apoyo insustituible en la mayoría de los casos. La velocidad de propagación de ultrasonidos precisa aún investigación y puesta a punto para poder obtener datos fiables en maderas de gran escuadría y parcialmente degradada. El resistógrafo, por el contrario, ha aportado utilidad para la inspección de zonas de madera no visibles pero cuyo estado reviste importancia, como los extremos empotrados en condiciones desfavorables, muy sensibles a la pérdida de capacidad resistente e, incluso, a una progresiva desintegración material. El xilohigrómetro se ha mostrado fundamental para la aproximación a las zonas lesionadas o potencialmente degradables. Por la propia orientación del trabajo no se ha realizado una

experimentación exhaustiva de estas técnicas, pero parece claro el potencial incremento de su utilidad en el futuro. En fases sucesivas del proyecto está programada la incorporación de otras disponibles a nivel internacional y una profundización en la interpretación de los resultados en línea con las experiencias ya iniciadas.

6. CONCLUSIONES

6.1. En relación con los aspectos metodológicos

Se ha constatado que las normativas nacionales de referencia⁵ no son de aplicación directa a la comprobación de la seguridad estructural de estructuras existentes, por lo que precisarán necesariamente metodologías específicas de verificación de las prestaciones exigidas. Este trabajo ha sentado las bases (ver Figura 2) para proseguir en una línea de investigación más ambiciosa y amplia que permita establecer criterios y procesos de aplicación general para la inspección y diagnóstico de estructuras de madera.

6.2. En relación con los contenidos particulares de este trabajo

En general los accesos a las estructuras –cuando existen– resultan impracticables, deficientes o inseguros. Sin embargo la funcionalidad de un sistema de este tipo facilitaría la inspección y mantenimiento rutinario, con posibilidad de corrección de defectos en fases iniciales y costos asequibles para las ventajas potenciales esperables. En no pocos casos es imposible acceder a las zonas objeto de estudio, en ocasiones como consecuencia de desafortunadas intervenciones recientes.

Se han encontrado multitud de refuerzos inapropiados, incorporados de forma desorientada para corregir o evitar fallos locales. Estos elementos han modificado el esquema resistente, generando esfuerzos adicionales sobre elementos no previstos para ello. En algunos casos se han reducido sus valores absolutos, y las generosas escuadrías han podido tomarlos sin mayores dificultades. Sin embargo otros han producido o producirán a corto plazo daños, deformaciones y roturas.

En la muestra de monumentos analizados se ha encontrado una presencia mayoritaria de madera de coníferas, fundamentalmente pino de la especie *Pinus sylvestris* y, en menor medida, *Pinus pinaster*. Sus características morfológicas y biológicas apuntan a elementos de rechazo a la vista de la normativa de clasificación visual española, pensada para unas escuadrías y tamaños anómalos en edificios históricos. Otras normas internacionales (DIN 4074 - 1989) pueden adaptarse mejor a la clasificación visual de las barras comunes en los sistemas estructurales de monumentos. Por lo tanto puede considerarse pendiente un método estándar para asignar unívocamente una clase resistente a piezas de madera de las características habituales en el patrimonio monumental. Ello dificulta extraordinariamente fases posteriores de comprobación estructural, a pesar de estar codificadas de forma mucho más completa. La futura extensión del trabajo iniciado permitirá avanzar en la aplicación de los métodos probabilistas adoptados en la normativa más reciente y en la de aparición inminente, en los términos en que se han publicado los proyectos correspondientes. Por otra parte, el incremento del banco de datos anatómico podría manifestar interesantes relaciones entre el patrimonio monumental y la historia forestal de la región.

⁵ Códigos experimentales europeos –Eurocódigo 5– y Código Técnico de la Edificación, de próxima vigencia en España.

Las degradaciones más frecuentes son de origen biótico, principalmente por combinación en diferentes proporciones de hongos de pudrición e insectos xilófagos de ciclo larvario, fundamentalmente de la familia de los anóbidos (carcoma) y, de forma puntual, de cerambícidos. No se ha detectado la presencia de insectos de tipo social (termitas). A este respecto la modestia cuantitativa del muestrario no permite sacar conclusiones taxativas, por lo que otra importante utilidad del desarrollo futuro del trabajo sería el posible establecimiento de un mapa de riesgos biológicos regionales para la madera presente en el patrimonio monumental, que orientaría más adecuadamente la utilización de biocidas químicos, la prescripción de detalles constructivos estándar específicos o el aprovechamiento de las propiedades de durabilidad natural de las especies.

Salvo casos excepcionales los ataques de insectos anóbidos son de intensidad media sobre la albura, no pasando de profundidades del orden de los 2 cm. Esto implica, por lo general y con notables excepciones, una pérdida de sección resistente poco importante para los tamaños de escuadría comunes en dichos edificios. No obstante, las cabezas de los elementos estructurales empotradas en los muros son puntos donde la consecuencia de estos daños puede suponer una pérdida parcial o completa de su capacidad de carga.

En el mejor de los casos, con ventilación permanente adecuada y salvo aportes de humedad por filtración en cubiertas o fábricas, es difícil encontrar humedades de equilibrio muy por debajo del orden del 20% en zonas cubiertas⁶. Dicha humedad propicia el ataque de determinados organismos xilófagos de origen biótico por lo que la medida generalizable de actuación convencional sería un tratamiento químico con carácter curativo y preventivo, mediante la aplicación por pincelado o pulverizado de un producto con propiedades fungicidas e insecticidas. No obstante, la limitada eficacia de estos tratamientos superficiales y sus costes medioambientales asociados irán progresivamente limitando su aplicación. Con carácter general debería, al menos, complementarse con inspecciones preventivas, sistemáticas y rutinarias, basadas en las informaciones que se vayan acumulando en la base de datos, que podría incluir sistemas de alerta y alarma programadas de forma automática o casi-automática.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Patrimonio y Bienes Culturales de la Junta Castilla y León.

El equipo de trabajo agradece a todos los propietarios y usuarios de los monumentos inspeccionados las facilidades otorgadas en el acceso, las visitas e inspección de sus sistemas estructurales; así como a los funcionarios de la Junta de Castilla y León, los estudiantes de la Universidad de Valladolid y las diversas personas que han participado y contribuido al buen fin de esta investigación.

8. REFERENCIAS

- Anthony, R.W.; Renforth, L.; Nelson, R. F., 1998 - "Nondestructive strength evaluation of *Pinus sylvestris* poles in the U.K.", *5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland*, Vol. I, p. 642-648.
- Argüelles, R.; Arriaga, F., 2000 - *Estructuras de madera. Diseño y cálculo*. Editorial AITIM, Madrid, 663 p.

⁶ El trabajo de campo se ha realizado en los meses de octubre y noviembre de 2002.

- Arriaga, F.; García, L.; Gebremedhin, K.G.; Peraza, F., 1992 – “Evaluación de la capacidad portante de forjados antiguos con vigas de madera”. AITIM nº 161, p. 51-62.
- Bertolini, C.; Brunetti, M.; Cavallero, P.; Macchioni, N., 1998 - “A non destructive diagnostic method on ancient timber structures: some practical application examples” *5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland*, Vol. I, p. 13-37.
- Bonamini, G., 1996 - “Restoring timber structures: inspection and evaluation” *Timber engineering Step 2*. Centrum Hout, Holanda.
- Bonamini, G.; Ceccotti, A.; Montini, E., 1992 - “Indagini non distruttive per la verifica strutturale di legno antico” Dipartimento di Ingegneria Civile. Università di Firenze. *Legno materiale per l'ingegneria civile. Raccolta Monografica. Sezione strutture nº 16/90*, 118 p.
- Bonamini, G.; Togni, M.; Uzielli, L., 2000 - “The next step in the assessment of ancient timber beam: deriving characteristic values” *COAST Action C5. Workshop “Restrengthening of material and structures”*. Zurich, 31 ag.-1 sept.
- Ceccotti, A.; Togni, M., 1996 - “NDT on ancient timber beams: assessment of strength/stiffness properties combining visual and instrumental methods” *10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Lausanne*.
- Kuklík, P.; Dolejs, J., 1998 - “Nondestructive evaluation of structural timber” *5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland*, Vol. I, p. 692-699.
- Laffarga, J., 1992 – “Aplicación de la programación de ondas ultrasónicas para el estudio de las maderas”. Revista de Edificación RE nº 11, Universidad de Navarra, p. 21-28.
- Ridout, B., 2000. - *Timber decay in buildings*. English Heritage, The Historic Buildings and Monuments Commission for England, and Historic Scotland, London, 232 p.
- Rinn, F., 1994 - “Resistographic inspection of building timber” *Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast, Australia*, Vol. 2, p. 469-478.
- Rinn, F., 1996 - “Resistographic visualization of tree-ring density variations” *Radiocarbon*, p. 871-878.
- Rodríguez, C.; Rubio, P., 2000. *Evaluación del estado de la madera en obras de rehabilitación mediante técnicas de ultrasonidos*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Universidad de Sevilla. 165 p.
- Suter, G.T., 1982 - *Evaluation of in situ strength of aged timber beams*. Ed. Robert W. Meyer and Robert M. Kellog. Society of Wood Science and Technology. p. 472-479.