

SANTIAGO SÁNCHEZ BEITIA
Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (UPV/EHU)
Donostia-San Sebastián

LAS CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS

Los análisis previos y la cultura científica

Con la colaboración de

Fernando Acale Sánchez
David Ordóñez Castañón
Daniel Luengas Carreño
Maite Crespo de Antonio



Universidad Euskal Herriko
del País Vasco Unibertsitatea

Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Master de Rehabilitación, Restauración y Gestión Integral del Patrimonio Construido
y de las Construcciones Existentes

Septiembre 2020

CIP. Biblioteca Universitaria

Sánchez Beitia, Santiago

Las construcciones históricas: los análisis previos y la cultura científica / Santiago Sánchez Beitia ; con la colaboración de Fernando Acale Sánchez ... [et al.]. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2020. – IX, 248 p. : il., gráf. – (Patrimonio, Territorio y Paisaje ; 2)

En port.: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Master de Rehabilitación, Restauración y Gestión Integral del Patrimonio Construido y de las Construcciones Existentes (UPV/EHU)

D.L. 1545-2020. — ISBN: 978-84-1319-254-3.

1. Construcciones – Conservación y restauración. 2. Monumentos históricos – Conservación y restauración. I. Acale Sánchez, Fernando, colab.

69.059

72.02

Patrimonio, Territorio y Paisaje

Esta publicación corresponde al segundo número de la colección *Patrimonio, Territorio y Paisaje* que tiene por objeto la edición de publicaciones destinadas a la transmisión y transferencia de conocimientos en Patrimonio, Territorio y Paisaje, de acuerdo con el espíritu emanado por el Convenio Europeo del Paisaje (Florenca, 2000). La colección está respaldada por la UFI *Global Change and Heritage*, constituida por la UPV/EHU en noviembre de 2011 por tres grupos de investigación de excelencia: Química Analítica Ambiental (IBeA), Hidrogeología, Geotecnia y Medio Ambiente (HGI) y Patrimonio Construido (GPAC). Los correspondientes textos serán editados de acuerdo con lo estipulado en la legislación vigente en materia de publicaciones de la UPV/EHU. La evaluación de los originales se realizará mediante revisión por pares, siguiendo los protocolos de calidad «ehu press».

Su comité editorial está formado por 11 miembros:

Iñaki Antigüedad Auzmendi (UPV/EHU).

Pedro Arrojo Agudo (Universidad de Zaragoza).

Agustín Azkarate Garai-Olaun (UPV/EHU).

Ludovic Bellot-Gurlet (Université Pierre et Marie Curie, Paris VI).

Juan Manuel Campos Carrasco (Universidad de Huelva).

Floreal Daniel (Michel de Montaigne Université Bordeaux 3).

Francesco Doglioni (Università IUAV di Venezia).

Maria Luz Endere (UNICEN, Buenos Aires).

Juan Manuel Madariaga Mota (UPV/EHU).

Antonio Hernanz Gismero (Universidad Nacional de Educación a Distancia).

Leandro del Moral Ituarte (Universidad de Sevilla).

Esta publicación lleva la marca «**ehu press**», nuevo distintivo del Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea en libros sometidos a una evaluación por pares y en las revistas científicas de mayor prestigio (J.I. Armentia, El sello de calidad «ehu press», *Campus*, nº 80, 2012, p. 45).

This publication bears the «**ehu press**» label, the new hallmark from the Editorial Service of the University of the Basque Country for books that have been submitted to a peer review process and to the most prestigious scientific journals (J.I. Armentia, El sello de calidad «ehu press», *Campus*, nº 80, 2012, p. 45).

La propiedad intelectual de los textos e imágenes contenidos en esta publicación corresponde a cada uno de los autores que firman los capítulos, salvo excepción que indique lo contrario.

© Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

Foto de portada/Azalaren argazkia: Real Club Náutico de San Sebastián (1929), proyectado por los arquitectos José Manuel Aizpurua y Joaquín Labayen. Edificio de arquitectura racionalista declarado BIC (Bien de Interés Cultural). Imagen: cortesía de Fernando Acale Sánchez

ISBN: 978-84-1319-254-3

Depósito legal / Lege gordailua: BI-1545-2020

ÍNDICE

PARTE 1 Marco general

1. Consideraciones iniciales	3
2. Actuaciones consideradas como análisis previos	9
3. Breve descripción panorámica de anomalías convencionales	13
3.1. Descripción de anomalías de origen no estructural	15
3.2. Descripción de alteraciones de origen estructural	20
3.3. Otras situaciones convencionales	35
4. Alteraciones estilísticas, tipológicas y compositivas. Lectura de paramentos	39
4.1. El análisis constructivo del edificio	47
4.2. Análisis tipológico/estilístico del edificio	53
4.3. Necesidad del análisis documental	54
5. Acerca de la documentación histórica y gráfica	61
5.1. La importancia de los estudios históricos previos a la intervención en patrimonio	63
5.2. La memoria histórica	65
5.3. El edificio como primer documento a estudiar	65
5.4. El estudio documental: tipos de documentos y archivos	66
5.5. Algunas recomendaciones para investigar el patrimonio arquitectónico en archivos: documentos textuales y gráficos	71
5.6. Los estudios arqueológicos	77
5.7. Consideraciones generales sobre la necesidad de una buena documentación gráfica	78
6. Estructuras de fábrica. La geometría, la isostaticidad y la estabilidad	83
6.1. Características de las estructuras de fábrica	85
6.2. Mecánica racional del arco de fábrica	86
6.3. Estabilidad del arco ideal no fisurado	93
6.4. Estabilidad del arco fisurado	96
6.5. Notas acerca de la seguridad de arcos de fábrica	102
6.6. Estabilidad de cúpulas y bóvedas	103
6.7. Breves notas sobre el Método de los Elementos Finitos	106
7. Descripción del fenómeno de interacción <i>creep-fatiga</i>: <i>long time behavior</i>	109
7.1. Introducción	111
7.2. Breve descripción de la mecánica de rocas y del fenómeno de <i>creep</i>	112
7.3. Procesos de fisuración observados en situaciones reales	114
7.4. Generación de grietas en laboratorio y método de cuantificación	119
7.5. Discusión sobre el fenómeno de <i>creep</i>	128
7.6. Un posible caso de colapso por <i>creep</i>	129

PARTE 2

Técnicas y métodos de caracterización

8. Lectura de fisuras por asentamientos diferenciales. Monitorización	137
8.1. Generación de fisuras	139
8.2. Técnicas de auscultación de terreno	142
8.3. Monitorización	146
9. Caracterización de la estructura	149
9.1. Técnicas basadas en la propagación de ondas electromagnéticas: <i>Ground Penetrating Radar</i> -GPR	151
9.1.1. Conceptos básicos	151
9.1.2. Aplicaciones en construcciones históricas (daños y elementos ocultos, humedad y compacidad)	152
9.1.3. Otras técnicas y aplicaciones específicas (detección de humedad) basadas en la propagación de ondas electromagnéticas y corriente eléctrica	155
9.2. Métodos basados en la propagación de ondas mecánicas	156
9.2.1. Conceptos básicos	156
9.2.2. Aplicaciones en construcciones históricas de las técnicas basadas en la propagación de ultrasonidos y ondas sonoras (fisuras, espesores y compacidad)	163
9.2.3. Técnica <i>Impact Echo</i> . Aplicaciones en construcciones históricas (espesores y daños internos)	166
9.2.4. Aplicaciones en construcciones históricas del análisis de vibraciones (características físico-mecánicas)	167
9.3. La termografía infrarroja	168
9.3.1. Principios físicos	169
9.3.2. El equipo, factores a considerar y correcciones necesarias	170
9.3.3. Detección de elementos ocultos	171
9.3.4. Detección de singularidades y daños estructurales	173
9.3.5. Detección de humedades	173
9.3.6. Detección del deterioro de materiales	174
9.3.7. Detección de la conductividad térmica en paramentos y en otros elementos constructivos	174
9.4. Caracterización por inspección visual	175
10. Caracterización estructural: técnicas y métodos experimentales	179
10.1. Métodos experimentales para la deducción de estados tensionales <i>in situ</i> en estructuras de fábrica	181
10.1.1. Técnica <i>Hole Drilling</i>	181
10.1.2. Técnica <i>Flat Jacks</i>	190
10.2. Deducción de estados tensionales <i>in situ</i> en estructuras de acero mediante la técnica de difracción de rayos X	200
10.2.1. Acerca de la microestructura de los aceros	200
10.2.2. Acerca del fenómeno de difracción de rayos X	201
10.2.3. Aplicación de la técnica de difracción de rayos X para la deducción de estados tensionales	202

10.2.4. Consideraciones relevantes que afectan a la aplicabilidad de la técnica de difracción de rayos X	203
10.2.5. Aplicación al caso del Puente Bizkaia (Patrimonio de la Humanidad).....	208
10.3. Método experimental de análisis de cargas reales en servicio en estructuras de madera (Técnica <i>Hole Drilling</i>)	218
10.3.1. Deducción de las constantes de <i>compliance</i> en elementos cargados a compresión uniaxial	221
10.3.2. Deducción de las constantes de <i>compliance</i> en elementos cargados a flexión	224
10.4. Métodos experimentales para la detección de características mecánicas	229
10.4.1. Características mecánicas <i>in situ</i> de estructuras de fábrica o mampostería	229
10.4.2. Características mecánicas <i>in situ</i> de estructuras de madera	229

PARTE 3

La cultura científica

11. La cultura científica en el campo de las construcciones históricas	237
11.1. Conceptos básicos a considerar	239
11.2. La investigación y su organización: «qué es», «qué no es o no llega a serlo».....	244

PARTE 1

Marco general

Capítulo 1. Consideraciones iniciales

Capítulo 2. Actuaciones consideradas como análisis previos

Capítulo 3. Breve descripción panorámica de anomalías convencionales

Capítulo 4. Alteraciones estilísticas, tipológicas y compositivas. Lectura de paramentos

Capítulo 5. Acerca de la documentación histórica y gráfica

Capítulo 6. Estructuras de fábrica. La geometría, la isostaticidad y la estabilidad

Capítulo 7. Descripción del fenómeno de interacción *creep-fatiga: long time behavior*

Capítulo 1

Consideraciones iniciales

1. Consideraciones iniciales

Esta obra se dirige en un principio a los lectores que cursan estudios avanzados sobre el patrimonio construido, pudiendo servir además como texto de consulta para los profesionales en general y de modo particular para aquellos que, en los diferentes niveles de la Administración, poseen algún grado de responsabilidad sobre el mantenimiento de nuestro patrimonio construido. En sus diversos capítulos se describen la mayor parte, cuando menos lo más difundido, de los métodos y técnicas existentes actualmente en la comunidad científica internacional para la caracterización de cualquier elemento inmueble a preservar. Por una parte, se presentan patologías en casos singulares que pueden servir a modo de ejemplo, quizás divulgativos, y por otra parte se describe, en profundidad y dirigido al profesional y al investigador, los fundamentos de las técnicas y métodos que permiten caracterizar una parte apreciable de materiales, elementos o daños existentes en una construcción histórica. Se pretende por tanto exponer una visión panorámica de la problemática existente y elaborar, a modo de bases conceptuales, un material docente e investigador para el lector especializado.

Frecuentemente en el estudio del patrimonio inmueble se emplean un conjunto de términos para denominar a las diferentes actuaciones sobre cualquier construcción histórica. Intervención, conservación, rehabilitación, mantenimiento y restauración son conceptos que se emplean indistintamente. Incluso la primera frase de este párrafo ha sido escrita con cuidado. Se ha mencionado el término «actuaciones», para describir cualquier trabajo práctico o reflexivo que un profesional realiza sobre un elemento a preservar, perteneciente a la arquitectura o a la obra civil; es decir, perteneciente a lo que se ha denominado al principio como construcción histórica. Es preciso realizar una pequeña reflexión sobre lo que puede ser considerado como construcción

histórica. En una primera aproximación, nos viene al pensamiento que bajo esta denominación se incluye una catedral o un monasterio medieval o renacentista de elevado porte. Cuando continuamos analizando la cuestión nos vienen al pensamiento pequeñas iglesias rurales, recintos amurallados, etc. Existen dos cuestiones que pueden asociarse al concepto de construcción histórica: la antigüedad y la catalogación o grado de protección. Esto supone un reduccionismo que distorsiona la realidad. De modo general, una construcción histórica debe ser considerada como cualquier construcción preexistente en cada momento, catalogada (con grado de protección) o no, que sea susceptible de ser conservada. Probablemente habría que modificar el término «construcción histórica» por «**elemento a preservar**», concepto quizás menos culto, pero más acertado. Recientemente me inclino por utilizar habitualmente la idea de «**elemento que confiere personalidad al conjunto considerado**». En esta frase, el elemento puede ser un forjado o un barrio antiguo dentro de un palacio o ciudad (conjunto), respectivamente. Se puede mencionar una gran cantidad de ejemplos. Un casco antiguo de cualquier ciudad puede ser considerado como construcción histórica (elemento a preservar), independientemente de que se haya catalogado o no. Similar consideración debe de ser aplicada a cualquier mercado de abastos de una ciudad, edificado a mediados del siglo pasado. Del mismo modo, una obra arquitectónica reciente puede ser así considerada. Probablemente el problema radique en identificar cuáles son los elementos susceptibles de ser conservados. En este punto la opinión de los profesionales que desarrollan su labor en los diferentes niveles de la Administración es definitiva, aconsejando que se tengan en cuenta los contenidos de las Cartas de Venecia o Cracovia e incluso el sentido común. Es imprescindible hacer un comentario

sobre los elementos considerados como pertenecientes al Patrimonio Industrial mueble e inmueble. Probablemente el documento más completo en nuestro idioma sea el denominado Plan Nacional de Patrimonio Industrial, elaborado por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). Dicho documento se encuentra disponible en la web del Instituto. En él figuran un conjunto de definiciones de lectura recomendada y se referencian otros informes internacionales de amplia repercusión.

De acuerdo con el profesor de la ETS de Arquitectura de Donostia-San Sebastián, D. Iñaki Galarraga Aldanondo, deben ser asumidas las siguientes definiciones:

- **Intervención:** se entiende por intervención toda aquella actuación sobre un elemento arquitectónico que lo modifique en alguno de sus componentes esenciales, sea en un sentido positivo o negativo.
- **Conservación:** se entiende por conservación toda aquella actuación, más allá del normal mantenimiento sobre un elemento arquitectónico, cuya finalidad sea la de mantener las características de todos sus componentes, sean estos esenciales o secundarios.
- **Rehabilitación:** se entiende por rehabilitación toda aquella actuación sobre un elemento arquitectónico cuya finalidad sea la de posibilitar una utilización o uso diferente del mismo, sea este en cualidad o en cantidad, al que tenía previamente a la actuación.
- **Mantenimiento:** se entiende por mantenimiento toda aquella actuación, constante y continuada, sobre un elemento arquitectónico cuya finalidad sea la de conservar/mantener las características de todos sus componentes sean estos esenciales o secundarios.
- **Restauración:** se entiende por restauración toda aquella actuación, sobre un elemento arquitectónico cuya finalidad sea la de devolver las características originales del mismo, que por una u otra causa se han perdido o desnaturalizado.

Las diferencias entre esos conceptos son, por tanto, manifiestas. Todo proceso de actuación sobre un elemento a preservar debe ineludiblemente contemplar cuatro pasos o procesos:

- i) **Reflexión.** Dirigida a la comprensión del elemento. Es decir, comprender el estado, funcionamiento y engarce con el entorno del elemento objeto de estudio. Esta primera actividad constituye lo que se denomina los análisis previos.
- iii) **Acto proyectual.** Este paso constituye el proceso por el cual se toman las decisiones adecuadas para la actuación elaborando, en su caso, el proyecto correspondiente.
- iii) **Ejecución de lo proyectado.** Este paso constituye el proceso de ejecución de lo proyectado y puede tener un carácter de ejecución material (proceso de obra) apreciable o no.
- iv) **Conservación de lo ejecutado.** Las decisiones tomadas en el punto anterior deben tener un protocolo de conservación, máxime si se han introducido, por sustitución o refuerzo, nuevos materiales o elementos constructivos en cualquier lugar de la construcción histórica.

Esta obra se contextualiza en el primero de los pasos descritos. Se trata de describir las actividades requeridas para llegar a «comprender» una construcción considerada como histórica. Efectivamente, las técnicas y métodos descritos en esta obra pueden utilizarse tanto sobre elementos puramente arquitectónicos (palacios, iglesias...) como sobre los pertenecientes a obra civil (puentes, acueductos...) o en aquellos que poseen un carácter mixto. Es decir, elementos que pueden asociarse indistinta o conjuntamente a cualquiera de ambas disciplinas (conjuntos monumentales, recintos amurallados no exentos, acueductos...). Los cuatro pasos mencionados en el anterior párrafo se encuentran enteramente interrelacionados. Desde la coherencia, no es posible obviar ninguno de ellos. El acto proyectual debe estar fundamentado en la comprensión del monumento y lo ejecutado, según lo proyectado, debe tener un plan de conservación o cuando menos debe tener previsto un plan de seguimiento, quedando fehacientemente documentados los nuevos elementos introducidos. Cualquier alteración de esta cadena lleva al desastre.

Para finalizar este capítulo, los autores desean dejar constancia de varias particularidades de los contenidos generales. En ningún caso se ha pretendido elaborar un listado recopilato-

rio de métodos y técnicas de caracterización, a modo de manual (*handbook* en terminología anglosajona). Se ha buscado editar una obra que suponga un cierto progreso del conocimiento; los fundamentos físico-matemáticos de las técnicas del capítulo 9 se pueden consultar en las referencias indicadas mientras que esto puede ser más difícil para las descritas en el resto de capítulos. En estos últimos, se describen en profundidad los fundamentos físico-matemáticos de métodos y técnicas puesto que han sido desarrollados, particularizados o modificados por los autores a partir de conceptos descritos en las referencias indicadas. Mención especial merecen los contenidos

del capítulo 6 en el que se ha pretendido fusionar las teorías e hipótesis de grandes científicos (por ejemplo, J. Heyman) con los principios de la estática gráfica. El capítulo 11 trata sobre la cultura científica y está dirigido a los jóvenes investigadores que inician su camino en la labor científica. Las referencias se han ubicado al final de los capítulos o apartados de la misma unidad temática.

Los contenidos expuestos son producto de una trayectoria académica de más de 30 años de los autores y generalmente han sido trabajados a través de varios proyectos de investigación en el ámbito autonómico, nacional y de la Unión Europea.