

LA IGLESIA DE LA VERA CRUZ DE SEGOVIA. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU ESTUDIO

THE CHURCH OF VERA CRUZ IN SEGOVIA. A METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ITS STUDY

**Milagros Palma Crespo^a, Luis Javier Sánchez Aparicio^a, David Sanz Arauz^a, Federico del Blanco García^a,
Soledad García Morales^a, Serafín López-Cuervo Medina^b, Miguel Ángel Maté González^b, Cristina Mayo
Corrochano^c, David Mencías Carrizosa^d y Paula Villanueva Llauradó^d**

^aUPM, Departamento Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Madrid, m.palma@upm.es; lj.sanchez@upm.es;
david.sanz.arauz@upm.es; federicoluis.delblanco@upm.es; sgarciam2003@yahoo.es

^bUPM, Departamento Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Madrid, s.lopezcu@upm.es; miguelangel.mate@upm.es

^cUPM, Grupo investigación AIPA, Madrid, cristina@estudiomayo.com

^dUPM, Departamento Estructuras y Física de Edificación, Madrid, d.mencias@upm.es; paula.villanueva@upm.es

How to cite: Milagros Palma Crespo, Luis Javier Sánchez Aparicio, David Sanz Arauz, Federico del Blanco García, Soledad García Morales, Serafín López-Cuervo Medina, Miguel Ángel Maté González, Cristina Mayo Corrochano, David Mencías Carrizosa, Paula Villanueva Llauradó. 2022. La iglesia de la Vera Cruz de Segovia. Propuesta metodológica para su estudio. En libro de actas: II Simposio de Patrimonio Cultural ICOMOS España. Cartagena, 17 - 19 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.4995/icomos2022.2022.15360>

Resumen

La iglesia románica de la Vera Cruz de Segovia, construida según el modelo del Santo Sepulcro de Jerusalén, presenta en sus fábricas una serie de fases constructivas, con añadidos posteriores y diversas restauraciones y reparaciones de las que se tiene muy poca información. Con motivo de su próxima restauración, un equipo multidisciplinar va a llevar a cabo un exhaustivo estudio con el que se pretende hacer un levantamiento geométrico preciso, datar las fases constructivas del edificio, estudiar los sistemas constructivos y materiales, y realizar el estudio patológico, para establecer un diagnóstico fidedigno de su estado de conservación. El artículo recoge por un lado toda la documentación previa recabada; las técnicas y ensayos a emplear; los estudios previos previstos, entre los que se proponen el uso de plataformas aéreas no-tripuladas, termografía, escaneado terrestre estático, auscultación de humedades o análisis computacional de estructuras de mampostería; y los resultados que se esperan obtener para el mejor conocimiento del bien, antes de acometer el proyecto de restauración.

Palabras clave: Iglesia Vera Cruz, enfoque multidisciplinar, diagnóstico, estudios históricos, digitalización 3D, caracterización de materiales, auscultación humedades, deterioro de piedra, análisis computacional, análisis constructivo

Abstract

This paper presents a multidisciplinary approach for the diagnosis of the Romanesque church of Vera Cruz. This church is located in Segovia (Spain), and was built following the Holy Sepulchre model in Jerusalem. This building shows several construction phases, where different restoration and repairs can be seen, which were not properly documented. In accordance to this, and taking into consideration its forthcoming restoration, a multidisciplinary team will be focused on carrying out an in-depth study of this building. This study includes the latest digitalization techniques, computational simulations, monitoring techniques as well as other methods that will allow us to characterize its building systems, history and its conservation status. We present the initial documentation, as well as previous tests. Among the different approaches that will be used, we highlight the use of unmanned aerial vehicles equipped with digital cameras, terrestrial laser scanner strategies, moisture diagnosis, or computational methods for structure assessment. Finally, we explain the expected results to improve this asset's knowledge before its restoration.

Keywords: *Vera Cruz church; multidisciplinary approach, diagnosis, historical analysis, 3D digitization, material characterization, stone decay, moisture diagnosis, computational analysis, constructive analysis*

1. Introducción

Con planta poligonal de doce lados y tres ábsides semicirculares adosados, con una cripta central, siguiendo el modelo del Santo Sepulcro de Jerusalén, la iglesia de la Vera Cruz de Segovia se construye entre los siglos XII y XIII. Cuenta con dos elementos adosados posteriores, una torre de planta cuadrada y una sacristía, de los que no se conoce su datación exacta. De estilo románico, hay dudas sobre su primitiva pertenencia, siendo atribuido por la mayoría de autores a los Templarios (Cabello, 1951; Merino, 1998), y por otros a la Orden del Santo Sepulcro (Cabello, 1919). Abandonada después de la desamortización de Mendizábal, permanece en este estado hasta 1846 en la que la toma a su cargo la Comisión de Monumentos, comenzándose a hacer algunas obras de reparación e iniciando los trámites para su declaración como Monumento Nacional, que se lleva a cabo en 1919. Aparte de algunas reparaciones en las cubiertas, las intervenciones más notables se llevan a cabo en los años 1946 y 1949 por el Servicio de Defensa del Patrimonio Artístico Nacional, en la que se introdujo un zuncho de hormigón armado en el muro perimetral para atar la fábrica y consolidar las bóvedas del deambulatorio (Cabello, 1946; Cabello, 1949). No se tiene constancia de ninguna intervención posterior. Actualmente pertenece a la Fundación Hospitalaria de la Orden de Malta¹ en España.

El edificio se construye con cubierta de teja árabe, que apoyaba directamente sobre las bóvedas, y fábrica de mampostería tomada con mortero de cal, recubierta con revoco de cal al exterior imitando sillería, perdido en parte; siendo de piedra caliza el edículo central, las dos portadas y otros elementos como arcos, columnas o contrafuertes.

El estudio de sus fábricas muestra varias fases constructivas, contando con añadidos posteriores como la torre o la sacristía tal y como puede verse en la vista aérea de la iglesia (Fig. 1 a y b), así como la sustitución de elementos decorativos en fachadas. El estado del monumento no es malo, en general, pero se observan algunas lesiones importantes como una grieta en una de sus fábricas y en las bóvedas (Fig. 1 c). Cuenta con presencia de sales y humedades importantes en la zona baja de las fábricas (Fig. 1 d), además de procedentes de cubierta. Asimismo, se pueden observar diferentes reparaciones con morteros inadecuados, y el deterioro de los revestimientos exteriores.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente artículo queda estructurado de la siguiente forma: primero se introduce el caso de estudio a tratar para acto seguido, y en la sección 2, describir la propuesta metodológica a efectuar quedando esta articulada en cinco grandes bloques de actuación: i) el análisis de la información previa; ii) la caracterización geométrica; iii) la caracterización del material; iv) el estudio estructural; y v) el estudio de las humedades. En la sección 3 se describen los resultados esperables en cada una de estas fases, así como las técnicas de gestión de la información a emplear con el fin de aglutinar todo el conocimiento generado y obtener así un diagnóstico robusto del estado de conservación del edificio. Por último, se esgrimen unas conclusiones derivadas de la propuesta metodológica que aquí se expone.

a)



b)



¹ Soberana y Militar Orden Hospitalaria de San Juan de Jerusalén de Rodas y de Malta.

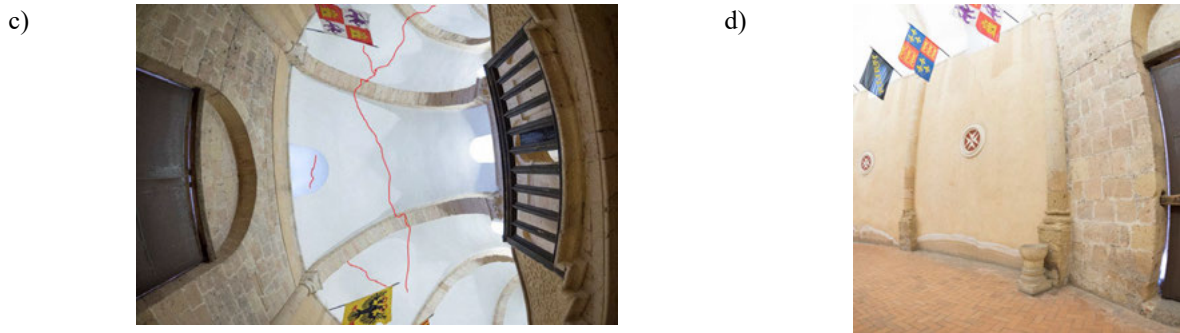


Fig. 1 Iglesia de la Vera Cruz: a), b) vistas generales de la Iglesia; c) imagen de un tramo de bóveda con grietas longitudinales; y d) imagen de un paramento interior con presencia de sales y humedades

2. Propuesta metodológica a través de un enfoque multidisciplinar

Para acometer el estudio del edificio se cuenta con un equipo multidisciplinar, formado entre otros por arquitectos, ingenieros de la edificación, arqueólogos, geólogos, historiadores y topógrafos, que pueda abordar todos los aspectos del mismo: geométricos, tipológicos, físicos, químicos, constructivos o estructurales, a través de herramientas gráficas y estudios que permitan el análisis e identificación de los materiales, fases constructivas, lesiones, comportamiento mecánico e higrotérmico y su exacta geometría. La aproximación multidisciplinar al edificio se considera fundamental para su total conocimiento y comprensión, fundamental para abordar el proyecto de restauración.

2.1. Información previa

Como paso previo a la investigación se ha realizado una exhaustiva búsqueda de documentación histórica referente al edificio: bibliográfica, en la que se han consultado documentos como el Catálogo Monumental de Segovia (1908-1923), el informe para la declaración de monumento realizado por la Real Academia de la Historia (1919), libros de viajes, o numerosos libros de historia de Segovia e historia del arte; y archivística, para localizar los proyectos de restauración y fotografías históricas, algunos de ellos en el Archivo General de la Administración y en el Archivo del Instituto del Patrimonio Cultural de España, con el principal objetivo de documentar la evolución del edificio y sus fases constructivas, así como las intervenciones sufridas a lo largo de su historia. Por otra parte, el estudio del material fotográfico existente, así como el gráfico, en el que se han consultado láminas, grabados antiguos y tarjetas postales, nos permitirá por medio de la comparación, establecer la evolución constructiva del edificio y datar algunos elementos desaparecidos o restaurados que no se encuentran documentados, así como evidenciar los procesos y evolución del deterioro del edificio.

La visita al edificio con toma de datos, tanto del estado patológico, como de materiales, sistemas constructivos, marcas o signos que permitan identificar fases constructivas (Fig. 2), realizada en equipo y de forma colaborativa ofrece la posibilidad de diseñar una campaña experimental adecuada a los principales problemas técnicos de la iglesia, así como, en el caso de los ensayos de caracterización, también cubrir las posibles lagunas en el registro historiográfico. Asimismo, la inspección del emplazamiento sirve también como una primera aproximación a las áreas extractivas históricas: las canteras de piedra del Parral, una dolomía terciaria, que aflora en las inmediaciones del templo y de la que con toda probabilidad están constituidas las fábricas (Vegas,1998; Cámara et al, 2008). Se trata de una dolomía, de grano fino, color crema y con algunas oquedades centimétricas visibles en superficie.



Fig. 2 Vista en detalle de la sillería en donde es posible apreciar diferentes marcas de cantero

Ahora bien, como la iglesia ha sido intervenida en varias ocasiones es posible que se hayan empleado piedras de estratos diferentes; incluso, es posible que paños ejecutados en la misma etapa histórica fueran construidos con piedras de distintos frentes de cantera. De hecho, históricamente se han explotado los estratos inferiores de estas canteras del barrio de San Marcos de Segovia y de Zamarramala, buscando la piedra con tamaño de grano más fino y color más claro, por ser considerada de mejor calidad para la talla.

2.2. Caracterización geométrica: digitalización

Para la digitalización del edificio se propone la hibridación de varias técnicas: i) escaneado láser terrestre estático e imagen panorámica para la digitalización del interior iglesia; ii) vuelo dron con cámara digital para la digitalización exterior de la misma; iii) termografía para el análisis de humedades y elementos constructivos ocultos; y iv) análisis digital de la imagen.

Las primeras dos técnicas, el escaneado láser terrestre y la imagen panorámica, permitirán digitalizar el edificio en forma de nubes de puntos 3D (geometría) e imágenes panorámicas (color). De esta forma será posible obtener una réplica digital de gran calidad tanto geométrica (con precisiones esperadas del orden de 5mm) como en radiométrica (se estiman panoramas con un tamaño de pixel de aproximadamente 2mm). Debido a la configuración geométrica del interior, con 5 metros de separación entre los muros portantes centrales y del exterior, se optará por el uso de un escáner láser basado en diferencia de fase dadas sus mejores prestaciones (Historic England, 2021). Para la imagen panorámica se optará por una cámara réflex con objetivo ojo de pez, una rótula panorámica sobre trípode y un horquillado en exposición dado que las condiciones lumínicas son muy desfavorables. Ambas técnicas se aplicarán a lo largo del interior, preferiblemente en la zona entre arcos formeros, a fin de capturar con la menor distorsión posible el entorno. Durante dicha captura se asegurará de que el centro de rotación del láser escáner (punto de vista) y la pupila de entrada de la cámara (centro del panorama) sean los mismos a fin de que el coloreado de la nube de puntos láser sea lo más precisa posible. El alineamiento entre estaciones láser no llevará apoyo topográfico para el compensar los errores de alineamiento dada su planta cerrada en anillo, aunque si se dispondrán de 3 puntos en diferentes localizaciones para el registro de la misma en coordenadas globales.

El vuelo dron con cámara digital será llevado a cabo en el exterior de la Iglesia siguiendo las reglas de buenas prácticas definidas por *Historic England* (2017a) asegurando que cada zona a reconstruir sale en 4-5 fotografías y de que el tamaño del pixel en la realidad es lo más homogéneo posible y asegurando una resolución adecuada para el cartografiado de lesiones y la lectura de paramentos. La creación de la nube de puntos 3D, y de las correspondientes ortofotografías, se

llevará a cabo a través del uso de la fotogrametría *Structure from Motion*, escalando el modelo a través de un apoyo topográfico externo (Historic England, 2017), permitiendo además su registro en el sistema global de coordenadas.

Dicha digitalización 3D será complementada por un análisis termográfico que permita analizar los intercambios de flujos de calor, así como detectar elementos constructivos ocultos. Para tal fin se usará una termografía de tipo cuantitativo. Asimismo, se emplearán métodos de procesamiento digital de imágenes que compararán las fotos actuales con las históricas a fin de poder comparar la evolución del edificio a lo largo del tiempo, pérdidas de elementos o cambios de materiales.

Toda esta digitalización, tanto 2D como 3D del edificio aportará información de apoyo para fases posteriores tales como el estudio patológico (desplomes, grietas, humedades) y un estudio constructivo a través, entre otras cosas, de secciones constructivas apoyadas por técnicas endoscópicas, estudio de tratados históricos de construcción o de historia del arte.

2.3. Caracterización de materiales

Los análisis tanto de piedra como morteros se van a realizar siguiendo las secuencias de caracterización recomendadas por ICOMOS en sus comités de piedra natural (Vergès-Belmin, 2011) y de estructuras históricas (Roca 2021)), así como las recomendaciones RILEM sobre morteros históricos (Magallanes y Veiga, 2004); Middendorf, (2005).

En general se procederá de acuerdo a los principios de mínima intervención y máximo mantenimiento de los materiales originales, de modo que en la toma de muestras se procurará obtener la mayor información posible con la menor cantidad de muestra tomada. Para ello, en concordancia con las recomendaciones anteriormente citadas, pero adaptándonos al caso de estudio, se propone realizar un análisis de fases minerales por Difracción de Rayos X, mediante el método del polvo cristalino, microscopía óptica de polarización (petrográfica) y microscopía electrónica de barrido con microanálisis.

Tanto piedras como morteros son materiales de origen mineral, por lo que las técnicas geológicas son las más adecuadas para su estudio, tanto composicional, como de deterioro. La secuencia prevista permitirá una caracterización de gran cantidad de muestras en difracción, para lo que se precisan tan solo unos gramos, que pueden ser tomados si fuera necesario con un bisturí, y tras un primer análisis global pasar a una toma selectiva de muestras para microscopía.



Fig. 3 Vistas en detalle de la portada de la iglesia, se muestra el deterioro en la piedra del Parral, especialmente en la parte baja. También se aprecia la diferente textura de los capiteles, probablemente reconstruidos en alguna de las intervenciones de restauración

La petrografía (en sentido amplio, incluyendo todos los análisis de microscopía) es la técnica que permite la obtención de mayor cantidad de datos y de mejor calidad. Posibilita la caracterización mineral tanto de minerales mayoritarios, como minoritarios y secundarios (de alteración); permite, en el caso de las piedras determinar las áreas extractivas históricas, y en el caso de los morteros la naturaleza del conglomerante y los áridos, su granulometría, la procedencia de éstos, la relación árido/conglomerante. En ambos casos facilita el estudio de la porosidad, sin necesidad de aplicar la técnica más

cara y peligrosa de la porosimetría de inyección de mercurio, que si bien es más precisa no deja de presentar multitud de dificultades prácticas. A través del Análisis Digital de Imágenes, mediante secciones pulidas o láminas delgadas de piedras y morteros, se pueden medir los tamaños de granos y poros, visualizar su forma, los contactos y conexiones, etc.

La Microscopía Electrónica de Barrido con Microanálisis EDX, es una técnica que puede aplicarse en muestra en fractura, para lo que se necesita muy poca cantidad o en lámina delgada, y a la vez que se ven los minerales se pueden realizar análisis de elementos químicos. En especial en el modo de observación mediante electrones rerodispersados (*Back Scattered Microscopy*) los análisis pueden llegar a ser de una precisión adecuada para determinaciones de calado. Esta aplicación de la técnica ha sido validada para hormigón endurecido y en la actualidad está trasladándose con éxito al ámbito de los materiales en el patrimonio (Jana, 2006; Scrivener, 2004).

En este tipo de piedra los procesos de alteración más importantes están asociados a fenómenos relacionados con el ingreso del agua y su retención en el interior de la roca (Fig.3), por lo que se realizarán ensayos de porosidad, de velocidad de succión capilar y de desorción.

2.4. Estudio estructural

Se procederá a un estudio estructural que trate de descifrar el origen de la grieta longitudinal que sufre parte de la bóveda de la nave central y que parece estar asociada a la inclinación de los estribos. Se usará como base la nube de puntos 3D obtenida a través de la digitalización, así como un modelo computacional avanzado no lineal por el Método de los Elementos Finitos, considerando la interacción suelo-estructura, un modelo quasi-fragil y homogeneizado de mampostería (Lourenço, 1997), así como un modelo tipo Mohr-Coulomb para simular el relleno de las bóvedas de acuerdo a las recomendaciones expuestas por Lourenço (2021). Los valores mecánicos adoptados para el suelo serán los extraídos a través de ensayos geotécnicos mientras que los estimados para la mampostería y el relleno serán los sugeridos por la literatura científica Lourenço (2021).

2.5. Auscultación de humedades

El templo presenta humedades procedentes de cubierta y del terreno, cuyo origen y alcance no se encuentran definidos por lo que se procederá a hacer una auscultación de humedades, comenzando por realizar una cartografía de focos de evaporación detectados mediante auscultación higrotérmica, comparando posteriormente con los mapas de lesiones obtenidos mediante otras técnicas. En segundo lugar, se hará una determinación del “moisture buffer” de muestras de materiales, en cámara húmeda, para evaluar la higroscopicidad de los mismos y una comparativa de la humedad de equilibrio así obtenida, con los datos del muestreo (Otero Ortiz de Cosca, 2018). Asimismo, se realizará una estimación del comportamiento higrotérmico del edificio, mediante monitorización de temperatura y grado de humedad. La investigación termográfica, asimismo, nos permitirá, combinada con otros medios, apreciar cualitativamente y en términos de cantidad relativa la consistencia de la humedad presente en el interior de las fábricas, a veces no manifestada por encontrarse cubierta por distintos materiales.

3. Resultados esperables y organización de la información generada

A partir de los estudios previos anteriormente descritos se espera obtener:

- Un análisis exhaustivo de las diferentes etapas histórico-constructivas de la iglesia en base a la recopilación de información (bibliográfica y archivística), las ortofotografías, la nube de puntos 3D y el análisis digital de imágenes antiguas y contemporáneas (incluyendo marcas de cantero).
- Un modelo 3D en base a la nube de puntos para su posterior uso en simulaciones computacionales por el método de los elementos finitos y metodologías HBIM.
- El cartografiado exhaustivo de fases constructivas, materiales y lesiones a partir de las ortofotografías, obtenidas de la digitalización y apoyadas por fichas estandarizadas de lesiones y sistemas constructivos basadas en estudios anteriores de parte del equipo involucrado (Sedano Espejo et al., 2021).

- Un conocimiento exhaustivo de los sistemas constructivos y sus materiales constituyentes a partir de los datos arrojados por el láser escáner, el dron con cámara digital (fotogrametría structure from motion), la endoscopia, la termografía y los análisis fisicoquímicos efectuados sobre la piedra y el mortero.
- Un conocimiento del origen de las grietas y deformaciones estructurales, así como su comportamiento estructural actual a través de una simulación computacional por el método de los elementos finitos.
- Un conocimiento de estado higrotérmico de la edificación en base a la auscultación y el monitoreo de temperatura y grado de humedad para finalmente llevar a analizar la necesidad de ventilación y el análisis de riesgos.

Tanto los datos arrojados por cada una de las etapas como la interacción fruto de ellos será gestionado a través de un enfoque HBIM (Historic Building Information Modeling). El HBIM es una metodología de trabajo colaborativa dedicada a la gestión eficiente de información dentro de los diferentes procesos de una edificación (e.j. construcción, diagnóstico, conservación preventiva, etc.). Esto es posible a través del uso (generalmente) de un modelo 3D del bien histórico capaz de incorporar, a través de lo que se conocen como objetos inteligentes, diferentes capas de información sobre sistemas constructivos, materiales, lesiones etc. (Historic England, 2017b). Todo ello dentro de un único entorno de trabajo que destaca por su interoperabilidad, permitiendo minimizar errores de inconsistencia o duplicidad de información. Dada la complejidad del edificio se optará por realizar familias (ej. muros, bóvedas, lesiones, estudios previos etc.) con diferentes niveles de desarrollo tanto geométrico como de información y que pasan a describirse brevemente a continuación:

- Para los sistemas constructivos: se plantea un nivel de desarrollo comprendido entre 200-300 según buildingSMART Spanish Chapter (Building Smart, 2014). Esto supone usar la nube de puntos 3D como base geométrica, así como técnicas de modelado paramétrico y no-paramétrico que permita un buen compromiso entre realidad geométrica y tiempo de desarrollo. Dichas técnicas de modelización serán similares a las adoptadas en trabajos previos de parte del equipo (Mora et al., 2021). Dentro de estas familias se incorporarán los datos propios del sistema constructivo y de los materiales a través de las fichas previamente descritas.
- Para los estudios previos y lesiones: se plantea un nivel de desarrollo geométrico bajo a través de elementos tipo path que indiquen la posición y gravedad de una forma general. Este nivel geométrico bajo será complementado por un nivel de información alto a través de los datos capturados en las diferentes fichas de lesiones y sistemas constructivos. Esta familia será similar a la desarrollada en trabajos anteriores de temática similar como Mora et al. (2021), siendo alimentadas por las fichas de lesiones anteriormente descritas. Esta familia incluye también las fotografías panorámicas efectuadas a fin de servir de soporte virtual durante el trabajo en oficina.
- Para la conexión de los sensores: se emplearán familias ad-hoc que permitan consultar los parámetros de temperatura y grado de humedad, adaptando para ello enfoques tipo path y protocolos de comunicación similares a los adoptados en Mora et al. (2021) con envío de información a través de archivos tipo JSON (JavaScript Object Notation).

El reto dentro de este apartado no solo estará en tratar de estandarizar convenientemente las diferentes familias, sino también en lograr una interoperabilidad adecuada con las diferentes simulaciones computacionales que se prevén realizar.

4. Conclusiones

El presente artículo tiene como finalidad mostrar el planteamiento metodológico a emplear para el estudio de la iglesia de la Vera Cruz en Segovia. Solamente a través de un enfoque multidisciplinar es posible el conocimiento y comprensión de esta edificación. Eco de ello, la propuesta metodológica se basa en el uso de numerosas técnicas, en su mayoría no-destructivas que, combinadas y complementadas, nos permiten obtener múltiples datos para el mejor entendimiento del construido. A fin de aprovechar al máximo el potencial de cada una de ellas, la propuesta metodológica se divide en diferentes bloques en los que trabajarán profesionales especializados en ramas concretas del conocimiento y bajo un único paraguas metodológico: el HBIM. Todos los estudios previos que se están llevando a cabo en la iglesia de la Vera Cruz de Segovia permitirán realizar un adecuado diagnóstico y elección de tratamientos que permitan la conservación del monumento.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación se está realizando gracias a la colaboración de la Orden de Malta, propietarios del edificio, que nos ha facilitado el acceso e información relativa al mismo.

Referencias

- Building Smart (2014). BIM User's Guide (Guía de usuarios BIM). *BuildingSMART Spanish Chapter*.
- Cabello y Dodero, F.J. (1946). Obras de consolidación de la iglesia de la Vera Cruz, Segovia. AGA 26/383-003
- Cabello y Dodero, F.J. (1949). Proyecto de restauración de la iglesia de la Vera Cruz, Segovia. AGA 26/383-006
- Cabello y Dodero, F.J. (1951). La iglesia de la Vera Cruz. *Estudios Segovianos*, 3 (7-9), 425-448.
- Cabello Lapiedra, L.M. (1919). La Vera-Cruz de Segovia nunca fue de los Templarios. *Arquitectura*, 14, 165-169
- Cámara Gallego, B., Ríos, A. D. L., García del Cura, M., Galván, V., & Ascaso, C. (2008). Biorreceptividad de las dolomías a la colonización fúngica. *Materiales de Construcción*, 58 (289-290), 113-124. <https://doi.org/10.3989/mc.2008.v58.i289-290.71>
- Historic England (2017a). Photogrammetric applications for cultural heritage. Guidance for Good Practice. Swindon. Historic England.
- Historic England (2017b). BIM for Heritage: developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England.
- Historic England (2021). 3D laser scanning for heritage. Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture (2018). Swindon: Historic England.
- Jana, D. (2006). Sample preparation techniques in petrographic examinations of construction materials: A state-of-the-art review. En *Proceedings of the twenty-eighth Conference on Cement Microscopy*. International Cement Microscopy Association, Colorado (USA).
- Magalhaes, A., y Veiga, R. (2009). Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación. *Materiales de construcción*, (295), 61-77. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.41907>
- Mayo Corrochano, C., & Sanz-Arauz, D. (2022). The historical mortars of the castle of Cifuentes (Guadalajara, Spain). *Conservar Património* (in press).
- Merino de Cáceres, J.M. (1998). La iglesia de la Vera Cruz de Segovia. Segovia: CEYDE
- Middendorf, B., Hughes, J. J., Callebaut, K., Baronio, G., & Papayianni, I. (2005). Investigative methods for the characterisation of historic mortars—part 1: mineralogical characterisation. *Materials and Structures*, 38(8), 761-769. <https://doi.org/10.1007/BF02479289>
- Mora, R., Sánchez-Aparicio, L. J., Maté-González, M. Á., García-Álvarez, J., Sánchez-Aparicio, M., & González-Aguilera, D. (2021). An historical building information modelling approach for the preventive conservation of historical constructions: Application to the Historical Library of Salamanca. *Automation in Construction*, 121, 103449. [j.autcon.2020.103449](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103449)
- Lourenço, P. J. B. B. (1997). *Computational strategies for masonry structures* (Tesis Doctoral). UMinho, Guimaraes (Portugal)
- Lourenço, P. B. (2021). Guidelines for the analysis of historical masonry structures. En *Finite Elements in Civil Engineering Applications. Proceedings of the Third DIANA World Conference* (pp. 241-248). Tokio (Japón).
- Otero Ortiz de Cosca, Raquel (2018). *Estudio del comportamiento evaporativo de los edificios del patrimonio histórico mediante sistemas de monitorización higrotérmica*. (Tesis Doctoral). ETSAM, Madrid (España).
- Roca, P. (2021). The Iscarsah Guidelines on the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. En *12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC)*. Barcelona.
- Scrivener, K. L. (2004). Backscattered electron imaging of cementitious microstructures: understanding and quantification. *Cement and concrete Composites*, 26(8), 935-945. <https://doi.org/10.3989/j.cemconcomp.2004.02.029>

M. Palma Crespo, L.J. Sánchez Aparicio, D. Sanz Arauz, F. del Blanco García, S. García Morales, S. López-Cuervo Medina, M.Á. Maté González, C. Mayo Corrochano, D. Mencías Carrizosa y P. Villanueva Llauradó

Sedano Espejo, E., Mackinlay, P., Sanz Arauz, D., Sánchez Aparicio, M., y Sánchez Aparicio, L. J. (2021). Use of geographical information system approaches for the diagnosis of San Isidoro ruins (Madrid, Spain). ISPRS. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-677-2021>

Vegas Salamanca, J. (1998). El Cretácico en la Provincia de Segovia: Caracterización y degradación de rocas ornamentales y de cantería. Colección Becas de Investigación, Caja de Segovia, 54.

Vergès-Belmin, V. (2011). *ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns= Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra* (Vol. 15). Icomos.