

DE UNA INADVERTIDA IGLESIA TERRACAMPINA A “SAN PEDRO CULTURAL”. DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL PATRIMONIO MONUMENTAL

FROM AN UNNOTICED TERRACAMPINA CHURCH TO “SAN PEDRO CULTURAL”. DOCUMENTATION AND ANALYSIS OF THE MONUMENTAL HERITAGE

Mónica del Río Muñoz; orcid 0000-0001-7802-8052

Isaac Mendoza Rodríguez; orcid 0000-0001-8407-3466

David Marcos González; orcid 0000-0002-4323-032X

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

doi: [10.4995/ega.2024.17976](https://doi.org/10.4995/ega.2024.17976)

La iglesia de San Pedro, situada en Becerril de Campos (Palencia), se levanta como templo monumental de relevante valor patrimonial. La intervención de rehabilitación arquitectónica que se llevó a cabo requirió de la redacción de una documentación completa y exhaustiva del estado del templo. Por lo que el objetivo inicial fue disponer de una representación precisa de su geometría y, sobre todo, de una cuantificación del deterioro y de las alteraciones que presentaban sus estructuras arquitectónicas. Los modelos digitales, las planimetrías y las restituciones fotogramétricas fueron necesarias para localizar y evaluar el alcance de los daños en el edificio. Esta actuación previa fue imprescindible para fundamentar

las hipótesis sobre el origen de sus patologías y, posteriormente, establecer las soluciones. Para satisfacer las exigencias analíticas se desarrolló una metodología mixta de precisión, recurriendo a la combinación de escáner láser 3D y fotogrametría digital terrestre y aérea.

PALABRAS CLAVE: PATRIMONIO, LEVANTAMIENTO, ESCÁNER LÁSER, FOTOGAMETRÍA

The church of San Pedro, located in Becerril de Campos (Palencia), stands as a monumental temple of relevant heritage value. The architectural rehabilitation intervention that was carried out required the writing of a complete and exhaustive documentation of

the state of the temple. Therefore, the initial objective was to have an accurate representation of its geometry and, above all, a quantification of the deterioration and alterations that its architectural structures presented. Digital models, planimetries and photogrammetric restorations were necessary to locate and evaluate the extent of damage to the building. This prior action was essential to substantiate the hypotheses about the origin of their pathologies and, subsequently, establish solutions.

To satisfy the analytical demands, a mixed precision methodology was developed, using the combination of a 3D laser scanner and terrestrial and aerial digital photogrammetry.

KEYWORDS: HERITAGE, SURVEY, LASER SCANNER, PHOTOGRAMMETRY



1. Plano de Becerril de Campos. Realizado por Francisco Coello en 1852

1. Map of Becerril de Campos. Made by Francisco Coello in 1852

La villa de Becerril de Campos

Becerril de Campos pertenece a la provincia de Palencia. En su Término existieron vestigios humanos desde finales de la Edad de Bronce, estando acreditados asentamientos vacceos durante la Edad del Hierro. Fue romanizada en los primeros años del siglo I d. C., como así lo atestiguan la cercana vía romana y los bustos y objetos encontrados en los yacimientos arqueológicos circundantes.

Despoblada tras la invasión árabe de la península ibérica adquiere un importante resurgimiento a finales del siglo IX, durante el reinado de Alfonso III. Del año 1059 data la primera referencia escrita que se conoce de la localidad, en concreto una donación efectuada por el rey Fernando I. En aquellos años se hallaba cercada por una antigua muralla, con sus torres y almenas; varios portillos y puertas daban acceso a ella (Redondo Aguayo, 1953, p. 39). Este trazado original ha llegado hasta nuestros días sin apenas modificaciones.

En el siglo XIV la villa figuraba en el Becerro de Behetrías de Castilla. Durante la segunda mitad del siglo XV se produjo un importante desarrollo económico por el cultivo del cereal. El siglo XVI representa el cenit del poderío de Tierra de Campos, que se plasma en el auge arquitectónico de los principales núcleos poblacionales, entre los que se encuentra Becerril de Campos (Zamala Rodríguez, 1990, p.14).

Durante los años sucesivos Becerril incrementará su importancia y representatividad, siendo en el siglo XVII una partida de reclutamiento de soldados 1 (Rodríguez Hernández, 2013). La villa también fue partido

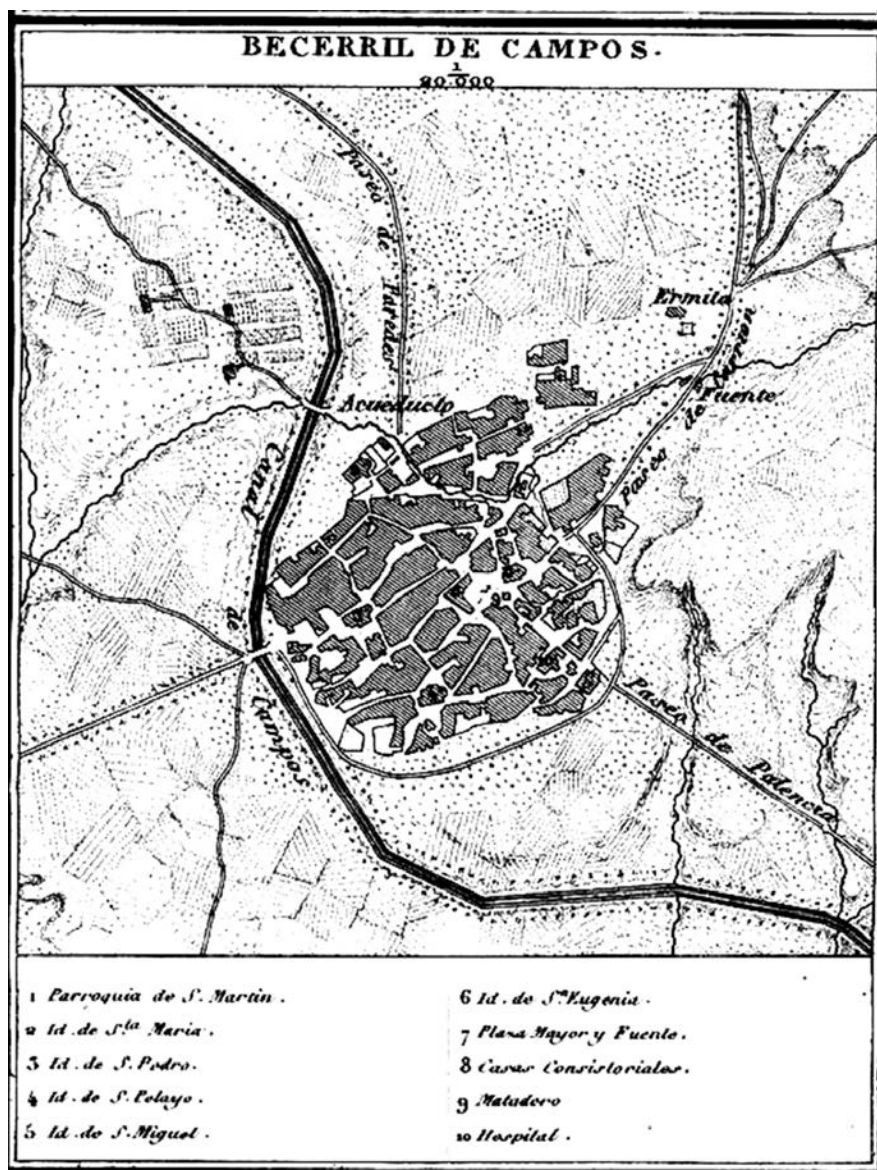
judicial y además contó con siete iglesias y varias ermitas, tres de las cuales se han mantenido hasta la actualidad. Las iglesias corrieron distinta suerte con el pasar de los siglos, aunque todas estuvieron en riesgo durante la invasión francesa y los fenómenos de desamortización acaecidos en el primer tercio del siglo XIX.

A mediados de este siglo (Fig. 1), Becerril contaba con más de 3.000 habitantes, una pujante agricultura

The town of Becerril de Campos

Becerril de Campos belongs to the province of Palencia. In its Term there were human vestiges from the end of the Bronze Age, with Vaccean settlements being accredited during the Iron Age. It was Romanized in the early years of the 1st century AD. C., as witnessed by the nearby Roman road and the busts and objects found in the surrounding archaeological sites.

Depopulated after the Arab invasion of the Iberian Peninsula, it experienced an important



resurgence at the end of the 9th century, during the reign of Alfonso III. The first known written reference to the town dates back to the year 1059, specifically a donation made by King Ferdinand I. In those years it was surrounded by an old wall, with its towers and battlements; several ports and doors gave access to it (Redondo Aguayo, 1953, p. 39). This original layout has survived to this day with hardly any modifications.

In the S. XIV the town appeared in the Becerro de Behetrías of Castile. During the second half of the 15th century there was an important economic development due to the cultivation of cereal. The 16th century represents the zenith of the power of Tierra de Campos, which is reflected in the architectural boom of the main population centers, among which is Becerril de Campos (Zamala Rodríguez, 1990, p.14).

During the following years Becerril will increase its importance and representativeness, being in the s. XVII a soldier recruitment party 1 (Rodríguez Hernández, 2013). The town was also a judicial district and also had seven churches and several hermitages, three of which have remained until today. The churches suffered different fates over the centuries, although all were at risk during the French invasion and the confiscation phenomena that occurred in the first third of the 19th century.

In the middle of this century (Fig. 1), Becerril had more than 3,000 inhabitants, thriving agriculture and not inconsiderable livestock farming. Until then, it remained an important administrative and commercial enclave in the Tierra de Campos region. In the second half of the 20th century, with the mechanization of agriculture, the town went into decline and its population decreased significantly.

St. Peter's Church

The church of San Pedro has a single nave and a polygonal head. Its walls exhibit typical features of the different historical stages in which they were built or modified. Its Romanesque façade (Fig. 2) is located to the south and its head is in the late Gothic style. It has a clear Baroque influence in the cornices, in the remains of vaults and in the ornamentation.

The doorway is the element that constitutes the oldest architectural remains known in



2

y una nada despreciable ganadería. Manteniéndose hasta entonces como un importante enclave administrativo y comercial de la comarca de Tierra de Campos. En la segunda mitad del siglo XX, con la mecanización de la agricultura, la villa entró en decadencia y su población disminuyó notablemente.

La Iglesia de San Pedro

La iglesia de San Pedro dispone de una sola nave y de una cabecera poligonal. Sus muros exhiben rasgos típicos de las diferentes etapas históricas en las que fueron construidos o modificados. Su portada románica (Fig. 2) se sitúa al sur y su cabecera es de estilo gótico tardío, con una clara influencia barroca en las cornisas, en los restos de bóvedas y en la ornamentación.

La portada es el elemento que constituye uno de los restos arquitectónicos más antiguos conocidos en esta población. Su decoración la constituyen una serie de archivoltas, una de las cuales presenta una sucesión de bolas y otra una serie de hojas de acanto (Fig. 2). Los capiteles son sencillos y presentan motivos vegetales (García Guinea, 1998, p. 342). En el estudio realizado por Blanca García Vega, señala

el siglo XII como el momento de su construcción (García Vega, 1977, p. 102). Del resto del edificio que estuvo en pie en esa época no ha llegado nada hasta nuestros días.

Desde el punto de vista cronológico, el primer elemento erigido del templo fue la torre, que se encontraba al suroeste y cuya función en su origen sería la de un elemento defensivo. Su núcleo central fue construido mediante muros de tapia de tierra, que posteriormente, a finales del siglo XVI, se chaparon en piedra y en ladrillo, adquiriendo entonces un aspecto de torre mudéjar. La iglesia que ha llegado hasta nosotros, se construyó durante la primera mitad esa centuria (García Vega, 1977, p. 102). El proyecto mantenía la planta de una sola nave de la antigua edificación y conservaba la portada románica de la fachada sur.

Una vez terminadas las obras se inició su decoración, con la realización de varios retablos. Entre ellos destaca el Mayor, obra del taller de Juan de Valmaseda (Portela Sandoval, 1977, p. 164-166) finalizado en 1565 2. Sus dimensiones eran considerables, doce metros de alto por ocho ochenta de ancho. A lo largo del siglo XVII continuaron los

- 2. Fotografía de la portada románica, tomada para el trabajo
- 3. Planos resumen de la interpretación de las etapas históricas que han conformado el edificio

- 2. Photograph of the romantic cover, taken for work
- 3. Summary plans of the interpretation of the historical stages that have shaped the building

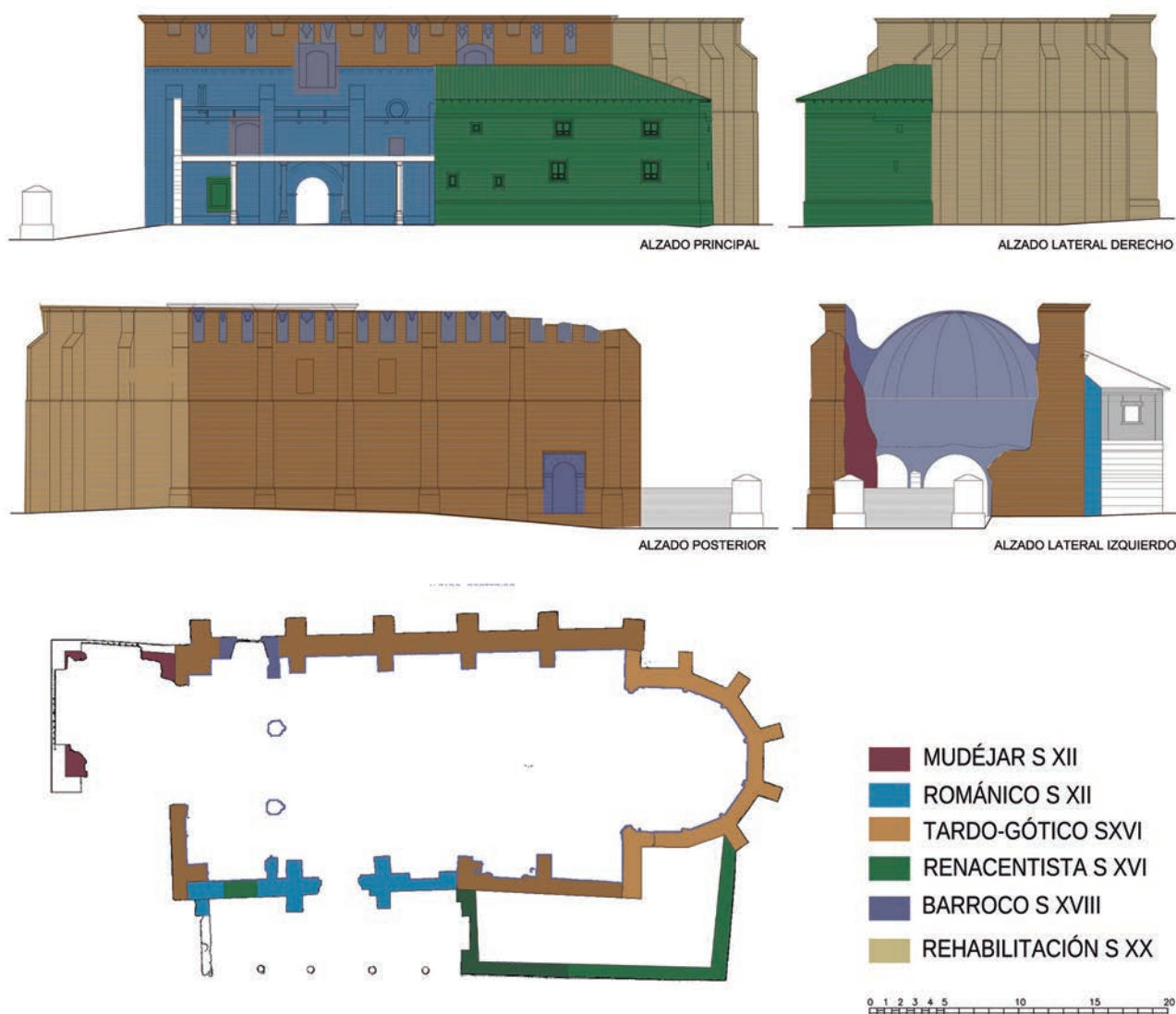
trabajos de decoración. En 1632 se fabricó una de sus campanas, la más antigua que se conservaba, con la siguiente inscripción: “Sancte Petre Ora pro nobis” (Redondo Aguayo, 1953, p. 164).

En el siglo XVIII se recreció el cuerpo superior de la nave central, se abrieron una serie de vanos rectangulares en las fachadas norte y sur y se recubrieron de yeserías sus bóvedas (García Vega, 1977, p. 102). En 1722 se edificó la capilla del Santo Cristo del Desprecio. Su-

fragada esta por el cura Don José Rodríguez, se fundó en ella una capellanía, como así reza en una inscripción existente en la misma (Redondo Aguayo, 1959, p. 164). Las actuaciones de decoración terminaron en los años treinta del siglo XVIII, en 1733 se doró el altar de Las Ánimas y en 1736 se realizó un retablo para la imagen de Santa Bárbara. Finalmente, en 1740 se construyó el órgano que, costando 6.500 reales, fue realizado en Palencia por Felipe de Alsina.

this town. Its decoration is made up of a series of archivolts, one of which presents a succession of balls and another a series of acanthus leaves (Fig. 2). The capitals are simple and have plant motifs (García Guinea, 1998, p. 342). In the study carried out by Blanca García Vega, she points out the 12th century as the time of its construction (García Vega, 1977, p. 102). From the rest of the building that stood at that time, nothing has survived to this day.

From a chronological point of view, the first element erected in the temple was the tower, which was located to the southwest and whose original function would be that of a





4

defensive element. Its central core was built with rammed earth walls, which later, at the end of the 16th century, were covered in stone and brick, then acquiring the appearance of a Mudejar tower. The church that has survived to us was built during the first half of that century (García Vega, 1977, p. 102). The project maintained the single-nave floor plan of the old building and preserved the Romanesque doorway of the south façade.

Once the works were completed, its decoration began, with the creation of several altarpieces. Among them, the Mayor stands out, a work from the workshop of Juan de Valmaseda (Portela Sandoval, 1977, p. 164-166) completed in 1565 **2**. Its dimensions were considerable, twelve meters high by eight eighty meters wide. Throughout the 17th century the decoration work continued. In 1632, one of its bells was made, the oldest preserved, with the following inscription: "Sancte Petre Ora pro nobis" (Redondo Aguayo, 1953, p. 164).

In the 18th century, the upper body of the central nave was increased, a series of rectangular openings were opened in the north and south facades and its vaults were covered with plasterwork (García Vega, 1977, p. 102). In 1722 the chapel of Santo Cristo del Desprecise was built. Funded by the priest Don José Rodríguez, a chaplaincy was founded there, as stated in an existing inscription there (Redondo Aguayo, 1959, p. 164). The decoration work ended in the 1830s, in 1733 the altar of Las Ánimas was gilded and in 1736 an altarpiece was made for the image of Saint Barbara. Finally, in 1740 the organ was built, costing 6,500 reales, and was made in Palencia by Felipe de Alsina.

Entre 1892 y 1907, durante el obispado de Enrique Almaraz, se reedificó su torre, la más elevada de la villa. Era básicamente de tierra arcillosa, aunque se revistió de ladrillo. En el siglo xx llega la decadencia, el abandono, el expolio y la ruina. Como hito más importante hay que señalar el traslado, en el año 1948 a la iglesia del Sagrario de Málaga, de cuatro de sus retablos, incluyendo el mayor (Portela Sandoval, 1977, p. 164; Redondo Aguayo, 1953, p. 177).

Sabemos que en 1982 el edificio se encontraba en estado de ruina, iniciándose algunas obras de restauración en 1987. Inicialmente la intención era crear un museo que integrara el rico patrimonio artístico que todavía conserva la villa de Becerril de Campos. Tras algunas pequeñas intervenciones puntuales de conservación de los restos, realizadas en el año 2001, el templo se encontraba en el estado que describe la documentación que es objeto del presente artículo (Fig. 4, 5 y 6).

Objetivos perseguidos por los trabajos documentales gráficos

Con la realización de un levantamiento muy preciso se busca-



5

ban dos objetivos fundamentales: proporcionar una métrica real que sirviera de base a la hora de realizar el proyecto arquitectónico de rehabilitación **3**; y, por otra parte, determinar las patologías y los problemas estructurales que poseían los elementos que aún se mantenían en pie.

Era necesario conocer el estado de los arcos y sus deformaciones, así como el desplome de sus muros, que se habían visto desprotegidos por la falta de la cubierta. Por último, había que evaluar el estado real de dos grietas muy significativas, una en el ábside y la otra en el muro Sur.

Metodología híbrida empleada

En la actualidad, toda intervención en un bien patrimonial arquitectónico conlleva la realización de diferentes trabajos disciplinares. En este caso los estudios históricos y arqueológicos **4** han permitido conocer la evolución de la vida del edificio. Los ensayos y análisis de los materiales utilizados han facilitado importantes datos sobre su técnica constructiva. La caracterización de su geometría y dimensiones fue obtenida mediante técnicas diversas, utilizando métodos digitales, ma-



6

nuales y topográficos. Estos proporcionaron los parámetros dimensionales necesarios para comprender la construcción y su lenguaje, así como los aspectos formales, funcionales, estructurales y económicos.

Respecto de los sistemas digitales se recurrió al escaneo láser tridimensional y a la fotogrametría digital. Estos sistemas unidos aportaron un modelo a color, de tal precisión, que sustituyó al edificio a la hora de facilitar los datos métricos, dado que describen la forma arquitectónica y cuantifican con precisión su geometría (Martínez Rubio, 2018, p. 208-219).

El método de trabajo tenía como resultado una documentación híbrida, obtenida de la combinación de los datos aportados por el escáner láser y la fotogrametría. De esta manera, el primero aportó sus ventajas en la captura de la forma, mientras que el segundo proporcionó la textura y el color a la nube de puntos generada. La fusión de los datos de ambos modelos se hizo posible gracias a que compartían el sistema de referencia, estableciendo conexiones entre la nube de puntos y las fotografías.

Escaneado láser 3D

Para realizar el levantamiento con escáner láser 3D se utilizó un equi-

po profesional de altas prestaciones 5 (Fig. 7). El trabajo se planificó con varios objetivos simultáneos. El primero fue el de garantizar el recubrimiento global, lo más completo posible de todas las superficies de los paramentos y de los elementos constructivos del edificio. A este respecto se prestó especial interés a aquellas partes más importantes para construir una documentación completa de planta y secciones que fueron generadas con estos datos.

En segundo lugar, los puntos de estacionamiento para los distintos barridos se distribuyeron de forma que se aseguró un solapamiento entre ellos para facilitar la orientación relativa mediante uniones nube a nube. Con estos objetivos a la vista se programaron tomas de alta resolución, disponiendo nueve estaciones en el exterior, con las que se circunvaló el edificio por completo. Mientras, en el interior se realizaron cinco tomas dispuestas a lo largo del eje de la iglesia (Fig. 8). Una vez realizadas las capturas en cada una de las estaciones, las nubes de puntos parciales del exterior y del interior, pudieron ser fácilmente enlazadas gracias al estado de semi ruina en el que se encontraba el edificio. Se generó una nube de gran definición que comprendía la totalidad del edificio 6.

4, 5 y 6. Estado de la edificación en el momento de los estudios

4, 5 and 6. State of the building at the time of the studies

Between 1892 and 1907, during the bishopric of Enrique Almaraz, its tower, the highest in the town, was rebuilt. It was basically made of clay soil, although it was covered with brick. In the 20th century, decadence, abandonment, plunder and ruin arrived. As the most important milestone, we must highlight the transfer, in 1948 to the Sagrario church in Málaga, of four of its altarpieces, including the largest (Portela Sandoval, 1977, p. 164; Redondo Aguayo, 1953, p. 177). We know that in 1982 the building was in a state of ruin, with some restoration works beginning in 1987. Initially the intention was to create a museum that would integrate the rich artistic heritage that the town of Bécerril de Campos still preserves. After some small specific conservation interventions on the remains, carried out in 2001, the temple was in the state described in the documentation that is the subject of this article (Fig. 4, 5 and 6).

Objectives pursued by graphic documentary works

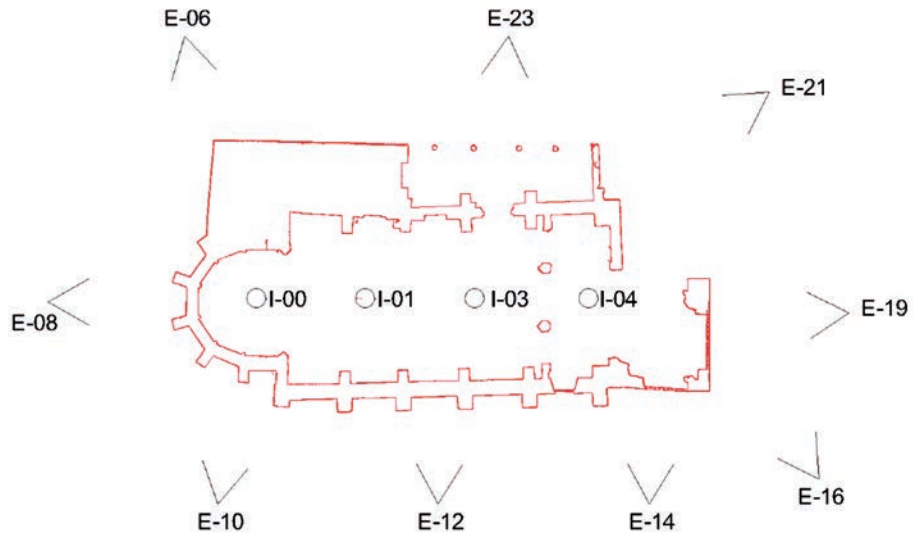
By carrying out a very precise survey, two fundamental objectives were sought: to provide a real metric that would serve as a basis when carrying out the architectural rehabilitation project 3; and, on the other hand, determine the pathologies and the structural problems that possessed the elements that were still standing. It was necessary to know the state of the arches and their deformations, as well as the collapse of their walls, which had been left unprotected due to the lack of a roof. Finally, it was necessary to evaluate the real state of two very significant cracks, one in the apse and the other in the south wall.

Hybrid methodology used

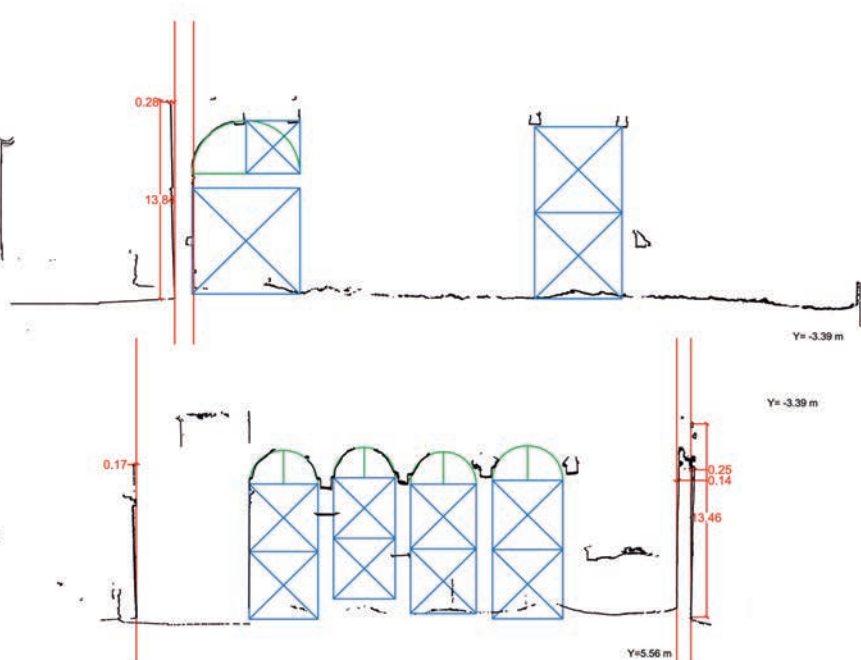
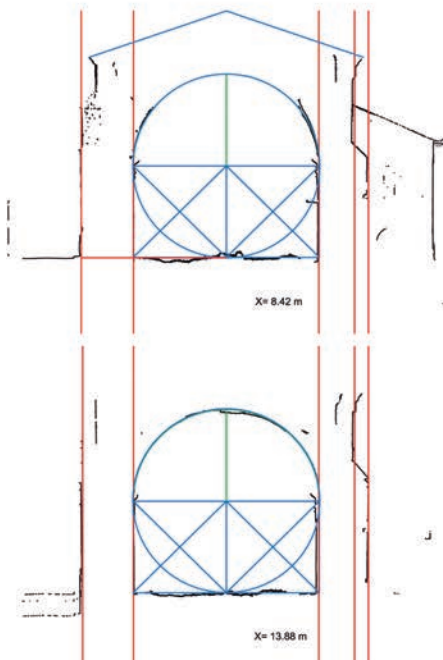
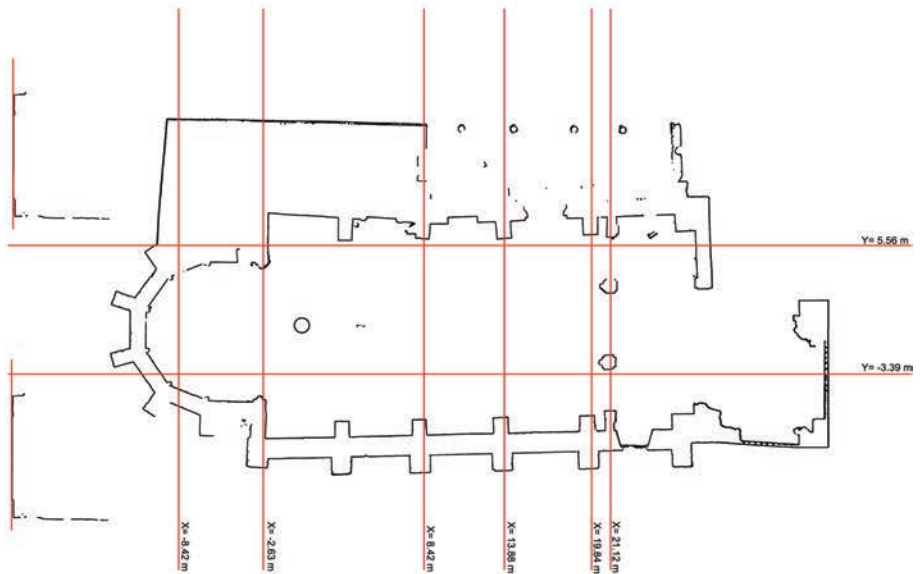
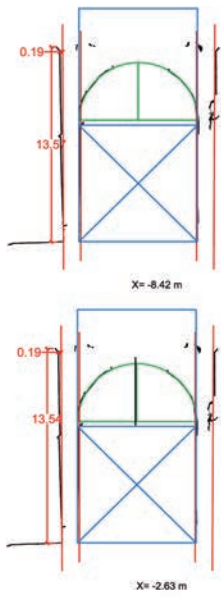
Currently, any intervention in an architectural heritage asset entails the performance of different disciplinary works. In this case, historical and archaeological 4 studies have allowed us to know the evolution of the life of the building. The tests and analysis of the materials used have provided important data on its construction technique. The characterization of its geometry and dimensions were obtained through various techniques, using digital, manual and topographic methods. These provided



7



8



9



- 7. Escáner Faro Focus 3D en proceso de captura de datos métricos
- 8. Disposición del escáner
- 9. Análisis del desplome de los muros a través del estudio de las secciones del modelo tridimensional
- 10. Localización de los desplomes de mayor entidad

- 7. Faro Focus 3D scanner in the process of capturing metric data
- 8. Scanner layout
- 9. Analysis of the collapse of the walls through the study of the sections of the three-dimensional model
- 10. Location of the largest collapses

Una primera exploración de la nube permitió la elaboración de una familia de cortes 7 que seguidamente fueron procesados en AutoCAD. Estos cortes, obtenidos por segmentación de regiones planas y delgadas dispuestas en sentidos transversales y longitudinales al eje de la iglesia, permitieron la delimitación de cada sección (Fig. 9). Su

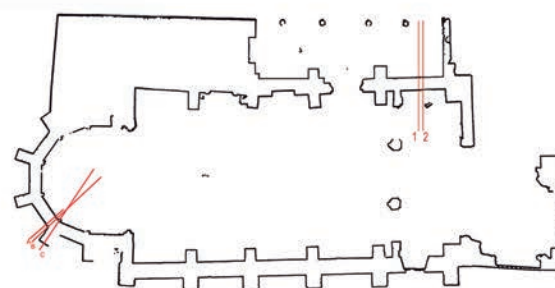
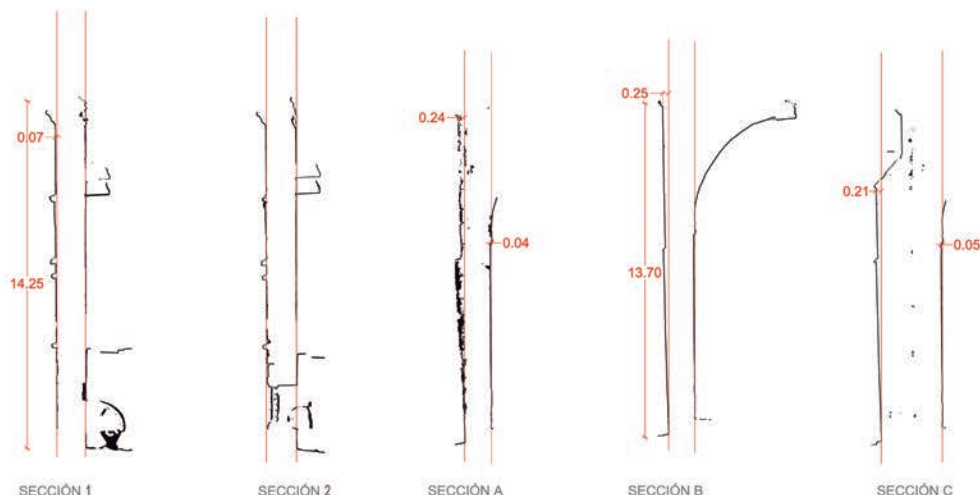
análisis métrico sirvió para evaluar los desplomes en los muros de las fachadas (Kwoczynska, 2016). De igual manera, el sustituto digital hizo posible comprobar la ausencia de deformaciones importantes en los arcos de la nave y del abovedamiento existente en el ábside.

El análisis de las distintas familias de secciones generadas, permitió cuantificar los desplomes de los muros en cada punto. Así se observó que en el exterior de la cabecera se alcanzaba un desvío de 25 cm, sin embargo, en el interior apenas se acusaban los desplomes. En otro punto de la nave la diferencia era igualmente significativa, alcanzando los 19 cm de diferencia entre la verticalidad en su arranque y la de coronación (Fig. 10).

the dimensional parameters necessary to understand the construction and its language, as well as the formal, functional, structural and economic aspects.

Regarding digital systems, three-dimensional laser scanning and digital photogrammetry were used. These united systems provided a color model, of such precision that it replaced the building when providing metric data, since they describe the architectural form and precisely quantify its geometry (Martínez Rubio, 2018, p. 208-219).

The working method resulted in hybrid documentation, obtained from the combination of data provided by the laser scanner and photogrammetry. In this way, the first provided its advantages in capturing the shape, while the second provided the texture and color to the generated point cloud. The fusion of data from both models were made possible thanks to the fact that they shared the reference system, establishing connections between the point cloud and the photographs.





3D laser scanning

To carry out the survey with a 3D laser scanner, high-performance professional equipment was used (Fig. 7). The work was planned with several simultaneous objectives. The first was to guarantee the global coverage, as complete as possible, of all the surfaces of the walls and the construction elements of the building. In this regard, special interest was paid to those most important parts to build a complete documentation of the plant and sections that were generated with this data.

Secondly, the parking points for the different scans were distributed in such a way that an overlap between them was ensured to facilitate relative orientation through cloud-to-cloud connections. With these objectives in view, high-resolution shots were programmed, placing nine stations outside, with which the building was completely circumnavigated. Meanwhile, inside, five shots were taken arranged along the axis of the church (Fig. 8). Once the captures were made at each of the stations, the partial point clouds from the exterior and interior could be easily linked thanks to the semi-ruined state in which the building was found. A highly

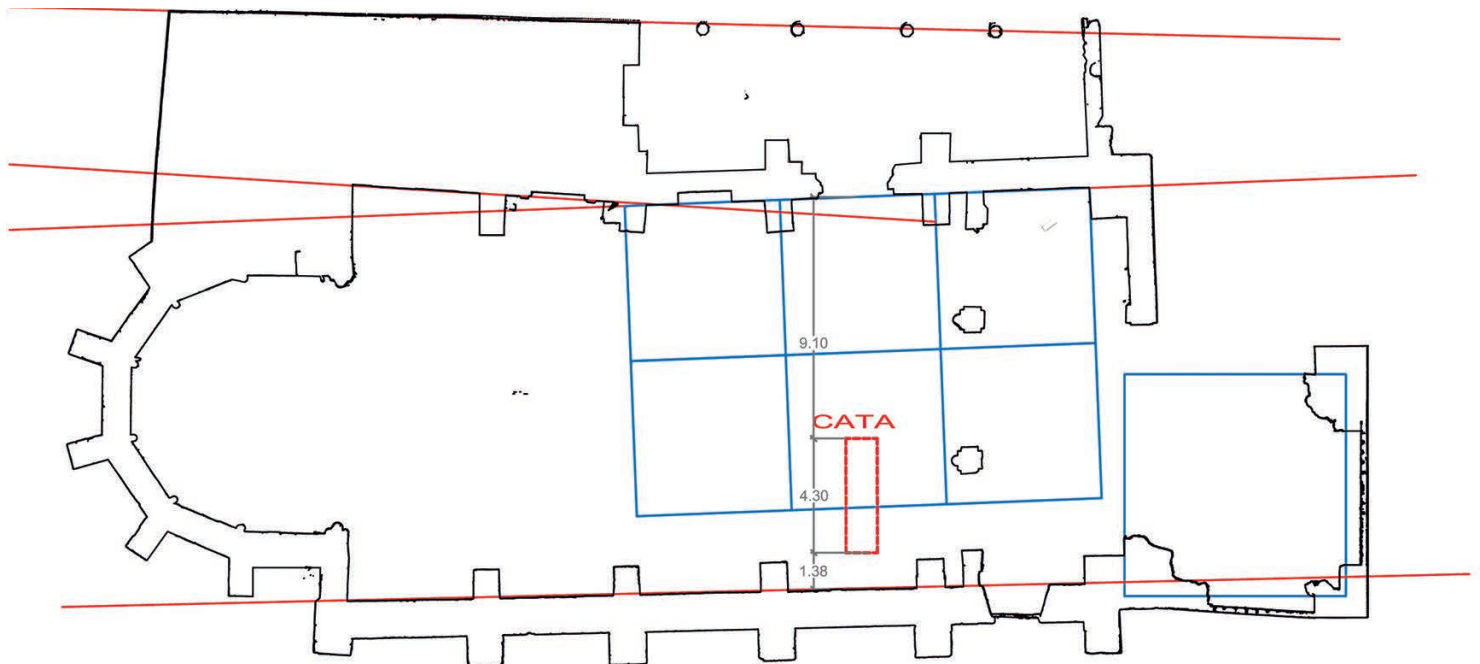


11

Se comprobó que estos muros, de un metro de espesor, se asentaban sobre un cimiento estable de piedra sobre el que se levantaban dos hojas de sillares separadas por un relleno de mampostería y barro. La observación de los desplomes y de su diferente comportamiento entre las dos caras del muro permiti

tió concluir que la hoja exterior se encontraba desprendida de la masa interior en zona de la cabecera.

Además, se comprobó que existía una relación entre los desplomes y las dos grandes grietas que recorren en vertical los paramentos del ábside, en su unión con los contrafuertes. La misión de estos ele-



13



- 11. Arcos de ladrillo conservados en la nave del templo
- 12. Análisis de las deformaciones
- 13. Estudio de las relaciones dimensionales de la planta

- 11. Brick arches preserved in the temple nave
- 12. Deformation analysis
- 13. Study of the dimensional relationships of the plant

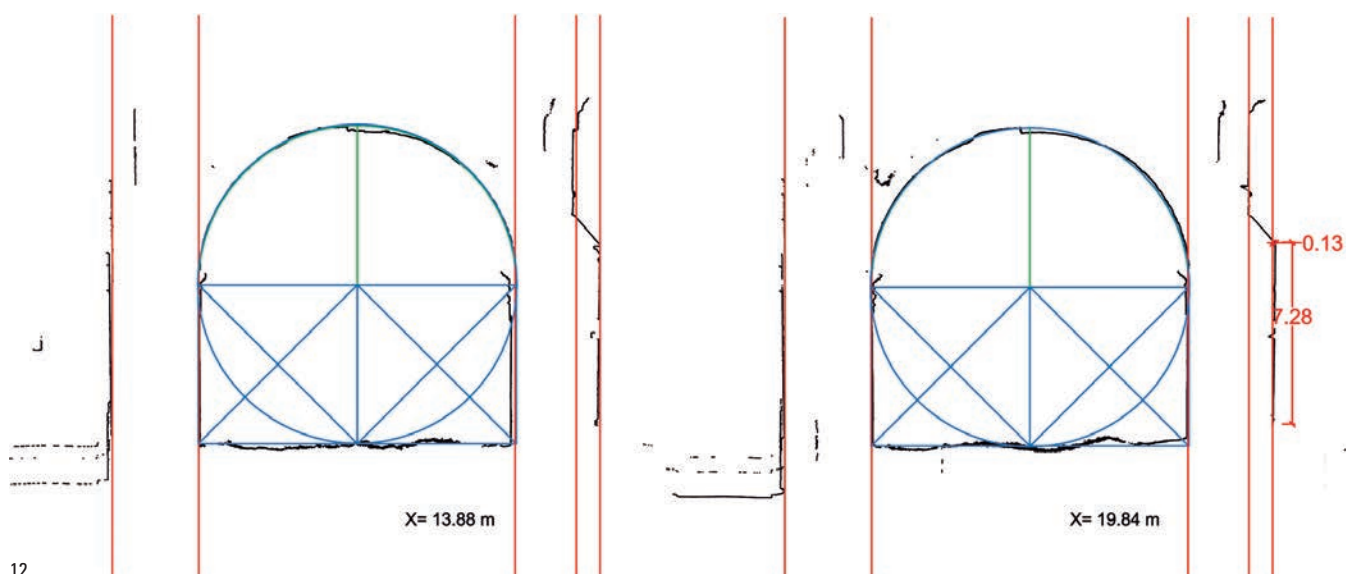
mentos era la de contrarrestan el empuje de las bóvedas de crucería. Por lo que fue necesario analizarlos, cuantificando su masividad y representado su geometría.

Por su parte los arcos de medio punto de la nave del templo, estaban contruidos por fábricas de

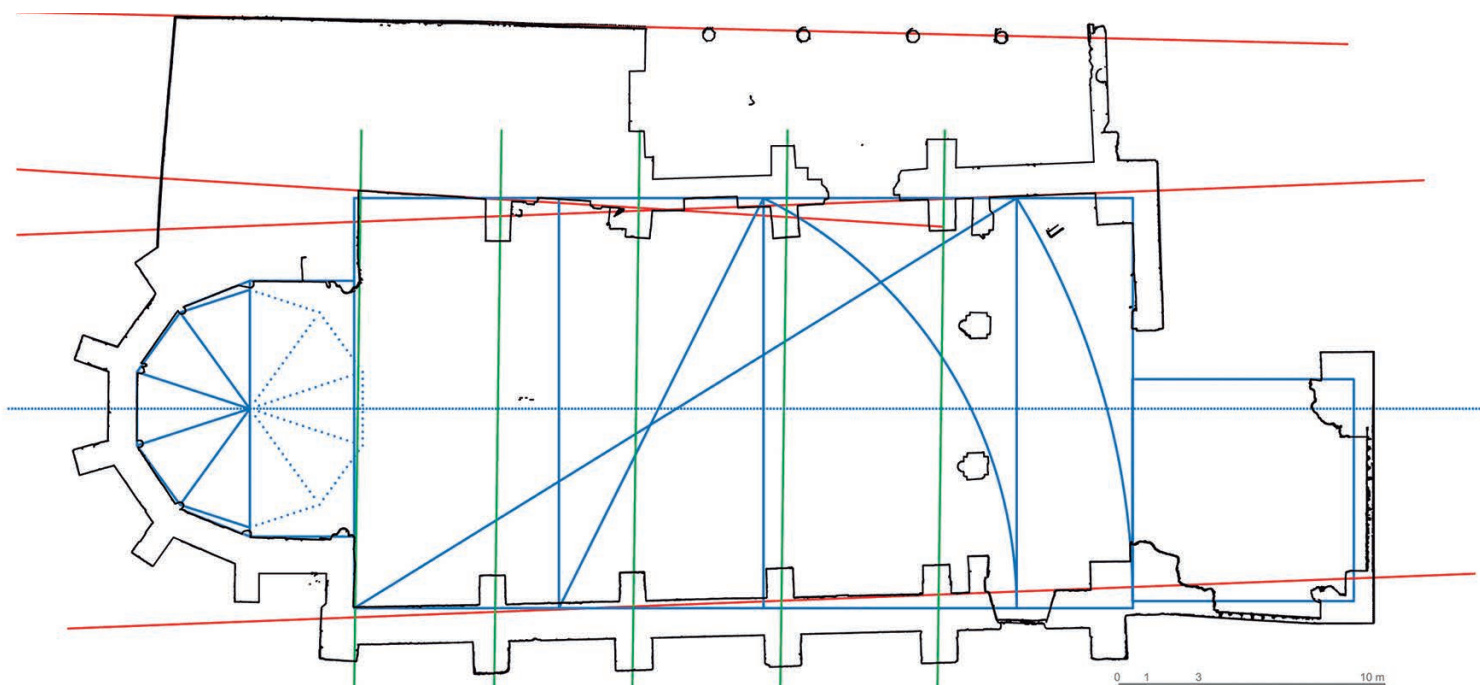
ladrillo macizo de dos roscas (Fig. 11). Mediante las planimetrías realizadas se verificó la falta de deformaciones en su disposición espacial. Por lo que mantuvieron en su trazado la forma de arco semicircular con la que fueron contruidos (Fig. 12). Se evidenció así que en el

defined cloud was generated that included the entire building 6.

A first exploration of the cloud allowed the creation of a family of cuts 7 that were then processed in AutoCAD. These cuts, obtained by segmenting flat and thin regions arranged in transverse and longitudinal directions to the axis of the church, allowed the delineation of each section (Fig. 9).



12



Its metric analysis served to evaluate the collapses in the facade walls (Kwoczyńska, 2016). Likewise, the digital substitute made it possible to verify the absence of significant deformations in the arches of the nave and the existing vaulting in the apse. The analysis of the different families of sections generated made it possible to quantify the collapses of the walls at each point. Thus, it was observed that on the outside of the header a deviation of 25 cm was reached, however, on the inside the collapses were barely noticeable. At another point in the nave the difference was equally significant, reaching 19 cm of difference between the verticality at its start and that at the top (Fig. 10).

It was found that these walls, one meter thick, sat on a stable stone foundation on which two sheets of ashlar were raised separated by a fill of masonry and mud. The observation of the collapses and their different behavior between the two faces of the wall allowed us to conclude that the outer leaf was detached from the inner mass in the head area.

Furthermore, it was found that there was a relationship between the collapses and the two large cracks that run vertically along the walls of the apse, at their junction with the buttresses. The mission of these elements was to counteract the thrust of the ribbed vaults. Therefore, it was necessary to analyze them, quantifying their massiveness and representing their geometry.

For their part, the semicircular arches of the temple nave were built with solid brick factories with two threads (Fig. 11). Through the planimetries carried out, the lack of deformations in its spatial arrangement was verified. Therefore, they maintained the semicircular arch shape with which they were built (Fig. 12). It was thus evident that the working method used allowed the analysis of the tectonic elements that make up a monumental building (Castellazzi, 2017, p. 229-248).

The same geometric precision was applied in a general way for the dimensional study of the building and its parts. The results were more than hypothetical and established a dimension of the square plan of the core of the tower of 10 'Castilian varas' 8.

The search for metric relationships led



14

método de trabajo utilizado permitió el análisis de los elementos tectónicos que integran un edificio monumental (Castellazzi, 2017, p. 229-248).

La misma precisión geométrica se aplicó de manera generalizada para el estudio dimensional del edificio y sus partes. Los resultados fueron más que hipotéticos y establecieron una dimensión de la planta cuadrada del núcleo de la torre de 10 varas castellanas 8.

La búsqueda de las relaciones métricas llevó a desechar las hipótesis sobre la metrología del primigenio trazado de los muros del templo, propiciados por la campaña de excavaciones arqueológicas realizadas. Se pueden observar, por otra parte, unas relaciones dimensionales de la planta que sugieren un cierto acercamiento a la proporción áurea en el trazado definitivo, el que resultó tras las múltiples ampliaciones que sufrió el templo (Fig. 13).

Fotogrametría digital

Una vez realizada la captura geométrica, utilizando para ello la medición del escáner láser, se procedió con el barrido fotográfico completo mediante tomas terrestres 9. Se generó así una maqueta

virtual tridimensional de gran resolución cromática, que complementa a la geometría. La operación aporta una superior fidelidad en cuanto al color 10 y a la caracterización cualitativa de los materiales, necesaria para el análisis posterior de la construcción.

Esta ventaja se reforzó mediante la utilización de aparatos aéreos no tripulados. Éstos permitieron extender la utilización de ambos procesos para documentar las estructuras de las cubiertas que se mantenían en pie y las superficies inaccesibles, sin recurrir a otros costosos medios de elevación como andamios, plataformas o grúas (Fig. 14).

El proyecto de captura completo realizado con las cámaras permitió originar un modelo tridimensional fotogramétrico de alta resolución. La maqueta virtual contaba ahora con una calidad cromática muy superior a la proporcionada por el escáner. La combinación con la métrica de la nube de puntos del láser proporcionó una representación robusta y fiel al objeto en cuanto su geometría y color.

El modelo obtenido como resultado de la fusión de estas dos tecnologías, es copia exacta del edificio, mereciendo el calificativo cada vez



14. Toma aérea del monumento, realizada durante el trabajo
15 y 16. Modelo 3D 'gemelo digital'

14. Aerial shot of the monument, taken during work
15 and 16. 3D 'digital twin' model

más utilizado de “gemelo digital” (Fig. 15 y 16). El procesamiento de éste permitió la elaboración de ortomosaicos de los alzados exteriores e interiores del edificio, que constituyeron la base de las representa-

ciones planimétricas de los alzados y las secciones (Fig. 17). Desde una dimensión arqueológica, los alzados obtenidos por orto proyección fotográfica, constituyeron la base para la datación de los paramen-

to discarding the hypotheses about the metrology of the original layout of the temple walls, promoted by the campaign of archaeological excavations carried out. On the other hand, some dimensional relationships of the plan can be observed that suggest a certain approach to the



15



16

golden ratio in the final layout, which resulted after the multiple expansions that the temple underwent (Fig. 13).

Digital photogrammetry

Once the geometric capture was made, using the laser scanner measurement, the complete photographic scan was carried out using ground shots 9. A three-dimensional virtual model with high chromatic resolution was thus generated, which complements the geometry. The operation provides superior fidelity in terms of color 10 and qualitative characterization of the materials, necessary for the subsequent analysis of the construction.

This advantage was reinforced through the use of unmanned aerial devices. These allowed the use of both processes to be extended to document the structures of the roofs that remained standing and the inaccessible surfaces, without resorting to other expensive lifting means such as scaffolding, platforms or cranes (Fig. 14). The complete capture project carried out with the cameras allowed us to create a high-resolution three-dimensional photogrammetric model. The virtual model now had a chromatic quality much higher than that provided by the scanner. The combination with the laser point cloud metrics provided

17. Alzados obtenidos por orto proyección del modelo fotogramétrico

tos. Está fue descrita gráficamente mediante planos que diferencian las épocas constructivas utilizando colores (Fig. 3).

A este proceso se sumaron todos los recursos del lenguaje gráfico utilizados para la representación arquitectónica. Finalmente fue el pensamiento humano el que tomó las decisiones con criterios de valoración derivados del análisis consciente. El levantamiento se completó con otras tres colecciones de fotografías que tradicionalmente se utilizan en los métodos manuales. Estas se corresponden con las tomas generales del conjunto del edificio, las de paños completos de fachada para su rectificación y las de detalles y de elementos significativos 11.

Análisis de los resultados

Los estudios específicos tuvieron como resultado una documentación que hizo posible analizar con precisión las formas y las medidas

17. Elevations obtained by ortho projection of the photogrammetric model.

de las estructuras arquitectónicas, así como las alteraciones que estas presentaban. Permitieron conocer los desperfectos formales con los que contaba este templo. Entonces pudimos conocer las huellas dejadas sobre sus lienzos por el transcurso del tiempo, sus alteraciones formales y los deterioros que afectaban a su geometría. En concreto, se pudieron cuantificar métricamente sus patologías como los desplomes y los agrietamientos de los muros.

Gracias a ellos fue posible interpretar las causas que han puesto en riesgo su estabilidad. De esta forma se establecieron las estrategias y acciones constructivas necesarias para acometer la consolidación y la recuperación del edificio.

El fin último del estudio consistió en dar soporte al proyecto de recuperación del edificio (Fig. 18). Una intervención que se realizó sobre una edificación en estado semirruinoso y que consistió en la rehabilitación de sus elementos





constructivos y en la transformación funcional necesaria para ser usada como aula de astronomía, incluyendo también otros usos de carácter cultural. Según los autores del proyecto su interior se ha convertido en una gran caja oscura de escala arquitectónica (Fig. 19, 20), similar a la de una cámara fotográfica. Esta reproduce en su interior, a través de un orificio, las imágenes del exterior. Para ello se han estudiado en profundidad el funcionamiento de la visión y el comportamiento de la luz utilizando como base el “gemelo digital” realizado.

Conclusiones

La documentación digital generada, combinando la técnica láser 3D con las técnicas de fotogrametría terrestre y aérea, constituyeron una herramienta esencial de apoyo para realizar los estudios previos a la intervención en este edificio. El modelo virtual obtenido fue una herramienta gráfica de enorme precisión y fiabilidad métrica y cromática. La base obtenida permitió el análisis y el conocimiento formal y métrico del edificio.

Por otro lado, este procedimiento resultó ser muy adecuado para conocer la evolución histórica, el análisis de las deformaciones y de las patologías; y fue indispensable para abordar el riguroso estudio metroológico y geométrico necesarios.

Otra ventaja de esta metodología fue la capacidad de aproximación pormenorizada a los edificios patrimoniales sin tocarlos, por lo que no se produjeron alteraciones en el objeto de estudio. Gracias a la eficacia y a la rigurosidad de la documentación que proporciona tuvimos conocimiento de alteraciones y patologías que eran prác-

ticamente inaccesibles mediante medios manuales.

En último término, el trabajo de investigación realizado propició la puesta en valor de un patrimonio monumental que pasaba inadvertido. Demostró ser un adecuado mecanismo que contribuyó a sensibilizar a las administraciones públicas y a la sociedad en su conjunto. En definitiva, impulsó la requerida actuación de recuperación del bien. Gracias a las intervenciones realizadas, en la actualidad, “San Pedro Cultural” es el tercer monumento más visitado de la Provincia de Palencia. ■

Notas

1 / Durante los reinados de Felipe III y Felipe IV la capital, Palencia, y Becerril de Campos fueron las únicas partidas de reclutamiento existentes en esta emblemática provincia.

2 / Fue dorado tres años más tarde por Cristóbal de Herrera y Floristán Pérez.

3 / El proyecto y la dirección de las obras fueron realizados por los arquitectos Carlos del Olmo García, Juan del Olmo García y Álvaro Gutiérrez Baños.

4 / El estudio arqueológico, tanto en las labores de campo como en el posterior informe de resultados, fue realizado por la arqueóloga Julia Crespo Mancho.

5 / Se trata de un Láser Faro Focus 3D-120 que utiliza el sistema de medición basado en diferencia de fase, con una precisión nominal de +/- 2mm.

6 / El software Faro Scene® permitió el registro y orientación de todas las nubes de escaneo individuales, para generar una nube de puntos unificada y homogeneizada con una precisión de ajuste menor de 4mm.

7 / Producidos con el programa UVAcad® (software de producción propia del Laboratorio de Fotogrametría de la UVA) desde la nube de puntos global.

8 / Unidad de medida utilizada en el momento de su construcción (1 vara=0,8359m).

9 / Utilizando una cámara digital Olympus EPL1 con 12,3 megapíxeles efectivos y un sensor de 17,3x13,0 mm del tipo Live Mas de alta velocidad, y sensibilidad ISO 100-3200. Todas las imágenes fueron procesadas con el software fotogramétrico Metashape Professional, de Agisoft.

10 / Las capturas de la cámara interna, es claramente insuficiente en cuanto al cromatismo, rango dinámico y definición del detalle. Las fotografías digitales específicas permiten construir el modelo fotogramétrico mediante el “coloreado” de las nubes de puntos.

11 / Para estas labores complementarias la cámara utilizada fue la Nikon D50, con 6,1 megapíxeles del sensor CCD con formato DX.

a robust and faithful representation of the object in terms of its geometry and color.

The model obtained as a result of the fusion of these two technologies is an exact copy of the building, deserving the increasingly used description of “digital twin” (Fig. 15 and 16). The processing of this allowed the elaboration of orthomosaics of the exterior and interior elevations of the building, which constituted the basis of the planimetric representations of the elevations and sections (Fig. 17). From an archaeological dimension, the elevations obtained by orthographic projection constituted the basis for dating the walls. It was described graphically through plans that differentiate the construction periods using colors (Fig. 3). All the graphic language resources used for architectural representation were added to this process. Finally, it was human thought that made the decisions with evaluation criteria derived from conscious analysis.

The survey was completed with three other collections of photographs that are traditionally used in manual methods.

These correspond to the general shots of the building as a whole, those of complete façade panels for rectification and those of details and significant elements 11.

Analysis of the results

The specific studies resulted in documentation that made it possible to precisely analyze the shapes and measurements of the architectural structures, as well as the alterations they presented. They revealed the formal defects that this temple had. Then we were able to see the traces left on their canvases by the passage of time, their formal alterations and the deterioration that affected their geometry. Specifically, their pathologies such as collapses and cracks in the walls could be metrically quantified.

Thanks to them it was possible to interpret the causes that have put its stability at risk. In this way, the necessary strategies and constructive actions were established to undertake the consolidation and recovery of the building.

The ultimate goal of the study was to support the building recovery project (Fig. 18). An intervention that was carried out on a building in a semi-ruined state and



18

that consisted of the rehabilitation of its construction elements and the functional transformation necessary to be used as an astronomy classroom, also including other uses of a cultural nature. According to the authors of the project, its interior has become a large dark box of architectural scale (Fig. 19, 20), similar to that of a photographic camera. This reproduces inside, through a hole, the images from the outside. To this end, the functioning of vision and the behavior of light have been studied in depth using the “digital twin” created as a basis.

Conclusions

The digital documentation generated, combining the 3D laser technique with terrestrial and aerial photogrammetry techniques, constituted an essential support tool to carry out the studies prior to the intervention in this building. The virtual model obtained was a graphic tool of enormous metric and chromatic precision and reliability. The base obtained allowed the analysis and formal and metric knowledge of the building. On the other hand, this procedure turned out to be very suitable for knowing the historical evolution, the analysis of deformations and

Referencias

- CASTELLAZZI, G., D’ALTRI, A.M., DE MIRANDA, S., UBERTINI, F. 2017. *An innovative numerical modeling strategy for the structural analysis of historical monumental buildings*. Engineering Structures, 132, pp. 229-248.
- KWOCZYNSKA, B., PIECH, I., SLEDZ, J., LITWIN, U., OBIREC, P., 2016. The use of terrestrial laser scanning in surveying historic buildings. *Baltic Geodetic Congress (Geomatics)*. Gdansk University of Technology, 2-4 June 2016, Poland.
- GARCÍA VEGA, Blanca y MARTÍN GONZÁLEZ, Juan José. 1977. “Antiguo Partido Judicial de Palencia”. - en MARTÍN GONZÁLEZ, Juan José (dir.): *Inventario artístico de Palencia y su provincia*. Tomo I: *Ciudad de Palencia, Antiguos Partidos Judiciales de Palencia, Astudillo, Baltanás y Frechilla*. Ed. Ministerio de Cultura, Madrid.
- GARCÍA GUINEA, Miguel Ángel. 1998. “El arte románico en Palencia” en *Historia de Palencia*. Tomo I. Diputación provincial de Palencia, Palencia.
- MARTÍNEZ RUBIO, José., FERNÁNDEZ MARTÍN, Juan José, SAN JOSÉ ALONSO, José Ignacio. 2018. Implementación de escáner 3D y fotogrametría digital para la documentación de la iglesia de la Merced de Panamá, *Revista EGA*, vol. 23, núm. 32, pp. 208-219.
- PORTELA SANDOVAL, Francisco José. 1977. *La escultura del siglo XVI en Palencia*.

18. Fotografía actual de la antigua iglesia de San Pedro

19 y 20. Vistas interiores del edificio rehabilitado y dotado con un nuevo uso

18. Current photograph of the old church of San Pedro

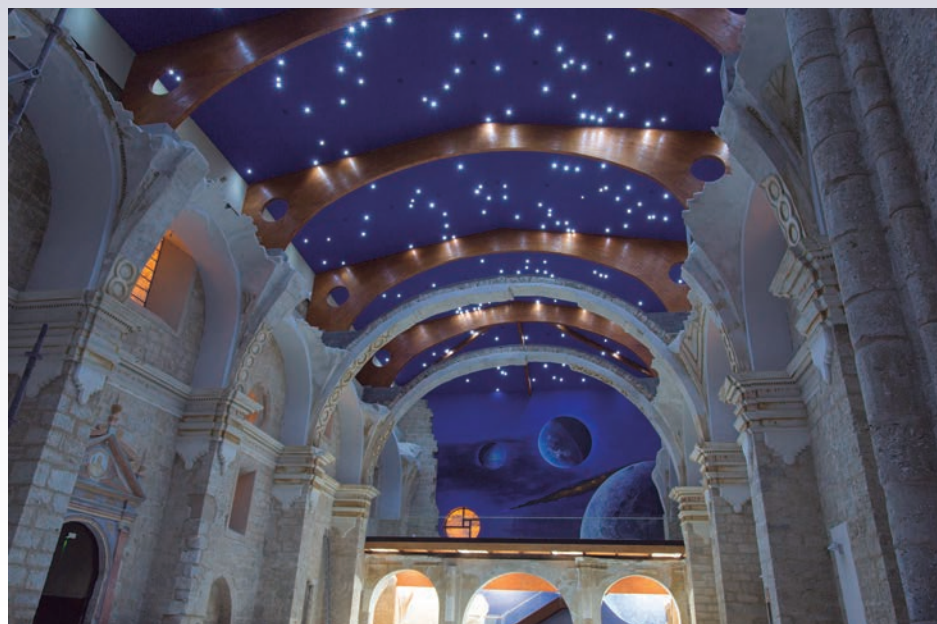
19 and 20. Interior views of the building rehabilitated and given a new use

Ed. Diputación Provincial de Palencia, Palencia.

- REDONDO AGUAYO, Anselmo. 1953. Monografía histórica de la villa de Becerril de Campos y noticia biográfica de sus hijos más ilustres. *Publicaciones de la Institución Tello Téllez de Meneses*, (9), pp. 29-216.
- RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Antonio José. 2013. “Los hombres de la guerra. El reclutamiento”. En L. A. Robot García (dir.) *Historia Militar de España, Tomo III, Edad Moderna*, vol. II, *Escenario Europeo*, Madrid, p. 192.
- ZALAMA RODRÍGUEZ, Miguel Ángel. 1990. *La arquitectura del siglo XVI en la provincia de Palencia*. Ed. Diputación Provincial de Palencia, Palencia.



19



20

pathologies; and it was essential to address the rigorous metrological and geometric study necessary.

Another advantage of this methodology was the ability to approach the heritage buildings in detail without touching them, so there were no alterations to the object of study. Thanks to the effectiveness and rigor of the documentation it provides, we became aware of alterations and pathologies that were practically inaccessible through manual means.

Ultimately, the research work carried out led to the enhancement of a monumental heritage that went unnoticed. It proved to be an adequate mechanism that contributed to raising awareness among public administrations and society as a whole. In short, it promoted the required action to recover the property. Thanks to the interventions carried out, currently, "San Pedro Cultural" is the third most visited monument in the Province of Palencia. ■

Notes

- 1 / During the reigns of Philip III and Philip IV the capital, Palencia, and Becerril de Campos were the only recruiting units in this emblematic province.
- 2 / It was gilded three years later by Cristóbal de Herrera and Floristán Pérez.

3 / The project and the direction of the works were carried out by the architects Carlos del Olmo García, Juan del Olmo García and Álvaro Gutiérrez Baños.

4 / The archaeological study, both in the field work and in the subsequent report of results, was carried out by archaeologist Julia Crespo Mancho.

5 / This is a Faro Focus 3D-120 Laser that uses the measurement system based on phase difference, with a nominal precision of +/- 2mm.

6 / The Faro Scene© software allowed the registration and orientation of all individual scan clouds, to generate a unified and homogenized point cloud with a fit accuracy of less than 4mm.

7 / Produced with the UVAcad® program (software produced by the UVA Photogrammetry Laboratory) from the global point cloud.

8 / Unit of measurement used at the time of its construction (1 vara=0.8359m).

9 / Using an Olympus EPL1 digital camera with 12.3 effective megapixels and a high-speed 17.3x13.0 mm Live Mas type sensor, and ISO 100-3200 sensitivity. All images were processed with the photogrammetric software Metashape Professional, from Agisoft.

10 / The captures from the internal camera are clearly insufficient in terms of chromaticism, dynamic range and definition of detail. Specific digital photographs allow the photogrammetric model to be built by "coloring" the point clouds.

11 / For these complementary tasks, the camera used was the Nikon D50, with a 6.1 megapixel CCD sensor with DX format.

References

- CASTELLAZZI, G., D'ALTRI, A.M., DE MIRANDA, S., UBERTINI, F. 2017. *An innovative numerical modeling strategy for the structural analysis of historical monumental buildings*. Engineering Structures, 132, pp. 229-248.
- KWOCZYNSKA, B., PIECH, I., SLEDZ, J., LITWIN, U., OBIREC, P., 2016. The use of terrestrial laser scanning in surveying historic buildings. *Baltic*

Geodetic Congress (Geomatics). Gdansk University of Technology, 2-4 June 2016, Poland.

- GARCÍA VEGA, Blanca y MARTÍN GONZÁLEZ, Juan José. 1977. "Antiguo Partido Judicial de Palencia". - en MARTÍN GONZÁLEZ, Juan José (dir.): *Inventario artístico de Palencia y su provincia*. Tomo I: *Ciudad de Palencia, Antiguos Partidos Judiciales de Palencia, Astudillo, Baltanás y Frechilla*. Ed. Ministerio de Cultura, Madrid.
- GARCÍA GUINEA, Miguel Ángel. 1998. "El arte románico en Palencia" en *Historia de Palencia*. Tomo I. Diputación provincial de Palencia, Palencia.
- MARTÍNEZ RUBIO, José., FERNÁNDEZ MARTÍN, Juan José, SAN JOSÉ ALONSO, José Ignacio. 2018. Implementación de escáner 3D y fotogrametría digital para la documentación de la iglesia de la Merced de Panamá, *Revista EGA*, vol. 23, núm. 32, pp. 208-219.
- PORTELA SANDOVAL, Francisco José. 1977. *La escultura del siglo XVI en Palencia*. Ed. Diputación Provincial de Palencia, Palencia.
- REDONDO AGUAYO, Anselmo. 1953. Monografía histórica de la villa de Becerril de Campos y noticia biográfica de sus hijos más ilustres. *Publicaciones de la Institución Tello Téllez de Meneses*, (9), pp. 29-216.
- RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Antonio José. 2013. "Los hombres de la guerra. El reclutamiento". En L. A. Robot García (dir.) *Historia Militar de España, Tomo III, Edad Moderna*, vol. II, *Escenario Europeo*, Madrid, p. 192.
- ZALAMA RODRÍGUEZ, Miguel Ángel. 1990. *La arquitectura del siglo XVI en la provincia de Palencia*. Ed. Diputación Provincial de Palencia, Palencia.