

Knowing the architectural heritage through graphic survey: the castle of Ademuz

The castle of Ademuz constitutes a relevant heritage value of this Spanish town and of the Rincón de Ademuz municipal district and is a key element to understand the configuration of the village and its importance as a defensive town throughout history. However, the lack of documents about the castle and its lamentable condition make it a largely unknown monument. Actions are currently implemented to reverse this alarming situation and the drafting of the Master Plan of the Castle of Ademuz has been the first step to raise awareness about its recovery and enhancement. The Master Plan has summarized the existing documentary information about the castle and its legal and urban situation as a step prior to its constructive and formal analysis. The graphic survey carried out in the drafting of the Master Plan constitutes an unpublished knowledge contribution on this property, which has allowed us to establish hypotheses about its compositional traces

and to guide the lines of action for its recovery. This unprecedented graphic survey will also allow defining each of the lines of action of the Master Plan, from the structural consolidation of the remains of the castle to the conditioning of the spaces that surround it, as well as its cultural dissemination through the new digital technologies linked to virtual reality and augmented reality, among others. The objective is to enhance this architectural heritage through its knowledge and dissemination, so that this legacy is preserved for future generations.



Irene de la Torre Fornés
Master's Degree in Conservation of Architectural Heritage of the Universitat Politècnica de València (UPV). Phd Architect and Assistant professor of the UPV Architectural Graphic Expression Area. Member of the Color in Architecture Research Group of the UPV Heritage Restoration Institute. Her research focus on color and heritage ceramics in architecture.



Javier Cortina Maruenda
Department of Architectural Graphic Expression, Universitat Politècnica de València. Assistant professor and member of the Heritage Restoration Institute and the Color in Architecture Research Group. His main lines of research include the relationship between photography and architecture, as well as the architecture of the Modern Movement.



David Marcos González
Master's Degree in Architecture Research of the University of Valladolid (ETSAVA). Phd Architect. ETSAVA adjunct professor. Expert in documentation, survey and disclosure of heritage. Responsible for graphic design and execution of digitization and compilation and editing actions. Specialist in creating virtual visits.

Keywords:

Castle of Ademuz; architectural heritage; graphic survey; photogrammetry; laser scanner

INTRODUCTION

The castle of Ademuz is a fortress declared an Asset of Cultural Interest and constitutes an outstanding value for the heritage of the town and for the entire Rincón de Ademuz region. However, the scarce documentary records and the poor state that the castle has reached to this day also contributes to make it a largely unknown monument. The lack of use of the monument, the inexistence of effective conservation measures during the last decades and the development of improper actions (such as the location, in the area where the “celloquia” of the castle was possibly located, of a water tank built in the second half of the 20th century) have distorted its cultural and historical content. All these circumstances have mobilized public and private entities closely related to the monument to promote actions aimed at its preservation, study and dissemination, so that this situation of ignorance and certain “abandonment” of this cultural heritage can be visible and redirected.

The drafting of the Ademuz Castle Master Plan by a multidisciplinary team has been the first step towards its recovery and enhancement. Through this Master Plan, the fundamental strategies are established to guarantee the conservation of the complex through rigorous planning, which also includes the possibilities of enhancement, landscape and environmental recovery and dissemination and knowledge by the public. These actions must necessarily be based on a prior analysis of the characteristics of the castle of Ademuz, which includes both the historical-constructive aspect of the castle and the physical and social context in which it is inserted. Thus, the compendium and sharing of the information available about the Castle, is, without pretending to be the main objective of the Master Plan, an advance in the study of Ademuz Castle, which currently lacks in-depth documentation that sheds light on the real dimension of the site. The compilation of this information (both the previously existing and the one carried out in the drafting phase of the Master Plan) allows to advance in the knowledge of the castle, so can be historically and culturally known, its his-

torical importance.

As an essential part of this document, it has been necessary to carry out a graphic survey of the castle, which was non-existent to this day. This unpublished graphic information constitutes the basis on which the different lines of action proposed in the Plan are based, which is why it is an essential phase in the development of the document. Future virtual reconstructions can be a graphic tool in the development and consolidation of new interpretative hypotheses of this archaeological site, as has been shown in numerous studies (Aparicio-Resco et al., 2021, Valle et al., 2022, Russo et al., 2022).

THE CASTLE OF ADEMUZ

Ademuz is the capital of the Rincón de Ademuz region, located in the extreme northwest of the Valencian Community, bordering the regions of Aragón and Castilla-la Mancha. This particular location -bordering between ancient kingdoms- together with the special orographic conditions of the surroundings, favoured the establishment of the defensive architecture that constituted the castle of the town. Its location corresponds to the top of the Zafranés mountain, on the slope of which the population centre of Ademuz has developed and from which a wide panoramic view of the surroundings can be seen (Fig. 1 and Fig. 2).



Fig. 1. Aerial view of the remains of the castle of Ademuz and the hermitage of Santa Bárbara.

Fig. 2. View of the town of Ademuz and its castle from the local cemetery.

Fig. 3. General view of the north wall of the castle of Ademuz.



In the absence of a detailed archaeological study, which is currently lacking, the first references to a fortification in this location date from the time of the Muslim domination. Thus, the Arab sources of the 12th century already cite the fortresses of Ademuz and the nearby town of Castielfabib, the other historic town of the region, among the catalog of important fortifications distributed in the eastern peninsular or *Sharq al-Andalus* (López Elum, 2002). The castle of Ademuz was composed by a series of elements and constructions that were erected throughout history for the defence of the city and the control of its territory. After the first conquest of the town by Pedro II of Aragon in 1210 and the subsequent conquest by Jaime I of Aragon in 1259, the castle played an important role as a frontier fortress throughout the Middle Ages, housing the church of the town, dedicated to San Pedro. This church, located within the walls of the town, must not have been a very ambitious building, as it only consisted of a main chapel and four side chapels, with a sacristy and bell tower (Eslava, 2001). In addition to the castle itself, the other important defensive element in medieval times was the walls that surrounded and protected the town, and which formed part of the defensive complex. Thus, we find historic buildings located within the contour of the medieval walls, such as three historic ovens (Eslava, 2007), the old Municipal Prison and the



Fig. 4. Aerial view of the remains of the Santa Bárbara hermitage.

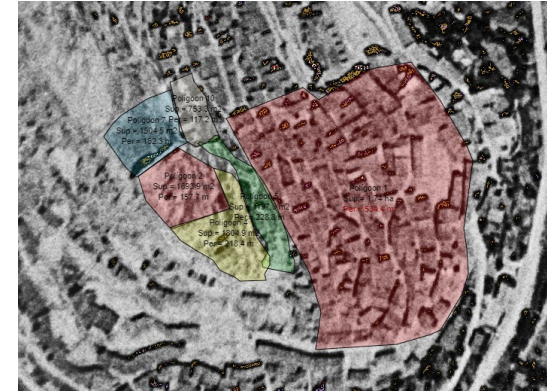


Fig. 5. Signaling of the castle enclosures, according to archaeologist Rafael Martínez-Porrá. In pink: Walled enclosure 1 or celloquia. In yellow: Walled Enclosure 2 or Major Enclosure. In green: Walled enclosure 3 or Albacar. In pink, Walled enclosure 4 or Villa.

Gothic chapel of San Joaquín, as well as certain buildings of austere appearance, but which have the value of popular vernacular architecture.

Fig. 6. Total station with Trimble SX10 3D scanner located in the working area for the measurement of reference targets.

Throughout the Middle Ages there were several interventions and repairs, reflected in the workbooks kept in the Archive of the Kingdom of Valencia, which reveal the care taken to keep it in good condition. Finally, the earthquake of June 7, 1656, ruined much of the castle (Fig. 3), as well as the old church of San Pedro, which were rendered useless (Eslava, 2001, 2009).

Fig. 7. Leica RTC 360 equipment during the scanning process of the fortress ruins.

Subsequently, on the remains of the original parish church was built, in the late seventeenth and early eighteenth centuries, the Hermitage of Santa Bárbara, whose remains can still be seen today in its original location, being the most recognizable of the set (Fig. 4).



In conclusion, the fortress must have met the typical design criteria of the Middle Ages, but scant remains have survived: the remains of two towers -probably the barbican tower and a watchtower of the celloquia enclosure-, and a piece of what the enclosure of the albacar area should have been, all them heavily deteriorated. (Fig. 5). As mentioned above, it is worth noting the relatively recent implantation of a water tank in the presumed location of the celloquia enclosure of the castle which strongly distorts its joint reading and the understanding of its original structure.

METHODOLOGY

As indicated, the graphic survey of the current state of the castle has not been carried out in a rigorous manner until now, and this is one of the pillars on which the Master Plan is based. From between the two ways offered by digital photogrammetry -the rectification method and the restitution method (Rodríguez-Navarro and Gil-Piqueras, 2019)- the photogrammetric restitution method has been chosen to generate a high-precision 3D model. To carry out such a graphic survey, it has been necessary the previous analysis of the existing ruins of the fortress as well as the orography of the nearby environment, in order to determine the most appropriate techniques for this purpose. Given that the castle is located at the top of the Zafranés mountain, photogrammetric documentation has been considered using two different but complementary techniques to obtain a complete 3D model of the entire surface, with the greatest possible coverage. the use of a terrestrial laser scanner to obtain a point cloud model of the area, on the one hand, and the carrying out of several photogrammetric flights, over the high part of the hill and the most inaccessible areas, using a drone, performing a zenithal flight and oblique flight.

In order to make the connection between the two models, laser scanner and aerial photogrammetry, a series of targets were placed throughout the area, between the ground and the vertical faces of the existing buildings, to be used as reference elements and ensure perfect alignment between the two models. These reference targets were measured with a Trimble SX10 3D scanner total station (Fig. 6).

Use of terrestrial laser scanner

For the 3D terrestrial digitization of the castle and its surroundings, a Leica RTC360 laser scanner of spherical range has been used (Fig. 7), located in accessible areas, which has made it possible to document and capture the environment and the

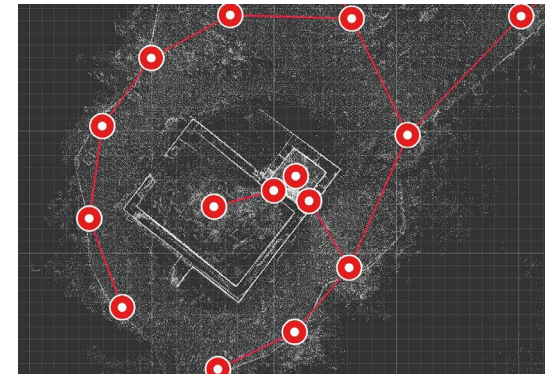
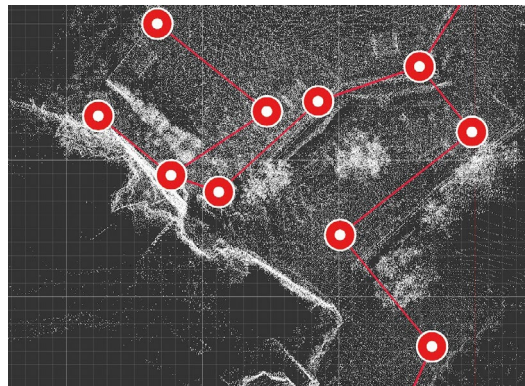
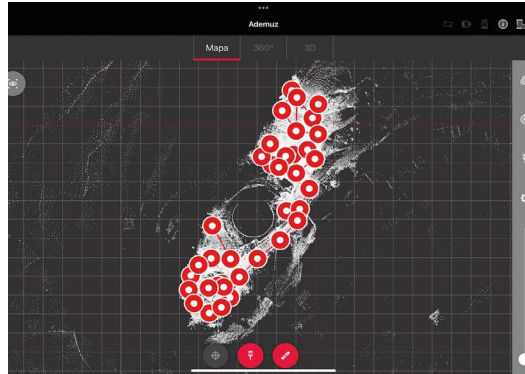


Fig. 8. Plan distribution of the scans performed. Visualization from the Leica Cyclone FIELD 360 mobile app.

Fig. 9. Plan distribution of the scans made for the documentation of the hermitage of Santa Bárbara.

Fig. 10. Plan distribution of the scans performed closest to the ruins in the northern zone.

remains of the buildings easily and quickly. This is a very efficient equipment in the fieldwork phase, since it is capable of tracking or monitoring the environment thanks to the Inertial Vision System (VIS) it incorporates, formed by a set of cameras distributed around the outside of the scanner. These cameras are capturing information about the environment at all times, and together with the compass, GPS and inclinometer that it incorporates, that allows it to know the position of the scanner at all times, even when we move from one scanning position to another.

This system facilitates the subsequent processing or alignment of the data, as it performs a pre-reg-

istration of the scans in real time. This scanner allows real-time pre-registration of the scans, and can capture up to 2 million points per second and spherical images in High Dynamic Range (HDR). The data acquisition process is performed using a tablet device with the Leica Cyclone FIELD 360 app, allowing you to visually control or monitor the progress of the scans, the alignment between scans and even optimise the registration setting. All this has reduced the post-processing time to obtain the complete point cloud model (Fig. 8).

The scanned area, which was accessible, can be defined in two zones: that of the hermitage of Santa Bárbara and the area of the remains of the

fortress. A total of 38 scans of approximately 45 million points each were made with a resolution of one point every 6 mm at a distance of 10 m from the origin of the scan. In the area of the hermitage of Santa Bárbara, a total of 14 scans were taken, distributed between the exterior and the interior, being completely registered and its geometry perfectly defined, in the absence of the upper face of the walls, whose information will be completed with the photogrammetric flights (Fig. 9).

In the area of the remains of the fortress, a total of 24 scans have been made, distributed mainly in the north and east areas (Fig. 10). In the west zone, due to the orography of the terrain, it has not been possible to place any scanning, and in the south zone neither due to the impossibility of accessing the fenced enclosure of the water tank. Even so, the point cloud model is quite complete, and the non-scanned areas can be complemented with the point cloud obtained with the photogrammetric flights.

The result is an ensemble point cloud obtained with the Leica RTC360 scanner with an approximate size of 1400 million colour points. This point cloud was exported in the universal E57 format for use in any point cloud viewing or editing program.

Data acquisition with drone by photogrammetric flights

For the photogrammetric flights we used the drone dji Phantom 4 Pro V2 (Fig. 11). It is a quadcopter aerial vehicle, equipped with a camera with a 1" CMOS sensor and 20 Mpx. The camera is placed on a 3-axis stabilization system. The drone was equipped with a RTK positioning system to ensure a highly accurate GPS positioning result. RTK is a technique used to improve the accuracy of a stand-alone GNSS receiver. In RTK two receivers are used, one of them is stationary (Trimble GPS located on the ground) and the other one moves freely (dji Phantom 4 Pro V2 drone). The first is called a base station and the second a rover. The mission of the base station is to stay in one place and send corrections to a moving receiver. The rover uses this data to obtain a centime-

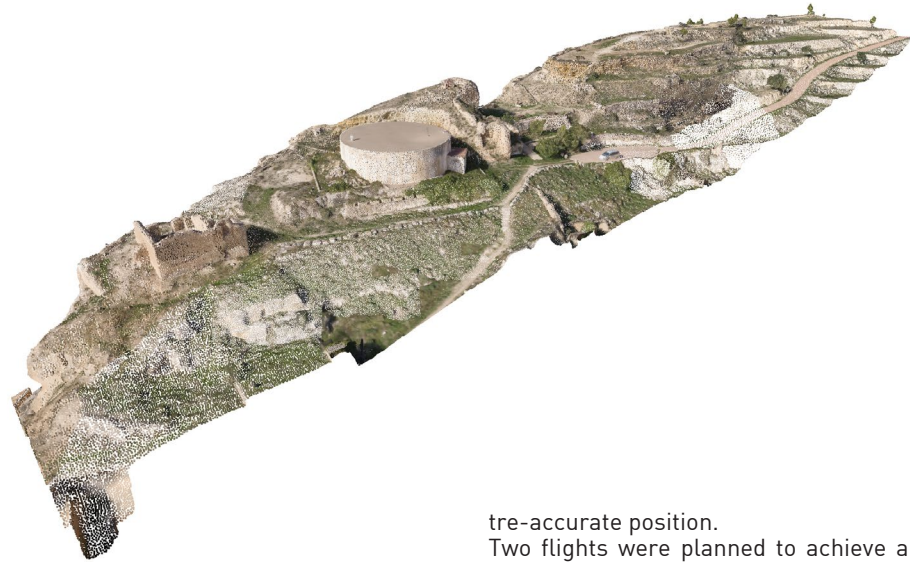


Fig. 11. Drone dji Phantom 4 Pro V2 before flight start and Trimble GPS.-

Fig. 12. Screenshot of the zenithal flight planning.

Fig. 13. 3D model obtained from the zenithal photogrammetric flight of the dji Phantom 4 Pro V2.

tre-accurate position.

Two flights were planned to achieve a complete and defined photogrammetric model. The characteristics that define each flight are determined by the capture area and the level of detail. The first flight plan (Fig. 12) was an automatic zenithal flight (camera focused perpendicular to the ground) using a double grid at a height of 30 m with a longitudinal overlap of 85% and a transverse overlap of 80%. The photographed area was 1.29 ha with a pixel resolution (GSD) of 0.82 cm/px. This flight

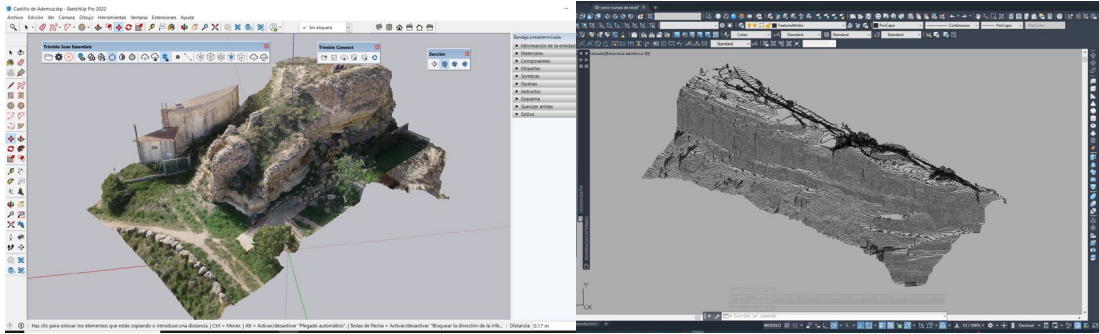


Fig. 14. Editing the point cloud within the SketchUp software.

Fig. 15. Generation of profiles of the point cloud model of the castle hill within the AutoCAD program.

Fig. 16. Elevation orthophoto of the remains of the castle tower obtained from the point cloud mode.

was made up of 669 photographs that were taken in RAW format so that they could later be digitally developed to achieve the best results in terms of white balance, shadows and lighting. The correct positioning of images, their relative orientation, is an essential aspect of photogrammetry, not without its difficulties (Benavides et al., 2020).

The result of this flight was a point cloud model and a triangle mesh, both coloured, of the whole area marked in the flight plan. The point cloud was exported in E57 format and the triangle mesh in obj format with texture.

The second flight plan was an oblique flight, executed manually, in the area of the ruins of the castle and the ruins of the Santa Bárbara hermitage. This flight was performed in order to obtain more detailed photogrammetric models of the vertical surfaces, as the flight distance of the drone with respect to the objects ranged between 5-15 m and the position of the camera is not so skewed with respect to the vertical surfaces in comparison with the zenithal flight. During this flight, 285 photographs were taken, also in RAW format.

Once both laser scanner and aerial photogrammetry models were obtained, they were aligned with each other to obtain a single model in colour point cloud and textured triangle mesh. For this purpose, as mentioned above, targets were placed on all the surfaces of the ruins of the buildings and scattered on the ground as references between the two models. These references or targets were measured with a Trimble SX10 total station. This equipment is capable of capturing any combination of high-density 3D scanning data, image acquisition data with upgraded Trimble VISION™ technology, and high-precision total station data.

RESULTS

The generated 3d model (Fig 13.) is a digital twin or an exact copy, geometrically and in texture, of the real object. This makes it possible to study any element of the castle and its surroundings and analyze the data in a comprehensive way at any time and place without having to travel to the

location of the building. The generated 3D model has been exported in several formats to be able to work in different programs and facilitate the creation of complementary documentation. It has been exported in E57 format to be able to work in any point cloud viewer or editor, such as SketchUp and the Trimble Scans Essentials extension (Fig. 14), or in RCP format to be able to work in AutoCad or Revit assisted drawing programs (Fig. 15). In this way, these models have been used to obtain all the necessary planimetric documentation: orthophoto of the defined area (Fig. 16, Fig. 17), general and detailed elevations of the ruins (Fig. 18) manufacture of models using 3D printers and digital models (Fig. 19) optimised for virtual reality and augmented reality systems.. In addition, this point cloud of the complex has been uploaded to a web viewer that enables the analysis of the model and visualization from any place or device (Fig. 20, Fig.21), thus facilitating the dissemination of the data. In addition, the photographic record made for the graphic survey itself constitutes an unpublished document of great visual value, which allows us to appreciate the castle from unusual points of view, contributing to generate a more global knowledge about it.

Graphic representation provides the necessary tools to carry out inventories of architectural heritage in rural regions with the aim of promoting tourism, the economy, protection and conservation (Quintilla-Castán & Agustín-Hernández, 2022), which is particularly interesting in low population areas as Ademuz, located in what is commonly referred to "emptied Spain". On the other hand, to the graphic survey of the current ruins of the castle one must add the enormous

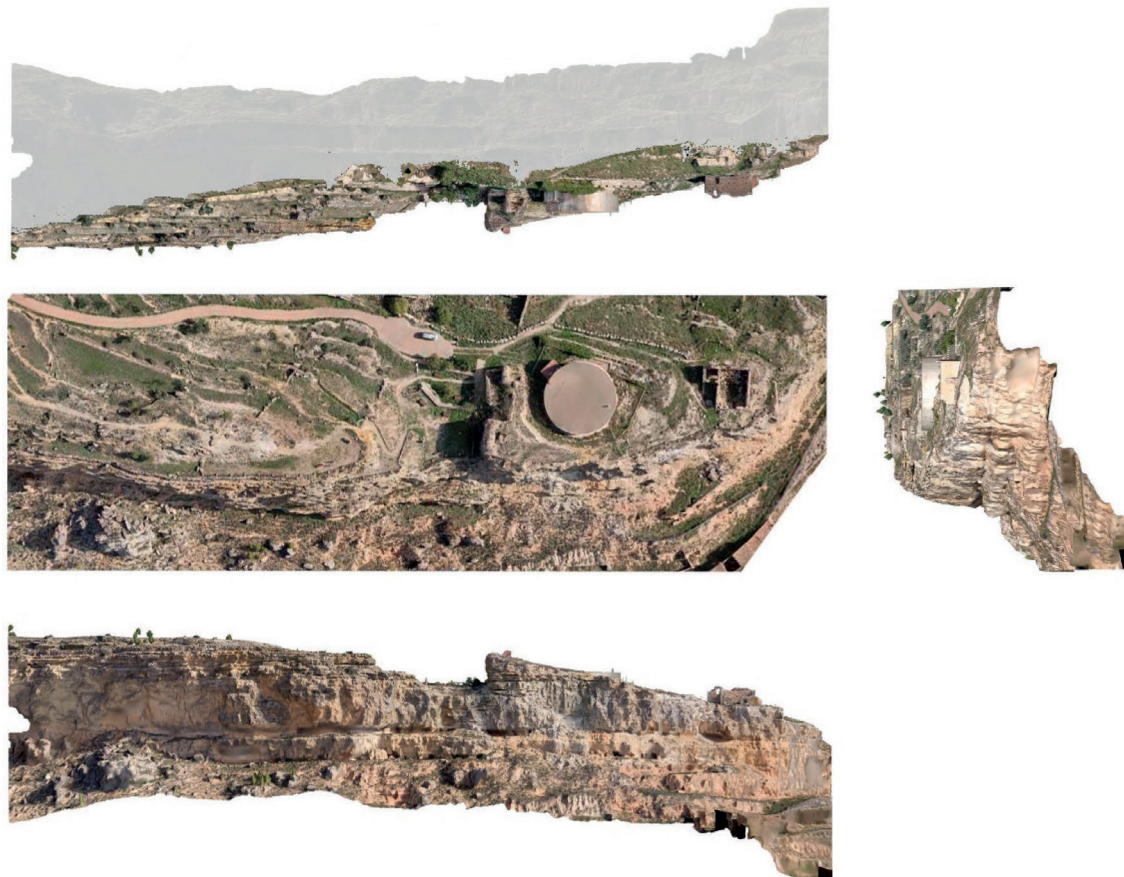


Fig. 17. Plan and elevation orthophotos of the point cloud model of the castle surroundings.

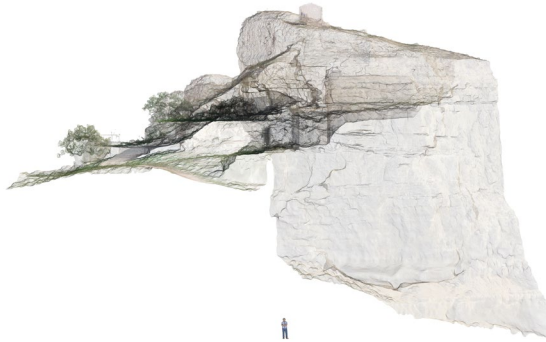


Fig. 18 Castle elevation test.

Fig. 19. Views of the 3d point cloud model of the castle core.

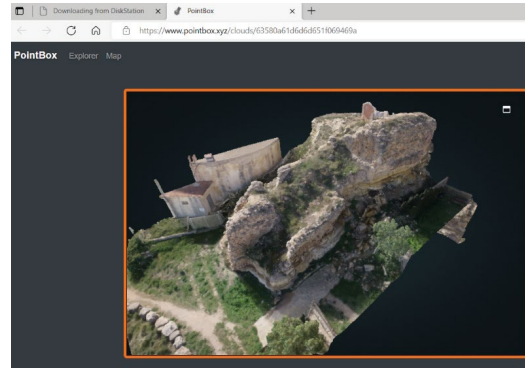
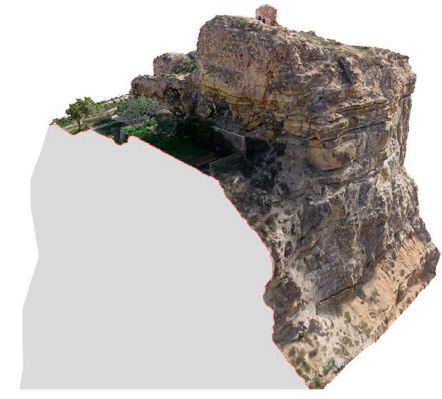


Fig. 20. Screenshot of the PointBox web viewer that allows to analyze and view the point cloud from any electronic device.



Fig. 21. Screenshot of the PointBox web viewer.



possibilities of the digital world to “incorporate the time factor” (San José, 2018), making possible a journey into the past of this fortress through representations that raise the hypothesis of the state of the complex in its different phases. These virtual models allow us to document the heritage through textured three-dimensional models that can be disseminated via the Internet (Cabezas & Rossi, 2017) and because of their flexibility to be modified, they are a perfect tool for reinterpreting this heritage, especially in buildings that have almost disappeared (Cabezas; Montes, 2019). Even

<http://disegnarecon.univaq.it>

more: new digital tools and applications, such as Augmented Reality (Llopis et al. 2017) take a step beyond the mere graphic reconstruction of the property, allowing immersive virtual tours and offering a global and interactive experience. Currently, interesting studies on Interactive Virtual Reality applications for a better knowledge of Spanish Mediterranean Fortress-Castles have been carried out (Val & Soler-Estrela, 2021), which is particularly appropriate for almost non existing monuments. The easy accessibility and attractiveness of these tools, with great potential to connect

DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.26>

with a larger number of people, are aspects of great interest especially in terms of knowledge, dissemination and enhancement of heritage.

CONCLUSIONS

The graphic data collection carried out, both of the wall remains of the castle and those of the hermitage of Santa Bárbara, located within the enclosure, has been effective and adequate for the intended purposes, since they illustrate in detail

REFERENCES

- Aparicio-Resco, P.; García Álvarez-Busto, A.; Muñoz-López, I.; Fernández-Calderón, N. (2021). 3D virtual reconstruction of the Gauzón Castle (Castrillón, Principado de Asturias). *Virtual Archaeology Review*, 12(25), 158–176. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14940>
- Benavides López, J. A.; Martín Civantos, J. M. & Rouco Collazo, J. (2020). Architectural survey and archaeological analysis of the Piñar Castle as a starting point for its conservation. *Virtual Archaeology Review*, 11(22), 95–115. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12397>
- Cabezas Expósito, M. & Montes Tubío, F. de P. (2019). Reconstrucción virtual de la fortaleza bajomedieval de Aguilar de la Frontera. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 24(35), pp. 236–247. doi: 10.4995/ega.2019.10200.
- Cabezas Bernal, P. M. & Rossi, A. (2017) Técnicas de musealización virtual. Los capiteles del Monasterio de San Cugat. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22(29), pp. 48–57. doi: 10.4995/ega.2017.7340.
- Eslava Blasco, R. (2001). La primitiva iglesia parroquial de san Pedro de Ademuz. *Revista Ababol*, nº 26. Instituto Cultural y de Estudios del Rincón de Ademuz. Ademuz, Pp. 20-30.)
- Eslava Blasco, R. (2007). Ademuz y su patrimonio histórico-artístico. Ademuz. Pp. 240-243.
- Eslava Blasco, R. (2009). El terremoto de Ademuz del año 1656: un nuevo documento. *Revista Ababol*, nº 59. Instituto Cultural y de Estudios del Rincón de Ademuz. Ademuz., Pp. 8-15.
- López Elum, P. (2002). Los castillos valencianos en la Edad Media (materiales y técnicas constructivas). Valencia. Dos volúmenes. Vol. I.
- Llopis Verdú, J.; Martínez Piqueras, J.F.; Baviera Llópez, E. M. (2017). Herramientas digitales y virtuales para la difusión del patrimonio inmaterial de Fontilles. En Llopis Verdú, J. (Ed). *Arquitectura y paisaje en el sanatorio de Fontilles*. Ed. Universitat Politècnica de València. Valencia.
- Quintilla-Castán, M. & Agustín-Hernández, L. (2022). Generation of a digital archive of heritage, with drones in rural areas. *Disegnarecon* 15(29). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.29.2022.8>
- Rodríguez-Navarro, P. & Gil-Piqueras, T. (2019). La fotogrametría arquitectónica en el levantamiento del patrimonio. En López González, C y Gil-Piqueras (Eds). *Patrimonio olvidado. La iglesia de Santiago Apóstol de Benicalaf*. Ed. General de Ediciones de Arquitectura. Valencia.
- Russo, M.; Panarotto, F.; Flenghi, G.; Russo, V.; Pellegrinelli, A. (2022). Ultralight UAV for steep-hill archaeological 3D survey. *Disegnarecon*. 15(29). DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.29.2022.3>
- San José Alonso, J.I. (2018). Levantamiento, tecnología y documentación de la arquitectura. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 23(34), pp. 240–251. doi: 10.4995/ega.2018.10937.
- Val Fiel, M. & Soler-Estrela, A. (2021). Interactive Virtual Reality applications for the enhanced knowledge of Spanish Mediterranean Fortress-Castles. *Disegnarecon*. 15(29). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.27.2021.19>
- Valle Abad, P.; Fernández Fernández, A.; Rodríguez Nóvoa, A. A. (2022). Lost archaeological heritage: virtual reconstruction of the medieval castle of San Salvador de Todea. *Virtual Archaeology Review*, 13(26), 22–44. <https://doi.org/10.4995/var.2022.16178>
- Vegas López Manzanares, F. (2001). *Memoria construida: arquitectura tradicional del Rincón de Ademuz*. Fernando Vegas y Camilla Mileto (Eds). Valencia.

Conocer el patrimonio arquitectónico a través del levantamiento gráfico: el castillo de Ademuz

INTRODUCCIÓN

El castillo de Ademuz es un inmueble declarado Bien de Interés Cultural y constituye un valor destacado para el patrimonio de la localidad y para toda la comarca valenciana del Rincón de Ademuz. Sin embargo, la escasez de registros documentales sobre el mismo y el deficiente estado al que ha llegado hasta nuestros días hace lo convierten en un monumento en gran parte desconocido. La falta de uso del monumento, la inexistencia de medidas de conservación efectiva durante las últimas décadas y el desarrollo de actuaciones impropias (como la ubicación de un depósito de agua potable construido en la segunda mitad del siglo XX en la zona donde posiblemente se hallaba la celosía del castillo) han desvirtuado su contenido cultural e histórico. Todas estas circunstancias han movilizad

idades públicas y privadas cercanas al monumento a promover acciones encaminadas a su preservación, estudio y divulgación, a fin de que pueda visibilizarse y reconducirse esta situación de desconocimiento y cierto “abandono” de este bien patrimonial.

La redacción del Plan Director del Castillo de Ademuz por parte de un equipo multidisciplinar ha supuesto el primer paso para concienciar sobre su recuperación y puesta en valor. A través de este Plan Director se establecen las estrategias fundamentales que permitan garantizar la conservación del conjunto mediante una planificación rigurosa, que incluye igualmente las posibilidades de puesta en valor, recuperación paisajística y ambiental y la difusión y conocimiento por parte de la ciudadanía. Estas actuaciones han de apoyarse, necesariamente, en el análisis previo de las car-



Irene de la Torre Fornés Master en Conservación del Patrimonio Arquitectónico de la Universitat Politècnica de València(UPV). Profesora ayudante doctor del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la UPV. Miembro del Grupo de Investigación del Color en la Arquitectura del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV. Investiga sobre cerámica y color en la arquitectura,



Javier Cortina Maruenda Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Universitat Politècnica de València. Profesor ayudante doctor y Miembro del Instituto de Restauración del Patrimonio y del Grupo de Investigación del Color en Arquitectura. Sus líneas de investigación incluyen la relación entre la fotografía y la arquitectura y el Movimiento Moderno.



David Marcos González. Dr. Arquitecto. Profesor asociado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid (ETSAVA). Experto en documentación, levantamiento y divulgación del patrimonio. Responsable del diseño gráfico y ejecución de las acciones de digitalización y compilación y edición. Especialista en creación de visitas virtuales.

Palabras clave:

Castillo de Ademuz; patrimonio arquitectónico; levantamiento gráfico; fotogrametría; escáner láser

acterísticas propias del castillo de Ademuz, que abarca tanto el aspecto histórico-constructivo del mismo como el contexto físico y social en el que se inserta. Así, el compendio y puesta en común de la información disponible al respecto supone, sin pretender ser el objetivo principal al que se destina el Plan Director, un avance en el estudio del Castillo de Ademuz, que carece en la actualidad de una documentación en profundidad que arroje luz sobre la dimensión real del yacimiento. La recopilación de esta información (tanto la previamente existente como la realizada en la fase de redacción del Plan Director) permite avanzar en el conocimiento del castillo, de forma que pueda conocerse, a nivel constructivo y cultural, la lectura histórica de su importancia.

Como parte esencial de dicho documento, ha sido necesario realizar el levantamiento gráfico del castillo, hasta ahora inexistente. Esta información gráfica inédita constituye la base sobre la que se sustentan las diferentes líneas de actuación propuestas en el Plan, por lo que se trata de una fase esencial en el desarrollo del documento. Las futuras reconstrucciones virtuales pueden ser una herramienta gráfica en el desarrollo y consolidación de nuevas hipótesis interpretativas de este yacimiento arqueológico, como se ha demostrado en numerosos estudios (Aparicio-Resco et al., 2021, Valle et al., 2022, Russo et al., 2022).

EL CASTILLO DE ADEMUZ

Ademuz es la capital de la comarca del Rincón de Ademuz, situada en el extremo noroeste de la Comunidad Valenciana, limítrofe entre las comunidades autónomas de Aragón y Castilla la Mancha. Esta particular localización -fronteriza entre antiguos reinos- unida a las especiales condiciones orográficas del entorno, favoreció la implantación de la arquitectura defensiva que constituyó el castillo de la villa. Su ubicación corresponde con la cima del monte de los Zafranes, en cuya ladera se ha desarrollado el núcleo poblacional de Ademuz, -incluso con viviendas con desniveles de hasta cuatro plantas desde su acce-

so superior e inferior (Vegas, 2001) con y desde la cual se divisa una amplia panorámica del entorno (Fig. 1 y Fig. 2).

A falta de la realización de un estudio arqueológico detallado, del que en la actualidad se carece, las primeras referencias a una fortificación sita en esta ubicación datan de la época de la dominación musulmana. Así, las fuentes árabes del siglo XII ya citan las fortalezas de Ademuz y de la vecina localidad de Castielfabib, la otra villa histórica de la comarca, entre el catálogo de fortificaciones de importancia distribuidas en el oriente peninsular o *Sharq al-Andalus* (LÓPEZ ELUM, 2002). El castillo de Ademuz estuvo formado por una serie de elementos y construcciones que fueron erigidos a lo largo de la historia para la defensa de la ciudad y el control de su territorio. Tras una primera conquista de la villa por parte de Pedro II de Aragón el año 1210 y la posterior por parte de Jaume I de Aragón el año 1259, el castillo jugó un importante papel de fortaleza de frontera a lo largo de toda la Edad Media, acogiendo en su seno la iglesia parroquial de la villa, dedicada a San Pedro. Dicha iglesia, situada intramuros de la localidad, no debió ser un edificio muy ambicioso, pues tan solo se componía de capilla mayor y cuatro laterales, con sacristía y campanario (ESLAVA, 2001). Además del castillo propiamente dicho, el otro elemento defensivo de importancia en época medieval fue el cinturón de muralla que cercaba y protegía la villa, y que formaría parte del conjunto defensivo. Así, encontramos edificios históricos emplazados dentro del contorno de las murallas medievales, intramuros, tales como tres hornos históricos (ESLAVA, 2007), la antigua Prisión Municipal y la capilla gótica de San Joaquín, además de ciertas de construcciones de apariencia austera, pero que poseen el valor de la arquitectura popular vernácula.

A lo largo de la Edad Media se sucedieron diversas intervenciones y reparaciones, reflejadas en los libros de obras custodiados en el Archivo del Reino de Valencia, que revelan el cuidado por mantenerlo en buenas condiciones. Finalmente, el terremoto del 7 de junio de 1656 arruinó gran

parte del castillo (Fig. 3), así como de la antigua iglesia de San Pedro, los cuales quedaron inservibles (Eslava, 2001, 2009).

Posteriormente, sobre los restos de la iglesia original, se construyó, a finales del siglo XVII y principios del XVIII, la Ermita de Santa Bárbara, que da nombre al castillo (denominado coloquialmente castillo de Santa Bárbara) cuyos restos todavía hoy pueden apreciarse en su ubicación original, siendo los más reconocibles del conjunto (Fig. 4).

En suma, la fortaleza debió responder a los criterios de diseño típicos de la Edad Media, pero en la actualidad del castillo propiamente dicho apenas se conservan los restos de dos torres —probablemente la torre barbacana y una torre vigía del recinto de celoquia—, así como un lienzo de lo que debiera ser el cierre de la zona de albacar, todo ello fuertemente deteriorado. Como se ha comentado anteriormente, es de destacar la implantación relativamente reciente de un depósito de agua en la presunta ubicación del recinto de la celoquia del castillo, que distorsiona fuertemente su lectura conjunta y la comprensión de su estructura original.

METODOLOGÍA

Como se ha indicado, el levantamiento gráfico del estado actual del castillo, no realizado de forma rigurosa hasta el momento, es uno de los pilares en los que se sustenta el Plan Director. De entre las dos vías que ofrece la fotogrametría digital -el método de rectificación y el método de restitución- (Rodríguez-Navarro y Gil-Piqueras, 2019) se ha optado por el método de restitución fotogramétrica para así generar un modelo 3D de alta precisión. Para llevar a cabo dicho levantamiento gráfico ha sido necesario el análisis previo de las ruinas existentes de la fortaleza así como de la orografía del entorno próximo, a fin de determinar las técnicas más adecuadas para este fin. Dado que, como se ha comentado, el castillo se ubica en la cima del monte de los Zafranes, en cuya ladera se ha desarrollado el núcleo pobla-

cional de Ademuz, se ha considerado realizar la documentación fotogramétrica utilizando dos técnicas diferentes pero complementarias entre sí para obtener un modelo 3d completo de toda la superficie con la mayor cobertura posible: por un lado, el uso de un escáner láser terrestre para obtener un modelo de nube de puntos de la zona, y por otro lado, la realización de varios vuelos fotogramétricos, mediante dron, de la zona más alta del cerro y las zonas más inaccesibles realizando un vuelo cenital y un vuelo oblicuo. Para poder realizar la unión entre los dos modelos, escáner láser y fotogrametría aérea, se colocaron una serie de dianas repartidas en toda la zona, entre suelo y paramentos verticales de las edificaciones existentes, para poderlas utilizar como elementos de referencia y asegurar el alineamiento perfecto entre ambos modelos. Estas dianas de referencia fueron medidas con una estación total con escáner 3D Trimble SX10 (Fig. 6).

Empleo de escáner láser terrestre

Para la digitalización terrestre 3D del castillo y sus inmediaciones se ha utilizado un escáner láser Leica RTC360 de rango esférico (Fig. 7), ubicada en zonas accesibles, que ha permitido documentar y capturar el entorno y los restos de las edificaciones de forma fácil y rápida. Este es un equipo muy eficiente en la fase de trabajo de campo, ya que gracias al Sistema de Visión Inercial (VIS) que incorpora, formado por un conjunto de cámaras repartidas por la parte exterior del escaneo que están capturando información en todo momento del entorno, y junto a la brújula, gps e inclinómetro que incorpora, es capaz de hacer un rastreo o seguimiento del entorno que le permite saber en todo momento la posición del escáner incluso cuando nos desplazamos de una posición a otra de escaneo. Este sistema facilita el posterior procesado o alineamiento de los datos, ya realiza en tiempo real un prerregistro de los escaneos. Este escáner es capaz de capturar hasta 2 millones de puntos por segundo e imágenes esféricas en Alto Rango Dinámico (HDR). El proceso de toma de datos se realiza mediante un dispositivo tipo

tableta con la aplicación Leica Cyclone FIELD 360, lo que permite controlar o supervisar de forma visual el progreso de los escaneos, la alineación entre ellos e incluso optimizar el ajuste del registro. Todo ello ha permitido reducir el tiempo de postprocesado para la obtención del modelo completo de nube de puntos (Fig. 8).

La superficie escaneada y que era accesible, se puede definir en dos zonas: la de la ermita de Santa Bárbara y la zona de los restos de la fortaleza. En total se ha realizado 38 escaneos de aproximadamente 45 millones de puntos cada uno y con una resolución de un punto cada 6mm a una distancia de 10 m desde el origen del escaneo. En la zona de la ermita de Santa Bárbara se han realizado un total de 14 escaneos distribuidos entre el exterior y el interior, quedando completamente registrada y su geometría perfectamente definida, a falta de la cara superior de los muros, cuya información será completada con los vuelos fotogramétricos (Fig. 9).

En la zona de los restos de la fortaleza se han efectuado un total de 24 escaneos repartidos principalmente en la zona norte y este (Fig. 10). En la zona oeste, debido a la orografía del terreno, no se ha podido colocar ningún escaneo, y en la zona sur tampoco por la imposibilidad de acceder al recinto vallado del depósito de agua potable. Aun así, el modelo de nube de puntos es bastante completo, y las zonas no escaneadas se pueden complementar con la nube de puntos obtenida con los vuelos fotogramétricos.

El resultado es una nube de puntos del conjunto obtenida con el escáner Leica RTC360 con un tamaño aproximado de 1400 millones de puntos a color. Esta nube de puntos fue exportada en el formato universal E57 para su utilización en cualquier programa de visualización o edición de nubes de puntos.

Toma de datos mediante vuelo fotogramétricos

Para la realización de los vuelos fotogramétricos se ha utilizado el dron dji Phantom 4 Pro V2 (Fig. 11). Se trata de un vehículo aéreo cuadricóptero, equipado con una cámara fotográfica con un sensor de 1" CMOS y de 20 Mpx. La cámara está colo-

cada en un sistema de estabilización de 3 ejes. El dron está equipado con un sistema de posicionamiento RTK para asegurar un resultado con un posicionamiento gps de gran precisión.

El RTK es una técnica utilizada para mejorar la exactitud de un receptor GNSS autónomo. En el RTK se utilizan dos receptores, uno de ellos está inmóvil (GPS Trimble ubicado en tierra) y el otro se mueve libremente (dron dji Phantom 4 Pro V2). Al primero se le llama estación base y al segundo rover. La misión de la base es permanecer en un lugar y enviar correcciones a un receptor en movimiento. El rover utiliza esos datos para obtener una posición de precisión centimétrica.

En esta fase se planificaron dos vuelos para conseguir un modelo fotogramétrico completo y definido. Las características que definen cada vuelo vienen determinadas por superficie de captura y el nivel de detalle.

El primer plan de vuelo planteado (Fig. 12) fue un vuelo automático cenital (cámara enfocada perpendicular al suelo) realizando en una rejilla doble a una altura de 30 m con un solapamiento longitudinal del 85% y solapamiento transversal del 80%. La superficie fotografiada fueron 1,29 ha consiguiendo una resolución de píxel (GSD) de 0,82 cm/px.

En este vuelo fueron tomadas 669 fotografías en formato RAW para posteriormente poder realizar un revelado digital y conseguir los mejores resultados en cuanto a balance de blancos, sombras e iluminaciones. El correcto posicionamiento de las imágenes, su orientación relativa, es un aspecto esencial de la fotogrametría, no exento de dificultades (Benavides et al, 2020).

El resultado de este vuelo fue un modelo de nube de puntos y una malla de triángulos, ambos de color, de toda la zona marcada en el plan de vuelo. La nube de puntos se exportó en formato E57 y la malla de triángulos en formato obj con textura.

El segundo plan de vuelo planteado fue un vuelo oblicuo, ejecutado de forma manual, en la zona de las ruinas del castillo y las ruinas de la ermita de Santa Bárbara para conseguir unos modelos fotogramétricos de más detalle de los paramentos verticales, ya que la distancia de vuelo del

dron respecto a los objetos oscilaba entre los 5-15 m y la posición de la cámara no está tan sesgada respecto las superficies verticales en comparación con el vuelo cenital. En este vuelo fueron tomadas 285 fotografías, también realizadas en formato RAW.

Una vez obtenidos ambos modelos, escáner láser y fotogrametría aérea, éstos fueron alineados entre sí para obtener un modelo único en nube de puntos de color y en malla de triángulos texturizada. Para ello, como se mencionó anteriormente, se utilizaron como referencias de unión entre ambos modelos unas dianas que fueron colocadas en todas las superficies de las ruinas de las edificaciones y repartidas por el suelo. Estas referencias o dianas fueron medidas con una estación total Trimble SX10. Este equipo es capaz de capturar cualquier combinación de datos de escaneo 3D de alta densidad, datos de adquisición de imágenes con tecnología Trimble VISION™ actualizada, y datos de estación total de alta precisión.

RESULTADOS

El modelo 3d generado (Fig. 13) es un gemelo digital o copia exacta, geoméricamente y en textura, del objeto real. Esto permite estudiar cualquier elemento del castillo y su entorno y analizar los datos de forma exhaustiva en cualquier momento y lugar sin tener que desplazarse hasta la ubicación del edificio. El modelo final se ha exportado en varios formatos para poder trabajar en diferentes programas El modelo 3d generado se ha exportado en varios formatos para poder trabajar en diferentes programas y así facilitar la creación de documentación complementaria. Se ha exportado en formato E57 para poder trabajar en cualquier visualizador o editor de nubes de puntos, como por ejemplo con el programa SketchUp y la extensión Trimble Scans Essentials (Fig. 14), o en formato RCP para poder trabajar dentro de los programas de dibujo asistido AutoCad o Revit (Fig. 15). De esta manera, estos modelos han servido para poder obtener toda la documentación planimétrica necesaria: ortofoto de zona definida (Fig. 16 y Fig. 17), alza-

dos generales (Fig. 18) y de detalle de las ruinas, fabricación de maquetas mediante impresoras 3d (Fig. 19) y modelos digitales optimizados para sistemas de realidad virtual y realidad aumentada. Además, esta nube de puntos del conjunto se ha subido a un visualizador web que facilita el análisis del modelo y visualización desde cualquier lugar o dispositivo (Fig. 20 y Fig. 21), facilitando así los datos para la difusión de los mismos. A ello se suma el registro fotográfico realizado para el levantamiento gráfico en sí mismo, el cual constituye un documento inédito de gran valor visual, que permite apreciar el castillo desde puntos de vista inusitados, contribuyendo a generar un conocimiento más global sobre el mismo.

La representación gráfica proporciona las herramientas necesarias para llevar a cabo inventarios del patrimonio arquitectónico en las comarcas rurales con el objetivo de fomentar el turismo, la economía, la protección y la conservación (Quintilla-Castán y Agustín-Hernández, 2022), lo que resulta especialmente interesante en zonas poco pobladas como Ademuz, situada en lo que comúnmente se denomina “la España vaciada”. Por otro lado, al levantamiento gráfico de los restos actuales del castillo se suman las enormes posibilidades del mundo digital de “incorporar el factor tiempo” (San José, 2018), haciendo posible un viaje al pasado de esta fortaleza a través de representaciones que plantean la hipótesis del estado del conjunto en sus distintas fases. Estos modelos virtuales, permiten documentar el patrimonio mediante modelos tridimensionales texturizados que pueden ser divulgados vía internet (Cabezas y Rossi, 2017) y por su flexibilidad para ser modificados, son una herramienta perfecta para reinterpretar dicho patrimonio, sobre todo en edificios casi desaparecidos (Cabezas & Montes, 2019). Más todavía: las nuevas herramientas y aplicaciones digitales, tales como la Realidad Aumentada (Llopis et al. 2017) dan un paso más allá de la mera reconstrucción gráfica del bien, permitiendo recorridos virtuales inmersivos y ofreciendo una experiencia global e interactiva. En la actualidad, se han realizado interesantes estudios sobre aplicaciones de Realidad Virtual Interactiva para un mejor conocimiento de los Cas-

tillos-Fortaleza del Mediterráneo español (Val y Soler-Estrela, 2021), lo que resulta especialmente apropiado para monumentos casi inexistentes. La fácil accesibilidad y el atractivo que suscitan estas herramientas, con gran potencial para conectar con un mayor número de personas, son aspectos de gran interés especialmente en lo relativo al conocimiento, difusión y puesta en valor del patrimonio.

CONCLUSIONES

La toma de datos gráficos realizada, tanto de los restos murarios del castillo como los de la ermita de Santa Bárbara, situada dentro del recinto, ha sido efectiva y adecuada a los fines pretendidos, puesto que ilustran con detalle la configuración formal de estos restos y el estado en que se encuentran. Ello ha permitido, además, descifrar las trazas arquitectónicas principales del castillo, a confirmar con una necesaria campaña arqueológica en profundidad. Poder disponer de estos datos gráficos del estado actual del castillo constituye, además, un valioso documento que puede ser irreplicable en un futuro cercano si no se implementan las acciones oportunas para su restauración, debido al deterioro progresivo del mismo en los últimos años.

Con todos los datos obtenidos, entre los que este levantamiento gráfico constituye una pieza esencial, se han establecido las tres grandes líneas de actuación propuestas en el Plan Director para la recuperación del castillo: su conservación física y mantenimiento, su puesta en valor y su gestión cultural. En ese sentido, el disponer del levantamiento tridimensional digitalizado del castillo ofrece numerosas posibilidades fundamentalmente para el desarrollo de estas dos últimas, a través del empleo de herramientas digitales –tales como experiencias virtuales mediante el empleo de la Realidad aumentada- con un mayor potencial divulgativo. Estas estrategias son especialmente atractivas en situaciones como las del castillo de Ademuz por la gran dimensión de lo sugerido frente a lo existente, contribuyendo así a la conservación, conocimiento y puesta en valor de este bien patrimonial.