



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV/EHU)



UPV EHU

Centro de investigación Micaela Portilla
C/ Justo Vélez de Elorriaga 1, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).
Tfno: +34 945 013222 / 013264
e-mail: ldgp@ehu.eus web: <http://www.ldgp.es>

ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

ARCHIVE OF THE LABORATORY FOR THE GEOMETRIC
DOCUMENTATION OF HERITAGE

Sección de informes de investigación / **Research reports section**

6

Información general / General information		
AUTOR:	Javier CENICEROS HERREROS Beñat GARCÍA GRACIANTEPARALUCETA Javier GARCÍA IÑÁÑEZ Saúl Alberto GUERRERO RIVERO Jaione KORRO BAÑUELOS Álvaro RODRIGUEZ MIRANDA José Manuel VALLE MELÓN	:AUTHOR
TÍTULO:	Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja)	:TITLE
FECHA:	octubre 2024 / October 2024	:DATE
NÚMERO:	LDGP_inv_006	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

Resumen	
TÍTULO PROYECTO:	Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja)
ENTIDAD FINANCIADORA:	Instituto de Estudios Riojanos - Gobierno de La Rioja
INVESTIGADOR PRINCIPAL:	—no existe esa categoría en esta convocatoria, todos los investigadores tienen la misma consideración—
INVESTIGADORES:	6
PARTICIPANTES:	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (GPAC), UPV/EHU: <ul style="list-style-type: none"> o Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. o Laboratorio Arkeomat. - Museo Histórico Arqueológico Najerillense
RESUMEN DEL PROYECTO:	En el presente proyecto se ha procedido a digitalizar mediante técnicas de escaneado 3D y fotogrametría los conjuntos de grafitos sobre puertas y muro exterior relativos al momento en que el edificio fue utilizado como prisión (siglos XIX y XX). Se han generado diferentes productos como modelos 3D, ortoimágenes o un análisis químico de algunas zonas degradadas.
RESUMEN DE LA CONTRIBUCIÓN:	Además de la documentación de los grafitos, se ha avanzado en su difusión, estudio y se ha generado un recurso semántico accesible a través de la web.
DESCRIPTORES NATURALES:	grafitos, documentación geométrica, degradación superficies
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [http://databases.unesco.org/thessp/]) Patrimonio cultural, Prisión, Escritura, Fotogrametría

Abstract	
TITLE:	3D Documentation and dissemination of the historical graffiti in doors and walls of the Historical and Archaeological museum (museo Najerillense) in Nájera, La Rioja, Spain
FUNDING AGENCY:	Instituto de Estudios Riojanos (IER) – Government of La Rioja
MAIN RESEARCHER:	—in this call all the researchers have a similar consideration—
RESEARCHERS:	6
PARTNERS:	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (GPAC), UPV/EHU: <ul style="list-style-type: none"> o Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio. o Laboratorio Arkeomat. - Museo Histórico Arqueológico Najerillense
ABSTRACT OF THE PROJECT:	3D documentation by means of photogrammetry and 3D scanning of the graffiti on doors and wall from the period the building was used as prison (19 th and 20 th centuries). The results consist of images, 3D models and a chemical characterization of some degraded areas.
ABSTRACT OF THE CONTRIBUTION:	Apart of the documentation of the graffiti, advancements have been made regarding their dissemination and study. In particular, a new semantic tool accessible online was created.
NATURAL KEYWORDS:	graffiti, geometric documentation, degradation patterns on surfaces
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [http://databases.unesco.org/thesaurus/]) Cultural heritage, Prisons, Writing, Photogrammetry

Localización / Placement		
ELEMENTO PATRIMONIAL:	Museo Histórico Arqueológico Najerillense (Nájera)	:HERITAGE ELEMENT
MUNICIPIO:	Nájera, La Rioja, España/Spain (Getty TGN: 7008130)	:MUNICIPALITY
COORDENADAS:	EPSG:4326 WGS84/LatLong 42.415917,-2.735111	:COORDINATES

Equipo de trabajo / Staff		
EQUIPO:	Javier CENICEROS HERREROS Beñat GARCÍA GRACIANTEPARALUCETA Javier GARCÍA IÑÁÑEZ Saúl Alberto GUERRERO RIVERO Jaione KORRO BAÑUELOS Álvaro RODRIGUEZ MIRANDA José Manuel VALLE MELÓN	:STAFF

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	<p>El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario.</p> <p>La publicación se ha realizado conforme a los fines docentes y de investigación del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio del Patrimonio de la UPV/EHU y en función de los derechos que corresponden al Laboratorio como autor del contenido. El Laboratorio se compromete a retirar del acceso público tanto este documento como cualquier otro material relacionado en el caso de que los promotores consideren que menoscaban sus derechos de explotación. /</p> <p>The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</p> <p>The aim of this publication is to fulfill the academic goals and research expected from the Laboratory for the Geometric Documentation of Heritage (UPV/EHU) concerning its scientific outcomes. Nevertheless, the Laboratory is bound to the respect of promoters' commercial rights and will take away the contents which are considered against these rights.</p>	:DISCLAIMER

Derechos / Rights		
DERECHOS:	<p>La información relativa al presente proyecto es fruto de la participación de diversos agentes por lo que su situación al respecto de los derechos intelectuales y de explotación puede ser compleja. Con el fin de simplificar el esquema de reutilización, se ha llevado a cabo un análisis previo de la situación de cada documento que se encuentra disponible en el repositorio y que es accesible en el recurso web indicado por el identificador permanente. De manera resumida se puede indicar que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el documento se encuentra descargable desde la web del repositorio institucional se considerará que sus posibilidades de reutilización se adaptan a una licencia <i>Creative Commons</i> (CC-By). 	:RIGHTS

	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> • Si el documento tiene acceso restringido, deberá ponerse en contacto con el promotor del trabajo, ya que dicha organización dispone de la información que busca y de los derechos de explotación necesarios para permitir nuevos usos. <p style="text-align: center;">/</p> <p style="text-align: center;">The information that is available in this project was created in the framework of a work in which many agents were involved, therefore, the state of the intellectual and exploitation rights might be complex. In order to simplify the re-use, we have carried out a preliminary analysis regarding each document that is shown in the repository and accessible through the permanent identifier. Summing up, you can consider that:</p> <ul style="list-style-type: none"> - If the document can be accessed from the website of the repository, its re-use will follow a <i>Creative Commons (CC-By)</i> licence. <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> - If the access is restricted, you need to contact the promotor of the work, since that organization has both the information you need and the possibility to give you the rights for your expected re-use. 	
OTROS:	<p>Además de la información recogida en el repositorio de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), se informa que los promotores de cada trabajo disponen de una copia más amplia de los registros originales y resultados (medidas, fotografías, modelos 3D).</p> <p style="text-align: center;">/</p> <p>The University repository does not show an exhaustive record of the work. Users should contact with the promotor of the project if they want to examine the original datasets and complete results (measurements, photographs, 3D models...).</p>	:OTHERS

Reutilización / Re-use		
REUTILIZACIÓN:	<p>Los siguientes términos corresponden al Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público, para el ámbito del sector público estatal.</p> <p>"Son de aplicación las siguientes condiciones generales para la reutilización de los documentos sometidos a ellas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Está prohibido desnaturalizar el sentido de la información. 2. Debe citarse la fuente de los documentos objeto de la reutilización. Esta cita podrá realizarse de la siguiente manera: "Origen de los datos: [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate]". 3. Debe mencionarse la fecha de la última actualización de los documentos objeto de la reutilización, siempre cuando estuviera incluida en el documento original. 4. No se podrá indicar, insinuar o sugerir que la 	:RE-USE

	<p>[órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate] titular de la información reutilizada participa, patrocina o apoya la reutilización que se lleve a cabo con ella.</p> <p>5. Deben conservarse, no alterarse ni suprimirse los metadatos sobre la fecha de actualización y las condiciones de reutilización aplicables incluidos, en su caso, en el documento puesto a disposición para su reutilización.”</p> <p style="text-align: center;">/</p> <p>The following terms come from the Royal Decree 1495/2011, of 24th October 2011, whereby the Law 37/2007, of November 16, on the re-use of public sector information, is developed for the public state sector.</p> <p>“The following general terms shall apply to all re-usable document availability methods:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The information must not be distorted. 2. The original source of re-usable documents must be cited. 3. The date of the latest update of re-usable documents must be indicated when it appears in the original document. 4. It must not be mentioned or suggested that the public sector agencies, bodies or entities are involved in, sponsor or support the re-use of information being made. 5. Metadata indicating the latest update and the applicable terms of re-use included in re-usable documents made available by public agencies or bodies must not be deleted or altered.” 	
--	--	--

Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	http://hdl.handle.net/10810/68942	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> • Idgp_inf006_IER-GrafitosNajera.pdf: este documento / this document. • IER_NAJ2024_fotoHDR_???.jpg. 48 fotografías HDR de grafitos en puertas y muros / 48 HDR pictures of graffiti on doors and walls. 	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>CENICEROS HERREROS, Javier; GARCÍA GRACIANTEPARALUCETA, Beñat; GARCÍA IÑÁÑEZ, Javier; KORRO BAÑUELOS, Jaione; RODRÍGUEZ MIRANDA, Álvaro; VALLE MELÓN, JOSÉ MANUEL; GUERRERO RIVERO, Saúl Alberto.</p> <p><i>Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico</i>. Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (Universidad del País Vasco UPV/EHU) –LDGP-. 2024.</p>	:CITATION

Comentarios / Feedback

NOTA:	<p>Este documento forma parte del contenido generado en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio de la UPV/EHU y ha sido publicado con fines docentes y/o de investigación, atendiendo a los objetivos del Laboratorio. Es muy importante para nosotros conocer la utilidad del material suministrado a los usuarios finales así como las posibilidades de mejora en el servicio que podemos realizar; por lo tanto, agradecemos cualquier comentario o sugerencia que nos quiera hacer llegar, para lo cual, ponemos a su disposición nuestra dirección de correo electrónico ldgp@ehu.eus /</p> <p>This document is part of the content generated by the Laboratory for Geometrical Documentation of Heritage (UPV/EHU). It was published for teaching purposes and research, in relation with the goals of the Laboratory. Feedback about the real utility of this information is most important for us, therefore, we appreciate any comment or suggestion for improvements (please, do refer to the following e-mail address: ldgp@ehu.eus).</p>	:NOTE
-------	--	-------

Convocatoria de ayudas para Estudios Científicos de Temática Riojana 2023
Instituto de Estudios Riojanos (IER), Gobierno de la Rioja

Memoria FINAL del proyecto:

**Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos
en puertas y muros del edificio del museo Histórico
Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja)**



Equipo de investigación

**CENICEROS HERREROS, JAVIER
GARCÍA GRACIANTEPARALUCETA, BEÑAT
GARCÍA IÑÁÑEZ, JAVIER
KORRO BAÑUELOS, JAIONE
RODRÍGUEZ MIRANDA, ÁLVARO
VALLE MELÓN, JOSÉ MANUEL**

Y

GUERRERO RIVERO, SAÚL ALBERTO

Octubre de 2024

Índice

1.- Introducción	3
1.1.- Interés de la investigación.....	3
1.2.- Estado de los estudios sobre la digitalización y preservación de los grafitos	6
1.3.- Descripción de las técnicas de documentación empleadas	8
2.- Objetivos	12
3.- Desarrollo de los trabajos	14
3.1.- Escaneado de los registros documentales.....	15
3.2.- Escaneado 3D de los grafitos.....	16
3.3.- Fotogrametría general de las zonas con grafitos	20
3.4.- Catalogación y difusión de los grafitos	23
3.5.- Caracterización química.....	25
3.6.- Obtención de imágenes de relieve	26
3.7.- Fotografías de alta resolución espacial y rango dinámico (HDR).....	28
4.- Resultados	31
5.- Conclusiones	37
6.- Bibliografía	39
Anexo 1. Especificaciones técnicas del instrumental de registro utilizado	40
A1.1.- Escáner 3D	40
A1.2.- Estación topográfica	43
A1.3.- Equipo fotográfico.....	45
Anexo 2. Informe de caracterización química del patio del museo	47

1.- Introducción

1.1.- Interés de la investigación

A pesar de su carácter rebelde y, en cierta medida, vandálico, resulta innegable que los grafitos que se encuentran sobre las diferentes superficies de los monumentos históricos son una fuente de información sobre su pasado que, en ocasiones, suscitan un gran atractivo. Por un lado, por su faceta artística y, en cierta medida, trasgresora en el momento de su creación —al estar realizados, generalmente, sobre soportes en los que no estaba previsto que se presentasen este tipo de intrusiones— y, adicionalmente, por aportar una información sobre temas, puntos de vista, situaciones y personas que no suelen aparecer recogidas en otras fuentes de carácter administrativo, jurídico o histórico. Se trata de un tipo de expresión que, tradicionalmente, ha recibido poca atención en los trabajos de actuación sobre elementos patrimoniales e, incluso, frecuentemente, se ha considerado de escaso interés o desmerecedoras de los elementos patrimoniales sobre los que se han realizado; lo que ha conllevado, en no pocas ocasiones, a su eliminación. Sin embargo, en tiempo reciente, se está afianzando el reconocimiento de su valor documental que prescribe, al menos, su documentación (en el caso de que no puedan preservarse), así como su puesta en valor y difusión.

El museo Histórico Arqueológico Najerillense se ubica en un edificio del siglo XVIII que, inicialmente, fue la residencia del abad del monasterio de Santa María la Real, con el cual se comunicaba a través de un pasadizo elevado. Albergó también la botica del monasterio desde 1785 hasta su traslado en 1835. En 1838, el edificio se reacondicionó como juzgado de primera instancia del Partido Judicial y cárcel. La conversión al uso como museo es de 1981, su configuración actual surge con la Fundación Museo Histórico Arqueológico Najerillense, creada en 1999 y de la que son patronos fundadores el Ayuntamiento de Nájera, la Asociación de Amigos de la Historia Najerillense y el Instituto de Estudios Riojanos (Ceniceros, 2017).



Fig. 1.- Fachada del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense.

De la función como cárcel (entre 1838 y 1979) subsiste un interesantísimo testimonio en forma de grafitos sobre tres puertas de madera de gran formato (dos de ellas de 1'6 de ancho por unos 3 metros de altura y una tercera algo menor) que, en su mayor parte, corresponden a nombres de los prisioneros con indicaciones de la fecha de su encarcelamiento, oficio, lugar de procedencia... pero donde también se pueden ver algunos motivos como una escena taurina con personajes vinculados a las danza tradicional de Anguiano; así mismo, se cuenta con varias inscripciones más —en este caso sobre piedra— realizadas en los muros del patio¹.



Fig. 2.- Patio del edificio, sobre cuyos muros se encuentran varios grafitos.

Puertas y paredes con grafitos conviven con la colección visitable en exposición —que se compone de fondos de arqueología y etnografía relativos a las poblaciones del valle del Najerilla, así como un recordatorio de cómo fue la botica del monasterio—, integrándose como una parte de la visita que es valorada muy positivamente por el público que se acerca al museo.

Sin embargo, más allá de la curiosidad que suscitan y a pesar de su interés histórico, no existe todavía una documentación detallada y públicamente accesible para que puedan ser investigados y conocidos de manera amplia por parte de los historiadores. Asimismo, se considera que el hecho de que fuesen más conocidos revertiría en un mayor número de visitantes del propio museo, aumentando así su repercusión positiva en la sociedad y valor en el territorio.

Respecto al estado de los grafitos (y sus soportes), hay que mencionar que las dos puertas de mayor tamaño han sido restauradas recientemente² y lucen un buen

¹ Igualmente, se sabe que existieron múltiples inscripciones sobre los revestimientos de las paredes, hoy desaparecidas (aunque algunas de ellas recogidas en un cuaderno de notas) a excepción de un resto testimonial sobre la pintura mural de la puerta de entrada a la antigua botica.

² Domínguez, Félix (7/5/2019) Con historia hasta en las puertas. El Ayuntamiento de Nájera acometerá la restauración de una cancela del Museo | Los trabajos incluyen la recuperación de

aspecto. No obstante, no se debe obviar que una de ellas corresponde al acceso al museo y está expuesta a las condiciones climáticas y contacto directo con el exterior. En peor estado se encuentran los grafitos sobre piedra del patio, dado que su exposición a la intemperie y, en especial, la escorrentía de agua han provocado un deterioro considerable, siendo varios de ellos difíciles de leer o encontrarse perdidos en gran parte (con tendencia a ir empeorando progresivamente).

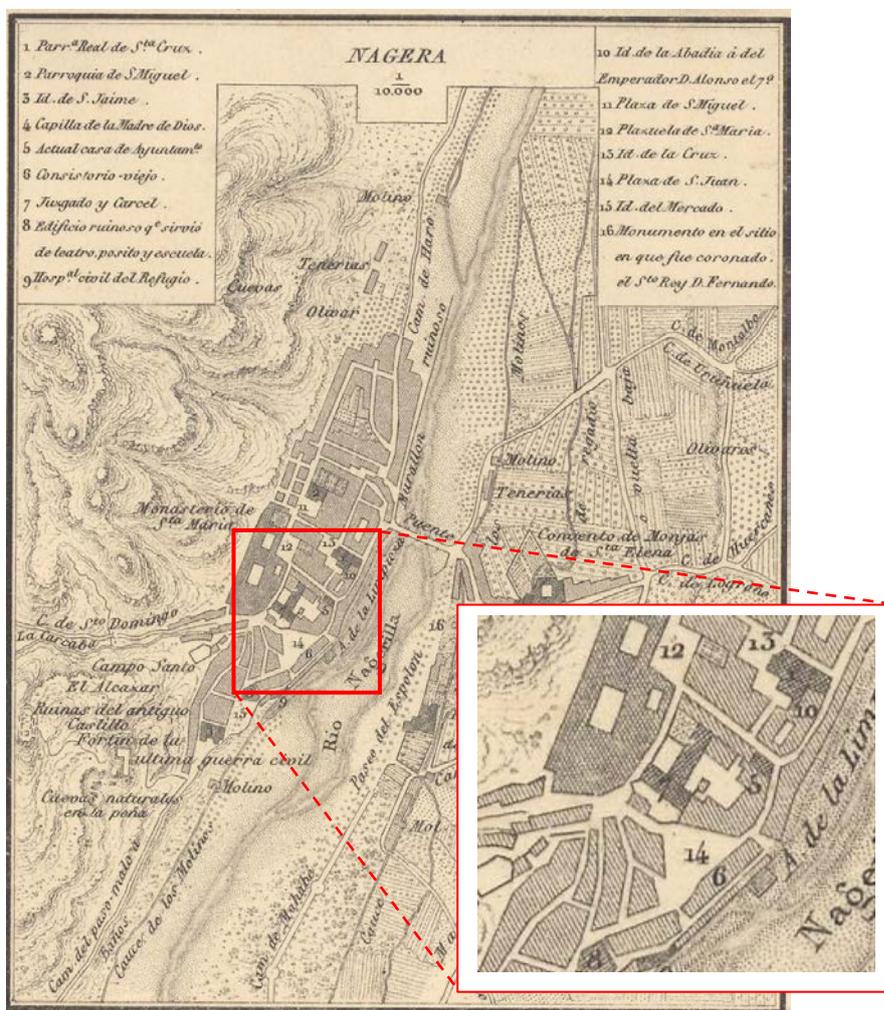


Fig. 3.- Plano de Nájera, publicado en 1851 como complemento del mapa general de la provincia de La Rioja de Francisco Coello³. Entre los elementos destacables se menciona con el número 7 «Juzgado y Cárcel», se puede ver una configuración del edificio con patios a su alrededor

Se da la circunstancia de que el edificio del museo va a someterse a una importante reforma —cuya extensión y características son aún desconocidas— en el contexto del proyecto denominado «Valle de la Lengua»⁴ que, entre otros efectos, supondrá cambios

las inscripciones realizadas por los presos cuando el espacio sirvió desde 1838 como cárcel comarcal. *La Rioja*.

<https://www.larioja.com/comarcas/najera/historia-puertas-20190507003347-ntvo.html>

³ <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/001713.html>

⁴ Nuevecuatrouno (10/11/2022) El Museo Najerillense subirá a la segunda planta del antiguo Palacio del Abad. <https://nuevecuatrouno.com/2022/11/10/el-museo-najerillense-subira-a-la-segunda-planta-del-antiguo-palacio-del-abad/>

de función de algunos espacios en los que, actualmente, se albergan dependencias del Juzgado de Paz con reubicación (o extensión) del espacio expositivo y es posible que estas actuaciones incluyan algún tipo de acción sobre los muros del patio que, como se ha indicado anteriormente, están sometidos a diversos factores que han causado un importante deterioro. No obstante, es oportuno indicar que no hay noticia de que esta actuación vaya a tener en consideración los grafitos, así que no es descartable que varios de ellos se pierdan o queden ocultos con motivo de las obras.

1.2.- Estado de los estudios sobre la digitalización y preservación de los grafitos

Como punto de inicio, resulta oportuno mencionar el reciente curso⁵ impartido en la Escuela de Patrimonio que el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE) tiene en Nájera, el cual sirvió como foro de encuentro de diversos especialistas que ofrecieron una panorámica de los estudios realizados hasta la fecha en España y debatieron sobre el valor de estas manifestaciones culturales, así como de sus posibilidades de registro y conservación.

Nájera, 27, 28 y 29 de abril de 2022

CONSERVACIÓN DE TRAZADOS, MONTEAS Y GRAFITOS HISTÓRICOS EN EL PATRIMONIO MONUMENTAL

PROGRAMA

PRESENTACIÓN

La historiografía viene dando a conocer de forma progresiva y con especial incremento en los últimos años, conjuntos de trazos, escritos y dibujos realizados por el hombre mediante diferentes técnicas y con finalidades distintas, tanto en monumentos de especial valor arqueológico, como en su más humilde aplicación. En estos casos se trata de trazos de arquitectura y montear para la ejecución práctica de la construcción; en otros, de grafitos históricos, expresión de un tiempo y una cultura; todos ellos objetos de civilización cuyo estudio se aborda desde la perspectiva de distintas disciplinas.

Estos testimonios de la historia se pierden con facilidad en los trabajos de restauración, bien por su difícil observación, bien por considerarse de escaso valor. Las subsistencias impresas de muros o eliminación de revocos han causado la pérdida de múltiples informaciones y documentos históricos, grabados en los muros. Este seminario busca de rescatar este tipo de patrimonio, poniendo de relieve los peligros de su conservación y enseñando los instrumentos necesarios para que esta sea la adecuada en orden a preservar su autenticidad y el espacio histórico y cultural que encierra.

Por todo ello, el seminario se plantea con un carácter teórico-práctico, de modo que los sesiones de teoría se completan con la realización de prácticas de documentación, foto, topografía y recuperación de los trazos escritos y dibujos murales. Así mismo, se ofrecen ejemplos de este patrimonio conservados en los edificios de Saco y Vaso del monasterio de San Millán de la Cogolla, en el de Santa María la Real de Nájera y en el Museo Najerillense.

Finalmente, se desarrollará una mesa redonda encaminada a la reflexión y fijación de criterios de conservación del patrimonio edificado y la elaboración de un documento de buenas prácticas para su estudio, restauración, preservación digital y difusión.

COORDINACIÓN

MP Degrada Arrieta Ugarte
degradar@ipce.es
Universidad de La Rioja

Álvaro Rodríguez Miranda
alvaro.rodriguez@ehu.es
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

José Manuel Vuelta Melón
jmvuelta@ehu.es
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

COORDINADORA TÉCNICA

Beate Soto Arrieta
beate.soto@cultura.gob.es

FECHA

27, 28 y 29 de abril de 2022

INFORMACIÓN

ipce@ipce.es / cultura.gob.es

LUGAR DE CELEBRACIÓN

Escuela de Patrimonio Histórico
Plaza Santa María s/n 26200,
Nájera, La Rioja

DURACIÓN

21 h

INSCRIPCIONES

La actividad es gratuita, pero está sujeta a inscripción previa mediante la cumplimentación del formulario disponible en la web del IPCE:
<https://ipce.cultura.gob.es/formacion/actividades/formulario.html>
Máximo 20 participantes.
Las personas admitidas en la actividad recibirán confirmación expresa por correo electrónico.
El plazo de inscripción finalizará una vez se completen las plazas.

PUBLICO DESTINATARIO

Profesionales de la restauración de la arquitectura y bienes culturales, arqueólogos, historiadores, arquitectos, historiadores del arte, especialistas en documentación geométrica del patrimonio.

CERTIFICADO DE ASISTENCIA

La obtención del certificado está condicionada por la asistencia de al menos el 80% de las sesiones.

Fig. 4.- Folleto informativo del seminario sobre grafitos organizado en la Escuela de Patrimonio de Nájera en 2022.

Como fruto de este encuentro se redactó una guía de buenas prácticas⁶, la cual ha sido presentada en diversos foros patrimoniales como la reunión de ICOMOS España o la Academia del Partal, así como a través de revistas especializadas (Valle Melón y Pinto Puerto, 2023).

⁵ «Conservación de trazados, montear y grafitos históricos en el patrimonio monumental», celebrado en la Escuela de Patrimonio del Instituto de Patrimonio Cultural de España en Nájera, los días 27, 28 y 29 de abril de 2022.

⁶ Disponible para su descarga en: <http://hdl.handle.net/10810/57909>

Una parte del equipo redactor de este proyecto tomó parte en la coordinación del seminario anteriormente indicado. Entre las motivaciones iniciales estaban los trabajos que se habían venido realizando en dos conjuntos de grafitos de gran importancia situados en el cercano monasterio de San Millán de la Cogolla, los cuales han sido objeto de una reciente publicación junto con la historiadora del arte —profesora Begoña Arrúe—, quien ha acometido una importantísima labor de estudio y clasificación de los mismos.

Durante la preparación del seminario que se celebraría en la Escuela de Patrimonio, se vio el interés de incluir el museo Histórico Arqueológico Najerillense y su peculiar colección de grafitos. Con esta intención nos pusimos en contacto con D. Javier Ceniceros —arqueólogo y responsable del museo—, quien mostró su disposición y nos guió por el museo durante la visita que se organizó para los participantes.

Con el fin de dar una visión sobre el estado de los estudios existentes sobre el tema objeto del presente proyecto, se toman algunos extractos de la guía de buenas prácticas indicada. En efecto, a propósito de las acciones de documentación, se indica que éstas han de cumplir con las siguientes características:

«a) Uso prioritario de técnicas de documentación no invasivas, teniendo en cuenta que suelen encontrarse en soportes frágiles y expuestos, en los que cualquier acción puede favorecer su deterioro e incluso pérdida. Las técnicas a emplear para la documentación se ajustarán a la tipología de los trazos, así como del soporte sobre el que se sustentan y las condiciones en las que se encuentran. Asimismo, la ubicación en las superficies en el edificio u objeto (accesibilidad, iluminación, visibilidad...) y las limitaciones de tiempo para el registro y recursos económicos deberán también considerarse a la hora de definir la metodología de registro más adecuada a cada caso.

b) Estudio del soporte y de su contexto, con recogida de información tanto de carácter histórico como de caracterización físico-química.

c) Inventario de todos los testimonios de este tipo detectados en el bien objeto de estudio, aunque sean fragmentarios, pues sólo adquirirán significado completo tras su consideración global como parte de una estratigrafía.

d) Definición de su estado de conservación, condiciones ambientales y posibles factores de deterioro.

e) Incorporación de la información procedente del análisis multidisciplinar de sus valores y significado.

f) Desarrollo y fomento del uso de herramientas asequibles y portátiles para su reconocimiento y documentación, debido a que frecuentemente son detectados en el propio proceso de intervención.»

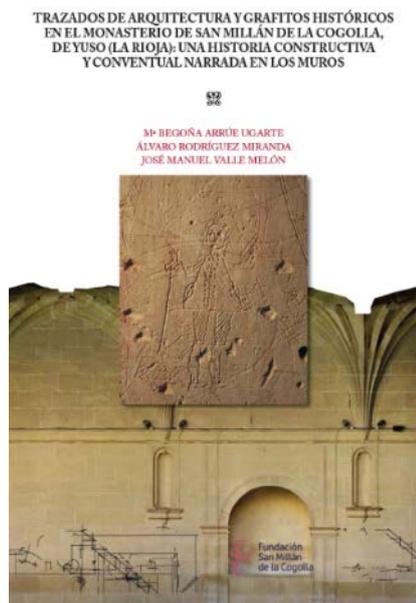


Fig. 5.- Portada del libro sobre los grafitos del monasterio de San Millán de la Cogolla.

Asimismo, al respecto de las actividades de difusión, la guía indica que:

«Un aspecto fundamental de la documentación es su difusión y puesta a disposición pública, facilitando el acceso tanto a investigadores especializados como al público en general. La disposición pública de la información de los dibujos y su información asociada facilitará el avance en el desarrollo de las investigaciones, en las que la fragmentación del conocimiento impide la localización de paralelos o figuras reiteradas.

También resulta oportuno mencionar el fuerte atractivo visual y su potencial turístico y divulgativo, tanto en actividades convencionales (por ejemplo, las visitas guiadas), como en experiencias de carácter más innovador (reconstrucciones históricas, nuevas tecnologías, etc.).»

Como se puede apreciar, estas premisas han sido recogidas en el presente proyecto para el registro de los grafitos del museo Najerillense.

1.3.- Descripción de las técnicas de documentación empleadas

La técnica de documentación que se planteaba utilizar inicialmente era el escaneo 3D de alta resolución, para ello se cuenta con un equipo que, recientemente, había adquirido el grupo de investigación en Patrimonio Construido⁷ (GPAC) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) —al cual pertenecen varios de los miembros de la presente propuesta— (en concreto un modelo *EinScan PRO HD*⁸, ver anexo 1 para una descripción completa de sus características técnicas). En este contexto y habiendo coincidido con la publicación por parte del Instituto de Estudios Riojanos (IER) de la convocatoria de Ayudas para el presente año, se consideró de gran interés poder aplicarlo en este proyecto de Nájera.

El escáner tiene tres modos de trabajo. El primero de ellos es, preferentemente, para su uso en laboratorio y junto con una mesa giratoria calibrada sobre la que se sitúa la pieza a escanear (que deber tener un tamaño máximo de unos 20 cm). Los otros dos modos permiten ir moviendo el sensor de manera libre alrededor del objeto y son adecuados para elementos de hasta 2 metros de longitud. Aunque este rango es menor que el tamaño de las puertas, se contaba con que quizás se podría llegar a generar modelos completos.



Fig. 6.- Selección del método de escaneo que ofrece el programa de manejo del escáner.

⁷ <https://gpac.eus/>

⁸ <https://www.einscan.com/escaneres-3d-portatiles/einscan-pro-hd-es>

De los dos métodos de escaneo libre, el «escaneo HD manual» ofrece una resolución máxima de 0'3 mm, mientras que el «escaneo rápido portátil» llega hasta los 0'7 mm⁹. También existen diferencias en cuanto a la ventana de registro en cada escaneo que, a grandes rasgos, corresponde a una superficie de unos 20 x 20 cm (con una profundidad de campo de unos 10 cm, aunque para el caso de los grafitos y al tratarse de relieves sobre una superficie aproximadamente plana, esta última característica no resulta limitante). Con el modo de escaneo libre, la distancia de trabajo (entre el escáner y la superficie a documentar) es de unos 0'5 m.

De manera previa a los trabajos en el museo, se hizo una jornada de puesta a punto en la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz, en la cual se comprobó el montaje y funcionamiento del escáner y se hizo una lista del equipo auxiliar que sería necesario utilizar durante los trabajos de campo (mesa de apoyo, regletas, cable de varios metros para traer la corriente, escalera, lona negra para evitar la luz directa del sol, etc.).



Fig. 7.- Puesta a punto del escáner en un laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz.

Una vez en el museo, el método de escaneo consiste en ir desplazando el escáner a una distancia aproximadamente de 0'5 metros de la zona a escanear, como se ha indicado, la zona registrada en cada instante es de unos 20 x 20 cm, lo que implica que se ha de ir desplazando (manualmente) de manera que se consiga ir cubriendo toda la superficie de interés.

⁹ Las especificaciones técnicas indican valores más elevados (resoluciones más pequeñas), pero el software está inicialmente limitado por estos valores durante la captura. Si bien es cierto que al pasar varias veces por la misma zona el número de puntos aumenta y, con ello, la posible resolución final del conjunto, vamos a considerar los valores indicados como una buena referencia inicial de la resolución que es razonable suponer a los modelos generados.



Fig. 8.- Registro de datos (escaneado 3D) de una de las puertas del museo Najerillense.

El resultado que se obtiene es una nube de puntos, con posibilidad de incorporar la textura fotográfica de la cámara lateral. A partir de esta información, durante la fase de procesado de datos se pueden obtener diferentes tipos de productos (modelos mallados, ortoimágenes, etc.).

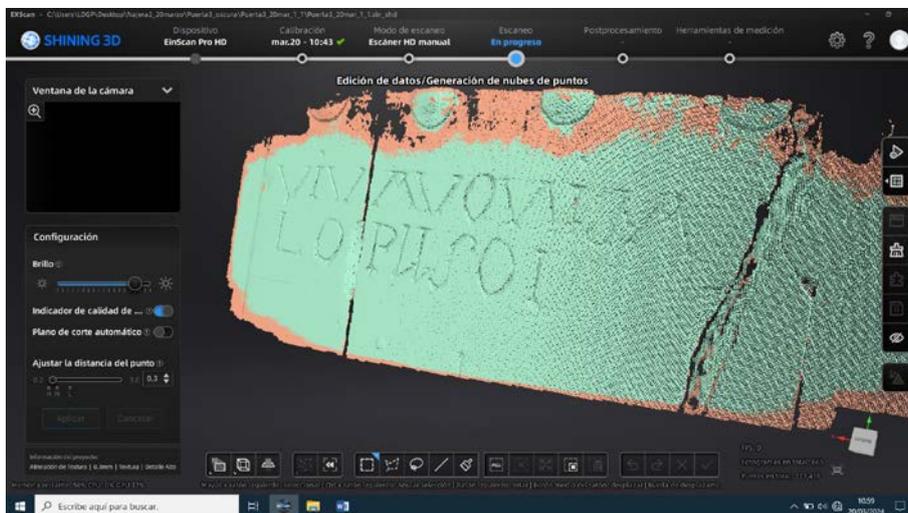


Fig. 9.- Vista de la nube de puntos (vista sin textura) correspondiente a uno de los grafitos de las puertas del museo.

No obstante, durante la realización de la fase de campo se determinó que este método de escaneado, por sí sólo, no iba a resultar del todo adecuado, por lo que se ha decidido complementarlo con fotogrametría 3D y fotografía de amplio rango dinámico (HDR) de detalle. Hay que indicar que esta situación cabía dentro de lo esperable en el momento en que se diseñó el proyecto y que, en realidad, no supone un límite o merma con respecto a los resultados que se pretenden obtener; por el contrario, se encuentra entre los posibles escenarios que se planteaban cuando se hizo la propuesta.

A grandes rasgos, la situación se puede resumir como sigue: en un principio, nos interesaba conocer si el método de «escaneado rápido portátil», que es el más flexible, permitiría generar modelos completos de las diferentes puertas (recordamos que el tamaño de éstas está ligeramente por encima de lo que las especificaciones técnicas del escáner recomiendan) logrando, además, visualizar de manera adecuada los grafitos. Tras el análisis de los datos obtenidos durante el primer día de campo, se constató que los modelos completos de las puertas eran problemáticos (tanto por el tamaño de los modelos, que superaba los límites del equipo¹⁰ como por la geometría global) y que la resolución final sólo permitía apreciar los grafitos de mayor tamaño. Por este motivo, a partir del segundo día de campo, se modificó el planteamiento de manera que la documentación general de los elementos (por ejemplo, las puertas completas) se realizaría mediante fotogrametría 3D y la de detalle de los grafitos (en este caso por partes) mediante el método de «escaneado HD manual». El resultado, en este caso, fue mejor, tanto en el caso de los modelos 3D generales como en la documentación parcial de cada zona con grafitos; sin embargo, persisten algunas situaciones complejas (como puede ser la puerta interior más pequeña que, al ser de un color muy oscuro no permite un buen registro mediante fotogrametría) que requirieron incorporar alternativas. En este punto es donde tiene su entrada la fotografía fija de alta resolución espacial y alto rango dinámico (HDR), que se aplicó en los siguientes días de campo.

Además del registro de la geometría 3D (más textura fotográfica), también se ha querido incorporar la caracterización química, en particular para los soportes en piedra de los grafitos del patio, de manera que se pueda ver si las zonas especialmente degradadas pueden relacionarse con cambios en la composición de los soportes. En concreto, para la obtención de esta información, se cuenta con un equipo de espectrometría portátil de fluorescencia rayos X por dispersión de energía (p-ED-XRF).



Fig. 10.- Toma de datos para la caracterización química de la piedra en el patio del museo Najerillense.

¹⁰ Respecto al procesado del primer día de campo, se encontró con el problema de que los modelos generados superaban la memoria del equipo portátil disponible. Se hizo la consulta al IER para ver si sería un gasto subvencionable realizar una ampliación y se nos dio el visto bueno considerando que se puede considerar como una reparación necesaria.

2.- Objetivos

El objetivo principal consiste en generar una documentación detallada de los grafitos de las puertas del museo (en la propuesta inicial se consideraron, preferentemente, los grafitos de las puertas; sin embargo, durante la realización del trabajo también se han considerado —aunque no de forma exhaustiva— los realizados sobre los muros del patio trasero). Esta documentación quedará depositada en el propio museo para su uso y estudio; además se difundirá a través de plataformas digitales para potenciar su conocimiento y el del museo.

De manera más detallada, los objetivos particulares que se consideran son los siguientes:

- a) Documentación 3D de los soportes (puertas). Estas labores se realizaron combinando métodos fotogramétricos y topográficos.
- b) Documentación de detalle de los grafitos. Para lo cual se utilizaron técnicas de escaneado 3D.
- c) Recopilación y digitalización de los registros manuscritos (cuadernos con las transcripciones) que existen sobre las inscripciones y dibujos de las puertas y muros.
- d) Generación de recursos web interactivos y conectados con los portales y repositorios culturales (Hispana¹¹, CER.es¹², Europeana¹³...) y que hagan uso también de las herramientas de difusión en 3D (como es el caso de *SketchFab*®¹⁴) con el fin de generar la base para un museo virtual.

Hay que indicar también que, aparte del interés histórico de los grafitos y de su potencial como atractivo turístico, se entiende que disponer de una documentación precisa resultará de gran utilidad en las labores de conservación presente y futura de este recurso cultural. Lo cual es especialmente relevante teniendo en cuenta que varias de estas inscripciones están situadas en el exterior y, por lo tanto, expuestas a importantes factores de degradación.

¹¹ Hispana es el portal de acceso al patrimonio digital español y el agregador nacional de contenidos a Europeana. <https://hispana.mcu.es/es/inicio/inicio.do>

¹² CER.es es el catálogo colectivo en línea que reúne colecciones de bienes culturales de diversos museos españoles. <https://ceres.mcu.es>

¹³ Europeana es el agregador de materiales culturales que están suministrados a través de la red por instituciones de toda la Unión Europea. <https://www.europeana.eu/es>

¹⁴ Sketchfab® es un portal multipropósito de contenidos 3D de gran implantación, permite visualizar de forma interactiva y distribuir modelos 3D de diversas temáticas (entre ellas, elementos patrimoniales).

Esquema de trabajo

El equipo de trabajo está conformado por seis personas: Javier Ceniceros [JC] arqueólogo y responsable del museo, José Manuel Valle [JMV] y Beñat García [BG] como expertos en las técnicas de documentación y modelado tridimensional¹⁵, Javier García [JG] arqueólogo y responsable del equipo de arqueometría (caracterización química de los soportes)¹⁶, Jaione Korro [JK] restauradora y Álvaro Rodríguez [AR] en las tareas relativas a la preservación y difusión de la información.

En la propuesta del proyecto, se presentó el siguiente calendario que distribuía las diferentes tareas a acometer en el periodo de 1 año (12 meses).

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1	X		X			X					X	
T2		X										
T3		X		X		X						
T4			X	X	X	X	X	X				
T5									X	X		
T6										X	X	X

Las tareas a realizar eran las que se indican a continuación:

- T1) Reunión inicial en el museo para acotar y planificar las labores de documentación y localización de los registros documentales sobre los grafitos. Reuniones de seguimiento y análisis de resultados.
- T2) Escaneado de los registros documentales.
- T3) Preparación y realización de los trabajos de documentación en campo: toma de fotografías, así como el escaneado 3D de detalle de los grafitos.
- T4) Procesado de las fotografías y escaneados, clasificación y uso en programas específicos para la generación de los modelos 3D. Refinado de los modelos y preparación para su uso y difusión.
- T5) Contacto con los responsables de los repositorios culturales para subir los ficheros y enlazarlos en los agregadores (Hispana y Europea).
- T6) Preparación de la memoria de actuación y publicaciones para la difusión del trabajo realizado en foros científicos.

Una vez finalizado el periodo de ejecución del proyecto, se puede indicar que las tres puertas han sido registradas mediante fotografías y escaneados 3D de los grafitos, cumpliendo así con el objeto principal del presente trabajo. También se cuenta con una

¹⁵ Los días de campo 3 y 4, se incorporó al equipo la investigadora Manuela Aricò de la Universidad de Palermo (de estancia temporal en la Universidad del País Vasco), que también colaboró en las fases posteriores de procesado de datos y creación del sistema de gestión.

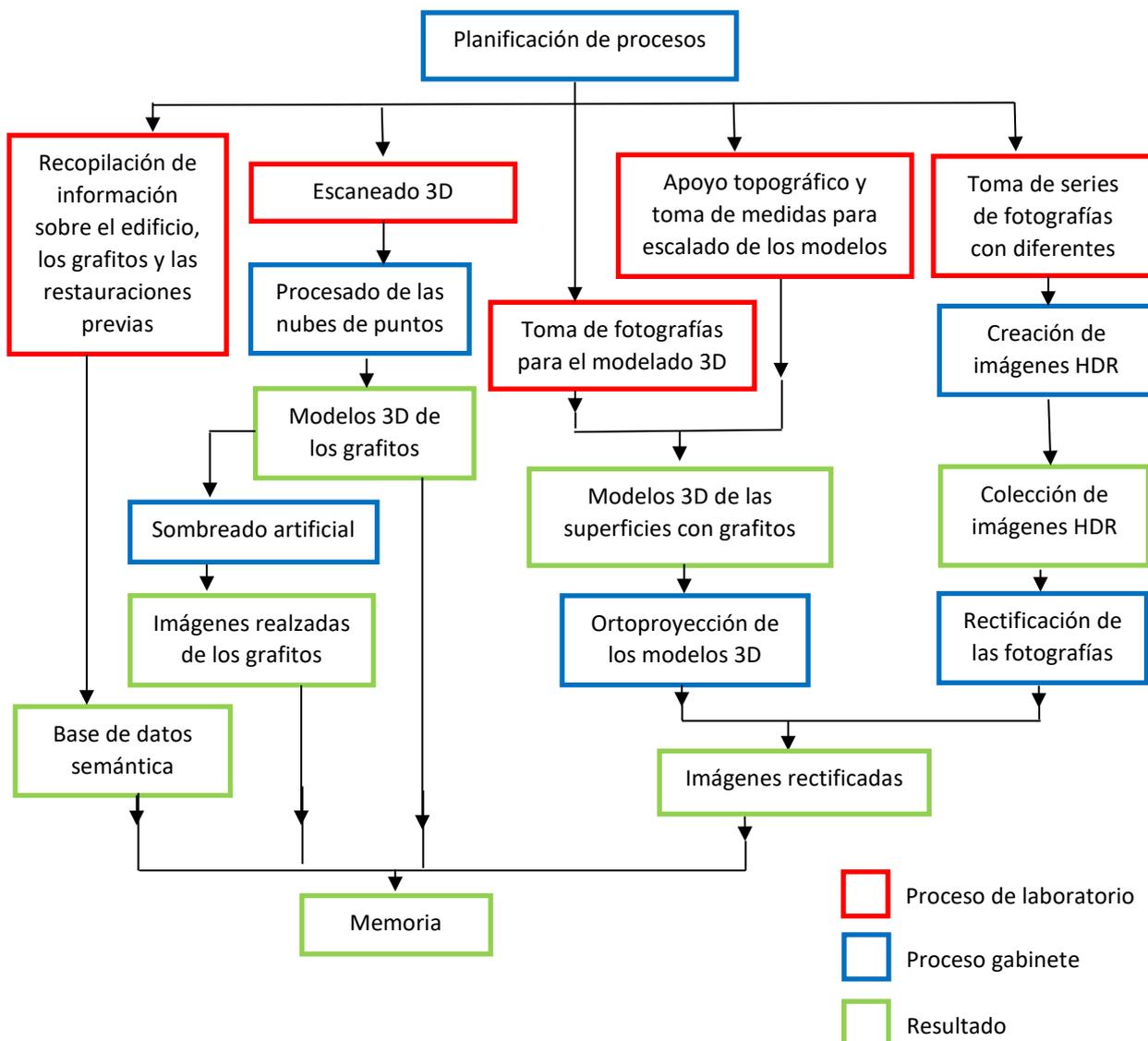
¹⁶ El segundo día de campo, también nos acompañó el investigador Saúl Guerrero, que es colaborador en el laboratorio de arqueometría del grupo de investigación, el cuarto día de campo, contamos también con la colaboración de Leticia da Silva, también miembro de este laboratorio.

documentación fotogramétrica del patio, así como la digitalización de algunos de los grafitos (no todos) allí localizados y una caracterización química de determinadas zonas. Por otro lado, se ha documentado mediante fotografía HDR el mural de entrada a la botica y se ha realizado un escaneado 3D del grafito que se encuentra en uno de sus laterales.

Entre los resultados que se han desarrollado y no estaban inicialmente previstos, se cuenta también con un modelo HBIM de la planta baja del museo¹⁷, que sirve como base para el sistema de gestión, así como una base de datos semántica alojada en el servicio Wikibase¹⁸.

3.- Desarrollo de los trabajos

El esquema de realización de los trabajos puede ilustrarse mediante el siguiente diagrama de flujo, en el que las tareas de campo (realizadas en el museo) se señalan en color rojo, los trabajos de gabinete en color azul y los resultados en color verde.



¹⁷ Desarrollado por la investigadora Manuela Aricò de la Universidad de Palermo.

¹⁸ https://najeragrafitos.wikibase.cloud/wiki/Main_Page

3.1.- Escaneado de los registros documentales

Existe diversa documentación previa sobre los grafitos, por un lado, una colección de calcos de las puertas sobre hojas de acetato (tamaño A4) que están entre la documentación del museo, se revisaron, pero no se consideró que aportasen mucho con respecto a la documentación de los mismos grafitos que se iba a realizar mediante el escaneado tridimensional así que no se les ha dedicado más atención. También se cuenta con un cuaderno con algunas inscripciones ya desaparecidas de las últimas obras de remodelación¹⁹, en la portada incluye una nota que dice que sería conveniente publicarlas conjuntamente con las de las puertas por lo que, por el momento, se ha preferido no publicarlo en el contexto del presente proyecto. En todo caso, se ha digitalizado y está disponible en el museo.

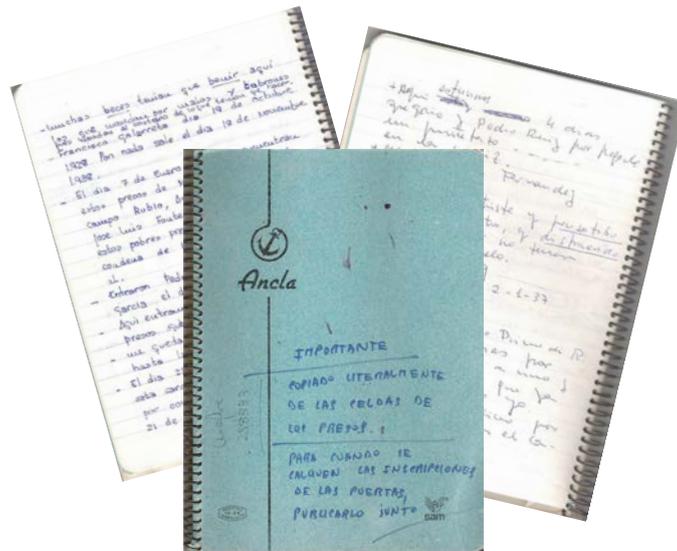


Fig. 11.- Cuaderno con transcripciones de un muro derribado en las últimas reformas.

Por otro lado, resultaba interesante conocer la documentación sobre las actividades de restauración de las puertas que se habían llevado a cabo en los últimos años. Por este motivo se solicitó al museo copia de los informes. Por otro lado, con el fin de confeccionar una base geométrica sobre la que situar los diferentes resultados y modelos 3D también se solicitó un plano en planta del museo. El disponible, corresponde a la situación previa a la última remodelación.

¹⁹ El fichero lleva por título «CUADERNO, Inscripciones de las paredes interiores de la cárcel antes de picarlas copiadas por Felipe López y Rosa Gómez 1979»

3.2.- Escaneado 3D de los grafitos

Se han realizado varios días de campo en el museo para documentar los grafitos. Aunque el interés principal son las puertas, también se han registrado varios de los grafitos sobre piedra y sobre enlucido con decoración pictórica que formaba parte de la entrada a la botica. Los primeros escaneos permitieron comprobar la capacidad del equipamiento para obtener resultados adecuados e ir adaptando el proceso de registro.



Fig. 12.- Registro mediante escaneado 3D en las dos puertas interiores del museo.

El escaneado no corresponde a las puertas como objetos sino que se centra en los grafitos, siendo la madera el soporte sobre los que se realizan; es decir, que las puertas se digitalizan pero se obvian algunas de sus características que no resultan relevantes para el estudio de los grafitos (y que, además, suponen unos requerimientos de escaneado 3D diferentes) como son el registro completo de los elementos metálicos (cerrojos, rejas, etc.) o la documentación exhaustiva que abarque también las partes traseras, laterales y vacíos (ventanas, gateras...) ya que estas características, si bien forman parte de las puertas, no están relacionadas con las inscripciones. En todo caso, sí que resulta esencial que la documentación de la puerta, como soporte, sea suficientemente completa como para que se aprecie el conjunto de inscripciones en su contexto y no sólo de manera individual.

El proceso de trabajo inicialmente previsto se puede ilustrar mediante la siguiente secuencia de imágenes. En primer lugar, durante el escaneo en el museo, se van registrando capturas instantáneas de información de 20 x 20 cm que se van solapando hasta contar con un registro de toda la superficie de interés.

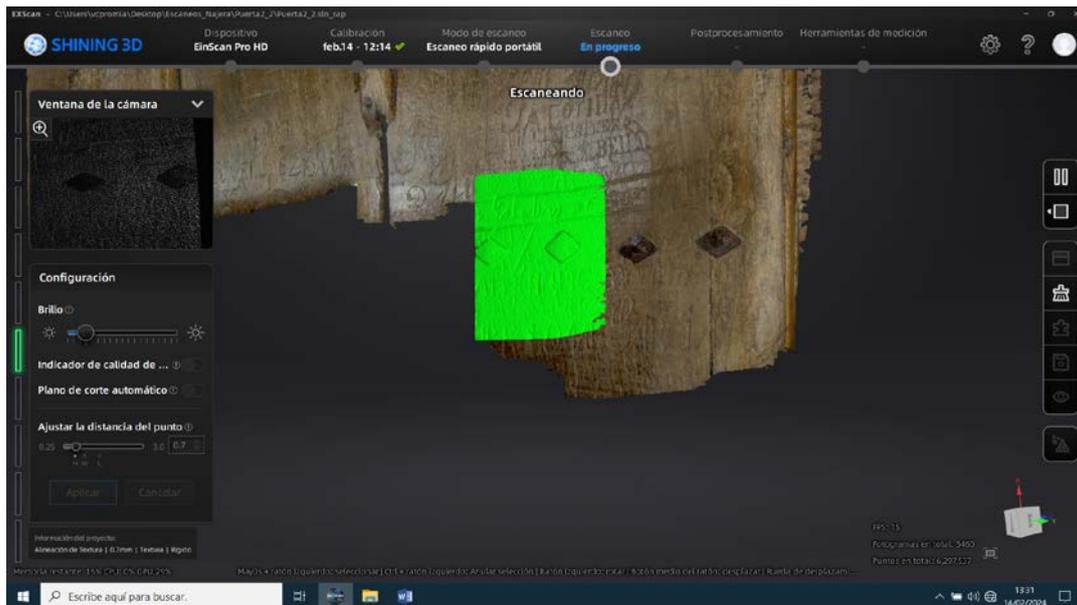


Fig. 13.- Captura de pantalla del programa informático de control del escáner durante el registro de una de las puertas.

Una vez que se ha finalizado el registro, en campo ya no es necesario hacer más que salvar los datos y se puede retomar el proceso en gabinete. En concreto, el trabajo con el software en oficina comienza cargando los datos de campo y efectuando un «alineamiento», que es el proceso en el que las nubes de puntos correspondientes a las capturas parciales (cada toma de 20 x 20 cm) se sitúan de manera precisa de ofreciendo un modelo único de todo el elemento documentado.

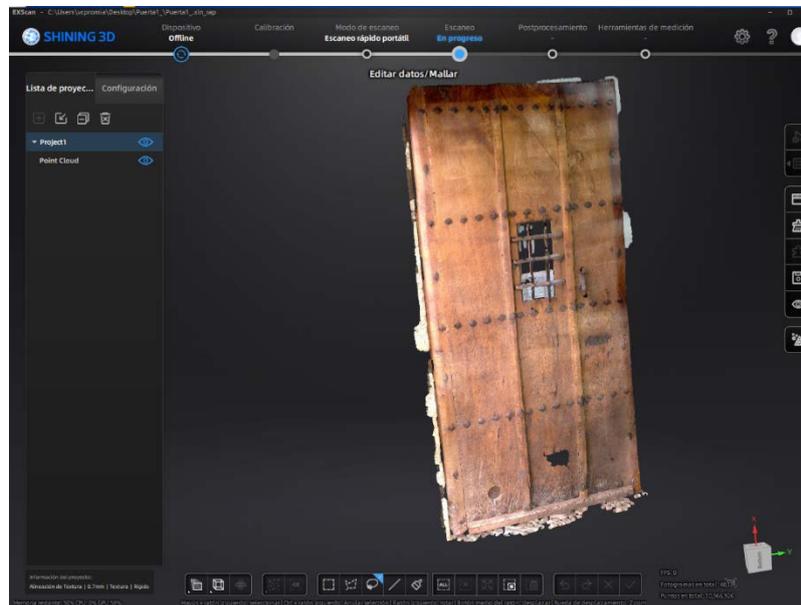


Fig. 14.- Nube de puntos conjunta (tras el «alineamiento») de la puerta de entrada al museo.

En el software de procesamiento, se puede quitar de la visualización la textura fotográfica y apreciar así cómo se ha registrado el relieve.

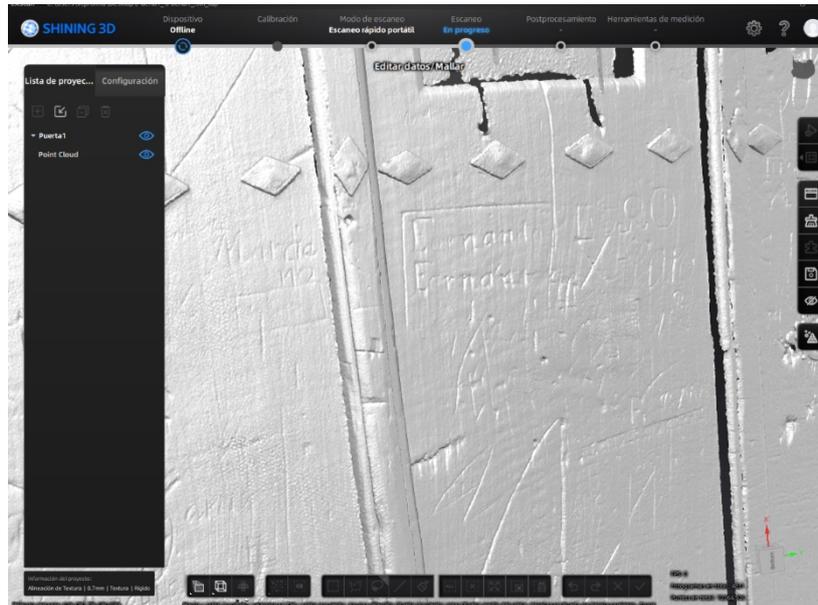


Fig. 15.- Vista de la nube de puntos sin textura, que permite apreciar el registro del relieve de las superficies.

Con el fin de disponer de un modelo más manejable, un paso habitual consiste en convertir la nube de puntos en un modelo de superficies (mallas), lo cual también se puede realizar con el software del equipo. El mallado suele continuarse con una fase de edición, por ejemplo, para cerrar huecos. Tras este paso, se reaplican las texturas fotográficas para tener un modelo completamente cubierto.

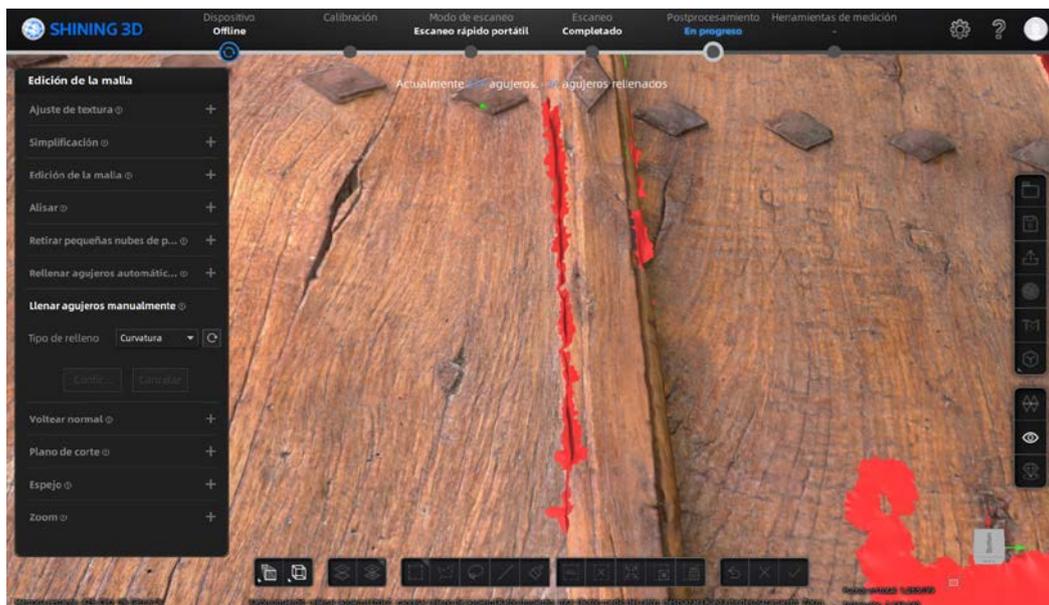


Fig. 16.- Edición (cierre) de huecos sobre el modelo mallado.

En un siguiente paso, se define la orientación del modelo (situación con respecto al sistema de coordenadas).

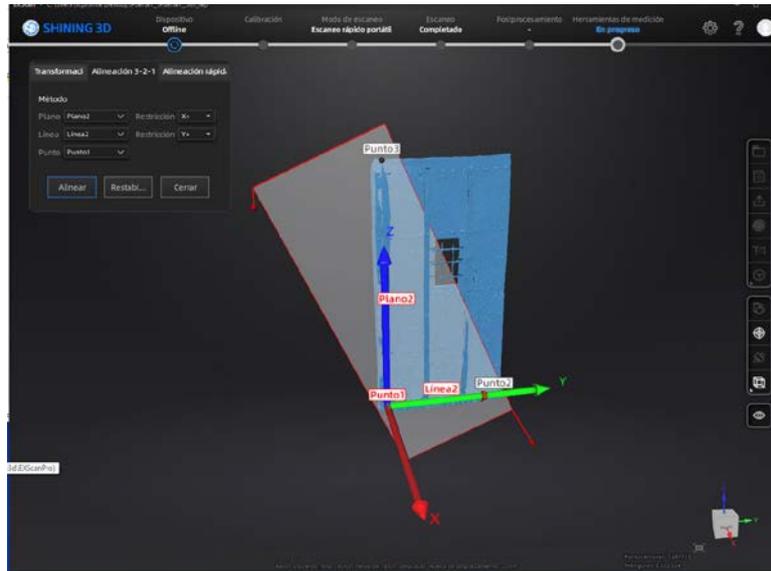


Fig. 17.- Orientación del modelo 3D.

Y este modelo mallado y orientado (que se considera el resultado final) se puede exportar a diferentes formatos para su uso generalizado con una amplia variedad de programas de manejo de modelos 3D.

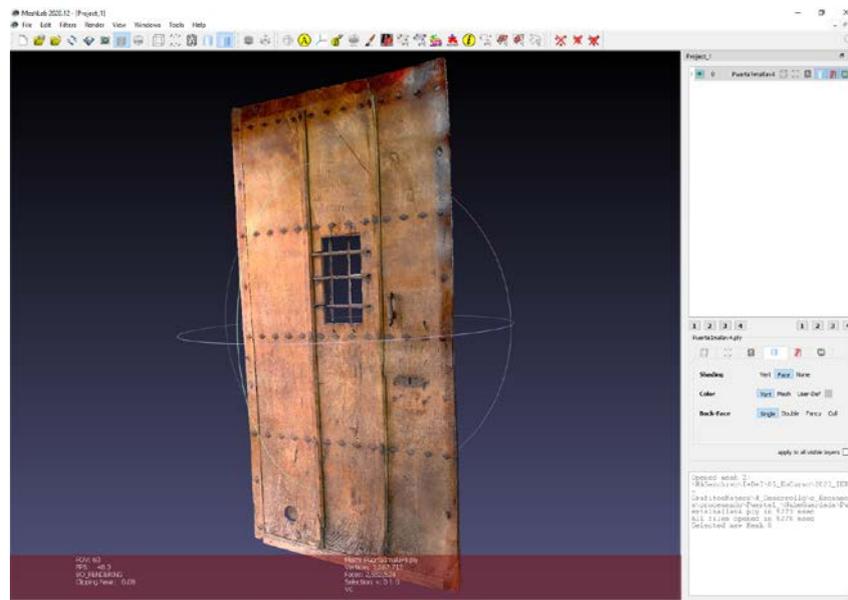


Fig. 18.- Visualización interactiva del modelo 3D exportado (en formato OBJ) utilizando el programa MeshLab®.

En todo caso, tras analizar los resultados del primer día de campo, se llegó a la conclusión de que el mallado de los modelos no aportaba una mejora significativa con respecto a los resultados que se podían obtener directamente de la nube de puntos. Por este motivo, en vez de realizar los pasos tal como se han indicado en la secuencia anterior, el procedimiento se ha modificado.

En primer lugar, la documentación general de las puertas no se va a realizar mediante escaneo 3D, sino mediante fotogrametría (ver apartados 3.3 y 3.7), dejando el escaneado para la documentación en detalle de los grafitos, para estos casos, el proceso anteriormente indicado se mantiene hasta el alineamiento de las nubes de puntos, tras lo cual se procede a generar imágenes 2D sintéticas con un sombreado artificial y un realce que permiten apreciar mejor los grafitos (ver apartado 3.6).

3.3.- Fotogrametría general de las zonas con grafitos

Como se ha indicado, en un principio se pensó en escanear las puertas utilizando el escáner 3D, pero los modelos completos de las zonas grandes dieron problemas. Por este motivo, para el segundo día de campo se decidió hacer modelos generales por fotogrametría convergente y enlazar modelos de detalle obtenidos con el escáner.



Fig. 19.- Documentación de una de las puertas mediante fotogrametría utilizando un jalón telescópico para elevar la cámara fotográfica.

El proceso de registro fotogramétrico consiste en obtener una amplia cobertura de los objetos mediante imágenes fotográficas, en la que todas las zonas deben aparecer en un mínimo de 3 imágenes desde diferentes direcciones. Con el fin de disponer de tomas a diferentes alturas de una manera ágil, se utiliza un sistema de captura remota con cámara fotográfica situada sobre un jalón telescópico. Se ha utilizado una cámara Panasonic DC-GX800 equipada con un objetivo LUMIX G VARIO 12-32mm F3.5-5.6. Esta cámara proporciona imágenes de 11 megapíxeles.

Las fotografías se revisan en gabinete, se describen mediante metadatos y se procesan para generar los modelos 3D, este último paso, se realiza mediante el software *Agisoft Metashape®*.

Es preciso indicar que se obtuvieron resultados adecuados de las dos puertas de mayor tamaño.

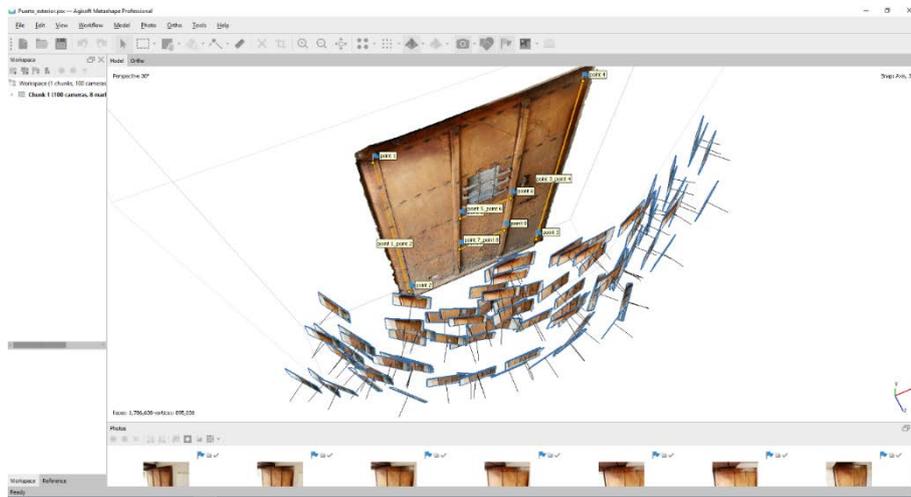


Fig. 20.- Vista del modelo 3D obtenido por fotogrametría de la puerta de entrada, aparecen también indicadas las posiciones de las fotografías empleadas.

Para dar escala a estos modelos se utilizaron medidas directas (obtenidas con cinta métrica) entre puntos destacados de las mismas (como distancias entre clavos).

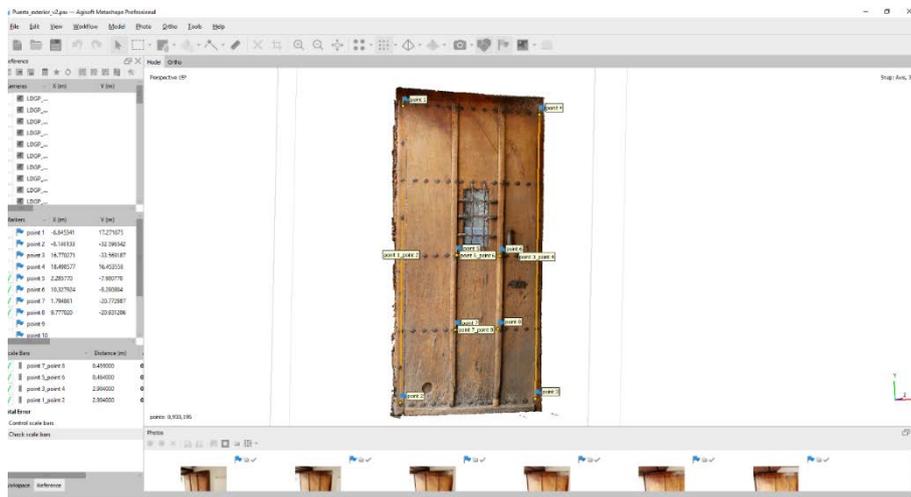


Fig. 21.- Vista del modelo 3D obtenido por fotogrametría de la puerta de entrada, una vez escalado.

A partir de este modelo, se ha generado una ortomagen frontal a la puerta, definiendo la resolución de salida a 0'5 mm.

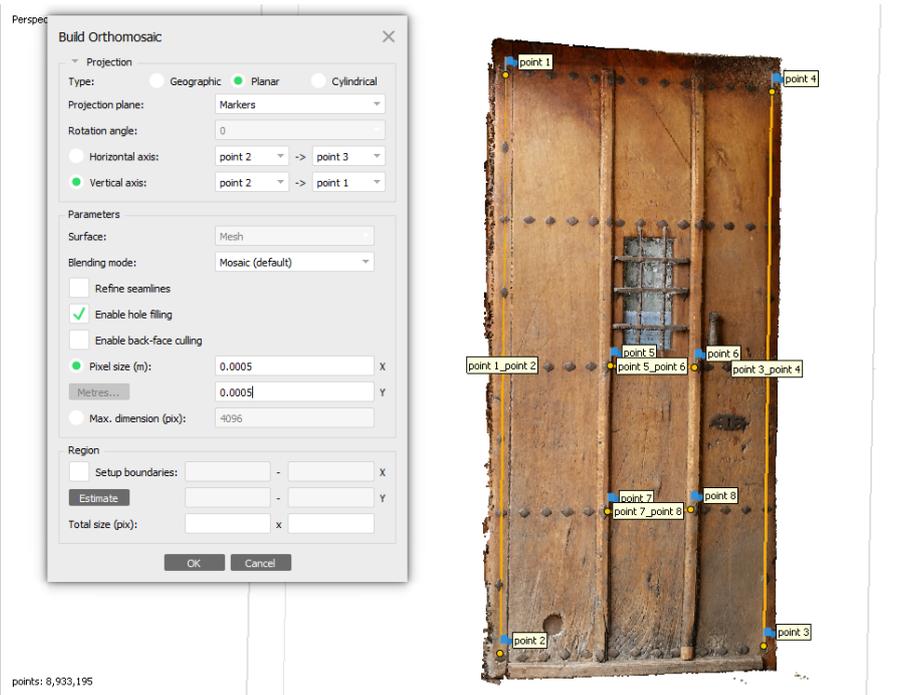


Fig. 22.- Generación de una ortoimagen de la puerta a partir del modelo fotogramétrico.

Por el contrario, la puerta oscura causó problemas en el proceso de obtención de las nubes de puntos, motivo por el que se decidió utilizar las imágenes HDR que se comentan más adelante.

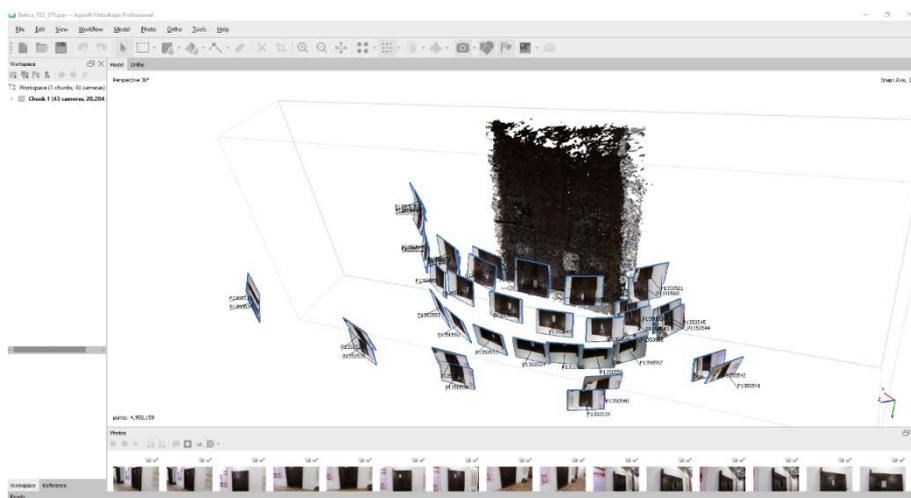


Fig. 21.- Vista del modelo 3D obtenido por fotogrametría de la puerta de del interior de la botica, en la que se aprecia que la nube de puntos generada es ruidosa y no representa correctamente su geometría.

Por otro lado, también se realizó un registro fotogramétrico del patio exterior, para lo cual se contó también con apoyo topográfico obtenido mediante estación total.



Fig. 22.- Obtención de coordenadas de los puntos de apoyo situados en la fachada del patio exterior mediante una estación total topográfica.

3.4.- Catalogación y difusión de los grafitos

Uno de los fines del proyecto consiste en que los modelos estén disponibles al público a través de repositorios que permitan su conexión mediante de agregadores culturales. A este respecto, se contactó con el portal Cer.es²⁰ del Ministerio de Cultura, que es un catálogo colectivo que da acceso —a través de la red— a las colecciones de diversos museos de arqueología, arte, etnografía, ciencias, historia natural, etc. de diversa titularidad (públicos o privados) y ámbito (estatales, autonómicos y locales).

Actualmente no existe ninguna colección correspondiente a museos situados en la comunidad autónoma de La Rioja, por lo que se consideró que sería muy interesante enlazar los contenidos que se generen en el presente proyecto.

²⁰ <https://ceres.mcu.es>

The image shows a screenshot of the CER.es portal. At the top, there is a navigation bar with the Spanish flag, the logo of the Ministerio de Cultura y Deporte, and the CER.es logo. Below this, there are search options: 'Búsqueda General', 'Búsqueda Avanzada', 'Selección por agrupaciones de Museos', and 'Selección de Museos'. The main content area is titled 'Ficha Completa' and features a small image of a wooden door handle with a graffiti. To the right of the image is a detailed record card with the following information:

Museo	Museo de la Alhambra
Inventario	000264
Departamento	Museo de la Alhambra (MA)
Clasificación Genérica	Cubiertas; Madera. Elementos arquitectónicos; Estructuras de carga; Aleros
Objeto/Documento	Canecillo
Materia/Soporte	Madera de pino CLAVO: Metal
Técnica	Tallado Cleveteado Pintado
Dimensiones	Altura = 8 cm; Anchura = 104 cm
Firmas/Marcas/Etiquetas	Cola del canecillo, Epigrafía, Árabe, Grafiti (Que prevalece o que lleva ventaja o que predomina) [Traducción provisional de Antonio Fernández-Puertas en el libro de M. Carmen López Pertíñez La carpintería en la arquitectura nazarí (Granada: Instituto Gómez-Moreno, Fundación Rodríguez-Acosta, 2006), pp. 146-148.]
Datación	1380[ca]
Contexto Cultural/Estilo	Nazarí
Lugar de Procedencia	Palacio de los Leones. Patio, La Alhambra(Granada (m), Vega de Granada (comarca))
Lugar Específico/Yacimiento	Palacio de los Leones. Patio
Clasificación Razonada	La cronología del canecillo se deduce de la fecha de construcción del patio de los Leones en el palacio al-Riyad al-Sa'idi (El Jardín Feliz), en torno a 1380, durante el segundo sultanato de Muhammad V (1362-1391). Colección Estable
Tipo de Colección	Aleros nazaríes. En: TORRES BALBÁS, Leopoldo. I. Madrid: Instituto Miguel Asín, 1951. XVI. Crónica Arqueológica de la España Musulmana, XXVIII. Otros lugares de edición: Granada, Pp. 169-182.
Bibliografía	GÓMEZ-MORENO Y MARTÍNEZ, Manuel. <i>La carpintería en Granada</i> . LÓPEZ PERTÍÑEZ, M.ª Carmen(prof); MOYA MORALES, Javier(prof), Granada: Instituto Gómez-Moreno, Fundación Rodríguez-Acosta, 2001. P. 127. <i>Intercambios artísticos entre Al-Andalus y el Occidente musulmán</i> . En: TORRES BALBÁS, Leopoldo. Madrid: Instituto Miguel Asín, 1935. III. Crónica

Fig. 23.- Ficha de registro del portal CER.es correspondiente a un grafito en un canecillo de madera de la Alhambra de Granada.

Sin embargo, tras varios correos con el Ministerio, se llegó a la conclusión de que esta vía no era realizable, ya que el Ministerio, si bien proporciona gratuitamente el software de gestión de los contenidos, requiere firmar un convenio con la entidad (es decir, el museo) con la exigencia de que esta entidad cuente con un equipamiento informático y un servicio de mantenimiento de los sistemas de los que, actualmente, carece.

Por este motivo, se valoraron otras alternativas de publicación online de los contenidos del museo. En concreto, se ha creado un registro²¹ en el repositorio ADDI de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) desde el cual el presente informe y los resultados generados quedarán depositados y accesibles de manera abierta.

De manera complementaria, se ha realizado una prueba de publicación del conocimiento relativo a las actuaciones de conservación-restauración efectuadas y al contenido de los propios grafitos utilizando estructuras semánticas a través de Wikibase²², que es una parte del entorno Wikipedia.

²¹ <http://hdl.handle.net/10810/68942>

²² <https://www.wikibase.cloud/>

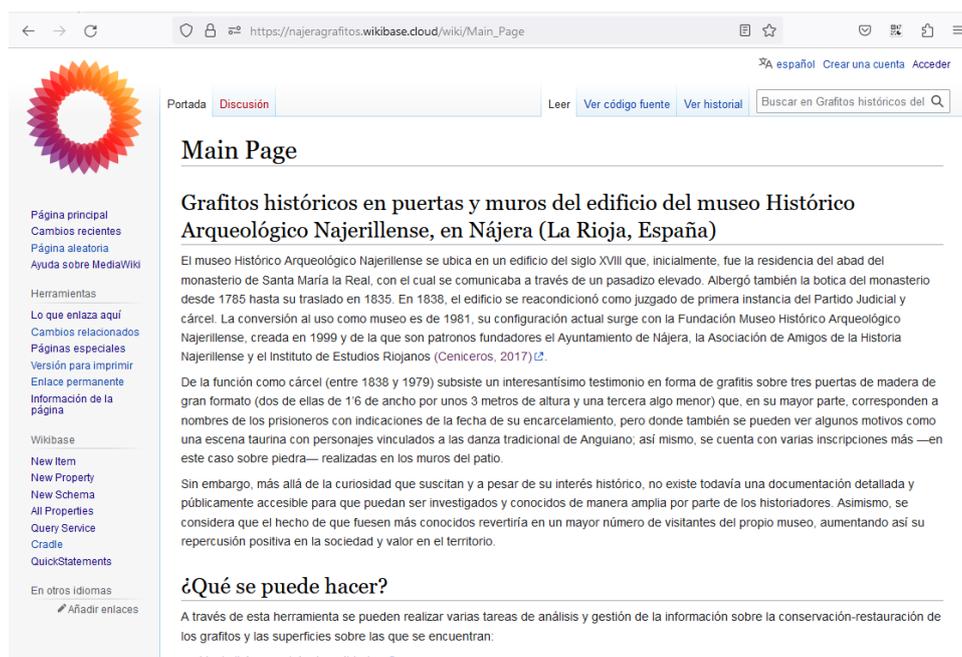


Fig. 24.- Página de inicio de la base de datos semántica sobre los grafitos del museo Najerillense en Wikibase.

Este recurso semántico resulta de gran interés, ha quedado publicado para su consulta libre y se pretende seguir desarrollándolo a medida que se vaya aumentando la información sobre la catalogación de los grafitos. Para disponer de una versión estable de la base de datos se ha encargado a la empresa de servicios informáticos Bidetek que nos realicen la configuración del servidor informático del que disponemos en el laboratorio de la Universidad del País Vasco para que pueda almacenarla.

3.5.- Caracterización química

Con el fin de disponer de una rica base de información para la conservación preventiva y el seguimiento del estado de conservación de los grafitos, se consideró interesante acompañar el registro geométrico 3D de las superficies de soporte (que aparecerá recogido junto a los grafitos) con datos complementarios, en particular, sobre la composición química de las piedras de los grafitos del exterior (que son los que presentan un mayor grado de alteración).

La toma de datos se realizó mediante un equipo de espectrometría portátil de fluorescencia rayos X por dispersión de energía (p-ED-XRF), el trabajo de campo contó con la participación del investigador Saúl Guerrero, compañero del grupo de investigación GPAC de la UPV/EHU.



Fig. 25.- Toma de datos químicos (izquierda) e imagen de detalle del estado del grafito (derecha).

Estos datos se enlazarán con los correspondientes modelos 3D de los grafitos y, de manera paralela, se analizarán para ver si es posible determinar características relevantes en las variaciones químicas con respecto al estado de degradación de las piedras.

El informe detallado con los resultados se presenta en el Anexo 2.

3.6.- Obtención de imágenes de relieve

Aunque los modelos 3D son la copia más próxima al grafito, en ocasiones no son el mejor producto para su estudio ya que resulta preferible disponer de imágenes 2D realizadas en las cuales se aprecien con más detalle los trazos. Por este motivo, se han realizado imágenes sintéticas de los diferentes grafitos individuales o agrupaciones en partes concretas de las puertas y muros.

Para ello, se parte de las nubes de puntos de detalle (mediante el método de «escaneo HD manual») de una porción concreta, por ejemplo, una parte de una de las puertas. Cada una de las puertas de mayor tamaño se han dividido en 12 paneles, siguiendo la división que se genera por las propias tablas y las filas de clavos metálicos.

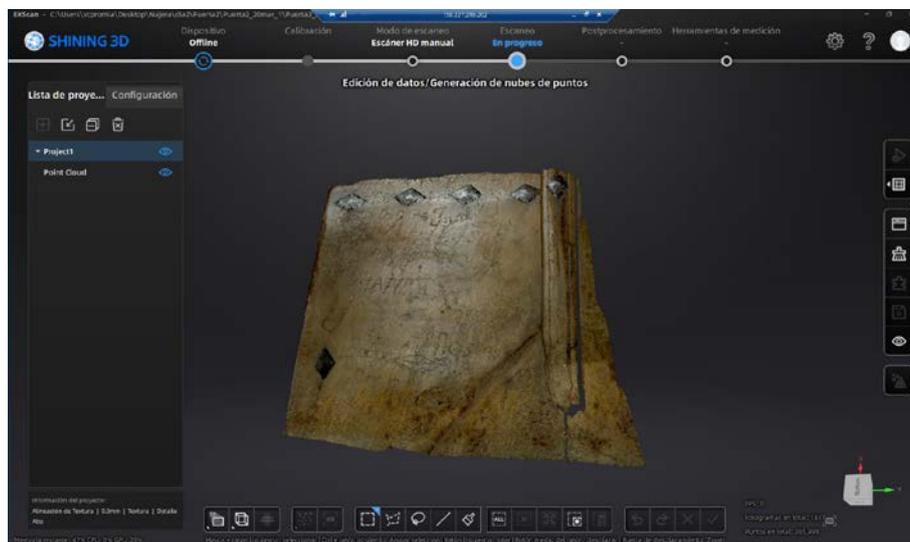


Fig. 26.- Panel inferior izquierdo (1 de 12) de la puerta interior de mayor tamaño.

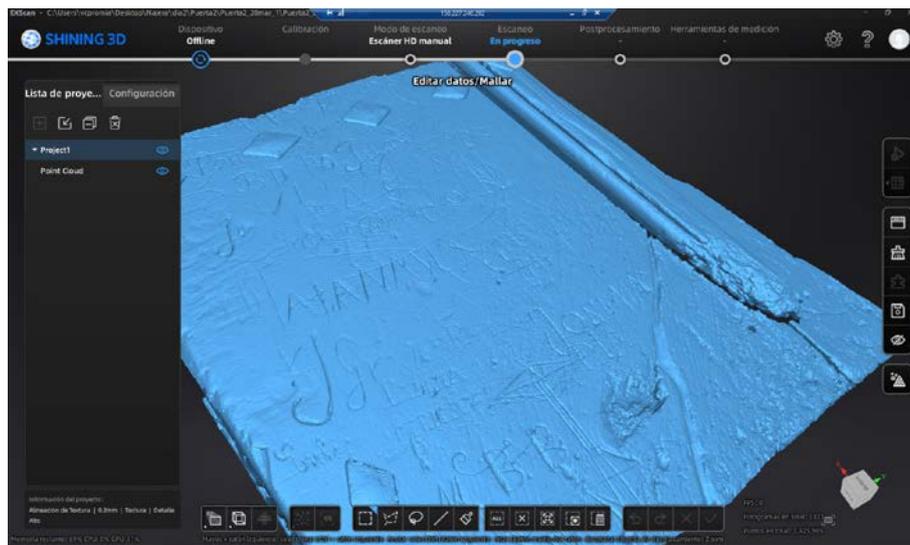


Fig. 27.- Misma nube de puntos sin textura fotográfica (con sombreado del relieve).

Estas nubes se alinean para definir la posición del sistema de coordenadas. En concreto, se orientan de manera que se defina un plano (XY) con la superficie de referencia y el eje (Z) saliendo hacia el exterior, también se define un eje X+ de izquierda a derecha. La nube resultante se exporta en un fichero de texto que se procesa utilizando un programa desarrollado por nuestro Laboratorio²³ para el tratamiento de nubes de puntos.

Entre las diferentes rutinas de procesamiento que tiene esta aplicación informática, se emplea la destinada a generar imágenes simplificadas y coloreadas mediante una fuente de iluminación. En concreto, la aplicación genera un «modelo digital de elevaciones» con una resolución a definir (se han generado con un tamaño de 0'2 mm) que luego se sombrea utilizando como referencia la dirección de la fuente de luz indicada por el usuario. Tras realizar diferentes pruebas y comprobar los resultados obtenidos, los parámetros utilizados son los que se muestran en la siguiente imagen:

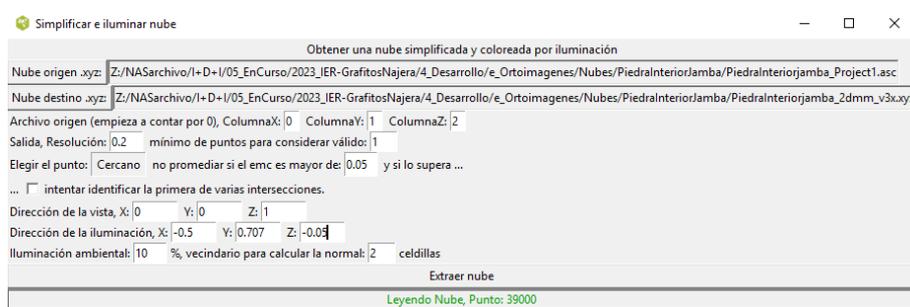


Fig. 28.- Captura de pantalla del programa para la generación de nubes de puntos sombreadas.

Una vez obtenido el modelo sombreado, se genera la ortoimagen utilizando otro programa del Laboratorio. En este caso se utiliza una resolución de 0'5 mm (es necesario que esta resolución sea mayor que la de la nube de puntos de la que se obtiene la ortoimagen para que no aparezcan píxeles vacíos). La dirección de la vista es igualmente vertical sobre un plano XY.

²³ Este software está disponible en el repositorio ADDI (<http://hdl.handle.net/10810/6167>).

Esta imagen (en formato JPEG) puede procesarse posteriormente con software de tratamiento de imágenes (como *Gimp*®) para resaltar los bordes, mostrando así una visión del relieve subyacente que sirve para reflejar una parte importante de los grafitos, pero también muestra degradaciones interesantes de los soportes (tanto piedra como madera) así como aspectos de configuración de las capas pictóricas en el enlucido (sobre la técnica de reintegración cromática). Si bien, como se ha indicado, el nivel de definición, corresponde al indicado de 0'5 mm, por lo que aspectos de menor tamaño no son apreciables y, además, hay que seguir teniendo en cuenta que una imagen 2D, por sus características corresponde a una reducción de la realidad 3D por lo que también existe una pérdida de información en este sentido.

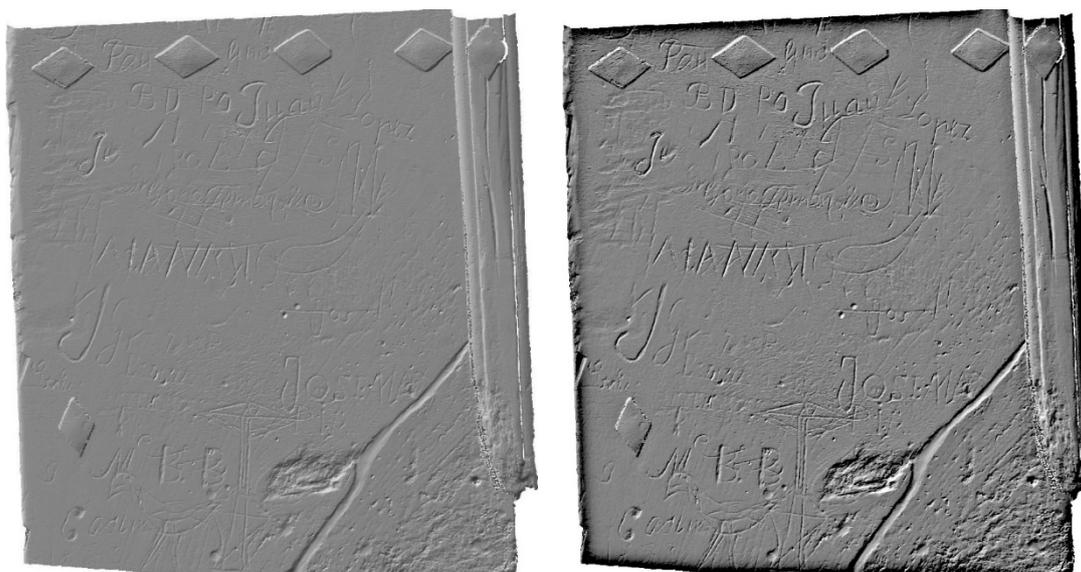


Fig. 29.- En la parte izquierda: ortoimagen sintética (2D) de la nube de puntos sombreada de una porción de la puerta grande interior. En la parte derecha: la misma imagen realzada utilizando un filtro en un programa de tratamiento de imágenes.

3.7.- Fotografías de alta resolución espacial y rango dinámico (HDR)

Con el fin de complementar la documentación de los conjuntos (puertas completas) que se generaron mediante fotogrametría 3D, se consideró conveniente obtener fotografías de detalle con la cámara de 50 megapíxeles, con esta resolución se preveía que las imágenes de las puertas completas tuvieran una resolución cercana a los 0'5 mm, lo cual es similar a lo que consiguen las ortoimágenes generadas a partir del relieve de los escaneos, con la diferencia de que aquí lo que se representa es la parte visible. Por otro lado, al igual que se hizo con los escaneos de detalle, se procedió a obtener fotografías detalladas de los 12 paneles por puerta (grandes), con una resolución cercana a 0'1 mm.

La puerta exterior dispone de una fotografía general y 9 fotografías de detalle, organizadas en 3 filas (numeradas de arriba abajo) y 3 columnas (numeradas de izquierda a derecha). Por su parte, la puerta interior de mayor tamaño cuenta con una fotografía general y doce fotografías de detalle que corresponden a los paneles separados por las filas de clavos y los listones verticales, de esta manera se disponen

de 4 filas (numeradas de arriba abajo) y tres fotografías por línea (numeradas de izquierda a derecha).

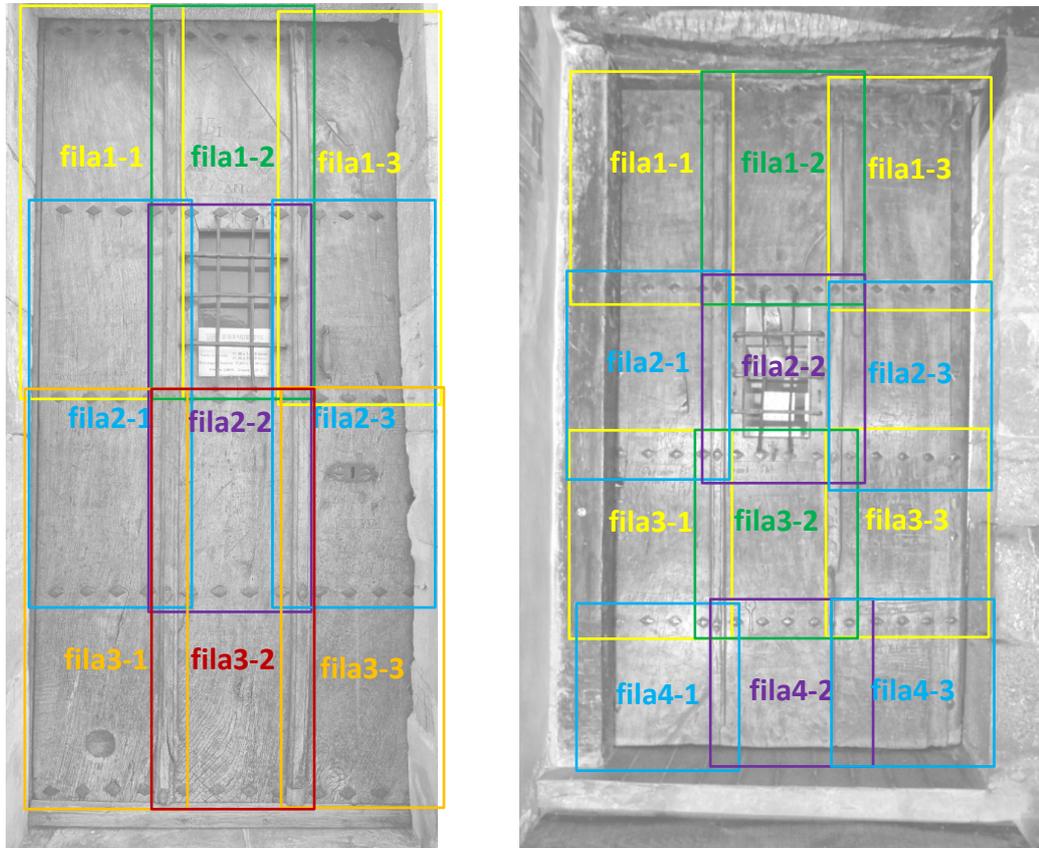


Fig. 30.- Identificación de las imágenes HDR de las puertas de mayor tamaño (exterior a la izquierda e interior a la derecha).

Por otra parte, la siguiente imagen muestra la extensión de las fotografías de detalle de la puerta del interior de la botica. En este caso, han sido seis que corresponden a las tres primeras filas entre clavos (empezando a contar desde arriba), para cada fila se han obtenido dos imágenes, una de la parte izquierda y otra de la derecha, con cierto solape en la parte central; para identificar la posición dentro de la fila, se utilizan un segundo número que corresponde al “1” para la imagen de la izquierda y “2” para la de la derecha. La banda inferior de la puerta no se ha fotografiado ya que carece de grafitos.

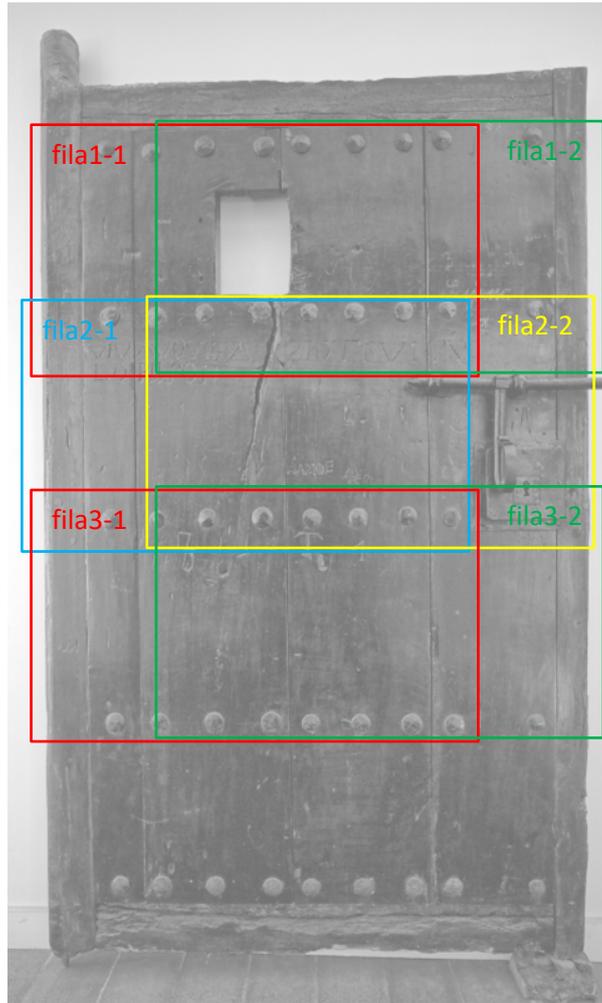


Fig. 31.- Identificación de las imágenes HDR de la puerta del interior de la antigua botica.

4.- Resultados

Se ha generado la documentación 3D de detalle de los grafitos de las tres puertas, que incluyen modelos 3D e imágenes realzadas; así como un modelo 3D y una ortoimagen a partir del modelo fotogramétrico del patio del museo.

Por otro lado, se dispone de los muestreos de caracterización química de diferentes partes del patio. Con estos datos se generarán fichas descriptivas que se enlazarán con sus respectivos modelos 3D. Queda fuera del objeto del presente proyecto avanzar en el análisis de los datos químicos, lo cual se realizará en los próximos meses y tendrá su publicación a través del repositorio institucional y revistas especializadas.

La carpeta «contenido digital» se presenta la siguiente estructura de ficheros:

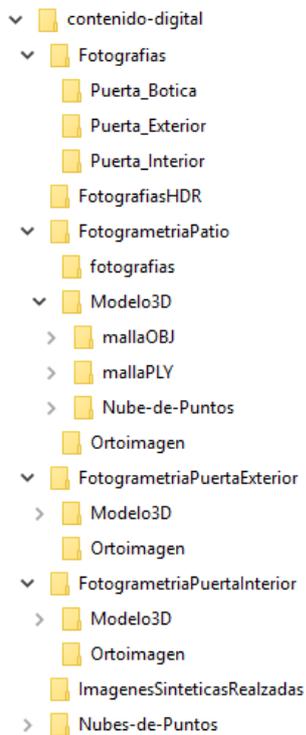


Fig. 32.- Estructura de carpetas con el contenido digital generado además de la presente memoria.

Los ficheros tienen una nomenclatura que permite conocer su contenido a través de su denominación; así, por ejemplo, el fichero: IER_NAJ2024_fotoHDR_PinturaBotica-general.jpg incluye diversos bloques de información separados por la barra baja, en concreto:

- IER → corresponde a la sigla del Instituto de Estudios Riojanos, que hace referencia a la entidad financiadora del proyecto.
- NAJ2024 → se refiere al proyecto concreto financiado en la presente convocatoria de «Ayudas para estudios científicos de temática riojana, año 2023-2024».
- fotoHDR → tipo de documento. Entre los resultados se han generado los siguientes: fotoHDR (fotografías de alto rango dinámico)

- `PinturaBotica-general` → un nombre descriptivo del fichero concreto, que permita identificar el elemento y la zona específica a la que se refiere la información.
- `.jpg` → extensión del fichero (en este caso un archivo de imagen JPEG) que señala el tipo de información y posibilita elegir el programa adecuado para visualizarla.

La descripción de las imágenes que se presentan se ha enriquecido mediante la inclusión de metadatos. A este respecto, existen dos esquemas (listas de campos con atributos) que son de especial interés: por un lado, el denominado *Exchangeable image file format* (conocido como: Exif) y el *International Press Telecommunications Council (IPTC) Photo Metadata Standard*.

- 1) El primero de ellos (Exif) incluye información técnica sobre las condiciones de la cámara en el momento de la toma (apertura, distancia focal, tiempo de exposición, fecha, etc.) y, en gran medida, son adjuntados de manera automática en los ficheros de imágenes en el momento de la toma por la propia cámara fotográfica. Este estándar también incluye algún campo descriptivo como el creador de la imagen, una pequeña descripción de la escena, una mención a la situación del copyright o la localización mediante coordenadas (dato, este último, que puede ser incorporado automáticamente si la cámara dispone de un sensor GPS conectado).
- 2) Por otro lado, los metadatos IPTC corresponden a información de carácter cualitativo relativa a la escena fotografiada (elementos, personas, paisaje, etc.) la autoría, derechos asociados, etc. Por este motivo, estos metadatos deben ser añadidos posteriormente de manera individualizada.

En el presente proyecto, los metadatos IPTC se han incorporado utilizando el software *Adobe Lightroom®*.

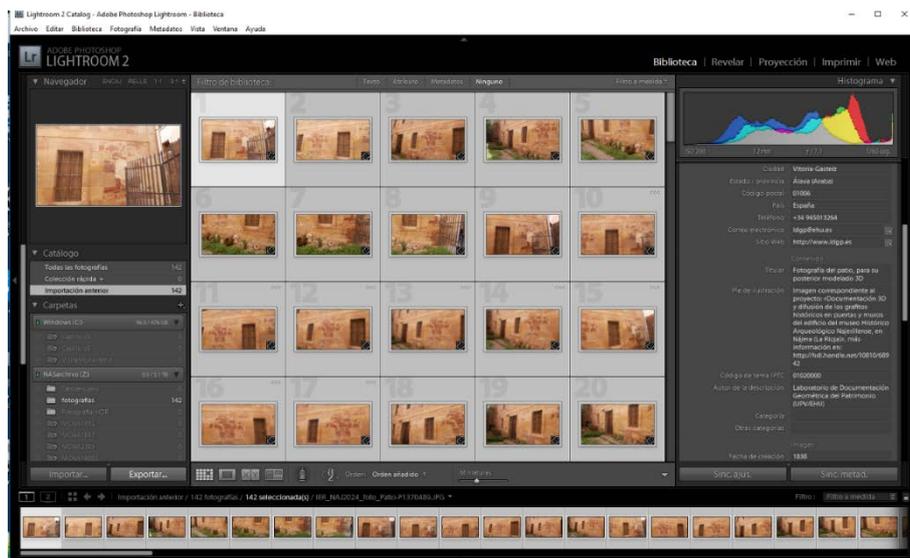


Fig. 33.- Inclusión de metadatos en las fotografías utilizando el programa *Adobe Lightroom®*.

A modo de ejemplo, se presenta, a continuación, la descripción incorporada a una de las imágenes. En color azul se han escrito las descripciones que son generales para todos los ficheros y en color verde las que son particulares para cada uno.

a) **Información Básica**

- Pie de ilustración (Description/Caption): Imagen correspondiente al proyecto: «Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja)», más información en: <http://hdl.handle.net/10810/68942>

b) **Contenido IPTC**

- Titular (Headline): Fotografía de la puerta de acceso para su posterior modelado 3D.
- Código de tema IPTC (IPTC Subject Code)²⁴: 01020000
- Autor de la descripción (Description Writer): Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV/EHU)

c) **Copyright IPTC**

- Copyright (Copyright): Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV/EHU)
- Estado del Copyright (Copyright status): Con copyright
- Términos de uso de derechos (Rights Usage Terms)²⁵: El presente trabajo se presenta al público bajo licencia Creative Commons-BY // This work is licensed to the public under the Creative Commons Attribution license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

d) **Creador IPTC**

- Creador (Creator): Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV/EHU)
- Dirección del creador (Creator Address): c/ Justo Velez de Elorriaga, 1. Centro de Investigación Micaela Portilla (Despacho 2.01 - GPAC)
- Ciudad del creador (Creator City): Vitoria-Gasteiz
- Estado/Provincia del creador (Creator State/Province): Álava (Araba)
- Código postal del creador (Creator Postal Code): 01006
- País del creador (Creator Country): España
- Teléfono del creador (Creator Phone): +34 945013264
- Correo electrónico del creador (Creator e-mail): ldgp@ehu.es
- Sitio web del creador (Creator website): <http://www.ldgp.es>

e) **Imagen IPTC**

- Fecha de creación (Date Created)²⁶: 1838 / 1979
- Género intelectual (Intellectual Genre): Graffiti - <http://vocab.getty.edu/page/aat/300015613>

²⁴ Este campo está controlado y debe rellenarse por un código de una lista, el descriptor seleccionado corresponde a «Artes».

²⁵ Forma recomendada de indicar la licencia según la web: <https://wiki.creativecommons.org/wiki/XMP>, para el caso concreto de una licencia del tipo CC-BY.

²⁶ Periodo en que el edificio estuvo destinado a cárcel y en la que se realizaron los grafitos de interés para el proyecto.

- Ubicación (Location): museo histórico arqueológico Najerillense
- Ciudad (City): Nájera
- Estad/Provincia (State/Province): La Rioja
- País (Country): España
- Código del país ISO (ISO Country Code): ES

f) Estado IPTC

- Proveedor (Provider/Credit Line): Imágenes obtenidas en el contexto de un proyecto financiado por la convocatoria «Ayudas» del IER (2023-2024). Investigadores: Javier Ceniceros Herreros, Beñat García Gracianteparaluceta, Javier García Iñáñez, Jaione Korro Bañuelos, Álvaro Rodríguez Miranda y José Manuel Valle Melón.

g) Palabras clave

- Palabras clave (Keywords): grafitos históricos, cárcel, Nájera, La Rioja

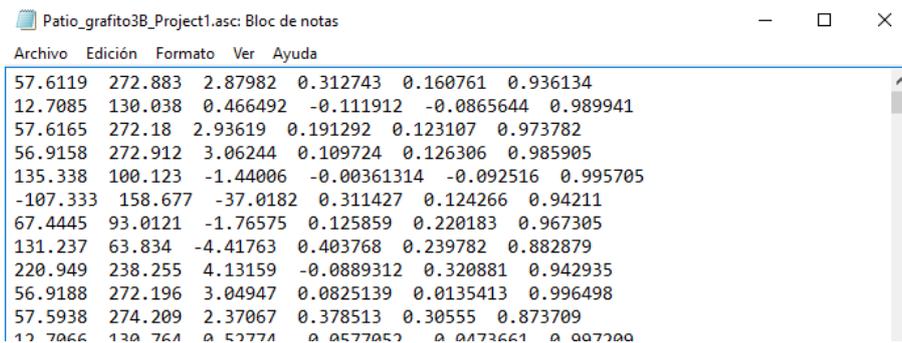
Los modelos 3D del patio y de las puertas también se complementan con ficheros de metadatos y se empaquetan junto a sus correspondientes archivos (en caso de los OBJ que constan de tres: la definición de la geometría, la textura y un archivo de mapeo). En los casos de los PLY, son el archivo con la definición de la geometría y para las nubes de puntos, son un único archivo en formato Ascii a seis columnas con las tres primeras dedicadas a las coordenadas X Y Z y las tres siguientes para los canales cromáticos R G B en el rango (0-255).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Metadata generated with CATDOIkit version 4.6.6 -->
<rdf:RDF xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns:dcterms="http://purl.org/dc/terms/"
  xmlns:fgdc="http://www.fgdc.gov/metadata/fgdc-STD-001-1998/"
  xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/"
  xmlns:gco="http://www.isotc211.org/2005/gco"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:skos="http://www.w3.org/2004/02/skos/core#" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <rdf:Description rdf:about="IER_NA2024_malla3D_Patio-muro-color">
    <dc:title>Modelo 3D del patio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, Nájera (La Rioja)</dc:title>
    <dc:creator>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV/EHU)</dc:creator>
    <dc:subject>
      <skos:Concept>
        <skos:prefLabel xml:lang="spa">grafiti</skos:prefLabel>
      </skos:Concept>
    </dc:subject>
    <dc:subject>
      <skos:Concept>
        <skos:prefLabel xml:lang="spa">museo</skos:prefLabel>
      </skos:Concept>
    </dc:subject>
    <dc:description>El museo Histórico Arqueológico Najerillense se ubica en un edificio del siglo XVIII que, inicialmente, fue la residencia del abad del monasterio de Santa María la Real, con el cual se comunicaba a través de un pasadizo elevado. Albergó también la botica del monasterio desde 1785 hasta su traslado en 1835. En 1838, el edificio se reconstruyó como juzgado de primera instancia del Partido Judicial y cárcel. La conversión al uso como museo es de 1981, su configuración actual surge con la fundación Museo Histórico Arqueológico Najerillense, creada en 1999 y de la que son patronos fundadores el Ayuntamiento de Nájera, la Asociación de amigos de la Historia Najerillense y el Instituto de Estudios Riojanos. De la función como cárcel (entre 1838 y 1979) subsiste un interesantísimo testimonio en forma de grafitis sobre tres puertas de madera de gran formato (dos de ellas de 1'6 de ancho por unos 3 metros de altura y una tercera algo menor) que, en su mayor parte, corresponden a nombres de los prisioneros con indicaciones de la fecha de su encarcelamiento, pero donde también se pueden ver algunos motivos como una escena taurina con personajes vinculados a las danzas tradicionales de Anguiano; así mismo, se cuenta con varias inscripciones más -en este caso sobre piedra- realizadas en los muros del patio. </dc:description>
    <dc:publisher>
      <foaf:Association>Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio (UPV/EHU)</foaf:Association>
    </dc:publisher>
    <dc:contributor>
      <foaf:Association>Museo Histórico Arqueológico Najerillense</foaf:Association>
    </dc:contributor>
    <dc:contributor>
      <foaf:Association>Instituto de Estudios Riojanos (IER)</foaf:Association>
    </dc:contributor>
    <dc:date>2024-09-30</dc:date>
    <dc:type>
      <skos:Concept>
        <skos:prefLabel xml:lang="eng">3D point cloud</skos:prefLabel>
      </skos:Concept>
    </dc:type>
    <dc:format>TXT (Fichero ascii a 6 columnas separadas por tabulaciones, correspondientes a las coordenadas X Y Z y a los canales cromáticos R G B -en el rango 0 255-
  </dc:format>
    <dc:identifier>IER_NA2024_malla3D_Patio-muro-color.txt</dc:identifier>
    <dc:source>Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja).
    http://hdl.handle.net/10810/68942/</dc:source>
    <dc:language>
      <skos:Concept rdf:about="http://www.iso.org/ISO639-3/spa">
        <skos:inScheme rdf:resource="http://purl.org/dc/terms/ISO639-3">
          <skos:prefLabel xml:lang="en">Spanish</skos:prefLabel>
        </skos:Concept>
      </dc:language>
    </dc:relation>
    <foaf:Association>http://www.ldgp.es/</foaf:Association>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Fig. 34.- Fichero XML con metadatos que se asocia a los modelos 3D, empaquetándolos en un archivo ZIP.

Respecto a las nubes de puntos exportadas, los ficheros ".asc" que se generan directamente del escáner son texto Ascii a seis columnas. Indican las coordenadas X Y Z en el sistema definido durante el procesado (con el plano XY en la superficie de

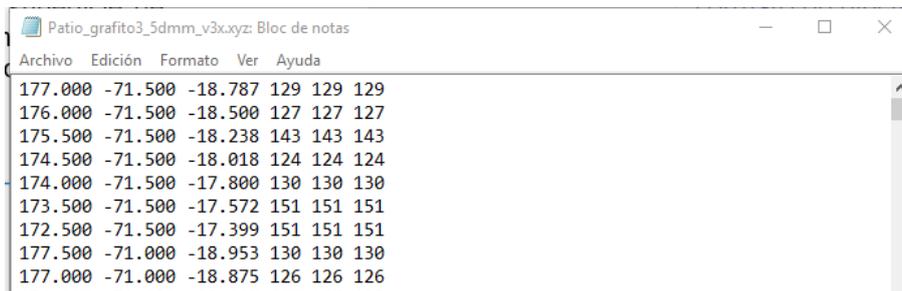
elemento donde se sitúa el grafito y el eje Z hacia el exterior) y tres columnas más con los valores de los canales cromáticos RGB (rojo, verde, azul) en el rango de 0 a 1.



```
Patio_grafito3B_Project1.asc: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
57.6119 272.883 2.87982 0.312743 0.160761 0.936134
12.7085 130.038 0.466492 -0.111912 -0.0865644 0.989941
57.6165 272.18 2.93619 0.191292 0.123107 0.973782
56.9158 272.912 3.06244 0.109724 0.126306 0.985905
135.338 100.123 -1.44006 -0.00361314 -0.092516 0.995705
-107.333 158.677 -37.0182 0.311427 0.124266 0.94211
67.4445 93.0121 -1.76575 0.125859 0.220183 0.967305
131.237 63.834 -4.41763 0.403768 0.239782 0.882879
220.949 238.255 4.13159 -0.0889312 0.320881 0.942935
56.9188 272.196 3.04947 0.0825139 0.0135413 0.996498
57.5938 274.209 2.37067 0.378513 0.30555 0.873709
12.7066 130.764 0.52774 0.0577053 0.0473661 0.997200
```

Fig. 35.- Extracto que muestra el formato de almacenamiento de las nubes de puntos en formato “.asc”, que son los obtenidos directamente del programa de tratamiento de datos del escáner.

Por su parte, los ficheros “.xyz” corresponden a una versión remuestreada de los escaneos parciales de cada panel con grafitos definido a 0’2 mm de separación entre puntos (con algunos casos de grafitos del exterior en que se ha usado un espaciado de 0’5 mm). Cuentan con tres columnas más indicando el nivel de sombreado artificial, en la escala de 0 (negro) a 255 (blanco), las tres columnas corresponden a los canales RGB y al ser iguales los tres valores, la representación será un tono de gris.



```
Patio_grafito3_5dmm_v3x.xyz: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
177.000 -71.500 -18.787 129 129 129
176.000 -71.500 -18.500 127 127 127
175.500 -71.500 -18.238 143 143 143
174.500 -71.500 -18.018 124 124 124
174.000 -71.500 -17.800 130 130 130
173.500 -71.500 -17.572 151 151 151
172.500 -71.500 -17.399 151 151 151
177.500 -71.000 -18.953 130 130 130
177.000 -71.000 -18.875 126 126 126
.....
```

Fig. 36.- Extracto que muestra el formato de almacenamiento de las nubes de puntos en formato “.xyz”, que corresponden a la iluminación artificial.

Ambos ficheros se empaquetan juntos en un ZIP con un fichero xml de metadatos similar al indicado anteriormente para los modelos 3D de puertas y patio.

Por otro lado, se dispone del conjunto de fotografías de la documentación fotogramétrica. Esta documentación resulta interesante ya que se prevé que esta zona pueda ser remodelada durante la actuación que se desarrollará en breve, de tal manera que quede como registro del estado previo. Además, permite ver la situación de varios grafitos que no se han documentado con detalle en el presente trabajo como, por ejemplo, el texto «Eulogio Marcos 1883» que se lee en el dintel de la ventana de la izquierda de la siguiente imagen.



Fig. 37.- Fotografía del patio en la que se aprecian algunos grafitos incluso en la imposta entre plantas.

Respecto a las fotografías del patio, aparece reflejado un conjunto de señales de puntería de 3x3 cm., que se utilizan para escalar este modelo. Su identificación y posición es la que se presenta en la siguiente imagen.



Fig. 38.- Distribución de las dianas (puntos de apoyo) que sirven para dar escala al modelo 3D del patio.

Sus coordenadas (en un sistema local) son las siguientes:

	X	Y	Z
D01	997.111	1993.479	499.494
D02	996.752	1993.746	501.151
D03	997.228	1995.209	498.914
D04	997.009	1997.312	500.889
D06	996.898	2000.743	501.135
D07	997.200	2003.946	500.912
D08	997.468	2004.234	499.005
D09	997.332	2008.226	500.910
D10	997.690	2008.247	498.860

El punto 5 corresponde a una diana que se desprendió de su posición antes de la captura de fotografías, por lo que no aparece en el registro.

5.- Conclusiones

El presente proyecto presenta varios aspectos de interés: por un lado, en lo relativo a los estudios sobre los grafitos como manifestaciones culturales y su repercusión en el conocimiento histórico de diferentes periodos de la localidad. Por otro lado, existe una segunda derivada vinculada con la promoción del territorio en base a los recursos patrimoniales (en este caso el museo Najerillense) y, finalmente, existe una componente técnica relativa a las técnicas y métodos de documentación que se han desarrollado y empleado.

Empezando por esta última (la relativa a las técnicas de documentación), el proyecto ha permitido experimentar con equipamiento de alta precisión y combinar diferentes métodos de registro y procesado de datos para la generación de los modelos 3D y productos derivados (como las imágenes realizadas) así como la combinación con otras fuentes de datos (como es el caso de la caracterización química). Todo ello tiene un interés metodológico evidente para el registro de un tipo de bien tan sutil y frágil como son los grafitos y es de esperar que suponga un incremento en el conocimiento y en las capacidades técnicas que, con el tiempo, irá exponiéndose a través de publicaciones científicas. En el limitado plazo de ejecución del presente proyecto estas publicaciones no están aún disponibles, pero sí que se dispone de los datos y están en curso de redacción lo que esperamos que permita su publicación en un futuro cercano.

Al respecto de las técnicas de documentación de los grafitos, en los párrafos anteriores ya se han ido apuntando datos sobre los límites y retos que se han ido produciendo durante los diferentes registros, debido a las características de las superficies (colores, dimensiones, grado de deterioro...) y los propios grafitos (tamaño, finura del trazo, superposición...) así como las diferentes cambios y adaptaciones realizadas en los días sucesivos para conseguir solventar todas estas dificultades. En conjunto, el repertorio del museo Najerillense supone un campo de pruebas excelente para la puesta a punto de las técnicas de documentación y este conocimiento resultará de gran interés para muchos otros profesionales e investigadores que necesiten acercarse al estudio de los grafitos.

Asimismo, es interesante apuntar la complementariedad entre la imagen fotográfica y la geometría 3D para un estudio donde los elementos a identificar (los grafitos) tienen representación en ambas características de manera variable según el grafito concreto. Además, esta complementariedad permite determinar características adicionales como el estado de conservación del soporte, las técnicas de restauración empleadas, etc. lo que, en ocasiones, no se aprecia correctamente con uno sólo de los tipos de información.

Evidentemente, la disponibilidad de un único producto con una geometría y textura fotográfica de alta resolución sería ideal, pero resulta difícil de conseguir en situaciones tan variadas como las analizadas (mural, con poco relieve y mucho color; la puerta oscura con mucho brillo y que presenta una gran dificultad para la fotografía, la piedra exterior con un elevado deterioro...). El hecho de generar diferentes tipos de productos (fotografías, imágenes sintéticas, modelos 3D...) puede, en algunos casos, dar una mayor flexibilidad, aunque esto suponga renunciar a la unidad. Así, se ha combinado una fotogrametría de objeto cercano (no macro) que obtiene una representación 3D con texturas fotográficas de los elementos soporte (puertas, muros...) para su análisis como estructuras portantes (como partes de los elementos muebles del edificio), luego las imágenes de alta resolución (imagen, nuevamente) permiten un estudio complementario más detallado de la característica visual (que, en muchos casos, resulta primordial ya

que, recordemos, los grafitos están originalmente hechos para ser leídos), que también muestra las afecciones sobre la imagen de las degradaciones.

Por su parte los escaneados 3D de detalle (ya que los generales no han dado el resultado esperado y, en todo caso, resultan peores que la documentación mediante fotogrametría) corresponde a las nubes 3D ajustadas de cada panel (como producto entregable), aquí las texturas fotográficas presentan limitaciones y también se han apreciado algunos casos de errores en el ajuste de la geometría que deberían ser tenidos en cuenta, aunque para el objeto de este trabajo (que es reflejar los grafitos) no resultan críticos y se han tolerado siempre que no han supuesto una mala interpretación de los textos (es decir, que aparecen como un ligero defecto/deterioro en la captura de la geometría pero no generan una interpretación errónea de los textos escritos). Estos escaneados 3D sirven como base para la generación de imágenes sintéticas realizadas, sobre las que apreciar mejor los grafitos.

Asimismo, es interesante llamar la atención sobre las próximas actuaciones de remodelación del edificio y que posiblemente conlleven obras que puedan alterar a los grafitos existentes y la consiguiente pérdida de la información y su valor patrimonial. Por este motivo, resulta de gran importancia avanzar en la digitalización y puesta a disposición pública de los grafitos. En especial si tenemos en cuenta que, más allá de su temática general, estos grafitos aún no han sido estudiados de una manera sistemática, se carece de un listado completo de textos e imágenes, ni se cuenta tampoco con un plan específico de estudio y protección.

A este respecto, se ha destacar que el presente proyecto debe servir como llamada de atención sobre la necesidad de estudiar y cuidar estos grafitos, no sólo por su valor patrimonial, sino por su atractivo para potenciar la aportación del museo a la sociedad. Sería muy interesante proseguir con el estudio, preferentemente, integrándolo dentro de las acciones de reforma que van a efectuarse en el edificio o, quizás, en contextos que permitan un análisis más detallado —aquí ya desde el punto de vista histórico— que quizás tuvieran su cabida dentro de la convocatoria de “Planes” del IER.

Como punto final, cabe indicar que se ha presentado a la Escuela de Patrimonio del IPCE una nueva propuesta de realización de un seminario monográfico sobre la documentación de grafitos y que, en dicha propuesta (en fase de estudio por el IPCE) se contempla la realización de talleres prácticos en el museo Najerillense, lo que dará la oportunidad de que estos grafitos sean conocidos y analizados por un grupo de profesionales de todo el país interesados desde diferentes disciplinas.

6.- Bibliografía

- Arrúe Ugarte, B.; Rodríguez Miranda, Á.; Valle Melón, J.M. (2022). *Trazados de arquitectura y grafitos históricos en el monasterio de San Millán de la Cogolla, de Yuso (La Rioja): una historia constructiva y conventual narrada en los muros*. Fundación San Millán de la Cogolla. ISBN: 978-84-18088-15-5.
- Arrúe Ugarte, B.; Calvo López, J.; Cenicerros Herreros, J.; Closa Pujabet, J.; Lorenzo Arribas, J.; Ozcáriz Gil, P.; Pinto Puerto, F.; Rodríguez, Á.; Ruiz de la Rosa, J.A.; Valle Fernández, T.; Valle Melón, J.M.; Yusta Bonilla, J.F. (2022). *Guía de buenas prácticas para la documentación, conservación-restauración y difusión de trazados de arquitectura, montañas y grafitos históricos en el patrimonio monumental*. Nájera (La Rioja), abril, 2022. <http://hdl.handle.net/10810/57909>
- Barrera Maturana, J. I. (2012) Grafitos históricos en los palacios de la Alhambra. Ideas para una guía del visitante. *La memoria en la piedra. Estudios sobre grafitos históricos*. Gobierno de Navarra. Departamento de Cultura y Turismo Y Relaciones Institucionales. Dirección General de Cultura – Institución Príncipe de Viana: 69-87.
- Benavente Serrano, J. A. (2002) Los graffiti del Bajo Aragón: un frágil patrimonio pendiente de protección, recuperación y valorización. *Al-qannis: Boletín del Taller de Arqueología de Alcañiz*, núm. 9: 157-174.
- Calvo López, J.; Taín Guzmán, M.; Alonso Rodríguez, M.A.; Camiruaga Osés, I. (2015) Métodos de documentación, análisis y conservación de trazados arquitectónicos a tamaño natural, *Arqueología de la Arquitectura*, 12, e026. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arq.arqt.2015.024>.
- Campos y Fernández Sevilla, F.J. (2010) Grafitos en el real Monasterio del Escorial, *Anuario jurídico y económico escurialense*, 43: 483-510.
- Cassen, S.; Lescop, L.; Grimaud, V.; Robin, G. (2014) Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France), *Journal of Archaeological Science*, 45: 126-140.
- Cenicerros, J. (2017) Museo Najerillense, sección de arqueología. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, nº extra 35: 1665-1673
- Cosentino, A.; Stout, S.; Scandurra, C. (2015) Innovative imaging technologies for examination and documentation of mural paintings and historical graffiti in the catacombs of San Giovanni, Syracuse, *International Journal of Conservation Science*, 6(1): 23-34.
- González, E. (1990) Los graffiti históricos y las pinturas murales populares. Primer paso para su protección y salvaguarda en el ámbito del patrimonio cultural, *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana: revista d'estudis històrics*, 46: 271-274.
- Hernández Alcaraz, L. (2022) *Grafitos históricos en Villena (Alicante)*. Vestigium (4).
- Ozcáriz, P. (coord.) (2012), *La memoria en la piedra. Estudios sobre grafitos históricos*, Gobierno de Navarra. Departamento de Cultura y Turismo y Relaciones Institucionales. Dirección General de Cultura – Institución Príncipe de Viana.
- Pinto, F.; Jiménez, A. (1993) Montañas en la catedral de Sevilla, *Ega: Revista de expresión gráfica y arquitectónica*, vol. 1: 79-84.
- Rovira i Port, J.; Casanovas i Romeu, A., (2002) Los graffiti medievales y post-medievales del Alcañiz monumental, *Al-qannis: Boletín del Taller de Arqueología de Alcañiz*, núm. 9: 5-54.
- Valle Melón, J.M.; Pinto Puerto, F. (2023). La conservación de trazados, grafitos y montañas en el patrimonio monumental se impulsa con una guía de buenas prácticas. *Revista PH*, 108: 18-20. <https://doi.org/10.33349/2023.108.5259>

Anexo 1. Especificaciones técnicas del instrumental de registro utilizado

A1.1.- Escáner 3D

La tabla de especificaciones siguiente corresponde a la información indicada por el fabricante del equipo²⁷:

	Modo de escaneo			
	Escaneo de mano HD	Escaneo rápido de mano	Escaneo fijo con plataforma giratoria	Escaneo fijo sin plataforma giratoria
Exactitud de escaneo	Hasta 0.045 mm	Hasta 0.1 mm	0.04 mm (exactitud de un sólo escaneo)	0.04 mm (exactitud de un sólo escaneo)
Exactitud volumétrica^[1]	0.3 mm/m (Alineación por marcadores)	0.3 mm/m (Alineación por marcadores)	/	/
Velocidad de escaneo	10 frames/s; 3,000,000 puntos/s	30 frames/s; 1,500,000 puntos/s	Escaneo simple < 0.5s	Escaneo simple < 0.5s
Distancia entre puntos	0.2 mm-3 mm	0.25 mm-3 mm	0.24 mm	0.24 mm
Alcance de escaneo simple	250*225 mm—310*240 mm			
Profundidad de campo	±100 mm			
Distancia de trabajo	510 mm			
Fuente de luz	LED			
Modo de alineado	Alineación por marcadores, por geometría ^[2] , Alineación híbrida ^[3]	Alineación por marcadores, por textura ^[4] , por geometría, híbrida	Alineación por marcadores codificados de la plataforma giratoria, por geometría, por marcadores y manual	Alineación por marcadores, por geometría y manual

²⁷ <https://www.einscan.com/escaneres-3d-portatiles/einscan-pro-hd-es/einscan-pro-hd-specs-es/>

	Modo de escaneo			
	Escaneo de mano HD	Escaneo rápido de mano	Escaneo fijo con plataforma giratoria	Escaneo fijo sin plataforma giratoria
Escaneo de texturas	Sí (con el complemento Paquete de Color)	Sí (con el complemento Paquete de Color)	Sí (con el complemento Paquete de Color)	Sí (con el complemento Paquete de Color)
Uso en exteriores	Instala una cubierta o cubre el objeto para evitar la luz solar directa			
Escaneo de objetos especiales	Para escanear objetos transparentes, brillantes o negros se recomienda usar spray de escaneo			
Software incluido	ExScan Pro, Solid Edge SHINING 3D Edition			
Formatos de salida	OBJ; STL; ASC; PLY; P3 ; 3MF			
Peso del escáner	1.25kg (incluyendo el cable USB3.0)			
Rango de temperatura en uso	0-40°C			
Rango de humedad en uso	10-90%			
SO compatibles	Win10,(64bit)			
Configuración recomendada	Tarjetas de la serie GTX/RTX de NVIDIA, superior o igual a GTX 1080 ; memoria de vídeo: >4G, procesador: I7-8700 o superior; memoria: ≥64G; puerto: USB 3.0 de alta velocidad			
Configuración requerida	Tarjeta gráfica: Igual o superior a la tarjeta NVIDIA Quadro P1000 o NVIDIA GTX660; procesador: Intel (R) Xeon E3-1230, Intel (R) I5-3470, Intel (R) I7-3770; puerto: USB 3.0 de alta velocidad; memoria: 8G			

[1]. La exactitud volumétrica se refiere a la relación entre la exactitud de los datos 3D y el tamaño del objeto; la exactitud se reduce en 0,3mm por cada 100cm. La conclusión se obtiene midiendo el centro de la esfera bajo la alineación del marcador.

[2]. Esta alineación requiere el uso del Color Pack y requiere una rica información de textura de color en la superficie del objeto.

[3]. Seleccione esta alineación cuando escanee objetos con características geométricas ricas en la superficie.

[4]. La alineación híbrida significa que la alineación de los marcadores y la alineación por geometría se

Modo de escaneo				
	Escaneo de mano HD	Escaneo rápido de mano	Escaneo fijo con plataforma giratoria	Escaneo fijo sin plataforma giratoria

alternan automáticamente.
SHINING 3D se reserva el derecho de explicar cualquier alteración de las especificaciones e imágenes.
Por favor, consulte einscan.com para más información.

A1.2.- Estación topográfica

La estación total utilizada para obtener las coordenadas de las dianas situadas en el patio como referencia de la documentación fotogramétrica fue una Leica TCR105. A continuación, se presenta el certificado de calibración de este equipo.

Global Geosystems, S.L. - CIF: B-70.140.039 - inscrita en el Registro Mercantil de Santiago de Compostela, Tomo 226 - Folio 49 - Hoja SC-42408 - Inscripción 2ª



GLOBALGEOSYSTEMS

Certificado de Verificación y Control Emitido por laboratorio de Global Geosystems

Cliente	UNIVERSIDAD PAIS VASCO 01006 – Vitoria (Alava)	Nº de Certificado	2021-N-061
		Fecha Inspección	15.03.2021
Producto	TCR1205 R300	Nº Serie	213379
Nº Artículo	737436	Nº Equipo	1756827

Identificación de patrones

Ángulos: Colimador de ejes Leica modelo 381546 N° 0009945 con certificado CEM número 180320001.
Distancias: Línea base con centrado forzoso, 1 reflector y 1 diana de puntería con certificado CEM número 180320002.

Los certificados de nuestros patrones pueden ser descargados en el siguiente link:
http://www.global-geosystems.com/wp-content/uploads/2017/11/CEM_BILBAO.pdf

Incertidumbre asociada a los patrones e instrumento objeto

La incertidumbre asociada con el patrón e instrumento al que hace referencia este certificado está calculada por un factor de cobertura $K=2$, aproximadamente equivalente a un nivel de confianza del 95%. La incertidumbre se ha determinado conforme al documento EAL-R2 (1996) cuya designación actual es EA-4/02.

Procedimientos de verificación

Patrones: Procedimiento descrito en documentación interna de Global Geosystems PGG-PT-001
Instrumento: Procedimiento descrito en documentación interna de Global Geosystems PGG-TPS-002

Condiciones ambientales

Temperatura durante la revisión 22°C +/- 3°C.
Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones.

Cálculo de resultados

Los resultados aquí obtenidos pueden resultar por debajo de las precisiones marcadas en las características técnicas dadas por el fabricante debido a las condiciones ideales en las que se realizan las mediciones. Los valores de salida en los resultados se marcarán en el valor de la tolerancia.

GLOBAL Geosystems, S.L.
CIF B70140439
Calle Butroi, 1
48.160 - Dénia Vizcaya
Teléfono 944678203

Este Certificado no puede ser reproducido parcial ni en su totalidad sin previa aprobación escrita de la entidad emisora.
Página 1/2

Rúa da Xesta, 77 A
15.895 // Milladoiro // Ames
T: +34 902 922 564
info@global-geosystems.com
www.global-geosystems.com

- when it has to be right

Leica
Geosystems

■ Authorised Leica Geosystems Service Partner



GLOBALGEOSYSTEMS

Certificado

Por la presente, certificamos que el producto descrito ha sido testeado y cumple con las especificaciones del producto detalladas a continuación.

- Valido Los resultados del ensayo están dentro de la especificación del producto.
 No Valido Los resultados del ensayo no están dentro de la especificación del producto.

Mediciones

Error de entrada:

	M1
Desviación Hz (Gon)	0.0018
Desviación V (Gon)	0.0034
Desviación D1 (mm)	0.3
Desviación D2 (mm)	0.6

Error de salida:

	M1	M2	M3	M4	M5
Desviación Hz (Gon)	0.0003	0	0.0004	0.0005	0.0001
Desviación V (Gon)	0.0001	0.0003	0.0004	0.0005	0.0002
Desviación D1 (mm)	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4
Desviación D2 (mm)	0.5	0.6	0.4	0.7	0.6

Resultados:

	Entrada	Tolerancia	Salida	Incertidumbre
Desviación Hz (Gon)	0.0018	0.0015	0.0015	0.0006
Desviación V (Gon)	0.0034	0.0015	0.0015	0.0004
Desviación distancia (mm)				
Distanciómetro Infrarrojo	0.3	1 mm + 1,5 ppm	1	0.2
Distanciómetro Láser	0.6	2 mm + 2 ppm	2	0.3

Notas

- Terminología**
 V: valor ángulo vertical.
 Hz: valor ángulo horizontal.
 D1: distancia conocida y certificada por el CEM (Distanciómetro Infrarrojo).
 D2: distancia conocida y certificada por el CEM (Distanciómetro Láser).
 Mx: número de medida realizada.

Global Geosystems S.L.

15.03.2021

Saray González
Técnico

GLOBAL Geosystems, S.L.
CIF: B-70140439
Calle BUZO, 1
48.100 - Leioa Vizcaya
Teléfono 944678203

Este Certificado no puede ser reproducido parcial ni en su totalidad sin previa aprobación escrita de la entidad emisora.
Página 2/2

Rúa da Xesta, 77 A
15.895 // Milladoiro // Ames
T: +34 902 922 564
info@global-geosystems.com
www.global-geosystems.com

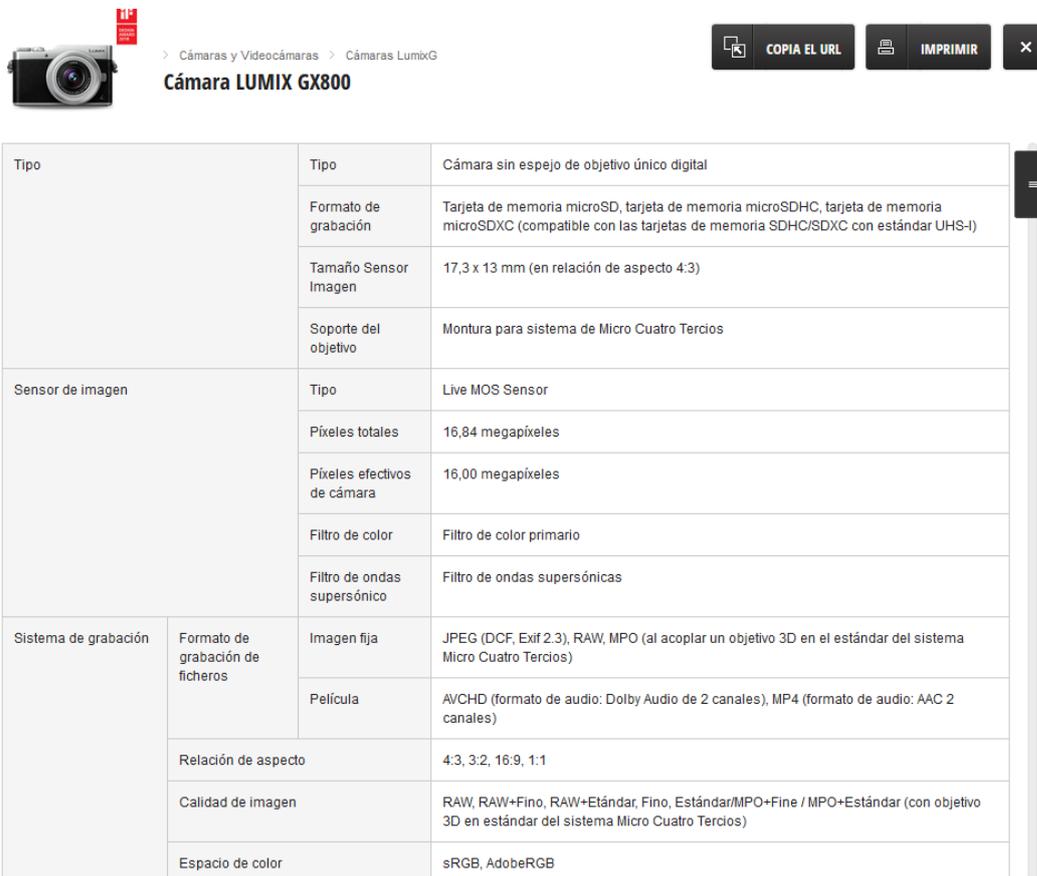
- when it has to be right

Leica
Geosystems

■ Authorised Leica Geosystems Service Partner

A1.3.- Equipo fotográfico

Las fotografías que se han utilizado para el modelado 3D mediante fotogrametría convergente se han obtenido con una cámara Panasonic DC-GX800 equipada con un objetivo LUMIX G VARIO 12-32mm F3.5-5.6. Esta cámara proporciona imágenes de 11 megapíxeles.



The screenshot shows the product page for the Panasonic LUMIX GX800 camera. It includes a navigation menu, a product image, and a detailed specifications table.

Tipo	Tipo	Cámara sin espejo de objetivo único digital	
	Formato de grabación	Tarjeta de memoria microSD, tarjeta de memoria microSDHC, tarjeta de memoria microSDXC (compatible con las tarjetas de memoria SDHC/SDXC con estándar UHS-I)	
	Tamaño Sensor Imagen	17,3 x 13 mm (en relación de aspecto 4:3)	
	Soporte del objetivo	Montura para sistema de Micro Cuatro Tercios	
Sensor de imagen	Tipo	Live MOS Sensor	
	Píxeles totales	16,84 megapíxeles	
	Píxeles efectivos de cámara	16,00 megapíxeles	
	Filtro de color	Filtro de color primario	
	Filtro de ondas supersónico	Filtro de ondas supersónicas	
Sistema de grabación	Formato de grabación de ficheros	Imagen fija	JPEG (DCF, Exif 2.3), RAW, MPO (al acoplar un objetivo 3D en el estándar del sistema Micro Cuatro Tercios)
		Película	AVCHD (formato de audio: Dolby Audio de 2 canales), MP4 (formato de audio: AAC 2 canales)
	Relación de aspecto	4:3, 3:2, 16:9, 1:1	
	Calidad de imagen	RAW, RAW+Fino, RAW+Estándar, Fino, Estándar/MPO+Fino / MPO+Estándar (con objetivo 3D en estándar del sistema Micro Cuatro Tercios)	
	Espacio de color	sRGB, AdobeRGB	

Por otra parte, las fotografías de alto rango dinámico (HDR) fueron tomadas con una cámara Canon EOS 5DSR, de 50 megapíxeles. Se utilizó un objetivo super gran angular Zeiss Milvus 2.8/18 con una distancia focal fija de 18 mm. Las especificaciones técnicas obtenidas de la web del fabricante²⁸ son las siguientes:

²⁸ <https://www.zeiss.es/consumer-products/fotografia/milvus/milvus-2818.html#data>

Documentación 3D y difusión de los grafitos históricos en puertas y muros del edificio del museo Histórico Arqueológico Najerillense, en Nájera (La Rioja)

Rendimiento

Longitud focal	18 mm
Rango de apertura	f/2.8 – f/22
Soporte de la cámara	Canon EF-Mount* (ZE) Nikon F-Mount* (ZF.2)
Compatibilidad de formato	Full Frame
Rango de enfoque	0,25 m (9.84") – ∞
Distancia de trabajo libre	0,12 m (4.73") - ∞
Campo angular** (diag. horiz. vert.)	100° 89° 67°
Diámetro del campo de la imagen	43 mm (1.69")
Cobertura a corta distancia (MOD)**	274 x 180 mm (10.79 x 7.09")
Relación de imagen con la distancia mínima al objeto	1 : 7.4
Número de elementos grupos	14 12
Distancia focal de brida	ZE: 44 mm (1.73") ZF.2: 46 mm (1.83")
Posición acromática de entrada (parte frontal del plano de imagen)	107 mm (4.22")

Características

Enfoque automático	–
Estabilización de la imagen	–

Condición física

Rosca de filtro	M77 x 0.75
Ángulo de giro del anillo de enfoque	146°
Diámetro máx.	ZE: 90 mm (3.54") ZF.2: 90 mm (3.54")
Diámetro del anillo de enfoque	ZE: 73 mm (2.86") ZF.2: 70 mm (2.76")
Longitud (con tapas de lentes)	ZE: 109 mm (4.31") ZF.2: 107 mm (4.21")
Longitud (sin tapas de lentes)	ZE: 93 mm (3.66") ZF.2: 92 mm (3.62")
Peso	ZE: 721 g (25.4 oz) ZF.2: 675 g (23.8 oz)

Anexo 2. Informe de caracterización química del patio del museo

EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X PORTÁTIL (PXRF) EN EL MUSEO HISTÓRICO ARQUEOLÓGICO NAJERILLENSE

Javier García Iñáñez

Saúl Alberto Guerrero Rivero



I. TÉCNICA Y MÉTODO ANALÍTICO

El objetivo de este informe es evaluar químicamente los materiales arquitectónicos del Museo Histórico Arqueológico Najerillense mediante el uso de la técnica *no destructiva* de Fluorescencia de Rayos X portátil (pXRF), lo que permite identificar los elementos químicos presentes sin dañar las superficies. Este análisis complementa el estudio tridimensional (3D) realizado, que documentó la morfología y los daños visibles de los elementos arquitectónicos y grafitos. La integración de ambos enfoques proporciona una visión completa del estado de conservación: el modelo 3D captura las alteraciones físicas, mientras que el análisis pXRF revela los procesos químicos subyacentes, como la disolución de carbonatos y la oxidación de minerales, permitiendo una planificación de conservación más precisa y efectiva.

La conservación y restauración del patrimonio cultural requiere la implementación de metodologías avanzadas que no comprometan la integridad de los materiales históricos. Dado que muchas de las estructuras y artefactos que forman parte de este patrimonio son irremplazables, los enfoques no invasivos han adquirido una importancia crucial en la preservación de estos bienes. En este contexto, la pXRF se ha convertido en una herramienta esencial dentro de las ciencias de la conservación, ya que permite la identificación y semicuantificación precisa de los elementos químicos presentes en una muestra sin necesidad de extraer material.

La técnica pXRF ofrece ventajas significativas, especialmente en el ámbito de la conservación del patrimonio arquitectónico, al ser capaz de proporcionar datos elementales en tiempo real y de forma no destructiva. Esta capacidad resulta crucial en la evaluación de materiales históricos frágiles, donde las técnicas tradicionales de análisis químico podrían causar daños irreparables. El presente informe se centra en la evaluación preliminar de la degradación física y química de materiales patrimoniales utilizando pXRF, destacando su potencial para obtener información cuantitativa y cualitativa de manera rápida, precisa y eficiente.

Además, la portabilidad de los dispositivos pXRF facilita su uso en condiciones de campo, lo que permite a los conservadores y arqueólogos analizar directamente los elementos arquitectónicos en su contexto original, sin la necesidad de trasladarlos a un laboratorio. Este tipo de análisis es de particular relevancia en el estudio de edificaciones y esculturas monumentales, donde la preservación de la integridad del objeto es primordial y los métodos invasivos no son factibles. En estos casos, el pXRF no solo permite un análisis elemental detallado de la superficie del material, sino que también posibilita la identificación de procesos de alteración, como la oxidación, disolución de carbonatos y la infiltración de sales, todos ellos factores críticos en la conservación a largo plazo de los bienes patrimoniales (Figura 1).

Figura. 1. Ejemplo de análisis *in situ* con pXRF sobre elementos arquitectónicos.

En términos generales, el equipo de pXRF emplea un haz de rayos X que excita los átomos en la muestra. Los electrones de los átomos saltan entre capas energéticas, emitiendo rayos X característicos de cada elemento químico. Esto permite identificar qué elementos están presentes en la muestra y en qué proporciones (Shackley 2011). Es una técnica no invasiva porque no altera significativamente la muestra y puede aplicarse repetidamente en el mismo sitio sin dañarlo.

En la conservación de patrimonio, el pXRF se utiliza para identificar elementos responsables de la degradación, como los productos de corrosión en metales, la presencia de sales solubles que pueden causar exfoliación en rocas y morteros, y los procesos de oxidación en rocas ricas en hierro. Estas aplicaciones resultan cruciales para tomar decisiones informadas sobre las estrategias de conservación más adecuadas (Hormes et al., 2016; García-Florentino et al., 2017). Es decir, este tipo de análisis permite un monitoreo continuo y a largo plazo de los procesos de deterioro, lo que es fundamental para la planificación de tratamientos de conservación.

Aunque el pXRF es extremadamente útil para análisis superficiales, tiene ciertas limitaciones en la detección de elementos ligeros como el sodio (Na) y el magnesio (Mg), especialmente si no se ajustan los parámetros de medición adecuadamente o no se utiliza un ambiente controlado (vacío o helio). Sin embargo, los avances recientes han mejorado significativamente los límites de detección para estos elementos (Tykot 2016; Da Silva et al., 2023).

1.1. Equipamiento y parámetros analíticos

En este estudio se empleó un dispositivo TRACER 5g (Bruker Nano GmbH), uno de los equipos más avanzados en la tecnología de fluorescencia, optimizado para análisis elementales *in situ* y no destructivos. Este equipo cuenta con una fuente de excitación de 50 kV y 4 W de potencia, con un blanco de rodio (Rh), que proporciona una fuente de rayos X intensa y estable. Su detector de silicio derivado (SDD) de 20 mm² está diseñado para maximizar la eficiencia de captura de fotones, ofreciendo alta resolución y sensibilidad, incluso para elementos ligeros. La

incorporación de una ventana de grafeno de solo 1 μm mejora significativamente la transmisión de señales de baja energía, optimizando la detección de elementos ligeros como sodio (Na) y magnesio (Mg), que anteriormente han presentado desafíos para los equipos convencionales.

Para garantizar la precisión y representatividad de los datos en los análisis, se utilizó un colimador de 8 mm, permitiendo así obtener mediciones precisas de áreas específicas en los materiales arquitectónicos. Esto es especialmente importante en estudios de patrimonio donde las superficies son heterogéneas y pueden presentar microestructuras complejas. Los elementos arquitectónicos analizados fueron evaluados directamente sobre las superficies externas de las estructuras, previamente limpiadas para eliminar partículas sueltas de tierra, sales u otros contaminantes que podrían interferir en la lectura espectral (Figura 2).



Figura 2. Ejemplo del proceso analítico.

Las muestras analizadas en este estudio corresponden principalmente a rocas sedimentarias detríticas, como areniscas y lutitas, que son características del entorno geológico de la región (IGME Magna 50 Hoja 203). Estas rocas fueron seleccionadas debido a su importancia arquitectónica en los monumentos históricos de la zona y a su vulnerabilidad a procesos de meteorización y degradación química. El TRACER 5g no solo permitió obtener información elemental detallada, sino que también fue fundamental para identificar las causas subyacentes de los procesos de alteración, como la disolución de carbonatos y la oxidación de óxidos de hierro, lo que proporciona datos esenciales para la conservación y restauración del patrimonio.

1.2. Protocolo analítico

Los análisis elementales se llevaron a cabo utilizando el paquete de calibración GeoExploration de Bruker, diseñado específicamente para estudios geológicos y patrimoniales. Este paquete permite una corrección precisa de la señal para obtener resultados exactos en la identificación de elementos desde el sodio (Na) hasta el uranio (U), cubriendo así un amplio rango de elementos que son cruciales para la caracterización de materiales. El sistema se basa en

algoritmos avanzados de corrección de matriz, lo que garantiza que las variaciones en la composición de las muestras no afecten la precisión de los resultados obtenidos.

Por otro lado, los datos espectrales fueron recolectados en intervalos de 360 segundos, divididos en tres fases de 120 segundos para asegurar la estabilidad y la precisión de la señal durante el análisis. Esta metodología mejora la confiabilidad de los resultados al reducir el ruido y asegurar un muestreo exhaustivo de los elementos presentes en la superficie del material. Para optimizar los análisis, se utilizaron ajustes de voltaje y corriente ajustados a las propiedades de los elementos a identificar, dividiendo el análisis en tres rangos:

- Elementos pesados ($Z > 30$): Se aplicó un voltaje de 45 kV y una corriente de 15 μA , utilizando un filtro compuesto de titanio (Ti) de 25 μm y aluminio (Al) de 300 μm . Este ajuste es crucial para la detección eficiente de elementos pesados como el plomo (Pb), hierro (Fe) o zinc (Zn), donde la penetración y excitación profunda de los rayos X es necesaria para obtener datos precisos de los elementos de mayor número atómico.
- Elementos intermedios ($Z < 30$): Se utilizó un voltaje de 30 kV y una corriente de 20 μA , lo que permite una buena resolución para elementos como el silicio (Si), fósforo (P), y azufre (S). Estos parámetros fueron seleccionados para evitar la sobreexcitación de la muestra y mantener la resolución de los picos espectrales en el rango medio de los elementos analizados.
- Elementos ligeros ($Z < 20$): Para elementos ligeros como el sodio (Na), el magnesio (Mg) y el aluminio (Al), se configuró un voltaje más bajo de 13 kV y una corriente de 40 μA . Este ajuste, en combinación con la ventana de grafeno de 1 μm del detector, optimiza la detección de estos elementos, que suelen ser difíciles de identificar con técnicas de pXRF estándar debido a la baja energía de los rayos X emitidos por estos elementos.

La precisión y exactitud de los datos se verificaron mediante el uso de Materiales de Referencia Certificados (CRM), como los estándares C2-M2-Geosoil de Bruker. Estos materiales de referencia aseguran que el equipo esté calibrado de manera óptima para diferentes tipos de muestras, proporcionando resultados que reflejan fielmente la composición elemental de los materiales *in situ*. Los CRMs son fundamentales para garantizar la repetibilidad de los resultados y corregir cualquier desviación de los parámetros instrumentales.

ID	MgO	Al2O3	SiO2	P	S	Cl	K2O	Ca	Ti	Mn	Fe	Rb	Sr	Y	Sn
GRF001_01	1.9049	0.5102	9.1882	< LOD	1.7158	839	3.399	9.5835	0.0212	0.0164	0.2802	0.0023	0.0479	0.0007	0.0078
GRF001_02	2.285	3.293	25.0486	0.0414	< LOD	1.3444	1.0271	17.9549	0.1016	0.0233	0.5482	0.0033	0.0411	0.0006	0.0072
GRF001_02	2.045	3.3842	30.9089	0.0782	< LOD	1.4599	0.8894	18.7952	0.0996	0.0246	0.5388	0.0026	0.0421	0.0014	0.0086
GRF002_01	5.3979	0.9629	10.2037	0.0331	11.3652	0.6713	4.2198	10.8142	0.0512	0.0086	0.4297	0.0028	0.1597	0.0012	0.0093
GRF002_02	8.7262	1.5052	3.4737	< LOD	12.8734	0.7821	5.654	9.6377	0.0119	0.0099	0.4592	0.0023	0.0813	0.0013	6
GRF003_01	3.1085	1.3058	13.2135	0.0688	10.5261	0.6071	0.2908	12.3333	0.0308	0.0107	0.4079	0.0017	0.1038	0.0008	0.0064
GRF004_01	1.4126	1.7696	12.6012	0.0197	0.8298	0.7536	5.3025	12.4485	0.0826	0.0152	329	0.0024	0.0448	0.0015	0.0081
GRF004_01	1.2668	1.1148	13.5596	0.0361	0.3365	0.7127	1.4144	13.6332	0.0856	0.0103	0.3899	0.0028	0.0772	0.0013	0.0299
GRF005_01	1.4991	3.1855	29.8502	0.0186	439	0.9399	0.9075	14.4898	62	8	0.4757	0.0038	0.0297	0.0007	0.0062
GRF005_02	2.3393	2.3119	16.3877	0.0229	4.4203	908	3.9663	13.6908	0.0662	0.0106	0.5492	0.0035	0.0329	0.0009	0.0056
GRF006_01	2.0327	1.6242	14.3398	0.0152	4.4748	0.8973	1.1684	7.978	0.0753	0.0305	0.5225	0.0028	0.0234	0.0015	0.0071
GRF006_02	5.6614	0.4202	5.2029	0.0429	14.2054	0.6955	3.728	5.0053	0.0115	0.0174	0.2682	3	0.1182	0.0018	0.0067
GRF007_01	2.5421	2.0155	29.6535	0.0423	1.0287	0.7827	724	17.6449	0.0339	0.0131	0.9736	0.0019	47	0.0006	8
GRF007_02	2.874	1.2417	24.5648	0.0612	1.1404	0.6103	0.3396	16.4601	0.0269	0.0162	0.9421	0.0014	0.0474	0.0004	0.0077
GRF008_01	2.642	2.1641	21.4145	< LOD	< LOD	1.1874	0.6255	11.8164	0.1367	0.0165	0.8358	0.0028	0.0345	0.0031	0.0078
GRF008_02	5.6768	0.2971	10.2286	< LOD	8.8732	584	0.7187	7.3697	14	0.0057	0.2697	0.0024	0.0388	0.0012	0.0047
GRF008_03	1.4335	2.4008	28.7696	0.0411	0.2121	1.1253	0.6088	15.7383	0.0944	0.0102	0.6221	0.0032	0.0307	0.0008	0.0051
GRF009_01	1.4398	1.134	20.0794	0.1345	0.7337	721	0.4279	12.152	0.0185	19	0.3325	0.0022	29	0.0005	0.0114
GRF009_02	1.7719	2.904	32.9829	0.1746	0.0865	742	0.71	19.5917	0.1	0.0288	1.3537	0.0028	0.0466	0.0007	0.0085
GRF009_03	0.6536	1.0799	23.3312	0.1461	0.9647	0.5888	0.4891	16.002	0.06	16	0.6248	0.0025	0.0493	0.0008	0.0058

Tabla I. Resultados obtenidos mediante pXRF.

2. RESULTADOS

2.1. Identificación de los componentes principales

Los elementos arquitectónicos evaluados corresponden predominantemente a rocas sedimentarias de tipo detrítico, como areniscas y lutitas, lo que es típico de las formaciones geológicas utilizadas históricamente en la construcción de estructuras en la región (ver Tabla 2). Las areniscas, que constituyen el material principal de las muestras analizadas, presentan una composición mineralógica dominada por cuarzo (SiO_2), el cual es el componente más abundante. El cuarzo es conocido por su alta resistencia mecánica, lo que confiere estabilidad a largo plazo a las estructuras construidas con este material. Sin embargo, debido a su naturaleza frágil, también es susceptible a fragmentación física bajo condiciones de estrés mecánico o térmico.

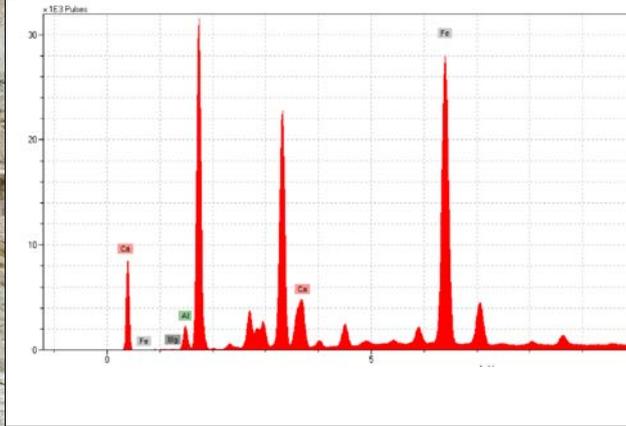
Además del cuarzo, las muestras contienen feldespato (KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), el cual está presente en cantidades significativas. Los feldespatos son esenciales para explicar la presencia de óxidos de potasio (K_2O) y óxidos de aluminio (Al_2O_3) en los análisis, elementos clave que contribuyen a la variación en la composición de las areniscas. No obstante, los feldespatos son vulnerables a procesos de meteorización química, particularmente la hidrólisis, un proceso mediante el cual estos minerales se transforman en arcillas, debilitando la estructura de la roca con el tiempo.

Los minerales arcillosos como la caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) y la montmorillonita ($(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) también fueron identificados, lo que es indicativo de procesos de alteración mineralógica en las rocas. La presencia de Al_2O_3 y MgO en los análisis confirma la existencia de estos minerales arcillosos, que son particularmente comunes en condiciones ambientales húmedas y actúan como indicadores de meteorización. Estas arcillas contribuyen a la degradación de las rocas, aumentando la porosidad y favoreciendo la infiltración de agua, lo que acelera el deterioro de las estructuras en ambientes expuestos a fluctuaciones climáticas.

La identificación de estos componentes minerales no solo proporciona información sobre la composición intrínseca de las rocas, sino que también permite predecir cómo los procesos naturales, como la meteorización y la exposición a la humedad, pueden afectar la integridad estructural de los elementos arquitectónicos a largo plazo.

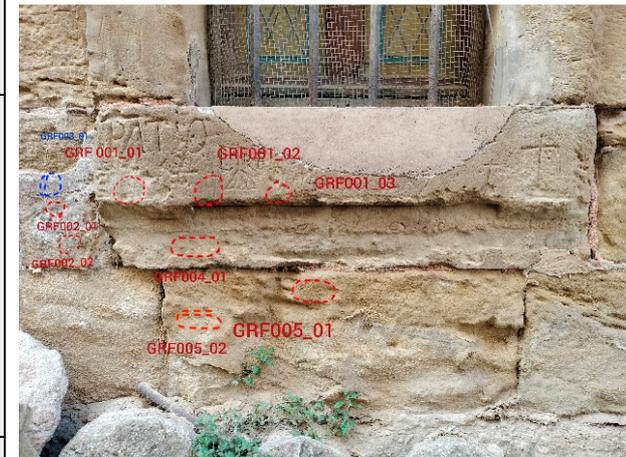
2.2. Descripción y clasificación preliminar de las muestras

- **GRF001:** esta muestra presenta variaciones significativas en SiO_2 (9.1882% a 30.9089%) y Ca (9.5835% a 18.7952%). La alta variación en el contenido de cuarzo sugiere diferencias en la pureza de la arenisca. Los altos niveles de calcio podrían estar asociados a cementos calcáreos presentes en la matriz de la roca.

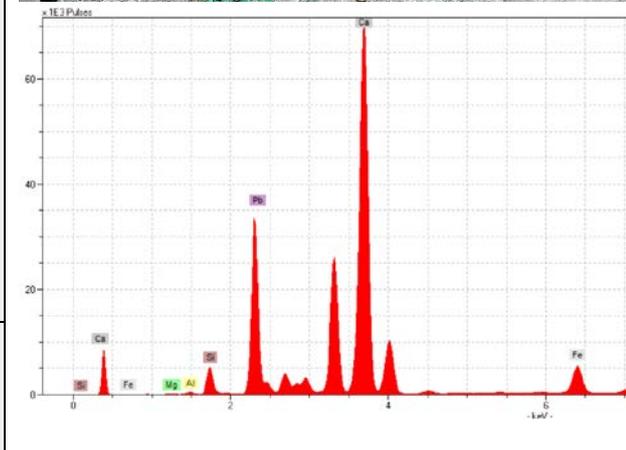


- **GRF002 (Sal Blanca):** la alta concentración de cloro (Cl) y calcio (Ca) podría estar asociada a la infiltración de sales o mineralización secundaria, como ocurre en algunos depósitos evaporíticos. Las sales son un factor clave en la degradación de estas rocas, al contribuir a la expansión y contracción de los minerales, lo que provoca la exfoliación.

- **GRF003 (mortero):** tiene una concentración moderada de SiO_2 (13.2135%) y un alta de Ca (12.3333%), se sugiere la presencia de carbonato de calcio como componente principal del mortero. La elevada cantidad de MgO puede indicar la presencia de dolomita o magnesita, comunes en mezclas de mortero históricas.



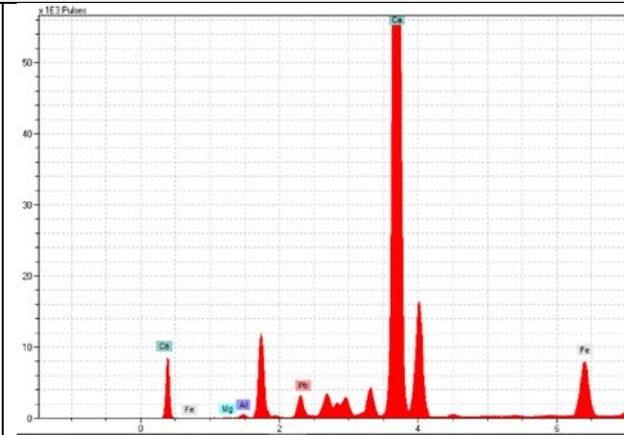
- **GRF004:** esta muestra presenta concentración moderada a alta de SiO_2 (12.6012% a 13.5596%) y Ca, lo que indica una arenisca con significativa presencia de cuarzo y calcita. La presencia de Al_2O_3 y MgO sugiere una mezcla de arcillas y feldespatos, aumentando la vulnerabilidad a la meteorización.



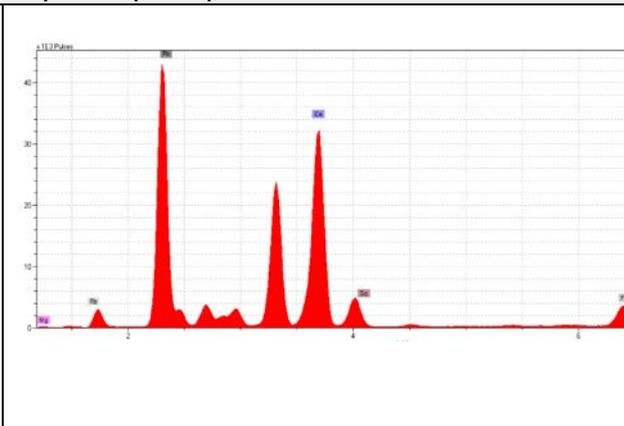
- **GRF005:** la alta concentración de SiO_2 (29.8502%) y la presencia significativa de Ca y Fe sugieren una arenisca rica en cuarzo con cementos calcáreos y óxidos

de hierro, factores que contribuyen tanto a la resistencia física como a los problemas de oxidación.

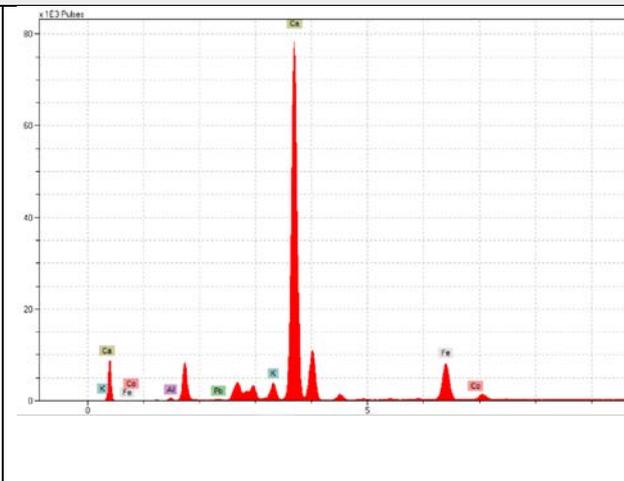
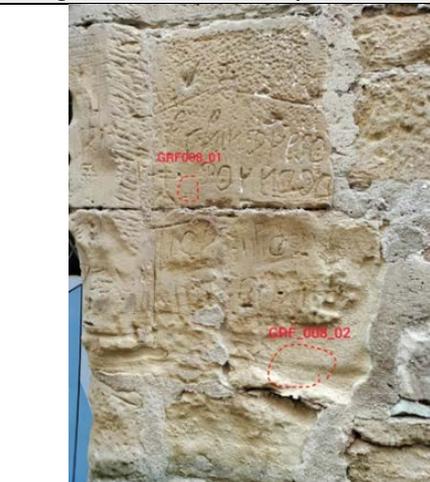
- **GRF006 (roja):** La alta concentración de Fe (7.978%) indica una fuerte presencia de óxidos de hierro, lo que es responsable del color rojizo de las muestras. La variación en SiO₂ refleja diferencias en la pureza del cuarzo.



- **GRF007 (roja):** Esta muestra presenta alta concentración de SiO₂ (29.6535%) y Fe, indicando una composición rica en cuarzo con óxidos de hierro. Los niveles moderados de Ca y K₂O sugieren la presencia de cementos calcáreos y feldespatos potásicos.



- **GRF008 (roja):** Presenta una alta concentración de SiO₂ y Ca, estas muestras corresponden a areniscas con alto contenido de cuarzo y calcita, con variaciones en Fe y K₂O que sugieren diferencias en la presencia de óxidos de hierro y feldespatos. Los niveles elevados de hierro son un indicador de procesos de oxidación y formación de óxidos de hierro, que afectan la integridad de la roca, especialmente en ambientes húmedos.



- GRF009: Presenta una alta concentración de SiO_2 (20.0794% a 32.9829%) indica areniscas ricas en cuarzo. La presencia significativa de Ca y K_2O refleja la importancia de los cementos calcáreos y feldespatos en estas muestras.



Tabla 2. Descripción general de los puntos de referencia analizados mediante pXRF.

2.3. Elementos traza

En las muestras analizadas mediante pXRF, se detectaron elementos traza como zinc (Zn), cobre (Cu), arsénico (As) y plomo (Pb) en concentraciones menores (ver Tabla I). Aunque de acuerdo con algunos autores (von der Heyden et al., 2015; Pelaka et al., 2024), estos elementos aparecen en cantidades reducidas, pueden tener un impacto significativo en el comportamiento químico de las rocas, especialmente en contextos donde las superficies interactúan con agentes atmosféricos y acuosos. La presencia de estos elementos puede estar asociada tanto a contaminantes ambientales como a minerales accesorios que se encuentran naturalmente en las rocas sedimentarias, particularmente en areniscas y lutitas. Los elementos como el Cu y el Zn, por ejemplo, pueden estar presentes en trazas dentro de minerales sulfuros, mientras que el As y el Pb podrían estar relacionados con la migración de elementos desde fuentes cercanas o con la meteorización de minerales primarios.

El análisis mediante pXRF mostró que las rocas contienen concentraciones significativas de SiO_2 , variando entre un 9.1882% y un 32.9829%, lo que confirma una base silíceo dominante. Esta composición alta en cuarzo proporciona una gran resistencia mecánica a las rocas, pero también las hace susceptibles a la fragmentación física en ambientes de meteorización.

Por otro lado, los óxidos de hierro (Fe_2O_3) son prominentes en muchas de las muestras, especialmente en las areniscas rojas, que muestran concentraciones de Fe de hasta 7.978%. La oxidación de los óxidos de hierro es un indicador clave de procesos de meteorización química. Este fenómeno se manifiesta en la formación de manchas de óxido, que no solo confieren a la roca su coloración rojiza característica, sino que también son un síntoma de debilitamiento estructural. A medida que el hierro se oxida, los productos de corrosión expanden el volumen mineral, lo que provoca fisuras y la fracturación de la roca, especialmente en ambientes con una alta humedad relativa o contacto continuo con el agua.

2.4. Evaluación del proceso de degradación física y química

Los elementos arquitectónicos analizados muestran signos claros de fragmentación mecánica, un proceso típico en las areniscas debido a la naturaleza friable del cuarzo (SiO_2) que, aunque presenta buena resistencia a la meteorización física, es vulnerable a la fracturación bajo

condiciones de estrés mecánico, como cambios térmicos o impactos. La alta concentración de cuarzo identificada en estas muestras sugiere que la roca es resistente a la meteorización física en su mayoría, pero los efectos de la fragmentación se ven agravados por la presencia de minerales arcillosos. Estos minerales, como se evidencia por los niveles de Al_2O_3 y MgO , puede aumentar la porosidad de las rocas, facilitando la entrada de agua en los poros y fisuras, lo que acelera el proceso de degradación. Esta porosidad promueve la fragmentación de las rocas al incrementar el volumen de los espacios porosos y debilitar la cohesión interna de la roca.

Por otro lado, se identificaron dos principales agentes de degradación química: la disolución de carbonatos y la oxidación de hierro. Las muestras con concentraciones elevadas de CaO indican la presencia de carbonato de calcio (CaCO_3), un componente común en el cemento calcáreo de las rocas. En algunos casos de estudio (Zha et al., 2020), se ha indicado que este material es altamente susceptible a la disolución cuando entra en contacto con agua ácida, debilitando la matriz rocosa y provocando una pérdida progresiva de material estructural. En el caso de Nájera, este proceso se agrava en condiciones de alta humedad, que son comunes en el norte de España, donde la acidez del agua puede aumentar debido a contaminantes atmosféricos o la presencia de dióxido de carbono disuelto.

La oxidación es otro proceso químico clave, particularmente notable en las areniscas rojas, que contienen concentraciones elevadas de óxidos de hierro (Fe_2O_3). La oxidación de estos óxidos genera una expansión volumétrica dentro de la matriz de la roca, lo que provoca fracturación interna y un debilitamiento progresivo de la estructura (Yang et al., 2023). Este fenómeno es especialmente prominente en ambientes húmedos, donde la humedad acelera las reacciones de oxidación y aumenta la formación de manchas de óxido, lo que compromete aún más la integridad del material.

Además, en ciertas muestras como las etiquetadas como "Sal Blanca", se detectó un contenido elevado de Cloro (Cl), lo que sugiere una infiltración de sales. Estas sales solubles se disuelven en agua y, al recristalizarse en los poros de la roca tras la evaporación del agua, generan tensiones internas que conducen a la exfoliación y el desprendimiento de capas superficiales. Este proceso de cristalización-expansión es uno de los factores más críticos en la degradación de areniscas en zonas expuestas a ciclos de humectación y secado, acelerando significativamente el deterioro físico de la roca.

3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Los resultados de este primer estudio revelan que las areniscas utilizadas en las construcciones históricas de Nájera presentan una composición mineralógica diversa y compleja, resultado directo de su origen geológico y de los intensos procesos de meteorización a los que han sido expuestas a lo largo de siglos. Los análisis mediante Fluorescencia de Rayos X portátil (pXRF) han permitido identificar la presencia predominante de cuarzo (SiO_2), feldspatos potásicos y sodicos (KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), y minerales arcillosos como la caolinita y la montmorillonita, junto con carbonatos y óxidos de hierro (principalmente hematita, Fe_2O_3). Estos componentes son indicativos de las condiciones sedimentarias bajo las cuales se formaron las areniscas, pero también reflejan los factores de alteración a los que han sido sometidas, especialmente en un ambiente húmedo y con fluctuaciones térmicas.

La degradación observada en las rocas responde a una combinación de procesos físicos y químicos, que actúan de manera sinérgica. Desde el punto de vista físico, la fragmentación del cuarzo debido a su naturaleza friable y la disgregación de los minerales arcillosos, que incrementan la porosidad y la capacidad de retención de agua, generan debilidad estructural en las rocas. Estos fenómenos son agravados por la presencia de feldespatos, que se alteran fácilmente a través de la hidrólisis, transformándose en minerales arcillosos que comprometen aún más la integridad de la matriz rocosa.

En términos de degradación química, los carbonatos, presentes en forma de cementos calcáreos, están sujetos a disolución en presencia de agua ácida, lo que resulta en una pérdida progresiva de material. Este proceso es particularmente crítico en ambientes húmedos, como el del norte de España, donde el agua, al interactuar con el dióxido de carbono atmosférico, genera ácidos débiles que disuelven los carbonatos. Además, los óxidos de hierro, responsables de la coloración rojiza de las areniscas, experimentan procesos de oxidación, lo que provoca la expansión volumétrica del material y, en consecuencia, la fracturación de la roca. Este fenómeno, agravado por la presencia de agua, facilita la infiltración de sales y acelera el deterioro generalizado.

El análisis integral de la degradación pone de manifiesto la complejidad del fenómeno y destaca la necesidad de adoptar estrategias de conservación holísticas que aborden de manera simultánea los factores físicos y químicos que afectan a las areniscas. En particular, es crucial mitigar los efectos del agua y la infiltración de sales, dos de los principales catalizadores de los procesos de deterioro. Las soluciones deben incluir tratamientos de desalación, la aplicación de barreras hidrófugas y, en algunos casos, la consolidación de las superficies más degradadas mediante agentes que respeten la composición original de las rocas.

La implementación de monitoreo continuo, utilizando tecnologías *no destructivas* como el pXRF, permitirá un seguimiento preciso de la evolución de la degradación en los materiales constructivos, ayudando a los conservadores a tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias. Estas técnicas no solo proporcionan datos en tiempo real sobre los cambios en la composición elemental, sino que también ofrecen la posibilidad de detectar alteraciones incipientes antes de que sean visibles, lo que es fundamental para la preservación a largo plazo del patrimonio arquitectónico de Nájera. En resumen, este estudio preliminar demuestra la importancia de combinar métodos analíticos avanzados con estrategias preventivas de conservación, para garantizar la preservación de estas estructuras históricas frente a los efectos acumulativos de la degradación.

Bibliografía

Rapp, G. (2009). *Archaeomineralogy* (2nd ed.). Springer-Verlag.

<https://doi.org/10.1007/978-3-540-78594-1>

Shackley, M. S. (2011). An introduction to X-ray fluorescence (XRF) analysis in archaeology. En M. Shackley (Ed.), *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology* (pp. 7-44). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6886-9_2

Da Silva, A. C., Triantafyllou, A., & Delmelle, N. (2023). Portable x-ray fluorescence calibrations: Workflow and guidelines for optimizing the analysis of geological samples. *Chemical Geology*, 623, 121395. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121395>

Hormes, J., Diekamp, A., Klysubun, W., Bovenkamp, G.-L., & Börste, N. (2016). The characterization of historic mortars: A comparison between powder diffraction and synchrotron radiation-based X-ray absorption and X-ray fluorescence spectroscopy. *Microchemical Journal*, 125, 190-195. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.034>

García-Florentino, C., Maguregui, M., Morillas, H., Marcaida, I., & Madariaga, J. M. (2017). A fast in situ non-invasive approach to classify mortars from a construction of high historical value. *Microchemical Journal*, 133, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.03.020>

Pękala, A., Koszelnik, P., Musiał, M., & Galek, T. (2024). Trace Elements Anomalous Concentrations in Building Materials—The Impact of Secondary Mineralisation Processes. *Materials*, 17(16), 3909. <https://doi.org/10.3390/ma17163909>

Tykot, R. H. (2016). Using nondestructive portable X-ray fluorescence spectrometers on stone, ceramics, metals, and other materials in museums: Advantages and limitations. *Applied Spectroscopy*, 70(1), 42-56. <https://doi.org/10.1177/0003702815616745>

Von der Heyden, B. P., & Roychoudhury, A. N. (2015). Application, chemical interaction and fate of iron minerals in polluted sediment and soils. *Current Pollution Reports*, 1, 265-279. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0020-2>

Zha, J., Wei, S., & Wang, C. (2020). Weathering mechanism of red discolorations on limestone objects: A case study from Lingyan Temple, Jinan, Shandong Province, China. *Heritage Science*, 8, 54. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00394-z>

Yang, H., Ni, J., & Chen, C. (2023). Weathering assessment approach for building sandstone using hyperspectral imaging technique. *Heritage Science*, 11, 70. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00914-7>



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV/EHU)

Centro de investigación Micaela Portilla
C/ Justo Vélez de Elorriaga 1, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).
Tfno: +34 945 013222 / 013264
e-mail: ldgp@ehu.eus web: <http://www.ldgp.es>



UPV EHU