



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino

El abrigo de Los Toros del Prado del Navazo
Albarracín, (Teruel)

CLAUDIA SERRANO ARANDA

DIRECTORES:

Dra. M^a Antonia Zalbidea Muñoz

Dr. Manuel Bea Martínez

Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino

El abrigo de Los Toros del Prado del Navazo (Albarracín, Teruel)

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

CLAUDIA SERRANO ARANDA

Directores: Dra. M^a Antonia Zalbidea Muñoz

Dr. Manuel Bea Martínez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MÁSTER EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Facultad de Bellas Artes

A la memoria de Pilar Aranda,

a mi familia

y a Borja.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de esta investigación va dirigida a mis tutores, la Dra. M^a Antonia Zalbidea Muñoz y el Dr. Manuel Bea Martínez, por su apoyo incondicional en cada una de las etapas de este trabajo, por haber creído en mí y por toda la dedicación que han centrado en él. Gracias por formarme en lo profesional y personal; por todo lo que se recoge a lo largo de estas páginas y por lo que no. Esto solo acaba de empezar, gracias por estar ahí.

Al Dr. Carlos Mazo Pérez, catedrático de la Universidad de Zaragoza, por prestarse como director de la Tesis Doctoral para la obtención del Contrato Predoctoral FPU, gracias al cual se va a desarrollar una investigación en profundidad sobre protocolos de conservación y restauración en arte Levantino.

A las técnicas del *Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales* de la Universitat Politècnica de València (UPV), las Dras. M^a Teresa Moltó Orts y Esther Nebot Díaz, por su asistencia en la cámara climática para acometer el ensayo de envejecimiento acelerado de la presente investigación.

A las técnicas de microscopía del *Servei Central de Suport a la Investigació Experimental* (SCSIE) de la Universitat de València (UV), M^a Teresa Canet Silvestre y Pilar Gómez García, por formarme y por su ayuda en el uso de los microscopios, especialmente en microscopía electrónica de barrido con SEM-EDX y microscopía de fluorescencia.

A la Dra. Rosa M^a Montes Estellés por su supervisión en el estudio microbiológico del interior del abrigo y por sus valiosos comentarios y correcciones dedicadas a esa parte del trabajo.

Al Agente de Protección del Patrimonio Cultural, Hilario Dalda Abril, por estar siempre dispuesto a ayudar y por el tiempo dedicado a la ayuda de algunos de los trabajos realizados en el abrigo. Así como a José Ignacio Royo Guillén, técnico de la Dirección General de Cultural y Patrimonio de Aragón y director del Inventario de Arte Rupestre de Aragón (I.A.R.A.).

También quiero agradecer este trabajo a mis padres, Pilar y José Manuel, por acompañarme en cada uno de mis sueños, por apoyarme siempre, por aportarme tanta sabiduría a lo largo de mi vida y por demostrarme que la Buena Suerte existe, solo hay que trabajar en ella. Agradecer especialmente a mi hermana Pilar, por ser mi ejemplo de tesón y perseverancia, recuerda que por muy lejos que estemos siempre seguiremos las mismas estrellas. A mi familia, en especial a mi tía Pilar, que pese a irse durante el camino, sé que ha estado conmigo hasta el final; gracias por enseñarme que todo lo que haga y aprenda siempre lo llevaré conmigo.

Pero sobre todo a Borja, gracias por estar en cada paso, por tus consejos, por vivir conmigo intensamente esta aventura y por la felicidad incondicional que me aportas. Y también a sus padres, Pilar y Pablo, por alegraros de mis éxitos y el cariño que siempre me ofrecéis.

Y, también, a ti, que tienes entre manos, o en pantalla, parte de mi pequeño universo, disfrútalo tanto como lo he hecho yo trabajando en él.

Muchas gracias a todos por estar a mi lado.

RESUMEN

La falta de reflexión en las intervenciones de conservación y restauración de arte rupestre Levantino ha dado lugar a metodologías de trabajo poco adecuadas y al uso de productos pocos respetuosos con los materiales originales. El emplazamiento de estos conjuntos, en abrigos al aire libre, determina la extrema fragilidad y difícil conservación de todos ellos. A pesar de esto, la puesta en marcha de propuestas específicas orientadas a la consolidación y minimización del deterioro aún resultan muy escasas, siendo todavía más exiguos los estudios científicos centrados en la temática, especialmente en Aragón donde, más allá de alguna escasa intervención puntual, no se han llevado estudios en este campo.

El arte Levantino se define como una de las manifestaciones artísticas más singulares de la Península Ibérica, circunscrita dentro del Arco Mediterráneo, albergando algunas de las representaciones pictóricas más destacadas de la Prehistoria peninsular, como es el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel). Aunque la naturaleza de los soportes rocosos es diferente según la zona, los abrigos de la serranía de Albarracín está constituida por soportes de arenas triásicas de matriz sílicea (rodano).

Así, el objetivo de este estudio reside en generar unas pautas de estudio y trabajo en los procesos de consolidación para el citado abrigo. Para ello, ha sido preciso un análisis de los documentos científicos existentes; así como la evaluación del estado de conservación del abrigo. Con el fin de seleccionar un método de consolidación preciso, se han estudiado diferentes consolidantes, a base de nanopartículas y organosilíceos, compatibles con la naturaleza del soporte de las pinturas. Estos productos han sido evaluados *in situ* y en probetas mediante diferentes ensayos regidos por normativas tecnológicas y técnicas instrumentales. Estos ensayos han determinado un buen comportamiento de los consolidantes organosilíceos, y se han extraído conclusiones que determinan investigaciones futuras con el fin de avanzar en la conservación y restauración del arte Levantino.

Palabras clave: *Arte Levantino; Conservación; Sierra de Albarracín; Abrigo de Los Toros del Prado del Navazo; Consolidación en pintura rupestre.*

RESUM

La manca de reflexió en les intervencions de conservació i restauració d'art rupestre Llevantí ha donat lloc a metodologies de treball poc adequades i a l'ús de productes poc respectuosos amb els materials originals. L'emplaçament d'aquests conjunts, en abrics a l'aire lliure, determina l'extrema fragilitat i difícil conservació de tots ells. Malgrat això, la posada en marxa de propostes específiques orientades a la consolidació i minimització de la deterioració encara resulten molt escasses, sent encara més minso els estudis científics centrats en la temàtica, especialment a Aragó on, més enllà d'alguna escassa intervenció puntual, no s'han portat estudis en aquest camp.

L'art Llevantí es defineix com una de les manifestacions artístiques més singulars de la península Ibèrica, circumscrita dins de l'Arc Mediterrani, albergant algunes de les representacions pictòriques més destacades de la Prehistòria peninsular, com és l'abric de *Los Toros de el Prado del Navazo* (Albarracín, Terol). Tot i que la naturalesa dels suports rocosos és diferent segons la zona, els abrics de la regió muntanyenca d'Albarracín està constituïda per suports de sorres triàsiques de matriu silícia (roig).

L'objectiu d'aquest estudi rau en generar unes pautes d'estudi i treball en els processos de consolidació per al citat abric. Per a això, ha calgut una anàlisi dels documents científics existents; així com l'avaluació de l'estat de conservació de l'abric. Per tal de seleccionar un mètode de consolidació precís, s'han estudiat diferents consolidants, a força de nanopartícules i organosilícis, compatibles amb la naturalesa de el suport de les pintures. Aquests productes han estat avaluats in situ i en provetes mitjançant diferents assaigs regits per normatives tecnològiques i tècniques instrumentals. Aquests assajos han determinat un bon comportament dels consolidants organosilícis, i s'han extret conclusions que determinen investigacions futures per tal d'avançar en la conservació i restauració de l'art Llevantí.

Paraules clau: Art Llevantí; conservació; Serra d'Albarracín; Abric de *Los Toros del Prado del Navazo*; Consolidació en pintura rupestre.

ABSTRACT

The lack of reflection on the conservation and restoration of Levantine rock art has led to inappropriate work methodologies and to the use of products that do not respect the original materials. The location of these sets, in open air shelters, determines the extreme fragility and difficult conservation of all of them. In spite of this, the implementation of specific proposals focused on the consolidation and minimization of deterioration are still very scarce, being even more exiguous the scientific studies focused on the subject, especially in Aragon where, beyond some scarce punctual intervention, there are not studies in this field.

The Levantine art is defined as one of the most singular artistic manifestations of the Iberian Peninsula, circumscribed in the Mediterranean Arc, with some of the most relevant pictorial representations of the peninsular Prehistory, as the shelter of *The Bulls of the Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel). Although the nature of the rock supports is different according to the area, the shelters of the Albarracín Mountain range are made up of Triassic sand supports with a siliceous matrix (rhododendum).

Thus, the objective of this study is to generate some study and work guidelines in the consolidation processes for the mentioned shelter. For this purpose, it has been necessary to analyze the existing scientific documents; as well as the evaluation of the shelter's state of conservation. In order to select an accurate consolidation method, different consolidators have been studied, based on nanoparticles and organosilicates, compatible with the nature of the paint support. These products have been evaluated in situ and in test samples by means of different tests guided by technological regulations and instrumental techniques. These tests have determined a good behavior of the organosilicon consolidators, and conclusions that determine future research in order to advance in the conservation and restoration of Levantine art have been obtained.

Keywords: *Levantine Art; Conservation; Albarracín Mountain Range; The Bulls of Prado del Navazo's shelter; Consolidation in cave painting.*

ÍNDICE

Introducción.....	I
I. Objetivos.....	3
II. Metodología.....	4
III. La pintura rupestre postpaleolítica en Aragón	II
IV. El abrigo de <i>Los Toros del Prado del Navazo</i>	15
IV.1 Localización geográfica	15
IV.2 Descripción geológica.....	17
IV.3 Descubrimiento e historia de las investigaciones	18
IV.4 Estudio histórico-artístico	22
IV.5 La gestión del arte rupestre Levantino en Aragón.....	26
V. Estado de conservación del abrigo de <i>Los Toros del Prado del Navazo</i>	28
V.1 Análisis de su estado de conservación.....	30
VI. Intervenciones de conservación-restauración en el arte rupestre Levantino en Aragón.....	40
VI.1 La consolidación.....	43
VII. Fase experimental y resultados	46
VII.1 Caracterización del material pétreo	47
VII.1.1 Porosidad del material pétreo	49
VII.1.2 Test absorción hídrica por contacto	50
VII.2 Elección de productos consolidantes	51
VII.3 Estudio de los parámetros físicos y biológicos	53
VII.4 Estudio colorimétrico	60
VII.5 Ensayo de envejecimiento acelerado.....	68
VII.6 Ensayo de resistencia a la cristalización de sales.....	79
VII.7 Ensayo de absorción por capilaridad	80
VII.8 Ensayo de penetración mediante tinción.....	83
VIII. Conclusiones	89
IX. Bibliografía	94
X. Anexos.....	104
Anexo I. Permiso de acceso al abrigo	104
Anexo II. Testado de consolidantes en probetas	105

Anexo III. Antecedentes históricos en investigación de arte rupestre.....	117
III.1 Los primeros descubrimientos de arte rupestre	118
III.1.1 Breve historiografía del arte Levantino en Aragón	119
III.2. El arte rupestre Levantino declarado <i>Patrimonio Mundial</i>	121
Anexo IV. Microscopía Estereoscópica y Electrónica de barrido con detector de rayos X	122
IV.1. Microscopía Estereoscópica (MEST)	123
IV.2. Microscopía Electrónica de barrido con detector de rayos X (SEM-EDX).....	129
Anexo V. Fichas técnicas de los consolidantes	138
<i>Nano estel®</i>	138
<i>Nanorestore®</i>	141
<i>Tecnadis® Solidus</i>	144
<i>Wacker® OHI100</i>	146
Anexo VI. Ficha técnica cámara climática	149



INTRODUCCIÓN

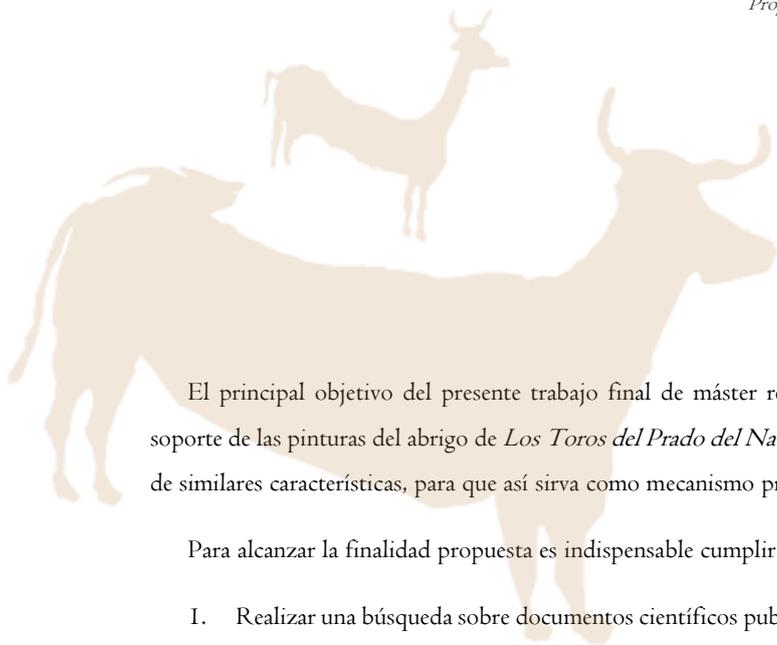
El presente trabajo surge con el propósito de establecer un mecanismo de estudio y consolidación en arte rupestre mediante el análisis comparativo de diferentes productos aplicados y evaluados en probetas e *in situ*. Esta investigación se ha centrado en soportes silíceos, gracias al estudio llevado a cabo en el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel), reconocido como uno de los conjuntos más excepcionales de la Serranía de Albarracín. Es importante señalar que el desarrollo del mismo se ha visto afectado por la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, por lo que investigaciones previstas y tiempos de actuación han tenido que ser adaptados ante estas circunstancias extraordinarias.

El origen de esta investigación se sitúa en el trabajo final para la obtención del título como Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales con especialidad en pintura, denominado *Estudio y valoración de hidrofugantes comerciales que contienen nanopartículas en su formulación*, bajo la dirección de la Dra. Nuria Miguel Sancho, presentado en la *Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Aragón* (ESCYRA) en el año 2018. Este hecho junto con la intención de continuar con el estudio de nanomateriales y por la escasez de documentación generada en las intervenciones de los abrigos Levantinos y el uso de materiales poco adecuados, motivó una propuesta de protocolo de trabajo para las mismas.

Esta investigación ha estado centrada, por un lado, en la revisión y análisis de la documentación científica referente a la Historia del arte Levantino, bajo la supervisión del Dr. Manuel Bea Martínez, *Recognised Researcher* en la *Universitat Jaume I* (UJI) y vinculado a la *Universidad de Zaragoza* a través del Grupo *Primeros Pobladores y Patrimonio Arqueológico* y al *Instituto de Investigación Universitario en Patrimonio y Humanidades*, quien ha proporcionado conocimientos fundamentales desde el punto de vista arqueológico gracias a su experiencia en el estudio del arte rupestre. Así como en el análisis de las intervenciones de conservación en abrigos levantinos. Y, por otra parte, en el estudio comparativo de consolidantes con nanopartículas y organosilíceos evaluados con diferentes normativas tecnológicas. Ambos trabajos acometidos bajo la dirección de la Dra. M^a Antonia Zalbidea Muñoz, Profesora Titular de la *Universitat Politècnica de València* en el *Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, que cuenta con amplios conocimientos en el estudio y en los tratamientos de conservación-restauración de arte rupestre.

Una aproximación inicial a este estudio fue presentada en el *I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural* organizado por *ICOMOS España* en la *Universidad Politécnica de Madrid* en noviembre de 2019 mejorando y avanzado en los estudios de conservación-restauración de arte rupestre; contribuyendo así con los futuros trabajos de investigación en arte rupestre (SERRANO *et al.*, e.p.). Gracias al trabajo de estos últimos años, he obtenido la beca JAE INTRO 2019 convocada por el *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) para desarrollar una estancia en el *Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón* (ICMA) dentro del grupo de investigación *Bionanosurf*, bajo la dirección del Dr. Scott G. Mitchell. Este grupo centra una de sus líneas de investigación en el desarrollo de materiales nanohíbridos con propiedades antimicrobianas que actúan como agentes biocidas para prevenir el

biodeterioro en patrimonio cultural. Beca que tuvo que ser rechazada finalmente por la obtención de un Contrato Predoctoral en Formación de Profesorado Universitario (FPU) para la realización de la Tesis Doctoral. Investigación que se basará en el análisis y protocolo de intervención para la conservación de conjuntos levantinos de la provincia de Teruel dentro del Grupo de investigación *Primeros Pobladores y Patrimonio Arqueológico* de la *Universidad de Zaragoza* dentro del proyecto MINECO HAR2017-85023-P. La dirección de la Tesis Doctoral queda a cargo del Dr. Carlos Mazo Pérez que, por su experiencia en el ámbito arqueológico, junto con los conocimientos de conservación-restauración propios y los que va a aportar la Dra. M^a Antonia Zalbidea Muñoz como codirectora y el Dr. Manuel Bea Martínez como codirector, se prevén que los resultados puedan establecer pautas de conservación y restauración con criterios sobre materiales y tratamientos adecuados para un conjunto de abrigos con arte Levantino declarados Patrimonio Mundial.

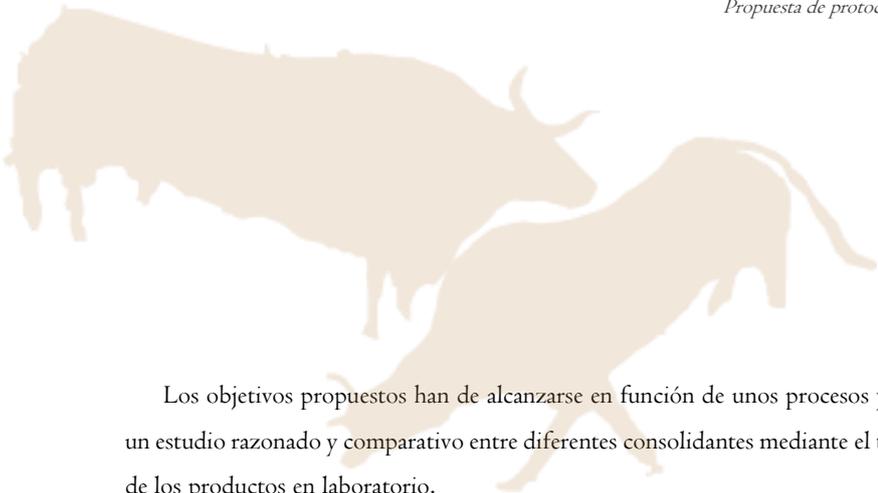


I. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo final de máster reside en generar un protocolo de consolidación del soporte de las pinturas del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín) que sea extrapolable a otros abrigos de similares características, para que así sirva como mecanismo preventivo de conservación.

Para alcanzar la finalidad propuesta es indispensable cumplir con unos objetivos secundarios:

1. Realizar una búsqueda sobre documentos científicos publicados en el ámbito de la conservación y restauración de pintura rupestre, que puedan aportar información sobre los mecanismos de conservación en abrigos rupestres y, en especial, sobre el arte Levantino con características similares al objeto de estudio.
2. Concretar aspectos técnicos y descriptivos concernientes a la localización geográfica y disposición geológica del abrigo que permitan comprender el comportamiento del material ante la adversidad climatológica.
3. Analizar las condiciones climáticas del abrigo, de los contaminantes biológicos, y su interacción sobre la superficie rocosa.
4. Evaluar el estado de conservación del abrigo y analizar sus patologías.
5. Estudiar, sobre probetas e *in situ*, el comportamiento de los productos consolidantes seleccionados y su interacción con el soporte rocoso, que permita determinar conclusiones y establecer un tratamiento de consolidación superficial óptimo para el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* extrapolable a otros similares.
6. Iniciar un protocolo de conservación mediante el presente trabajo que tenga un desarrollo mayor en mi futura Tesis Doctoral.



II. METODOLOGÍA

Los objetivos propuestos han de alcanzarse en función de unos procesos y análisis que permitan la realización de un estudio razonado y comparativo entre diferentes consolidantes mediante el trabajo empírico en el abrigo y el testado de los productos en laboratorio.

La metodología adoptada para el presente trabajo final se ha dividido en:

- **Método teórico:**

1. En primer lugar, la investigación se ha centrado en el estudio y análisis de fuentes documentales, revisando bibliografía específica del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*, tanto a nivel histórico como técnico, en función de los tratamientos de conservación-restauración empleados a lo largo del tiempo en el arte Levantino¹.
2. Se han generado documentos para la tramitación del permiso de acceso y estudio del abrigo dirigidos a la *Comisión Provincial del Patrimonio Cultural Aragonés de Teruel*.

- **Método empírico:**

El punto inicial de esta investigación partió de las visitas realizadas de carácter científico-técnico al abrigo². A través de ellas se ha realizado el análisis y estudio de las pinturas rupestres del *Navazo* por medio de:

1. Generación de la **documentación fotográfica**, que permite recoger el estado de conservación inicial y observar la evolución de éste. Esta documentación se realizó con cámara réflex *Nikon® D3100* y trípode *Albott®*. Las tomas fueron procesadas con *Adobe Photoshop CS5®* con la extensión *Photomerge*, que permite unir cada una de estas tomas y generar la panorámica del abrigo en una sola imagen. Además de la información generada del estado de conservación ésta permite crear un mapa de daños, realizado en *Adobe Illustrator CS6®*.

El registro fotográfico se llevó a cabo mediante **fotografías generales y de detalle**, realizadas con distintas tomas evitando fotografiar el cerramiento. Además, se documentaron cada una de las alteraciones, para determinar y

¹ La búsqueda bibliográfica se ha realizado, por un lado, en plataformas digitales de artículos científicos como *Springer*, *Elsevier*, *Riunet*, *Academia.edu*, *ResearchGate* o *Dialnet*. Pero, por otra parte, se han consultado diferentes fondos bibliotecarios como la Biblioteca Central (UPV) y la Biblioteca María Moliner (Universidad de Zaragoza, UNIZAR).

Para el trabajo se ha tenido en cuenta la lectura de trabajos de investigación dedicados al tema en cuestión e informes técnicos de conservación-restauración. Destacar: Barreda, G. (2016) "*Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de Arte Rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remigia (Barranc de Gasulla Ares del Maestre)*", y Gasque, R. (2017) "*Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de pintura rupestre al aire libre*".

² Las visitas al interior del abrigo se han realizado gracias al permiso oficial concedido por la *Comisión Provincial del Patrimonio Cultural Aragonés de Teruel*, aprobado el 26 de abril de 2018 (nº EXP: 2018/0146) (Anexo I). Todos los trabajos fueron supervisados por Hilario Dalda, Técnico de Patrimonio de la Dirección General de Aragón.

evidenciar el estado de conservación. Se realizaron **fotografías macro** de la superficie del abrigo con **microscopía digital** *DigiMicroscope Reflecta®*, permitiendo obtener imágenes hasta 200x.

2. Además de la documentación fotográfica, hay que tener presente la concepción del espacio del abrigo, por ello, es conveniente poseer una **medición precisa del mismo**. Ésta se realizó mediante la medición el distanciómetro láser profesional *Holex® 46.5540 65*.

3. Se **tomaron parámetros físicos y biológicos**³ para determinar cómo afectan al estado de conservación de la obra y las posibles causas por las que el soporte y las pinturas presentan ciertas patologías.

3.1 Se instaló un datalogger *Log® 32 TH* para controlar tanto la humedad y temperatura interior del abrigo como el punto de rocío, y poder estudiar el impacto de las variaciones termohigrométricas.

3.2 Se realizaron medidas de la humedad y temperatura superficial del soporte rocoso con higrómetro de contacto *Neurtek® 01-37161* (Fig. 1) y termómetro digital de contacto *Tescoma® 420910* (Fig. 2), con el fin de determinar las variaciones termohigrométricas extremas, para valorar el riesgo de shock térmico.

3.3 Se midió la incidencia lumínica con el luxómetro *Milwaukee® SM770*, para obtener datos sobre la conservación a nivel cromático y físico de las pinturas.



Figura 1. Medición de humedad relativa del muro de cerramiento mediante higrómetro de contacto. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 2. Medición de la temperatura superficial del soporte mediante termómetro de contacto. Fuente: SERRANO, 2020.

3.4 Se acometió un estudio de los microorganismos presentes en el interior del abrigo para determinar la presencia de potenciales microorganismo biodeteriorantes y relacionarlo con los parámetros de temperatura, humedad relativa y luz. Este estudio se realizó en el *Departamento de Biotecnología* de la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (UPV)*⁴.

³ La toma de datos de los parámetros de humedad y temperatura superficial y la incidencia lumínica fueron realizadas en las visitas realizadas al abrigo: 11-06-2019; 27-09-2019; 03-03-2020 y 21-10-2020. La toma de biológico se realizó el día 03-03-2020.

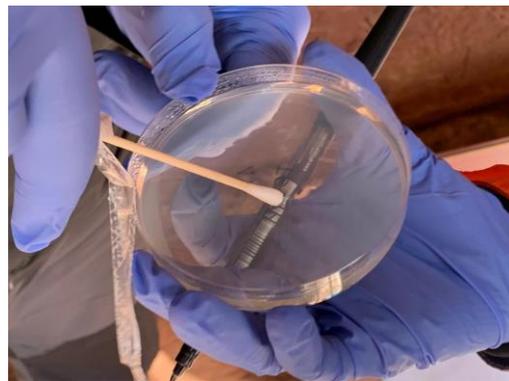
⁴ Estudio realizado bajo la supervisión de Rosa M^a Montes Estellés, profesora titular de la UPV.

Para realizarlo se tomaron muestras no invasivas por contacto para determinar la presencia de hongos y bacterias en el interior del abrigo en la techumbre y parte inferior del soporte de las pinturas mediante:

- Hisopos estériles + crecimiento *in vitro* (Figs. 3 y 4).
- Placas Rodac con dos medios de cultivo (Fig. 5):
 - Sabouraud-cloranfenicol (hongos).
 - Plate Count (bacterias).

Así mismo se tomaron muestras de los bioaerosoles presentes en el interior y exterior del abrigo con el objetivo de cuantificar los microorganismos presentes en suspensión en el aire mediante:

- *Microbial air sampler* con SAS® (*Surface Air Sistem*) (Fig. 6), un muestreador portátil para aspirar 100 l en placas Petri con dos medios de cultivo:
 - Sabouraud-cloranfenicol (hongos).
 - Plate Count (bacterias).



Figuras 3 y 4. Toma de muestras biológicas con hisopos estériles y frotado en placa petri con medio de cultivo. Fuente: SERRANO, 2020.

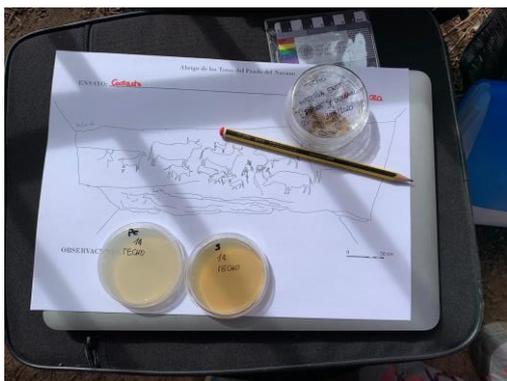


Figura 5. Placas Rodac de contacto. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 6. Toma de muestra de aire con muestreador SAS®. Fuente: SERRANO, 2020.

Gracias a este muestreo se puede conocer la concentración de microorganismos por metro cúbico de aire y se puede determinar la calidad ambiental. Aunque no existe una legislación ni normativa específica sobre

los niveles de hongos y bacterias recomendados en el interior de espacios. Sólo se dispone de recomendaciones y normas internacionales⁵ para ambientes interiores y climatizados.

Para conocer las unidades formadoras de colonia (UFC/100 l) tras el conteo de las placas y aplicar el factor de corrección, se calcularon las UFC/m³ con la siguiente fórmula:

$$\text{UFC/m}^3 = \text{UFC} \cdot 10$$

3.5 Se realizó la toma de datos colorimétricos con el colorímetro *X-Rite® Eye-One Defined* y la ayuda del software *iProfiler®*, que se procesaron para extraer conclusiones con *Microsoft® Excel 2010*, siguiendo la normativa UNE-EN 15886:2011 (*Conservación del patrimonio cultural. Método de ensayo. Medición de color de superficies*)⁶. La finalidad de este tipo de análisis no destructivo es determinar la absorción de la luz visible por las pinturas, dando referencia de los colores del objeto de estudio (MARTÍNEZ, 2004) y poder establecer comparativas cromáticas cuando se aplican tratamientos de restauración.

4. Toma de muestras:

4.1 Se tomaron muestras de las eflorescencias salinas y el mortero que afectan al muro de cerramiento (Figs. 7 y 8). La finalidad es conocer su morfología con el Microscopio Estereoscópico (MEST) *Leica® MZ APO*⁷ y su composición mediante análisis con Microscopía Electrónica de Barrido con detector de Rayos X (SEM-EDX) *Hitachi® S-4800*⁸ y *JEOL® JSM6300*⁹ poder determinar su naturaleza.

4.2 Se cogieron muestras de fragmentos pétreos similares al soporte de las pinturas que se encontraban en el interior del abrigo para poder conocer su naturaleza y realizar en ellas todos los ensayos analíticos y empíricos pertinentes en laboratorio. Las piedras se habían desprendido por causas naturales y su tamaño es variable (entre 8 y 15 cm²).

⁵ Según la Norma UNE 100012:2005 (*Higienización de sistema de climatización*) el valor recomendado de aire en ambiente interior de flora microbiana misófila total en aire ambiente debe ser menor de 800 UFC/m³.

La Nota Técnica de Prevención NTP 409 de 1996 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, recomiendan valores de hongos en el aire menores de 100 UFC/m³.

El R.D 664/1997 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, regula este aspecto en el ámbito laboral.

La norma UNE 171330-2:2009 (*Procedimientos de Inspección de calidad ambiental interior*) los valores límites en hongos no deben superar los 100 UFC/m³ el total entre hongos y bacterias no debe superar los 800 UFC/m³.

⁶ Para la medición de color se modificaron algunas recomendaciones de la norma UNE-EN 15886:2011, que son descritas en VII.4 Estudio colorimétrico.

⁷ Estudio llevado a cabo en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universitat Politècnica de València (UPV).

⁸ Estudio realizado en el Servei Central de Suport a la Investigació Experimental (SCSIE), en el departamento de Microscopía Electrónica de la Universitat de València (UV).

⁹ Realizado en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Politècnica de València (UPV).



Figura 7. Toma de muestras de eflorescencias salinas procedentes de ascensión capilar del muro de cerramiento derecho. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 8. Toma de muestras de mortero procedentes del muro de cerramiento izquierdo. Fuente: SERRANO, 2020.

5. La **fase experimental** de la investigación ha permitido la caracterización del material pétreo (consultar *VII.1 Caracterización del material pétreo*), gracias a la cual se han seleccionado consolidantes afines a su composición química: dos de naturaleza organosilíceica (OS) y dos a base de nanopartículas (N):
- *Wacker® OH100*, sin solvente (OS).
 - *Tecnadis Solidus®*, dispersado en alcohol isopropílico (OS).
 - *Nano Estel®*, diluido en agua desmineralizada (N).
 - *Nanorestore®*, dispersión en isopropanol (N)¹⁰.

Esta fase experimental se basó en testado de estos productos en dos bloques:

- Trabajo *in situ* (Fig. 9).
- Trabajo en laboratorio sobre probetas (Fig. 10).



Figura 9. Superficie pétreo tras la aplicación de productos consolidantes *in situ*. Señalado: brillo generado por la precipitación de *Nano Estel®*. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 10. Aplicación de consolidantes en laboratorio sobre probetas. Fuente: SERRANO, 2020.

Para el testado de los consolidantes se realizaron los siguientes análisis y ensayos científicos y empíricos¹¹:

¹⁰ La naturaleza química de *Nanorestore®* es calcárea, pero ha sido seleccionado porque la superficie pictórica puede contar con una capa homogénea de carbonato cálcico (CaCO_3) debido a la práctica común del mojado de las pinturas (consultar *VI Análisis de su estado de conservación y VII.2 Elección de productos consolidantes*).

¹¹ La metodología específica de cada uno de los análisis y ensayos será desarrollada en cada apartado específico del capítulo *VII. Fase experimental*.

5.1 Estudio de la **caracterización mineralógica del soporte pétreo** realizado con Microscopio Estereoscópico (METS) y Microscopio Electrónico de Barrido con detector de Rayos X (SEM-EDX)¹².

5.1.1 Estudio de la **porosidad del soporte** para conocer la cantidad de espacios vacíos presentes en el material pétreo respecto a su volumen, y clasificar a la roca en una determinada categoría de porosidad se utilizó la norma UNE-EN 1936:2006 (*Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total*).

5.1.2 Para determinar la **absorción hídrica** de la superficie del soporte de las pinturas se realizó el test desarrollado por el *Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali – Consiglio Nazionale delle Ricerche* (ICVBC-CNR) de Florencia y regulado por la norma UNI 11432:2011 (*Beni cultural. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Misura della capacità di assorbimento di acqua mediante spugna di contatto*). Esta prueba permite conocer la cantidad de agua que absorbe el soporte en un tiempo determinado.

Tras conocer la naturaleza química del soporte y seleccionados los consolidantes, éstos fueron testados para establecer una metodología de aplicación adecuada (ver *Anexo II*). Los productos se aplicaron en probetas¹³ que se sometieron a diferentes ensayos y estudios, que consistieron en¹⁴:

5.2 **Estudio de la interacción del consolidantes con la piedra** mediante visualización y análisis con SEM-EDX (*Hitachi® S-4800, SCSIE, UV*). Este estudio ha permitido evaluar la distribución de los productos y los cambios morfológicos que se originan en la superficie de las rocas tratadas.

5.3 **Evaluación de la eficacia de los consolidantes** sobre el soporte rocoso mediante:

5.3.1 *Ensayo de absorción de agua por capilaridad*, para determinar las propiedades hídricas, según la norma UNE-EN 15801:2010 (*Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad*).

5.3.2 *Ensayo de penetración mediante tinción con Rodamina B*¹⁵. Estudio realizado con microscopio óptico *Leica® DMR* y *Leica® DM IRBE* (SCSIE, UPV), y procesado de imágenes con *Photoshop® CS5*.

5.3.3 *Evaluación de los cambios cromáticos mediante colorimetría*, para evaluar si se modifica superficialmente el color al aplicar los productos consolidantes y como mecanismo preventivo de

¹² El estudio se realizó con MEST *Leica® MZ APO* (UPV) y SEM-EDX *Hitachi® S-4800* (SCSIE, UV) a probetas realizadas con el material pétreo procedente del abrigo, al que luego se iban a aplicar los productos consolidantes.

¹³ Los productos se aplicaron a 36 probetas de 3x3x3 cm y a 24 de 1x1x1 cm, que se dejaron secar al aire en condiciones de laboratorio. Para cada uno de los ensayos se utilizaron dos probetas de cada consolidante y dos probetas sin tratar, para establecer un promedio de los resultados que se obtengan.

¹⁴ Todos los ensayos han sido realizados en probetas, salvo que se indique lo contrario.

¹⁵ Este ensayo no está regulado por normativa tecnológica, por ello se ha basado en el estudio de tinción de consolidantes con Rodamina B para estudiar la penetración de éstos en arte rupestre que establece unas pautas para el mismo (BARREDA y ZALBIDEA, 2020).

conservación, como ya ha sido explicado. El instrumental utilizado es el mismo que el visto en el punto 3.4. Este ensayo fue realizado tanto en probetas como *in situ*.

5.3.4 *Ensayo de envejecimiento acelerado* con variaciones de temperatura y humedad relativa, según la norma ASTM D1183-03 (*Standard Practices for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions*). Para llevarlo a cabo se utilizó la cámara climática Binder® KMF240 (*Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, UPV*).

5.3.5 *Ensayo de resistencia a la cristalización de sales*: el objetivo de este ensayo consistió en simular las tensiones que se producen en el interior del material pétreo cuando cristalizan o se hidratan las sales. Este ensayo siguió la norma europea UNE-EN 12370:1999 (*Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización*).

III. LA PINTURA RUPESTRE POSTPALEOLÍTICA EN ARAGÓN

El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica es, sin duda, uno de los ejemplos artísticos más excepcionales y especiales de Europa. Estos conjuntos son testimonio de un momento concreto de nuestra historia, que guardan entre sus manchas y trazos la ideología, la economía, los sentimientos, las inquietudes de sociedades prehistóricas, que desde su descubrimiento se ha intentado dar sentido a su significado. Este arte se caracteriza por localizarse en abrigos o cavidades al aire libre, lo que va a determinar su estado de conservación.

Debido a los criterios y pautas de estilo para la elaboración del trabajo, el estudio historiográfico del arte rupestre en la Península Ibérica se puede consultar de una forma más extensa y detallada en el *Anexo III*, pues se considera que es una información esencial y relevante, ya que su historia forma parte de la conservación del mismo.

El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica recoge un amplio abanico de comunidades autónomas (Andalucía, Aragón, Castilla la-Mancha, Cataluña, Murcia y Valencia) y, aunque los artistas prehistóricos no entendían de fronteras, este apartado se va a limitar a contextualizar el arte parietal postpaleolítico de la Comunidad Autónoma de Aragón, centrándose en la provincia de Teruel, territorio donde se sitúa en abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín).

El arte Levantino es objeto de interés desde su descubrimiento y la propuesta de su posible cronología (siempre relativa) ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. Numerosos especialistas han intentado determinarla, lo que supone la generación de un debate entre los mismos que, junto con la imposibilidad de datar por técnicas analíticas, supone un verdadero problema para la investigación de este tipo de arte.

En un inicio (principios del s. XX) los estudiosos le otorgan una cronología paleolítica (BREUIL, 1910; CABRÉ, 1915; WERNERT, 1915; OBERMAIER 1916; BOSCH-GIMPERA, 1923), y es que hay que recordar que los hallazgos en la cornisa franco-cantábrica estaban sucediendo de manera sincrónica. Esta atribución cronológica se debe, en gran parte, a los estudios de H. Breuil (1909), donde el abate identifica algunos animales propios de un momento Cuaternario que, junto al estudio estilístico de algunos animales representados, considera al arte Levantino como Paleolítico. Pese a ello, en una fecha temprana, Hernández-Pacheco (1924) anuncia la posible cronología postpaleolítica del arte Levantino en el estudio del abrigo de *La Araña* de Bicorp (Valencia).

En cambio, autores posteriores otorgan a las pinturas levantinas una cronología Epipaleolítica o Mesolítica como Viñas (1982), Grimal (1995), Alonso (1992), Aparicio y Morote (1999) e incluso Beltrán (1968) o Ripoll (1965) que también abogan por esta consideración en las primeras fases del arte Levantino. Éstos últimos establecen una ordenación cronológica dividida en cuatro fases. Ripoll (1965, 1968) realiza la clasificación en función de la morfología y actitud de las representaciones; mientras que Beltrán (1968) establece una clasificación cronológica, comenzando por la *Fase antigua o naturalista* datada entre el 6000 y el 3500 a.C., hasta la *Fase final* situándola, cronológicamente, en el Eneolítico y Bronce I. Ambos apuntan que los grandes toros y actitud estática, como los del

abrigo del *Prado del Navazo* corresponderían a la fase más antigua (RIPOLL, 1965; BELTRÁN, 1968), hecho que se comentará en líneas posteriores. Beltrán (1968) considera que los artistas de este momento presentan herencias culturales de tradición Epipaleolítica, aunque podían recibir influencias de la cultura Neolítica o Eneolítica.

Otros especialistas sostienen que el arte Levantino conviviría con dos culturas, y dos economías diferentes: los cazadores-recolectores y los productores (LLAVORI DE MICHEO, 1988-89; UTRILLA y CALVO, 1999; UTRILLA, 2000; BELTRÁN, 2002). Así pues, Llavori de Micheo (1988-89) sostiene que el arte Levantino se originaría como resultado de un conflicto insostenible de competencias territoriales, económicas y socioculturales entre dos modos de producción opuestos que se definen por los grupos de cazadores-recolectores de filiación Epipaleolítica y las comunidades productoras. Utrilla (2000) sostiene el mismo planteamiento, e incluye la relación entre la cultura Neolítica “pura” y la presencia de cerámica decorada *Cardium edule* en esta cultura; señala que, en Aragón, al menos, en los yacimientos con un solo nivel arqueológico con arte Levantino aparece cerámica (UTRILLA y CALVO, 1999). Beltrán (2002) apunta que el arte Levantino es propio de las sociedades cazadoras y recolectoras, aunque podría ser coetáneo a las sociedades productoras. De tal manera, sostiene que el origen del arte Levantino estaría en el Epipaleolítico prolongándose hasta el Neolítico y una estilización progresiva del mismo en la Edad del Bronce (BELTRÁN, 2002).

Finalmente, hay autores que postulan que el origen del arte Levantino se sitúa en grupos Neolíticos: Hernández y Martí (1988), Juan-Cabanilles y Martí (1997, 2000, 2002), Villaverde (2002), García Robles (2003). Mientras que, Jordá (1966, 1971, 1974) apunta la cronología más reciente del citado arte, abogando por que podría ser un arte Eneolítico. Los estudiosos citados en primer término clasifican al arte rupestre Levantino con cronología Neolítica apoyándose en los fragmentos cerámicos impresos y con decoración antropomorfa hallados en *Cova de L'Or* (Beniarrés, Alicante) (MARTÍ y CABANILLES, 2002). Esta consideración puede ser debida a la escasez cuantitativa de yacimientos epipaleolíticos en regiones concretas como Jaén o Huesca, aunque en otras zonas existe escasez de arte Levantino respecto al Esquemático (MARTÍNEZ-BEA, 2005). Por otra parte, hay autores que sostienen que dentro del Neolítico conviven dos lenguajes gráficos diferentes utilizados de forma indistinta: el arte Levantino y el arte Esquemático, aunque respecto a temática, concepción estilística y técnica son muy diferentes (MOLINA *et al.*, 2003); pese a ello, resulta muy improbable que dos estilos tan opuestos sean fruto de una misma sociedad.

En síntesis, el debate se podría situar en el contexto que motivó el surgimiento de un nuevo estilo artístico suponiendo el fin del Paleolítico. El final del periodo glaciario supone el inicio del Holoceno, momento en el que suceden una serie de transformaciones que influyen en todos los aspectos de la vida: cambios radicales en los modos tradicionales de subsistencia; la fauna se desplaza o desaparece y junto a ella el arte Paleolítico que la representaba; el paisaje se transforma; la costa se acorta, y, por tanto, aspectos sociales e ideológicos también se modifican.

Con la desaparición de la fauna perdería el sentido de su arte, pero con la llegada de nuevos grupos de economía productora éstos recuperarían la actividad artística, pero con un sentido distinto. Estos grupos neolíticos transformarían el medioambiente, fundamentalmente para desarrollar su modo de economía con el fin de poder cultivar las tierras y llevar a cabo las actividades de pastoreo, por lo que existiría tensión entre los grupos existentes la nueva cultura. Los grupos epipaleolíticos se irían desplazando a territorios de interior en los que poder desarrollar su forma de vida, delimitando su terreno con el arte rupestre, precisamente por la tensión generada entre los diferentes grupos

(MARTÍNEZ-BEA, 2005). Este conflicto entre culturas se podría apoyar en la teoría de que las ideas y, posteriormente, los grupos neolíticos llegarían por el Levante de la península; de modo que los grupos epipaleolíticos fueron la primera cultura en ponerse en contacto con la sociedad productora. Se podría establecer una frontera entre el Bajo Aragón y el Maestrazgo turolense y castellonense, hecho que se vería reflejado en el arte rupestre del territorio citado, pudiendo representar situaciones bélicas, como se podría interpretar, entre otras apreciaciones, en el abrigo de la *Cueva del Chopo* (Obón, Teruel). Este arte se desvanecería conforme avanza hacia el interior de la península; y es que el hecho de la poca existencia de arte Levantino en Huesca se relacionaría con este proceso de neolitización en la península, pues existe una diferencia clara entre el arte del Alto Aragón, fundamentalmente esquemático y con yacimientos neolíticos “puros”, frente al arte del Bajo Aragón, pródigo en representaciones levantinas y con yacimientos epipaleolíticos “aculturados” (UTRILLA y CALVO, 1999; UTRILLA 2000, MARTÍNEZ-BEA, 2005).

A modo de resumen, dentro del periodo de neolitización convivirían estilos artísticos diferentes: Levantino, Macrosquemático, Esquemático y Subnaturalista, e incluso Lineal-Geométrico, que reflejarían dos sociedades diferentes: por una parte, una en expansión que se extendería de forma progresiva con una economía, ideología y arte nuevo; y, por otra parte, la regresión de una cultura de cazadores-recolectores que “reinventarían” un nuevo arte rupestre (UTRILLA y CALVO, 1999).

No obstante, a partir de ahora, una vez conocido el debate cronológico referido al arte Levantino en rasgos generales, este trabajo va a focalizarse en la serranía de Albarracín, contexto geográfico donde se sitúa el abrigo objeto de este estudio.

Desde un inicio, la bibliografía tradicional del arte Levantino consideraba a los conjuntos rupestres de la zona meridional de Aragón de grandes bóvidos blancos en reposo dentro de la *Fase Naturalista* o *Antigua* del arte Levantino, que establecieron autores como Ripoll (1965) o Beltrán (1968), respectivamente. Esta consideración se ha ido asumiendo como la única posibilidad a largo del tiempo. Estudios recientes consideran que los abrigos de la serranía de Albarracín presentan una serie de criterios a nivel estilístico, técnico y distributivo que caracterizan estos conjuntos (MARTÍNEZ-BEA, 2005, 2008; BEA, 2017), como se verá más adelante. La hipótesis que se ha planteado en los últimos años es que la excepcionalidad de los conjuntos de Albarracín pueda corresponder a un ciclo o varios ciclos artísticos de tendencia naturalista distintos al arte Levantino, que correspondan a determinados momentos y a grupos culturales diferentes postpaleolíticos, que no tendrían por qué estar relacionados (BEA, 2017). Aunque autores anteriores como Collado (1990) o Beltrán (1995) ya apuntaban que los conjuntos de Albarracín presentaban una personalidad propia que la diferenciaba del resto de conjuntos geográficos colindantes, los consideraban dentro del arte Levantino. Precisamente el hecho de sugerir nuevas perspectivas de estudio para el arte Levantino hace replantearse todos los estudios que se han realizado con anterioridad y lo que se consideraba inmutable.

Resulta destacable ante esta cuestión de nuevas perspectivas de estudio la investigación realizada en el abrigo de *La Vacada* (Castellote) (BEA, 2004), que apunta la existencia de figuras con rasgos estilísticos similares a los representados en cerámicas ibéricas y/o celtíberas, que, junto con los resultados obtenidos del contexto arqueológico de su propio entorno, podrían indicar una cronología protohistórica, como se ha podido corroborar con descubrimientos posteriores (LORRIO y ROYO, 2013). Estudios de estas características hacen replantear cuestiones cronológicas que se habían asumido sin pretextos.

Asumir la existencia de un ciclo o varios ciclos artísticos postpaleolíticos exime el hecho de posicionarse en una clasificación cronológica y cultural rígida y encorsetada para el arte Levantino, aunque plantea nuevas problemáticas: tratar de diferenciar territorios de desarrollo de diferentes ciclos artísticos postpaleolíticos de tendencia naturalista, establecer una nueva terminología estandarizada y un uso generalizado de ciclos naturalistas (BEA, 2017).

IV. EL ABRIGO DE LOS TOROS DEL PRADO DEL NAVAZO

IV.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El enclave con manifestaciones rupestres conocido como el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* está situado en la Comarca de la Sierra de Albarracín (provincia de Teruel) (Fig. 11) delimitando al norte con el Jiloca, al oeste con el Señorío de Molina-Alto Tajo (provincia de Guadalajara), al sur con la provincia de Cuenca y al este con la Comunidad de Teruel.

Piñón (1982) recoge un amplio monográfico sobre las pinturas de Albarracín, y en su síntesis geográfica reseña que el relieve de la zona de Albarracín muestra unas formas aplanadas y poco enérgicas, ya que presenta una extensa plataforma de erosión compuesta por materiales mesozoicos, que ha sido alterada por abombamientos y roturas por falla con basculamiento de bloques. Topográficamente destaca el macizo de *El Nevero* (2.209 msnm), la *Sierra la Carbonera* (1.540 msnm), así como la *Fuente de Rentobar* (1.670 msnm) o la *Muela de San Felipe* (1.700 msnm), de donde nacen el río Tajo, que lo hace en dirección al Atlántico; el río Cabriel que lo hace hacia la cuenca del Ebro junto con el río Guadalaviar o el río Júcar (PEÑA, *et al.* 2010).

Este panorama geográfico va a influir en el clima, registrando considerables oscilaciones térmicas estacionales y unos elevados índices pluviométricos, pero baja humedad relativa (HR%) lo que, junto con la actividad humana y la acidez de los suelos (paleozoicos y triásicos), incentiva la presencia de vegetación xerófila: pino resinero y pino albar (*Ídem*). El clima junto con los macizos paleozoicos (San Ginés, Tremendal o Carbonera) y el manto de pinos, han favorecido a la producción, a lo largo del Cuaternario, de acumulaciones de bloques de cuarcita, que constituye uno de los ejemplos de formas periglaciales de la montaña mediterránea (BENITO *et al.*, 1991-1992; PEÑA *et al.*, 2010).

El núcleo rupestre de Albarracín presenta una dispersión geográfica de los abrigos que podría explicar la diversidad de soportes rocosos de las pinturas. Pero el abrigo en cuestión se encuentra ubicado en el término municipal de Albarracín a unos 4 km del núcleo urbano, accesible por una ruta perfectamente señalada con carteles indicadores. El abrigo se localiza a 1.340 m snm y está orientado “...a Mediodía (NW) aprovechando una afloración triásica de conformación tabular meteorizada en su parte superior.” (PIÑÓN, 1982: p. 41).

Las manifestaciones rupestres aparecen en oquedades naturales de areniscas triásicas, de aspecto rojizo, conocidas como rodano (*Ídem*, p. 20). Las pinturas se enmarcan en un característico paisaje engalanado por grandes masas de pinos resineros, zona conocida como *Pinares del Rodano* (Paisaje protegido según la *Ley 91/1995* del Gobierno de Aragón). El conjunto rupestre se sitúa al margen izquierdo de una gran barranquera poco abrupta que concluye en un paraje conocido como *Prado del Hostal*, extensión abierta y plana que da nombre al abrigo.



Figura II. Mapa de Aragón y situación del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*, y otros abrigos Levantinos. Fuente: SERRANO, 2020.

El conjunto está protegido por un voladizo superior rocoso que descansa sobre el panel con las pinturas rupestres. Este friso decorado está separado del nivel de suelo aunque, como señala Cabré (1909-1910), las pinturas se encontraban a un metro del suelo aproximadamente, pero actualmente están más altas debido a las excavaciones y sondeos realizados en el conjunto. Las dimensiones de superficie decorada son de 4,2 m de longitud con una altura media respecto al suelo de 1,4 m.

IV.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

La Sierra de Albarracín, especialmente estudiada por el profesor O. Riba (1959) por sus valores geológicos, constituye uno de los ejemplos más representativos de los paisajes geomorfológicos de la Cordillera Ibérica. Presenta abundancia de formaciones calcáreas, especialmente del *Jurásico* y *Cretácico Superior*, que las caracteriza por su geomorfología kárstica, y son relevantes para describir el origen y las características estructurales de formación de los abrigos, soportes de las pinturas objeto de estudio (PIÑÓN, 1982; PEÑA *et al.*, 2010).

El citado territorio presenta un amplio abanico de rocas, formadas y deformadas, en distintas etapas geológicas, siendo las más antiguas los macizos Paleozoicos (Menera, Tremendal, Carbonera y Collado de la Plata) configuradas por cuarcitas (Carbonera) y pizarras (Tremendal) del *Ordovícico* y *Silúrico* (AURELL *et al.*, 2010). Estos macizos son la base de la litología del *Triásico*, *Jurásico* y *Cretácico* (cuarcitas, granwacas, areniscas, pizarras arcillosas y margas), de edad Mesozoica son las que deslumbran en la Sierra de Albarracín. Estos materiales forman pliegues de gran radio con un relieve tabular condicionado por su orientación NO-SE y están recubiertos por materiales del *Final Terciario* y *Cuaternario*. (PIÑÓN 1982; AURELL *et al.*, 2010).

En términos concretos y desglosando toda la evolución sedimentaria presente en la serranía de Albarracín, como se señalaba en líneas precedentes, el asentamiento geomorfológico de la serranía corresponde a rocas de pizarra y cuarcitas del *Ordovícico* y *Silúrico*, vestigio de la sedimentación en los mares del Paleozoico generadas al final de Carbonífero. La disposición geológica es en pliegues apretados orientados N-S (PIÑÓN, 1982; AURELL *et al.*, 2010).

Durante la transición al Mesozoico tuvo lugar un cambio en los esfuerzos de compresión a los que estuvieron sometidos los pliegues, que se transformó a un régimen extensivo, que como resultado dio lugar a una serie de fallas. Este acontecimiento dividió las rocas en bloques y dio lugar a la extrusión de rocas volcánicas formando coladas. El movimiento de fallas provocó el hundimiento y elevación de estos bloques lo que determinó la formación de cuencas sedimentarias depositándose sedimentos mesozoicos (AURELL *et al.*, 2010).

El Mesozoico inicia con la Edad Triásica, edad que está formada por cuatro unidades de rocas diferentes: *facies Buntsandstein* (conglomerados y areniscas rojas), *facies Muschelkalk* (margas, calizas y dolomías blancas), *facies Keuper* (arcillas y yesos rojos, verdes y grises) y la *Formación Imón* (dolomías tableadas) (*Ídem*: p. 21).

Dentro de esta investigación se desarrollará y centrará únicamente en las *facies Buntsandstein*, fase a la que se asocia el soporte rocoso del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*. Las *facies Buntsandstein* se sitúan entre el Pérmico Superior y el Triásico Inferior. Su afloramiento se extiende desde el Sur de Albarracín hasta el Norte de Tormón, constituyendo el paisaje del Rodeno (BENITO *et al.*, 1991-1992). Su espesor no supera los 200 m y está compuesto

de sedimentos detríticos depositados en cuencas continentales, desarrolladas bajo clima árido (AURELL *et al.*, 2010). Resulta de interés destacar las areniscas del Rodeno, litología específica de las pinturas del abrigo en cuestión.

Las areniscas del Rodeno de Albarracín, pertenecientes al Triásico Inferior, son una roca sedimentaria que corresponden a un ambiente fluvial *braided proximal* (HERNÁNDEZ y OLIVÉ, 1983), localizada sobre todo en torno a los macizos de Carbonera y Collado de Plata (PEÑA *et al.*, 2010). Esta arenisca presenta un grano entre fino y medio, ligeramente homométrico con esqueleto intacto y contactos interangulares impresionados, aunque su composición mineralógica y descripción morfológica la veremos más adelante (PIÑÓN, 1982; BENITO *et al.*, 1991-1992). Pese a ello, resulta de interés dentro de su corte estratigráfico la presencia de los anillos *Liesegangs*, consecuencia de una estratificación entrecruzada (PIÑÓN, 1982).

El rodano se caracteriza por su macromodelado o grandes formas entre las que se distinguen formas turriculadas y bloques separados en callejones, y que fueron generadas durante el Plioceno Superior. Estas formas se dieron en condiciones climáticas más húmedas que las actuales, coincidiendo con la etapa de karstificación de la serranía de Albarracín (PEÑA *et al.*, 2010). Actualmente, estos bloques y torres están afectados por procesos de meteorización superficial originando morfologías en torno (*Ídem*). Aunque también cuenta con microformas superficiales conocidas como gnammas, y tafonis en las paredes verticales, alteraciones provocadas por diversos mecanismos (ver *V. Estado de Conservación*).

IV.3 DESCUBRIMIENTO E HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES

El abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* es el primer ejemplo descubierto de arte Levantino en la Península Ibérica, junto con *La Cocinilla del Obispo*, ambos situados en Albarracín (Teruel). En 1892 tuvo lugar el descubrimiento “no oficial” del arte Levantino por Emilio Marconell, presbítero y ecónomo de Cella (Teruel), y lo dio a conocer en la revista local *Miscelánea Turolense* (MARCONELL, 1892a; MARCONELL, 1892b). En la primera publicación anotó que: “...*existen unas siluetas de toros en unos peñascos inaccesibles, conservándose en buen estado a pesar del trascurso de los años. Se desea saber si existen estas siluetas y cual pueda ser su origen...*” (MARCONELL, 1892a: p. 160).

En el siguiente número (Fig. 12) Marconell (1892b, p. 180) ya constató personalmente la existencia de “...*varios toros en distintas actitudes, perfectamente distinguibles, por ser las líneas de sus contornos de un color algo más subido que el de la roca en que están dibujadas...*”, estando ubicadas “...*un poco más al Este del sitio conocido con el nombre de la Cocinilla del Obispo...*”. El mismo autor indica la nueva existencia de nuevas figuras en este caso referido al abrigo del Navazo:

“Esto mismo se observa a una media hora de este sitio (Prado del Navazo), en donde hay otra roca casi inaccesible y en ella dibujadas otras figuras de toros, semejantes a las anteriores. Ignórase por completo la causa de encontrarse allí tales figuras, ocultas casi por completo á las miradas del mundo y que deben contar gran número de años”
(MARCONELL, 1892b: p. 180).



42. Albarracín. Los toros de la Losilla.—Se dice que cerca de esta masía existen unas siluetas de toros en unos peñascos inaccesibles, conservándose en buen estado apesar del trascurso de los años. Se desea saber si existen esas siluetas y cuál pueda ser su origen.

Los toros de la Losilla.—Núm. 42, pág. 160.

En el pinar llamado del Rodeno, situado á una hora de Albarracín, y un poco más al Este del sitio conocido con el nombre de «la cocinilla del Obispo,» hay entre otras una roca formada de areniscas rojas, cuya superficie vertical es muy lisa, terminada en su parte superior por otra más saliente á manera de dosel, en la cual, y fijando bien la vista, se descubren las figuras de varios toros en distintas actitudes, perfectamente distinguibles, por ser las líneas de sus contornos de un color algo más subido que el de la roca en que están dibujadas. Esto mismo se observa á una media hora de este sitio, en donde hay otra roca casi inaccesible y en ella dibujadas otras figuras de toros, semejantes á las anteriores.

Ignórase por completo la causa de encontrarse allí tales figuras, ocultas casi por completo á las miradas del mundo y que deben contar gran número de años.

E. MARCONELL.

Albarracín.

Figura 12. Publicación de E. Marconell en *Miscelánea Turolense*. Fuente: MARCONELL, 1892

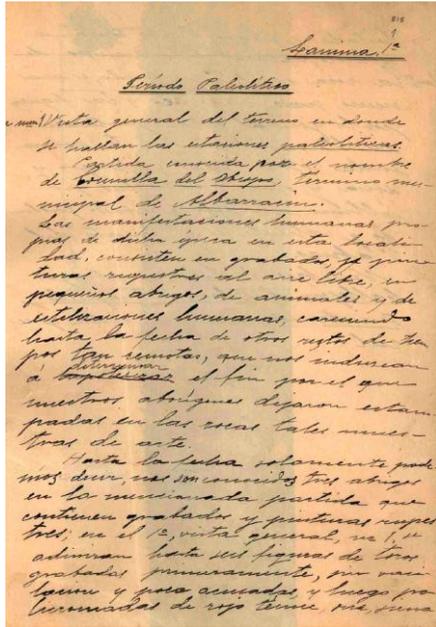


Figura 13. Manuscrito de J. Cabré (1909-10). Fuente: CABRÉ, 1909-1091

Tras la publicación, J. Cabré, natural de la provincia de Teruel, fue enviado a localizar las pinturas y explorar las serranías, bajo el encargo de H. Breuil, con quien mantenía contacto desde hacía años (LUCAS, 2004). Cabré (1909-1910) realizó el *Catálogo artístico monumental* de la provincia de Teruel, (Fig. 13), incluyendo la primera referencia de los enclaves de Albarraacín. Éste dedicó un volumen exclusivamente al *Periodo Paleolítico*, que, como se ha comentado anteriormente, en un primer momento las pinturas rupestres levantinas fueron consideradas paleolíticas. En el texto, Cabré denominó al abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* como abrigo de *Arroyuelo*.

Pese a ello, el descubrimiento oficial del abrigo del *Navazo* se debe al abate Breuil (1910), quien junto con Cabré, realizó un estudio exhaustivo sobre los conjuntos de Albarraacín (BREUIL y CABRÉ, 1911). Este estudio fue retomado por Cabré, momento en el que confeccionó un calco general sobre las pinturas (Fig. 14) (CABRÉ, 1915). En este mismo estudio, Cabré se refirió al abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* como el más importante de los tres conocidos hasta ese momento en la serranía de Albarraacín. Cabré (1915) sostiene que el enclave ya era conocido por los naturales de la zona quienes lo denominaban *Los Toricos*, y creían que las pinturas eran obra de la naturaleza.



Figura 14. Calcos según J. Cabré (1915). Fuente: CABRÉ, 2015.



Figura 15. Calcos según F. Piñón (1982). Fuente: PIÑÓN, 1982.

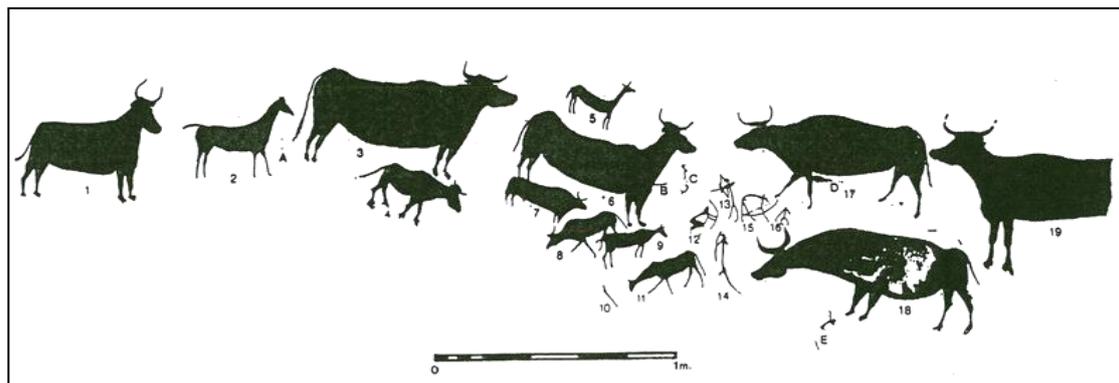


Figura 16. Calcos según O. Collado (1992). Fuente: COLLADO, 1992.

En 1921 tiene lugar la *Exposición de Arte Prehistórico español* organizada por la Sociedad Española de Amigos del Arte. La exposición, realizada en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, reunía las copias de todo el arte prehistórico descubierto en España hasta la fecha¹⁶. El calco de *Los Toros del Navazo* se encontraba en la 2ª Sala, lugar donde se exponen las obras del Levante consideradas “...arte único, hasta el día, en el mundo, con características singulares.” (TORMO, 1921: p. 12).

La *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas* en 1924 encargó a F. Benítez Mellado efectuar nuevos calcos bajo la dirección de Hernández-Pacheco, posiblemente bajo la dirección del proyecto que éste estaba llevando a cabo en el abrigo de *La Araña* (Bicorp, Valencia) (HERNÁNDEZ-PACHECO, 1924).

No será hasta 1972 cuando se realicen nuevos trabajos de documentación en el abrigo de *los Toros del Prado del Navazo*, con los que se llevó a cabo una campaña de documentación fotográfica dirigida por Martín Almagro. Aunque previo a éstos se habían efectuado estudios acerca del debate cronológico de las pinturas del Navazo, que trataremos en líneas posteriores, y en general sobre el arte Levantino, como ya se ha comentado anteriormente.

Pese al descubrimiento pionero del conjunto objeto de estudio y a pesar de ser citado en diversos trabajos, sólo cuenta con un estudio completo realizado por Piñón (1982) (Fig. 15), en el que se recoge un extenso monográfico de las pinturas rupestres de Albaracín. Posteriormente, el abrigo aparece citado en diversas publicaciones recogiendo observaciones de los estudios citados (BELTRÁN, 1992, 1993, 1995; UTRILLA, 2000). Collado realiza nuevos calcos (Fig. 16) (COLLADO, 1992), amparados en un trabajo completo de documentación elaborado por el equipo de M. A. Herrero (HERRERO *et al.*, 1994).

En 2008 se realizó una campaña de estudio y documentación del propio abrigo en el proyecto¹⁷ “*Fase II. Estudio y documentación geométrica de los abrigos con arte rupestre Patrimonio Mundial de Albaracín (Teruel)*” (BEA, 2014). En este estudio se documentó el abrigo mediante un escáner láser y escáner de luz estructurada, fotogrametría y se efectuaron calcos digitales, que veremos posteriormente.

En cambio, los trabajos científicos dedicados al ámbito de la conservación-restauración en los conjuntos de la serranía de Albaracín son recientes, el primero de ellos fue realizado por Rosa Gasque (2017), aunque existen

¹⁶ Desde el Paleolítico Inferior hasta la Edad del Bronce.

¹⁷ Proyecto financiado por la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).

investigaciones precedentes centradas en la conservación del arte Levantino (BALLESTER, 2003; DOMÈNECH, 2004; DAVID, 2008; BARREDA, 2016). Gasque (2017) propone un mecanismo de conservación preventivo para el abrigo de los *Toros del Barranco de las Olivanas* (Albarracín), que permita extrapolarse a ciertos abrigos aragoneses. Su propuesta, se basa en una metodología de intervención fundamentada en la prevención, que se llevaría a cabo con el control de los agentes de degradación mediante el estudio, la documentación y el seguimiento riguroso y objetivo de los datos obtenidos, gracias al uso de la fotografía; la generación de mapas de daños; las mediciones ambientales y mediciones colorimétricas. Por otra parte, Zalbidea y Gasque (2018) realizaron un estudio de tratamiento de consolidación para el abrigo de *Los Toros del Barranco de las Olivanas*¹⁸. Zalbidea *et al.*, (2019) propusieron una metodología preventiva mediante colorimetría para el arte rupestre con el estudio de *Cova Remigia* (Ares del Maestre, Castellón), el abrigo de *Los Toros del Barranco de las Olivanas* (Albarracín, Teruel), y el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* (Albarracín, Teruel)¹⁹. Además, Serrano *et al.* (e.p.) establecieron un protocolo de intervención para el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* extrapolable a otros abrigos con características similares que sirva como fuente científica para las actuaciones, de urgencia, de tal manera que se pueda proceder a una intervención de forma segura, adecuada y fiable. Este estudio último ha sido el preámbulo del presente Trabajo Final de Máster.

IV.4 ESTUDIO HISTÓRICO-ARTÍSTICO

Ha sido señalado a lo largo del texto que la mayoría de los estudios realizados, y ya citados, sobre el arte Levantino han estado focalizados en establecer una cronología, al menos relativa, a estas manifestaciones artísticas. Resulta evidente que éste no es el objeto de estudio en esta investigación, pero es importante reseñar el debate generado acerca de la posible cronología del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*. Las manifestaciones artísticas rupestres en Aragón, y en concreto las situadas en las cercanías de Albarracín, presentan unas peculiaridades que las distinguen del resto, especialmente por la representación de grandes toros blancos y negros, que desde su descubrimiento se han ido atribuyendo diferentes cronologías.

Las pinturas de los *Toros del Navazo* se han incluido en la tradición artística conocida como arte Levantino, periodo que se podría corresponder con el Neolítico. En cambio, como ya se ha apuntado anteriormente, algunas de las pinturas de Albarracín presentan ciertos rasgos estilísticos, técnicos y distributivos que podrían corresponder con otro momento crono-cultural diferente al Levantino (MARTÍNEZ-BEA, 2005, 2008). Por ello, investigaciones recientes consideran la posibilidad de que lo que sucede en Albarracín corresponda a un ciclo o varios ciclos artísticos postpaleolíticos de tendencia naturalista (BEA, 2017), aunque sólo es una propuesta que se sumaría a las anteriores. En cualquiera de los casos, estudiosos del arte rupestre en Aragón ya apuntaban anteriormente la excepcionalidad del arte de Albarracín, aunque no plantearon la posibilidad de su pertenencia a ciclos artísticos diferenciados (COLLADO, 1990; BELTRÁN, 1995).

¹⁸ Esta investigación se basó en el estudio sobre el impacto de la consolidación y fijación del soporte rocoso podía darse tras ser utilizado nanosilicatos de etilo (TEOS) aplicados por impregnación. El objetivo fue verificar una metodología fiable, objetiva, completa y extrapolable.

¹⁹ Estudio realizado gracias al uso de plantillas que permiten la geolocalización de las mediciones. La colorimetría registra un dato empírico que puede valorarse en futuras mediciones. Esta metodología aporta la información cromática de las pinturas y sirve como mecanismo preventivo que permitirá valorar con el tiempo el nivel de degradación de las pinturas, a partir del estudio, la documentación y el seguimiento de datos rigurosos, objetivos y fiables.

En primer lugar, resulta singular que la temática general del abrigo de los *Toros del Navazo* es el bóvido de grandes dimensiones, representación muy frecuente en la serranía de Albarracín (*Cocinilla del Obispo*, *Coja de Piezarrodilla*, *Los Toros del Prado de las Olivanas*, *Tormón*, *Cerrada del Tío Jorge*, *Hoya de Navarejos III* o *Prado de los Arejos II*). Un tema recurrente, también, en abrigos levantinos de la provincia turolense (*La Vacada*, Castellote), o castellanos (*Cabecera del Barranco de Marmalo*, en color blanco, o la *Selva Pascuala*), aunque en estos últimos la temática es diversa, también existe la representación de grandes toros (BEA, 2008). En un inicio el color blanco de los toros de la sierra de Albarracín, y, por ende, del abrigo del *Prado del Navazo*, fueron considerados "...de aspecto paleolítico..." (BELTRÁN, 1992: p. 412), incluso otras publicaciones postulaban que los bóvidos del *Prado del Navazo* eran "...las más arcaicas del arte Levantino." (BELTRÁN, 1968: p. 137). No obstante, el citado abrigo cuenta con un grupo de antropomorfos estilizados, de estilo semiesquemático, uno de ellos de color negro. Próximos a ellos existen una serie de figuras de bóvidos (uno de ellos de color negro) con dimensiones proporcionales al grupo de antropomorfos (MARTÍNEZ-BEA, 2008). Sobre el bóvido de color negro se superpone un toro de color blanco; esta superposición y, por tanto, la ejecución de los grandes bóvidos sería posterior a las representaciones semiesquemáticas. Por ende, el color blanco no sería el más antiguo (*Ídem*: p. 2).

Todo ello, junto con los datos obtenidos de los materiales recuperados del abrigo del *Prado del Navazo*, las pinturas podrían corresponder con diferentes fases de talleres de sílex al aire libre de cronología Eneolítica (FORTEA, 1973).

Con lo expresado, es probable que el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*, como otros abrigos de la serranía de Albarracín, pertenezcan a un ciclo o varios ciclos postpaleolíticos con una posible cronología Eneolítica, o incluso posterior, que se justificaría por la técnica, coloración, superposiciones, su contexto geográfico y arqueológico (MARTÍNEZ-BEA, 2008; BEA, 2017).

El arte representado en el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* (Fig. 17) se caracteriza por el predominio de la figuración zoomórfica de tendencia naturalista frente a un pequeño grupo de figuras humanas filiformes. El enclave cuenta con un total de 19 representaciones, el mayor número de ellas corresponden a bóvidos (9), un grupo de antropomorfos (5), un équido (1), y zoomorfos indeterminados (4).

Piñón (1982) realiza un exhaustivo estudio a las pinturas de Albarracín, es el trabajo más extenso publicado que existe sobre el abrigo en cuestión. El autor señala la ejecución en tres fases de las pinturas, señaladas a continuación, con una ordenación de más antigua a más moderna:

1. Figuras blanco-amarillentas de bóvidos, équidos y cuadrúpedos indeterminados, así como tres representaciones antropomorfas (una de ellas esquemática).
2. Figuras de color negro.
3. Figuras de color blanco de tendencia alargada.

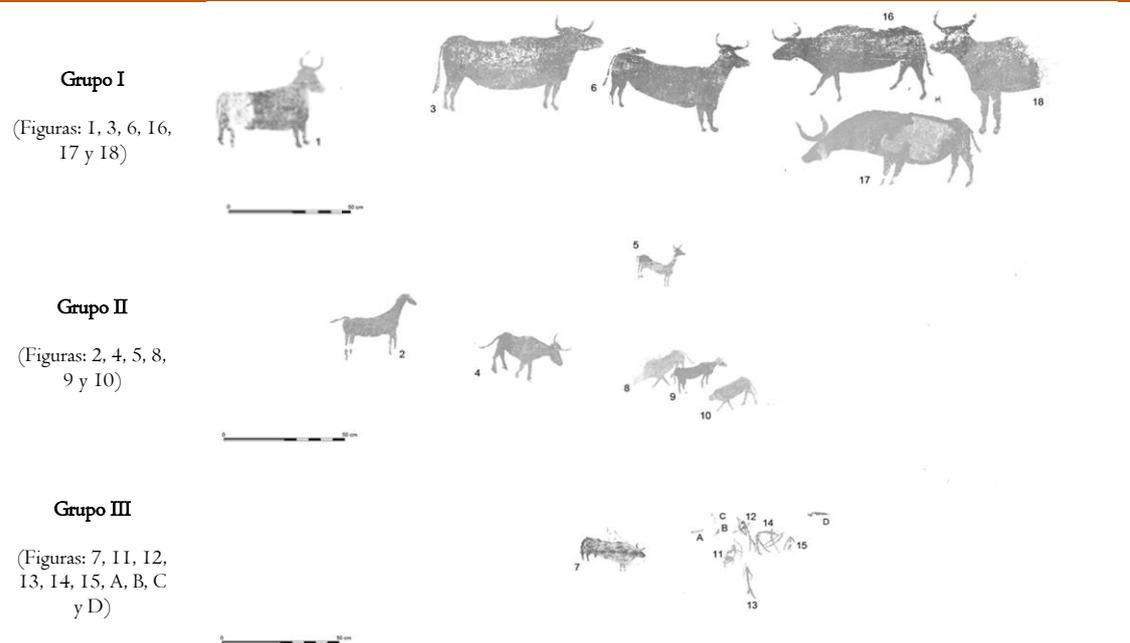
No obstante, existe una teoría reciente, ya señalada, que corresponde a que las figuras antropomórficas, y en especial la figura de arquero negro y al toro negro, fueran anteriores a los grandes bóvidos de color blanco, siendo estas últimas realizadas en un momento crono-cultural diferente al levantino, ya que parece haber una flecha negra infrapuesta al toro blanco grande (MARTÍNEZ-BEA, 2008).



Figura 17. abrigo de Los Toros del Prado del Navazo. Fuente: SERRANO, 2020.

A continuación, se presenta una descripción de los motivos en tres grupos²⁰ (Tabla. I), al margen de la posible cronología que pudieran presentar, de manera que resulte más fácil la descripción de las figuras y su comprensión. Por cuestiones de espacio la descripción va a ser para cada grupo de manera generalizada, y no va a estar centrada en cada representación, aunque se comentarán cuestiones concretas que pudiera presentar un motivo en particular.

Tabla I. Orden de las figuras para su descripción por grupos. Fuente: BEA, 2015.



El *Grupo I* recoge a las representaciones que más destacan como son los grandes bóvidos cuya longitud casi supera los 70 cm. Éstos presentan convenciones técnico-estilísticas que no se observan en otras áreas de distribución del arte Levantino, como su coloración blanquecina. Los grandes bóvidos responden a una tendencia naturalista, rasgo

²⁰ Los grupos se han ordenado en función del tamaño de las figuras.

característico en el arte Levantino; además, en este caso, las figuras de toros estarían en reposo, un recurso temático del propio estilo (MARTÍNEZ-BEA, 2005). Pese al naturalismo que presentan guardan cierta desproporción, pues los cuernos están representados en perspectiva torcida con morfología en creciente lunar, los cuerpos alargados y las patas cortas (BEA, 2018). En especial, la *Figura 18* no aparece completa, pues se ha perdido parte de su película pictórica a causa de una escorrentía actualmente inactiva.

Del mismo modo que el grupo anterior se puede describir el segundo de los grupos contemplados; así, el *Grupo II* compuesto por diversa fauna guarda relación estilística respecto a los grandes toros, pues presentan una tendencia hacia el naturalismo y una ausencia de movimiento. En este caso no se ha incluido la *Figura 7*, debido a la relación que presenta con la *Figura 12*, como se verá en el próximo grupo.

Frente al estatismo de los toros se encuentra el dinamismo en la composición general gracias al grupo de antropomorfos (*Grupo III*). Éstos completan los intersticios entre las figuras zoomórficas e, incluso, el propio de una fisura natural del soporte rocoso (Fig. 18). Estas figuras son de tipo filiforme que se definen por su morfología en hilo de alambre de sus cuerpos y extremidades (UTRILLA, 2000). Presentan coloración blanquecina, salvo uno de ellos que está pintado en negro junto con un toro (*Figuras 7 y 12*). Ambas figuras negras guardan una proporción correcta, y parecerían recrear una escena de caza. Aunque para algunos autores esta coloración correspondería con un repinte (PIÑÓN, 1982), y, por tanto, serían posteriores. Pero debido a la superposición de las patas de un gran bóvido de coloración blanquecina (*Figura 6*) se ha determinado que la cronología relativa del arquero y el toro de color negro son anteriores a los grandes bóvidos (Fig. 19) (MARTÍNEZ-BEA, 2008). Junto al grupo de antropomorfos, se vislumbran una serie de formas indeterminadas (*Figuras A, B, C y D*), pudiendo ser la Figura A, una fecha lanzada por el arquero de color negro (*Figura 12*), que iría dirigida al toro negro (*Figura 7*) y que completaría la escena de caza.



Figura 18. Figura de arquero en oquedad natural.

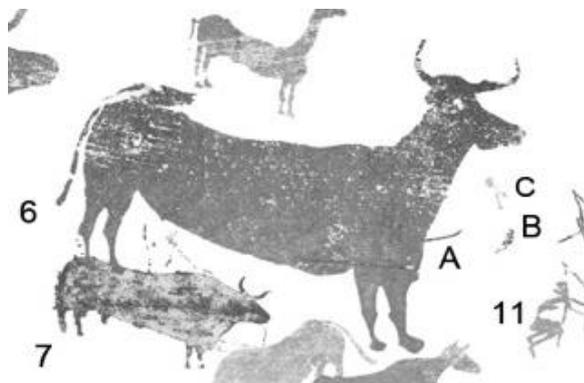


Figura 19. Superposición de la Figura 6 sobre la Figura 7.

Por otra parte, respecto al proceso técnico de las pinturas de *Los Toros del Navazo*, los artífices de las pinturas contaron con recursos materiales de la zona para poder ejecutarlas. En cuanto a la naturaleza del soporte aprovecharon las características geológicas del núcleo de Albarracín: el rodено, que se caracteriza por una tonalidad rojiza (DOMINGO, 2005), cuya composición química presenta naturaleza silícea (compuesta por granos de cuarzo de diverso tamaño generando agregados de matriz silícea) (Fig. 20) (ver *Anexo IV*).

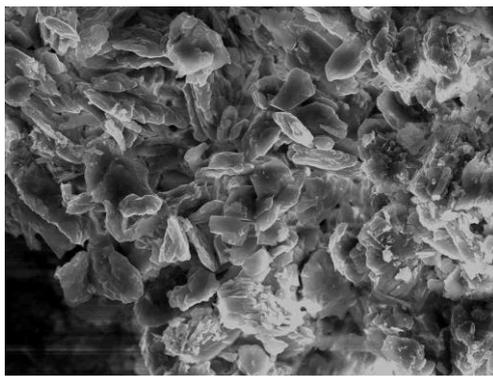


Figura 20. Soporte pétreo del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo*. Imagen obtenida en electrones secundarios SEM/EDX. 1200x.
Fuente: SERRANO, 2020.

El soporte en el arte Levantino no se preparaba, aunque algunos autores como Beltrán (1968) sostienen que puede existir una fase preparatoria, bien por rascado del soporte o la aplicación de pintura o barro (DOMINGO, 2005). Pese a ello, en el abrigo objeto de estudio no se constata ese estrato preparatorio. Es, precisamente, la coloración del soporte la que pudo condicionar la elección de la tonalidad blanquecina de las representaciones para garantizar la visibilidad de las mismas²¹. La película pictórica de color blanca está compuesta, fundamentalmente por yeso (CaSO_4) y caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) en baja proporción, según los estudios de Difracción de Rayos X (DRX) realizados por el Grupo IBeA²². Hasta la fecha no se ha podido determinar la presencia de aglutinante.

En síntesis, el abrigo de *Los Toros del Navazo* presenta una posible cronología Eneolítica, o más reciente de lo que tradicionalmente se ha apuntado, que vendría a estar justificada por criterios estilísticos, técnicos y distributivos. La presencia de figuras de tendencia naturalista, como los grandes bóvidos, y un grupo de figuras semiesquemáticas como los arqueros filiformes, indicarían la existencia de distintas fases, siendo posterior la ejecución de los grandes toros.

Son muchos los interrogantes e incógnitas presentes en el arte rupestre, y por ende en el abrigo en cuestión, que comprometen, de manera directa e indirecta, a su conservación para las generaciones futuras.

IV.5 LA GESTIÓN DEL ARTE RUPESTRE LEVANTINO EN ARAGÓN

Tras la promulgación de las Autonomías, todo lo competente al arte rupestre forma parte de los gobiernos autonómicos, en este caso es el gobierno aragonés el que se encarga de su gestión desde 1984 (ROYO y LATORRE, 2017; ROYO, 2019; ROYO, 2020; ROYO *et al.*, 2020). Desde 1985, el arte rupestre cuenta con el máximo grado de protección (art. 40.2 LPHE, de 25 de junio)²³ donde declara "...cuevas, refugios y lugares que contienen expresiones

²¹ Sin embargo, hay figuras rojas que se ven perfectamente sobre el rodeno, y otras blancas que apenas son perceptibles, como sucede en Arquero de los Callejones Cerrados. Por lo que la elección del color blanco no es sólo para resaltar, sino que debe haber algo más (BEA, comunicación personal).

²² Grupo de Investigación de Química analítica de la Universidad del País Vasco. Estos análisis determinaron la presencia de oxalatos de calcio (Whewellita, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) que corresponde a una pátina formada sobre la roca a partir del carbón ambiental como resultado de la actividad metabólica de líquenes (RUIZ *et al.*, 2006)

²³ BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. BOE-A-1985-12534. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. España, 1985. Consulta: 18-04-2020. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>

del arte rupestre" como Bien de Interés Cultural (B.I.C.). Los B.I.C. declarados pasan a formar parte de un Registro General dependiente de la Administración del Estado según art. 12.1 LPHE de 25 de junio (ROYO y LATORRE, 2017).

La protección de los enclaves con arte rupestre en Aragón tiene lugar en 1999 logra consolidarse gracias a la publicación de la Ley del Patrimonio Cultural Aragonés, que permite una mayor protección del patrimonio rupestre, y donde cita expresamente su consideración como Bienes de Interés Cultural en la Disposición Adicional Segunda (Ley 3/1999, de 10 de marzo, del Patrimonio Cultural Aragonés):

“Son bienes de interés cultural asumidos por ministerio de esta Ley los castillos, escudos, emblemas, cruces de término y cuevas, abrigos y lugares que contengan manifestaciones de arte rupestre y los monumentos megalíticos en toda su tipología existentes en Aragón. Por Orden del Departamento responsable de patrimonio cultural, se aprobará la relación de los bienes afectados, con su localización”.

Dentro de este marco legislativo, tiene una especial relevancia la configuración de los Parques Culturales, comentados con anterioridad, y por ende su respectiva legislación (Ley 12/1997 de 3 de diciembre), que permite la protección, conservación y difusión del arte rupestre (UTRILLA, 2000; ROYO y LATORRE, 2017; ROYO, 2019). Así pues, los órganos de gestión a los que compete la protección, conservación y difusión del arte rupestre dependen, en primera instancia del Departamento de Educación, Cultura y Deporte, que mediante la Dirección General gestiona las labores administrativas y técnicas ejercidas a través del Servicio de Prevención, Protección e Investigación del Patrimonio Cultural. Este Servicio es el encargado de autorizar, coordinar y supervisar las actuaciones en los conjuntos rupestres, autorizado previamente por las Comisiones Provinciales de Patrimonio Cultural (ROYO y LATORRE, 2017).

Aragón cuenta con un total de 322 conjuntos pictóricos de los cuales 163 con arte rupestre fueron declarados Patrimonio de la Humanidad, un rico patrimonio rupestre que forma parte de la cultura de nuestro pasado, y que para poder documentar y tener conciencia de cada uno de ellos es preciso y necesario poseer un inventariado de los conjuntos aragoneses (ROYO, 2019). Con el impulso de la incoación del expediente para incluir el arte rupestre levantino en la Lista de Patrimonio Mundial, se llevó a cabo un inventariado de los enclaves rupestres en Aragón, que incentivó a la creación del Inventario de Arte Rupestre de Aragón (I.A.R.A.) integrado dentro de la Carta Arqueológica de Aragón desde 1997, bajo la dirección de J. I. Royo Guillén (*Ídem*). Desde su creación, los nuevos hallazgos se han ido incorporando al Inventario, tanto pre y protohistóricas, así como las de época histórica, y se catalogaron 590 yacimientos, que entre los que no estaban protegidos se incluyeron como B.I.C. según la Orden de 8 de marzo de 2002, del Departamento de Cultura y Turismo, B.O.A. n° 37 (*Ídem*).

V. ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL ABRIGO DE LOS TOROS DEL PRADO DEL NAVAZO

La naturaleza del rodено y las condiciones extremas en las que se encuentra determinan el estado de conservación del abrigo del *Navazo*. Pero el entorno en el que se inscriben no son el único factor a tener en cuenta para la conservación de las pinturas.

El origen de las alteraciones presentes en los enclaves con arte rupestre tiene una doble naturaleza: antrópica y natural. Esta clasificación es comúnmente conocida en el ámbito de la conservación y restauración en general, y ha sido adaptada para el arte rupestre. Autores como Esbert *et al.* (1997) han realizado una clasificación pormenorizada de todas las alteraciones que afectan al arte en cuestión, aunque ya existían trabajos tempranos que enumeraban las patologías del arte rupestre Levantino (DE LOS SANTOS, 1976; CASANOVAS y ALONSO, 1984; BELTRÁN, 1987). Para esta investigación se ha optado por una clasificación más reciente propuesta por Rodríguez y Domingo (2018) y completada por la que hace Gasque (2017), que contempla los factores de deterioro intrínsecos para el abrigo de los *Toros del Barranco de las Olivanas*²⁴.

Atender a los aspectos conservativos del arte rupestre postpaleolítico es un hecho todavía incipiente dentro del área de la conservación y restauración. Esta preocupación es debida, en parte, a la repercusión de los conjuntos rupestres de Altamira o Lascaux, que cuando fueron abiertos al público provocaron un desequilibrio ambiental en los propios conjuntos (RODRÍGUEZ y DOMINGO, 2018). Aunque la casuística referida al arte Levantino presenta elementos bien diferenciados con respecto a los conjuntos paleolíticos citados, especialmente por su ubicación al aire libre. De tal manera que en los últimos años se han llevado a cabo investigaciones importantes que atañen a la conservación de arte rupestre Levantino (BALLESTER, 2003; DAVID, 2008; BARREDA, 2012; 2016; GASQUE, 2017; BARREDA y ZALBIDEA, 2018; ZALBIDEA *et al.*, 2019; SERRANO *et al.*, e. p.).

Evaluar el estado de conservación es necesario para conocer todas las patologías presentes en el abrigo, conocer la causa y el desarrollo del deterioro para poder diseñar protocolos de actuación específicos de conservación que garanticen la preservación integral del enclave.

Respecto a la tradición investigadora, por parte de especialistas en el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* y relacionada con la conservación del mismo, se inició en 1915 cuando se realizó el primer calco del conjunto (CABRÉ, 1915) que sirve como documento para conocer la situación de las pinturas en el momento de su descubrimiento. No será hasta 1972 dentro de una campaña de documentación fotográfica, dirigida por M. Almagro, cuando se realicen una serie de observaciones del conjunto en cuestión (que van a determinar el origen de ciertas patologías del conjunto). De las objeciones realizadas por Almagro, según recoge Bea (2015, p. 33) se puede destacar que se realizan fotografías de las pinturas “...tanto en seco como en la roca completamente mojada, pues siendo por nuestra técnica la pintura

²⁴ Gasque, R. (2017) clasifica los factores de deterioro intrínsecos de la siguiente manera: *el carácter inmueble de la pintura rupestre, la técnica de ejecución y el soporte rocoso de las pinturas.*

que más destaca en la fotografía. Son muchas las concreciones calizas acumuladas sobre la pintura quienes pueden falsear una correcta interpretación...”.

Una década después, Piñón (1982)²⁵ realiza un exhaustivo trabajo de documentación y análisis de varios conjuntos, entre los que estudia pormenorizadamente el abrigo en cuestión. El autor recoge que el estado de conservación no es homogéneo, señala que hay unos motivos mejor conservados que otros, resaltando que el *Motivo I* se encuentra en un avanzado estado de deterioro, ya que se encuentra oculto por el mortero del muro de cerramiento²⁶. Así mismo, recoge que la parte superior derecha del panel aparece “...recubierto por líquenes carbonizados y concreciones calcáreas consecuencia de una gran gotera” y que afecta al *Motivo I9* (PIÑÓN, 1982: p. 43). Así mismo, el citado autor (1982) señala la presencia de un repinte con pigmento negro sobre el *Motivo 7* que respeta la figura del motivo infra puesto de color blanco-amarillento.

Importante es para la investigación en arte Levantino la Fase II del proyecto dirigido por M. Bea (2015) que consistió en el estudio y documentación geométrica para la conservación de abrigos con arte rupestre Patrimonio Mundial de Albarracín. Dentro de este trabajo se realizó un completo estudio y una documentación del estado de conservación de los abrigos de los *Toros del Prado del Navazo*, *Abrigo de Lázaro*, *Tío Campano* y *Barranco del Parejo*. Se utilizó una metodología no invasiva mediante el uso de tecnología digital, de manera que se han obtenido calcos de gran calidad (Fig. 21). Este trabajo hace hincapié en la posibilidad de realizar una intervención de consolidación y limpieza que ayudará no sólo a mejorar la conservación de las pinturas, sino también su visibilidad.



Figura 21. Calcos del abrigo de los Toros del Prado del Navazo. Fuente: BEA, 2015.

²⁵ Existen trabajos posteriores de síntesis (Collado, 1992; Herrero *et al.*, 1994) pero no se procedió a una publicación pormenorizada del conjunto.

²⁶ El abrigo fue cerrado en 1933 y el *Motivo I* está parcialmente cubierto por conglomerante procedente del encerramiento.

V.1 ANÁLISIS DE SU ESTADO DE CONSERVACIÓN

Para el estudio del estado de conservación del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* y de sus pinturas ha sido necesaria una observación pormenorizada *in situ*, mediante inspección ocular y microscopía gracias al uso de *DigiMicroscope USB Reflecta®*. Tras el examen organoléptico del conjunto se tomaron las fotografías del abrigo y las patologías según se ha explicado en *II. Metodología*.

Es importante enfatizar en aquellos **factores intrínsecos** del enclave que van a determinar en su estado de conservación y van a propiciar muchos de los agentes de degradación extrínsecos. En primer lugar, cabe mencionar que se trata de un bien con **carácter inmueble**, y por esa misma condición está sujeto al paisaje en el que se inscribe y a las variaciones termohigrométricas que ello implica, que afectan en primer término a la conservación del conjunto.

Por otra parte, se puede considerar un factor de deterioro el paso del tiempo porque ha generado una huella irreversible que no permite conocer ciertos datos, porque ha podido desaparecer o porque se ha degradado.

Así mismo, el **soporte**, es decir, el tipo de roca y su composición química (roca sedimentaria detrítica tipo arenisca, comúnmente conocida como rodano) presenta ciertas características mineralógicas, estructurales y texturales que favorecen los procesos de haloclastismo (fenómenos de humectación y secado) y disolución de sílice, provocando la meteorización del conjunto mediante descamaciones, disgregaciones granulares y eflorescencias salinas (BENITO *et al.*, 1991-92), es decir, procesos irreversibles que afectan directamente a la conservación de las pinturas. Este hecho contribuye a un estrés mecánico y físico continuo. La degradación geológica del rodano provoca una erosión alveolar en la roca, conocida como tafonis (Fig. 22). El proceso de transformación de la roca es continuo y lento, por lo que grietas, exfoliación superficial o descamaciones podrían estar ya presentes cuando se pintaron los motivos (RODRÍGUEZ y DOMINGO, 2018).

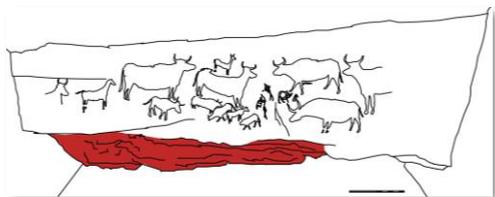


Figura 22. Tafonis presente en la parte inferior del panel con pinturas rupestres. Fuente: SERRANO, 2020.

Junto con la degradación intrínseca del conjunto, existen una serie de patología procedentes de **factores externos**:

- **Agentes de alteración natural:**
 - **Agentes ambientales:**
- **Factores climáticos:** las variaciones termohigrométricas inciden directamente sobre el propio soporte afectando a su propia superficie como a las pinturas que contiene (FERRER, 1998). Los cambios estacionales provocan estrés y shock térmico resultado de los contrastes de temperatura ambiental, que como resultado aceleran los procesos de meteorización y provocan variaciones dimensionales (FERRER, 1998; RODRÍGUEZ y DOMINGO, 2018).
- **Agua:** es el agente degradante por excelencia que ha alterado el conjunto de diversas maneras. En primer lugar, el agua libre ha deteriorado el *Motivo I9* por una **escorrentía**, disolviendo a su paso el soporte y, por consiguiente, provocando la desaparición parcial del bóvido citado. A causa de la escorrentía ha tenido lugar la disolución y la cristalización de sales, produciendo concreciones y costras calcáreas y de sulfatos de calcio (Fig. 23). Pese a ello, actualmente la colada está inactiva.



Figura 23. Escorrentía actualmente inactiva que ha provocado la desaparición parcial del *Motivo I9*, que presenta eflorescencias salinas y manchas en tonalidades grises. Fuente: SERRANO, 2020.

Otro fenómeno hídrico es el procedente de la **ascensión capilar** del agua contenida en el subsuelo, que penetra por los conductos capilares del muro del cerramiento. El agua asciende por el interior del muro acarreando sales que cristalizan cuando desciende la humedad provocando un aumento de volumen de la superficie y produciendo eflorescencias salinas²⁷, dando lugar a la deplacación de la piedra. Las eflorescencias salinas se encuentran especialmente en las zonas perimetrales de los sillares próximos y en el mortero de rejunte (Fig. 24).

²⁷ Para conocer más acerca de las eflorescencias salinas que afectan al abrigo consultar *Anexo IV*.

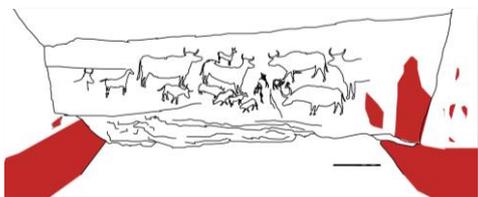


Figura 24. Eflorescencias salinas en los sillares del muro de cerramiento derecho (desde el punto de vista del espectador). Fuente: SERRANO, 2020.

- **Viento:** la acción eólica ha provocado erosión debido al arrastre de micropartículas minerales que son abrasivas para la superficie rocosa (BALLESTER, 2005; RODRÍGUEZ y DOMINGO, 2018). Este mismo viento con la presencia de sales procedentes del muro de cerramiento, ha podido transportarlas provocando una alveolización, siendo estas sales depositadas en los poros de la roca que pueden producir su descamación en pequeñas lascas (FERRER, 1998), especialmente en las areniscas, según señala la propia autora.
 - **Agentes de biodeterioro:**
- **Microorganismos:** la visera pétreo del abrigo presenta un aspecto negruzco correspondiente a una **pátina biológica** (posiblemente se trate del líquen conocido como *Verrucaria Nigrescens*²⁸) (Fig. 25). Esta pátina pudo descender desde la visera hacia la parte superior del abrigo, ya que presenta un aspecto negruzco; pudiendo estar presente antes de la representación de las figuras porque las figuras blanquecinas destacan sobre el fondo oscuro (Fig. 26). En la zona próxima al muro de cerramiento derecho no existe la presencia de esta capa, pero la acompaña un cerco de eflorescencias salinas (Fig. 27). La presencia de este recubrimiento podría deberse a que es una zona poco iluminada y permite el desarrollo de este tipo de microorganismo (FERRER, 1998). Sería interesante conocer hasta qué punto este recubrimiento puede actuar de protección para la matriz lítica o está deteriorando por microabrasiones y disgregación el material pétreo (DOMÉNECH, 2005), además de que la ha alterado cromáticamente.

²⁸ Este líquen es un biotipo que pertenece a la familia *Verrucariaceae*. Este microorganismo daña los sustratos pétreos mediante mecanismos físicos (derivado de su crecimiento y expansión de su estructura, causando tensión mecánica en el material pétreo) y químicos (producidos por excreciones de ácidos orgánicos e inorgánicos, causando disolución del material pétreo) (OSTICIOLI, *et al.*, 2014).

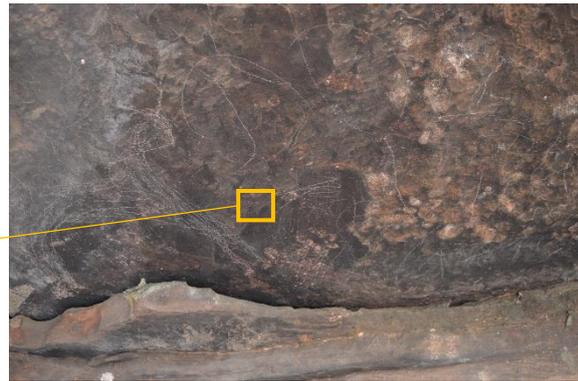


Figura 25. Pátina biológica presente en la visera del abrigo (dcha.). Detalle de pátina biológica mediante visualización con microscopio digital (x57) (izq.). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 26. Detalle del posible descenso de la pátina biológica por la parte superior de las pinturas. Fuente: SERRANO, 2020.

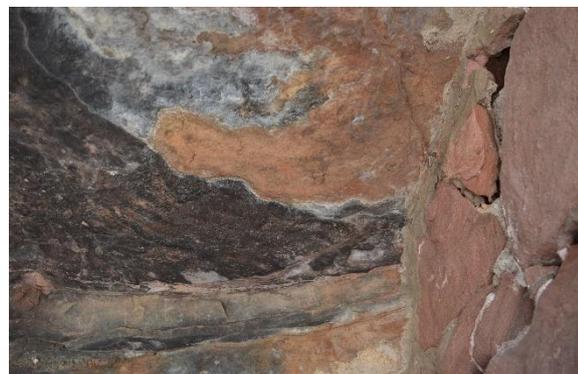
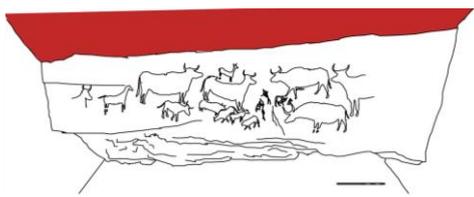


Figura 27. Ausencia de pátina biológica y presencia de eflorescencias salinas. Fuente: SERRANO, 2020.

- **Fauna y microfauna:** por la propia condición al aire libre, éste es lugar de cobijo para aves, que en este caso han aprovechado salientes naturales de la parte superior del panel para depositar numerosas **deyecciones**. Estos depósitos no han afectado a las pinturas, pero sí se encuentran próximos a ellas (Fig. 28) y su carácter corrosivo afectar a la estructura mineral de la piedra (FERRER, 1998).

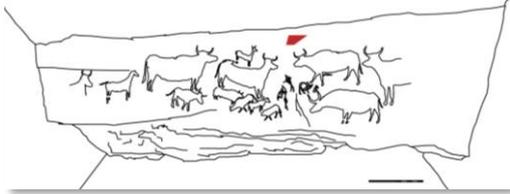


Figura 28. Deyecciones de ave depositadas en una saliente natural del panel con pinturas rupestres. Fuente: SERRANO, 2020.

Existe la presencia de **nidificaciones de araña y telarañas**, algunas de ellas subterráneas en el suelo del abrigo (Fig. 29), pero especialmente en pliegues rocosos y en la zona inferior del enclave (Fig. 30).

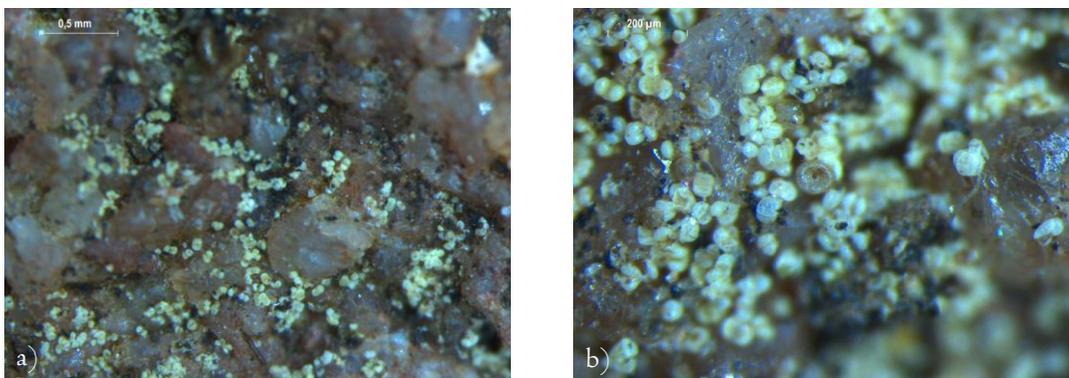


Figura 29. Nidos subterráneos en el suelo debajo de las pinturas. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 30. (a) Telarañas y (b) nidificación de arácnido en la junta entre sillares. Fuente: SERRANO, 2020.

Por otra parte, existe la presencia de **huevos de insecto** depositados la superficie rocosa (Figs. 31 y 32). El alcance y la naturaleza de los microorganismos procedentes de los huevos es desconocido, posiblemente sean huevos de arácnido (GASQUE, 2017).



Figuras 31 y 32. Muestra de fragmento pétreo desprendido con acumulación de cáscaras de huevo de insecto (a: x25; b: 50x). Fuente: SERRANO, 2020.

○ **Agentes antrópicos:**

- **Agentes degradantes directos:** el origen antrópico del deterioro del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* es uno de los factores degradantes que más afectan a este enclave, especialmente por la intencionalidad con la son realizados. En él se detectan:

Grafitis en todo el conjunto, especialmente localizados en la visera superior, e incluso en el propio friso pintado (Fig. 33). Han sido realizados mediante grabado con un elemento punzante dejando trazos irreversibles.

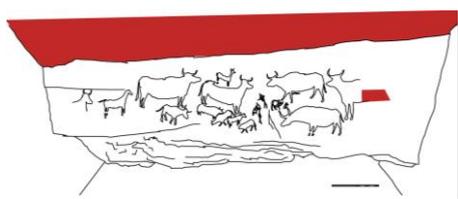


Figura 33. Motivo grabado mediante incisión (se lee "1906") sobre la visera natural de abrigo. Fuente: SERRANO, 2020.

Restos de plomo procedentes de disparos de perdigones que han afectado a algunos de los motivos pintados presentes en el conjunto (Fig. 34). Este hecho ha dejado una huella de color grisácea y un pequeño surco en el soporte.

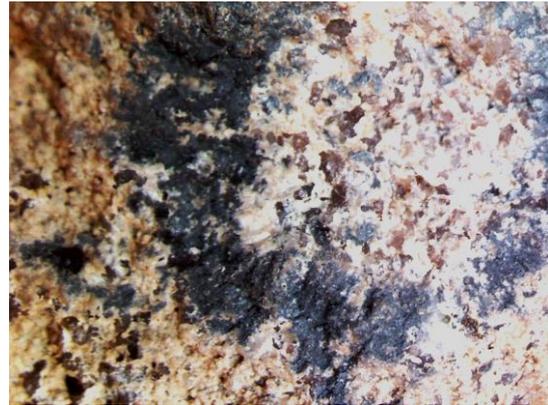
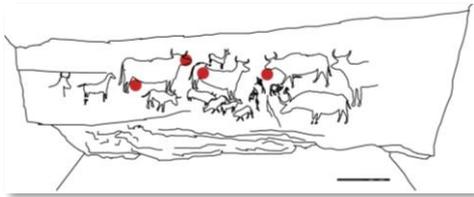


Figura 35. Detalle de restos de plomo presentes en el friso pintado consecuencia de un perdigón (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

El abrigo está circunscrito en una masa de pinos resineros que hace años se explotaban. El friso pintado cuenta con **concreciones de resina**, posiblemente proyectada que afectan, no sólo estéticamente al conjunto, sino que ocultan parte de algunos de los motivos pintados (Fig. 36).



Figura 36. Concreciones de resina posiblemente proyectada sobre el Motivo 17. Fuente: SERRANO, 2020.

Se considera como agente de deterioro al cerramiento del abrigo realizado en 1933 mediante dos muros laterales de obra y una reja con la intención de proteger las pinturas. Éstos modifican no sólo las condiciones microambientales de los abrigos, sino que genera un impacto estético en el paisaje que desvirtúa el conjunto (MARTÍNEZ, 2015). Consecuencia de ello, parte del mortero²⁹ del muro ha invadido el Motivo 1 de las figuras representadas (Fig. 37), hecho ya mencionado por Piñón (1982). Además, en los muros laterales del cerramiento emanan sales en las juntas del mortero de cemento. Como se ha comentado, estas sales pueden desprenderse y desplazarse como particulado, situándose sobre la pintura y sobre la superficie del abrigo.

²⁹ Para conocer la composición del mortero de rejunte y la naturaleza del conglomerante consultar Anexo IV.

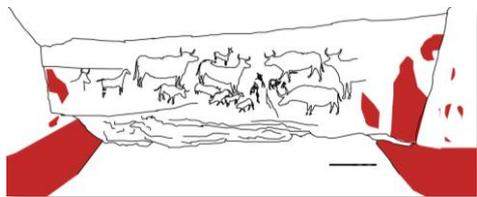


Figura 37. Detalle de mortero de cemento que oculta parte del *Motivo I* procedente del cerramiento. Fuente: SERRANO, 2020.

Finalmente, existía una práctica habitual en prospecciones, documentación arqueológica, y en visitas turísticas de **humedecer**, e incluso frotar, las **superficies pintadas** para facilitar la visualización de las mismas y su documentación (PORCAR, 1936; RIPOLL, 1963; FERRER, 1998; BERROCAL, 2005). Esta práctica es conocida como “mojado”, pudiendo ser realizada con orín (BELTRÁN, 1987-88), refrescos sin especificar (GUILLAMET, 2000), grasas, aceites, parafinas (BELTRÁN, 1970) o agua (mineral o destilada) (BEDNARIK, 1994). Beltrán (1968) se hace eco de esta práctica argumentando que al evaporarse el líquido se forma una película de calcita, hecho que propone solucionarlo mediante pulverización con agua destilada, pues así no perjudicaría a las pinturas.

En cambio, el uso del agua ha provocado, por un lado, la disolución de sales solubles presentes en el soporte, precipitándose sobre la superficie, creando una veladura blanquecina generalizada y concreciones³⁰, procedentes del líquido vertido o procedentes de la migración desde el interior al exterior de la roca (Figs. 38 y 39) (BENITO *et al.*, 1991-92); pero, por otra parte, ha podido disolver parte el aglutinante original (sino ha sido estabilizado por un proceso natural que lo haga insoluble, como la formación de algún oxalato) (BEDNARIK, 1994).



Figura 38. Detalle de concreción en el panel. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 39. Detalle de concreciones en el muro de cerramiento derecho. Fuente: SERRANO, 2020.

Con todo, tras el examen visual pormenorizado y el análisis de las patologías encontradas, el abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* presenta un estado de conservación grave y poco homogéneo, como ya señalaba Piñón (1982), y se puede contemplar en el diagrama de daños (Fig. 40).

³⁰ Para conocer a cerca de su composición consultar *Anexo IV*.

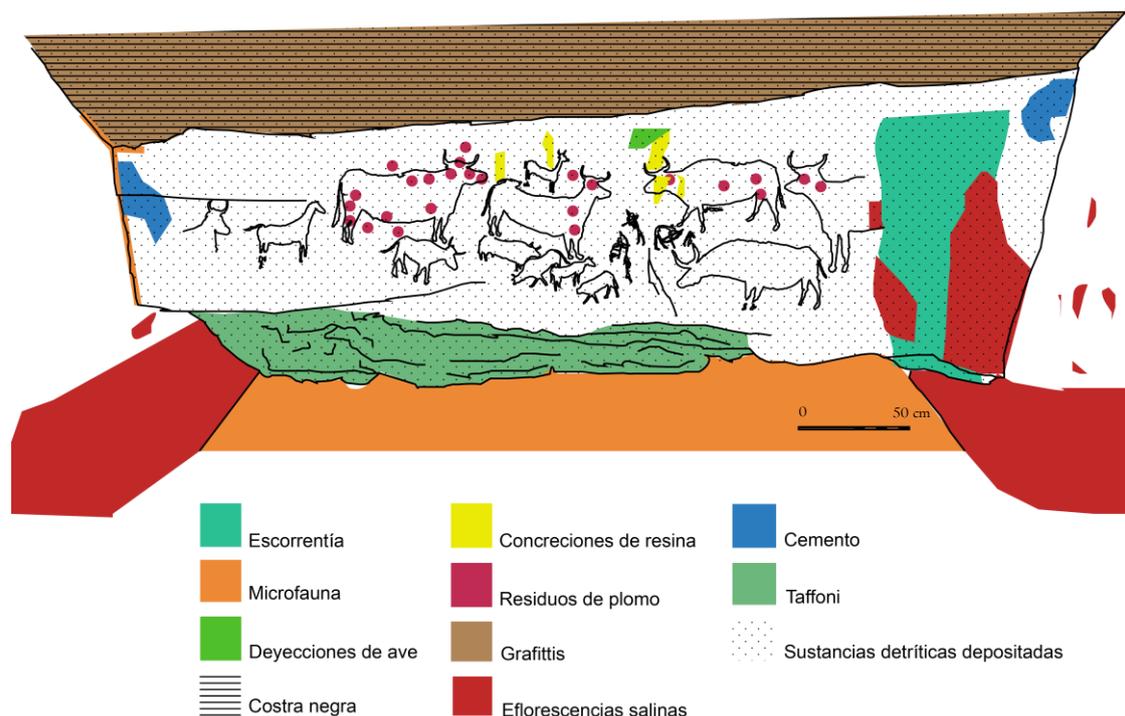


Figura 40. Diagrama de daños presentes en el abrigo de los Toros del Prado del Navazo. Fuente: SERRANO, 2020.

En general, la superficie del panel pintado presenta una capa de sustancias detríticas depositadas con el paso del tiempo por la acción eólica, y una posible capa de concreción y acumulaciones calcáreas procedentes de la práctica del “mojado” ya mencionado, unido a la propia antigüedad del conjunto. Este hecho ha generado una pátina homogénea que impide una correcta visualización de los motivos representados.

En cuanto a las alteraciones de origen antrópico han causado daños irreversibles en todo el enclave, afectando a algunos de los motivos perturbando la visualización de las representaciones y afectando estéticamente al conjunto.

El muro de cerramiento es considerado hoy día inapropiado porque su presencia ha derivado en numerosas patologías: destacando las eflorescencias salinas, que pueden depositarse en la superficie pintada y desencadenar nuevos problemas de conservación; así como la creación de un microclima en el interior del abrigo o, como ha sucedido, ocultar parte de los motivos por la invasión del mortero en uno de ellos, afectando en mayor medida a las figuras de los extremos.

Consecuencia de la propia situación del enclave al aire libre, su vulnerabilidad al deterioro aumenta a causa de agentes atmosféricos, que junto con los problemas derivados de la litología del soporte (de origen sedimentario), la estabilidad del soporte disminuye. De tal manera que puede provocar daños irreversibles en el mismo, y, por ende, en las propias pinturas, como alveolización, pulverulencia o, en el peor de los casos, desprendimiento. Esta condición al aire libre también ha provocado la pérdida de uno de los motivos y la disolución de la roca, consecuencia de la escoorrentía procedente del agua infiltrada por la visera natural del abrigo. Este hecho ha favorecido la generación de concreciones calcáreas y sulfatos de calcio siguiendo el trayecto de la circulación del agua.

Así mismo, debido al entorno natural en el que se encuentra el abrigo y las variaciones climáticas a las que está expuesto, ha favorecido el crecimiento biológico debido a la presencia de microorganismos y nidificaciones de insectos. La presencia de una pátina biológica ha bioalterado la visera natural del abrigo, pudiendo descender por la parte superior del panel pintado, afectando directamente a la conservación del soporte.

Con todo, el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* se encuentra en un estado de conservación crítico que a medio y largo plazo puede desencadenar en la pérdida parcial o integral de un conjunto con una relevancia histórica, técnica y patrimonial excepcional. Por esta razón es importante el estudio y el desarrollo de mecanismos de tratamiento que aboguen por su conservación, para que, en caso de requerir una intervención del *Navazo* o similares, se cuente con la información necesaria para poder realizar tratamientos adecuados.

VI. INTERVENCIONES DE CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN EN EL ARTE RUPESTRE LEVANTINO EN ARAGÓN

Todas las intervenciones requieren un estudio previo científico, empírico y analítico que determine el estado de conservación del abrigo, los riesgos a los que está expuesto, los materiales presentes, los tratamientos que exige y cuál va a ser la efectividad de la intervención a medio y largo plazo. Para ello, es necesario realizar un examen organoléptico de todas las patologías presentes y elaborar un diagnóstico específico con el que proponer un tratamiento concreto que mejore y mitigue el deterioro del conjunto.

Una vez realizada esta valoración exhaustiva y completa, se debería proceder a la intervención en función de la propuesta formulada. Y es que, se ha observado que la mayoría de las restauraciones realizadas en arte rupestre³¹ han sido intervenciones de urgencia, circunstancia que no permite una reflexión y un estudio exhaustivo.

Los abrigos intervenidos en Aragón son nueve, según Royo (2019)³² (Fig. 41):

- HUESCA:
 - *Lecina Superior (Lecina)*
 - *Mallata I (Asque)*
- ZARAGOZA
 - *Plano del Pulido (Caspé)*
- TERUEL
 - *Val del Charco del Agua Amarga (Alcañiz)*
 - *Caidas del Salbime (Mazaleón)*
 - *Els Gascons (Cretas)*
 - *Roca dels Moros (Cretas)*
 - *La Fenelosa (Beceite)*
 - *Cantalar I (Villarluengo)*
 - *Cañada de Marco (Alcaine)*

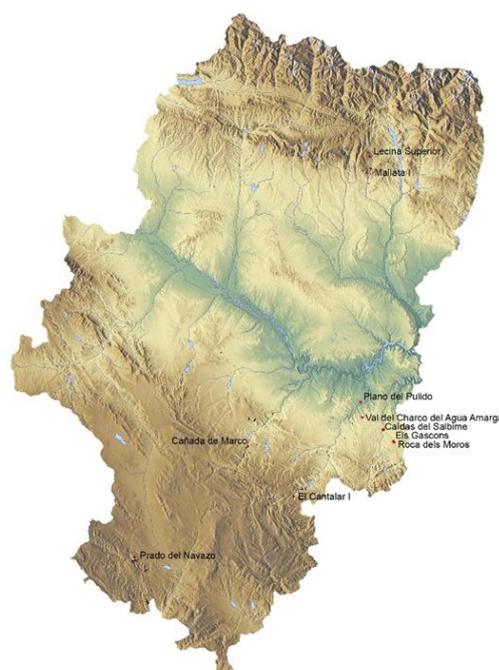


Figura 41. Mapa de los abrigos intervenidos. Fuente: ROYO, 2019.

³¹ El desarrollo concreto de este punto del trabajo ha resultado una tarea difícil debido a la escasa información publicada y poco accesible sobre las intervenciones llevadas a cabo en los abrigos con arte rupestre de Aragón. Pese haber tenido acceso a algunas de las publicaciones, la información que contienen, en todos los casos, es escueta y presenta una ausencia de explicación de los métodos de trabajo utilizados, de los materiales seleccionados, de las zonas donde han sido aplicados y de la cantidad de producto utilizados.

³² De todas las intervenciones citadas, sólo existe documentación publicada de tres de ellas: *Cantalar I* (Villarluengo-Montoro de Mezquita, Teruel), *Cañada de Marco* (Alcaine, Teruel) y *Val del Charco del Agua Amarga* (Alcañiz, Teruel).

Existen algunas intervenciones documentadas coetáneas a sus descubrimientos como la realizada por Cabré en *Val del Charco* en 1913, según cita Beltrán (1968), pero no refleja qué tipo de intervención pudo realizar; aunque se cree que algo poco ético, pues el mismo Cabré arrancó varias pinturas del abrigo de *Roca dels Moros* (Cretas, Teruel), con el fin de conservar las pocas representaciones que quedaban, según relata Ripoll (1992). De las intervenciones realizadas, en *Val del Charco del Agua Amarga* (Alcañiz, Teruel) según recoge Beltrán (2002, p. 53) la **limpieza** se llevó a cabo de la siguiente manera:

“...disolución de la costra superficial por medio de agua embotellada de bajo contenido en sales, y pinceles de durezas y varios cortes. No se ha utilizado agua desmineralizada en este proceso, para evitar corrosiones superficiales. Sólo se ha utilizado este tipo de agua en la última fase de la limpieza, lavando la superficie por nebulización y con el fin de eliminar posibles restos de sales solubles. [...] Eliminación del velo blanco superficial por aplicación de compresas de papel embebido en agua destilada”.

El uso del agua en los procesos de limpieza es apoyado por diversos restauradores (GUILLAMET, 2000; BALLESTER, 2003; DOMÉNECH, 2004). Pero este disolvente presenta un poder ionizante y disociante, ligado a la penetración y retención media que provoca la disolución de las sales solubles del material pétreo (MASSCHELEIN-KLEINER, 1991; WOLBERS, 2003; CREMONESI y SIGNORINI, 2012). Estas sales cristalizan y generan una veladura blanquecina sobre las pinturas. No obstante, Guillamet (2000) y Ballester (2003) recomiendan la limpieza con agua comercial *Sacalm*® de mineralización débil, y tras la limpieza, aconsejan aplicar agua desmineralizada en empacos para eliminar las sales disueltas de la superficie. Ballester (2003) añade que *“...el uso del agua destilada o desionizada es dañino para las pinturas rupestres”*, en cambio obvia que la conductividad está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, por lo que el agua desionizada difícilmente transporta iones; por ello es recomendada por Masschelein-Keiner (1991).

Una metodología de trabajo similar se llevó a cabo en el abrigo de *Cantalar I* (Villarluengo, Teruel), donde se limpiaron los fondos del panel pintado con *“...empacos agua de mineralización débil y en casos puntuales con agua desionizada”* (E.M.R., 2014). En este caso, no especifica las zonas puntuales donde se ha aplicado el agua desionizada, ni el tiempo de contacto del empaco.

Otro de los tratamientos de restauración que se han realizado en los abrigos con arte rupestre aragoneses ha sido la **consolidación estructural de grietas y fisuras** para mejorar las fuerzas adhesivas del conjunto. En todos los casos documentados se han utilizado materiales compatibles con la composición de la roca: morteros tradicionales de cal apagada y arena volcánica (puzolana) (BELTRÁN, 2002; ROYO, *et al.*, 2013; E.M.R., 2014). La adición de puzolana otorga mayor resistencia a los agentes atmosféricos (MATTEINI y MOLES, 2001). Pero también se han utilizado materiales poco adecuados para los trabajos de restauración, pues en el abrigo de *Cañada de Marco* (Alcaine, Teruel) para la consolidación de las fisuras de gran tamaño se utilizó cal hidráulica con arena (NHL 3,5) (ROYO, *et al.*, 2013). Según Barreda (2016) Ballester no recomienda el uso de cementos artificiales por su elevado contenido en sales solubles cuando el material está muy dañado. De igual modo, Mora y Philippot (2001) sostienen que el uso de cemento como material de restauración puede provocar graves alteraciones y dificultades para eliminarlo. No obstante, el

cemento fue empleado en el abrigo de *Val del Charco del Agua Amarga* (Alcañiz, Teruel) a una proporción 1:1:6 (cal, cemento blanco y arena puzolánica) (BALLESTER, 2003).

Independientemente del material que se ha empleado en los procesos de consolidación estructural, en ninguno de los casos se menciona ni el lugar, ni método de aplicación (inyección, con espátula, etc.). Por otra parte, prosiguiendo con la consolidación estructural realizada en los abrigos aragoneses, cabe mencionar el proceso de restauración acometido en el abrigo de *Cañada de Marco* (Alcaine, Teruel) para la recolocación y anclaje de dos bloques mediante el uso de elementos metálicos de alta resistencia, posiblemente adheridos con resina epoxi (no especifica ni tipo de resina ni metal). El empleo de resinas epoxídicas en patrimonio cultural está muy restringido debido a su elevada dureza e irreversibilidad una vez curada la misma (MATTEINI y MOLES, 2001).

Respecto a la **consolidación superficial** se han usado materiales afines a la naturaleza de la propia roca, pues en los dos casos documentados en lo que se ha realizado este tipo de tratamiento (*Cantalar I y Cañada de Marco*) se ha hecho con nanopartículas de hidróxido de calcio diluido en alcohol isopropílico (ROYO, *et al.*, 2013). Aunque en *Cañada de Marco* se especifica el material fue utilizado a baja concentración, no se determina el porcentaje concreto, o directamente no se menciona como en *Cantalar I* (ROYO, *et al.*, 2013; E.M.R., 2014).

No obstante, es importante recalcar que, en otras intervenciones de abrigos con pintura rupestre de otras comunidades, como la Comunidad Valenciana, se ha extendido el uso de resinas sintéticas como en el *Abrigo de Tortosilla* (Ayora, Valencia), en este caso de origen acrílico (MARTÍNEZ, *et al.*, 2011). Así como el uso de *Paraloid®* B72 en la *Cova del Cavalls* (Tírig, Castellón)³³.

Con todo, destacar la importancia de un testado empírico de materiales, tanto *in situ* como en laboratorio, lo que, acompañado de una metodología específica de trabajo en la que se registren rigurosamente todos los tratamientos con todos los datos necesarios, puede permitirnos realizar un seguimiento completo de los enclaves intervenidos.

³³ El uso de este tipo de resinas es inadecuado para este tipo de patrimonio, como se verá en el apartado de *VII.2 Elección de productos consolidantes*.

VI.1 LA CONSOLIDACIÓN

La consolidación tiene como finalidad detener los mecanismos de alteración que aceleran la degradación de las pinturas, permitiendo cohesionar las partículas y mejorar sus características mecánicas. Este proceso, además de ser un procedimiento complejo, debe de ser reflexivo y las actuaciones de urgencia (que son las más habituales en el arte Levantino) no permiten una reflexión que es necesaria y requerida. Los productos comerciales existentes responden a necesidades generales en función de la finalidad de la intervención (adhesión, consolidación, fijación o protección)³⁴, y que, en la mayoría de los casos, van a ser los mismos productos modificando el método de aplicación y la concentración del principio activo (OSCA, 2005).

Para la conservación de un patrimonio tan rico y frágil se deben tener en cuenta múltiples variables para identificar los problemas, definir las acciones de conservación necesarias y seleccionar los materiales y procedimientos adecuados. La variedad de factores a analizar incluye las propiedades intrínsecas de la piedra, su estado de conservación, los mecanismos de degradación y los factores ambientales (SIERRA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2017). Por tanto, los consolidantes han de cumplir una serie de características específicas para considerarlos óptimos para su uso (VILLEGAS *et al.*, 2003):

- Valor consolidante, condicionado por varios factores como: propiedades y tipo de roca, características del producto, procedimiento de aplicación, cantidad de producto aplicado y retenido en la roca, condiciones ambientales, etc. (BARREDA, 2016).
- Alterabilidad de la roca consolidada debe ser inferior a la roca sin tratar.
- Profundidad de penetración buena para evitar comportamientos diferencias entre las zonas tratadas y sin tratar. Esta propiedad va a ser fundamental en el proceso de consolidación, pues para que éste sea efectivo hay que tener en cuenta el método de aplicación, la concentración de la solución, el tipo de disolvente, el tiempo de contacto, la presión ejercida, la temperatura de aplicación (BARREDA, 2016), y también la presencia de sales, como se verá en párrafos siguientes.
- Modificación de la porosidad y de la distribución de tamaño de poro.
- Capacidad de transferencia de humedad (permeabilidad al vapor de agua).
- Compatibilidad con el soporte, tanto química, física como estética.
- No modificar el aspecto óptico (cambios de color o de brillo a causa del tratamiento).
- Mejorar las propiedades mecánicas del sustrato para ralentizar su deterioro y aumentar la durabilidad (GIRGINOVA *et al.*, 2018; SARAMIEGO y ZORNOZA-INDART, 2020).

Los productos utilizados a lo largo del tiempo en la consolidación del patrimonio cultural han sido diversos. Los consolidantes tradicionales empleados son abundantes y de diferente naturaleza, y se pueden distinguir diferentes grupos (VILLEGAS *et al.*, 2003):

- **Consolidantes orgánicos:** son polímeros bien de origen animal (ceras naturales) o sintético (polímeros acrílicos, resinas epoxi, resinas de estireno poliéster, etc.), siendo estos últimos muy utilizados a partir

³⁴ Todas esas intervenciones forman parte de los procesos de consolidación, pero hay importantes diferencias entre cada uno de estos procedimientos como refleja Osca (2005) en su texto.

de los años 70, que por su composición actúan tanto como consolidantes como hidrofugantes. Estos productos presentan un buen comportamiento mecánico, respecto a los productos inorgánicos (IOLE *et al.*, 2002). Permiten cierta reversibilidad, el método de aplicación es más sencillo respecto a los otros grupos y el tiempo para que se produzca la consolidación es bastante corto, pues sólo es necesario que evapore el disolvente (OSCA, 2005: p. 21).

En cambio, este tipo de productos presenta una serie de desventajas que hacen que su empleo no sea adecuado³⁵.

- **Consolidantes organosilíceos** (*Ídem*, p. 29): su acción viene dada por la precipitación de sílice amorfa que reticula con los minerales conglomerando el material, permitiendo la permeabilidad al vapor de agua. Inicialmente se utilizaba en el tratamiento de piedras silíceas, pero se ha extendido a materiales calizos con buenos resultados. Son conocidos como silicatos de etilo (alquialcoxisilanos, que son hidrófobos, o alcoxisilanos), muy utilizados desde el siglo XIX. La naturaleza final de estos silicatos de etilo es inorgánica, aunque su aplicación se realiza con disolventes orgánicos (generalmente *White Spirit*) y requieren de la presencia de un catalizador de sales organometálicas de ácido carboxílico. Los productos comerciales existentes tienden a “manchar” las superficies tratadas, aunque las fichas técnicas señalan que no cambia el aspecto de éstas. Por tanto, pueden producir efectos ópticos no deseados sobre la superficie, pero no es algo exclusivo de este tipo de productos (GIOIA, 2002). Por otra parte, los consolidantes organosilíceos se agrietan provocando microfisuras superficiales, un hándicap para utilizar en cualquier obra mural (BRUS y KOTLIK, 1996; WEISS *et al.*, 2000; WHEELER, 2005; MOSQUERA *et al.*, 2008; DOHENE y PRICE, 2010; BRIFFA *et al.*, 2012; MOSQUERA, 2013; NAIDU *et al.*, 2015). Aunque investigaciones recientes han determinado que la adición de un tensioactivo, conocido como n-octilamina evita el agrietamiento de este tipo de productos (FACIO *et al.*, 2018; REMZOVA *et al.*, 2019).
- **Consolidantes inorgánicos**³⁶: su uso data de varios siglos atrás, alcanzando su máximo desarrollo en el siglo XIX. Presenta una naturaleza semejante a la composición del soporte. Estos productos precipitan en el interior de la estructura porosa a causa del contacto con el CO₂, proceso conocido como carbonatación (OSCA, 2005: p. 22). Pueden verse alterados de la misma forma que lo ha hecho el soporte pétreo previamente; aun así, presentan una gran duración e inercia frente a la radiación UV, pero tienen una mayor fragilidad y menor elasticidad (VILLEGAS, *et al.*, 2003). Además, existe la posibilidad de formación de sales solubles como producto secundario y la dificultad para obtener una buena penetración. En ninguno de los casos pueden presentar acción adhesiva, solamente consolidativa (*Ídem*, p. 182).

³⁵ Como, por ejemplo, diferente naturaleza química, modificación de la porosidad (que ésta impide su permeabilidad al aire, agua y sales, pudiendo crear microcondensaciones de humedad que provoquen la aparición de sales, y por ende pulverulencia del soporte y de la película pictórica) y poca penetrabilidad del consolidante (el consolidante se concentraría en superficie, alterándola cromáticamente) (OSCA, 2005: p. 21).

³⁶ Algunos de ellos son: hidróxido de calcio, hidróxido de bario, silicatos alcalinos y derivados del flúor, entre otros.

En cualquiera de los diferentes grupos expuestos existen, en términos generales, dos problemas añadidos: por un lado, la reversibilidad de los productos, pues debido a la propia condición porosa del material resulta imposible una reversibilidad completa del tratamiento. Y no sólo eso, sino que habría que tener en cuenta la solubilidad del producto resultante, que, con la necesidad de utilizar disolventes, el restaurador no puede controlar hasta qué punto está penetrando más el consolidante y cuánta es la cantidad eliminada (OSCA, 2005).

Con el creciente desarrollo de la ciencia, se ha extendido el uso de la nanotecnología³⁷ en diferentes campos de investigación, estando entre una de ellas el patrimonio cultural. Giorgi *et al.* (2000) fueron los pioneros en la aplicación de nanopartículas en limpieza y consolidación de pinturas, pero posteriormente se han ido diseñando para diferentes fines. Los nanomateriales utilizados en consolidación del patrimonio cultural son: hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$); hidróxido de bario ($\text{Ba}(\text{OH})_2$); hidróxido de estroncio ($\text{Sr}(\text{OH})_2$) y dióxido de silicio (SiO_2).

³⁷ La aplicación de nanopartículas modifica las propiedades y mejora la protección y consolidación por el efecto de la reducción del tamaño, presentando ventajas mayores que los productos tradicionales (GÓMEZ-VILLALBA *et al.*, 2010). Un nanomaterial es aquel material que presenta unas características estructurales de las que al menos una de sus dimensiones está en el intervalo de 1-100 nanómetros; gracias a esta escala el número de átomos es mucho mayor con relación al volumen que ocupa, por lo que su área específica superficial es mayor, entonces la velocidad de reacción aumenta (*Ídem*). Además, estos nanomateriales presentan la posibilidad de penetrar profundamente en los materiales pétreos debido, precisamente, al tamaño de sus partículas (SIERRA-FERNÁNDEZ, *et al.*, 2017). La nanotecnología permite diseñar productos muy compatibles con el material original, y también permite la adición de otros materiales, como hidrofugantes o hidrorrepelentes con propiedades autolimpiantes (*Ídem*).

VII. FASE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

El arte rupestre es un ente complejo en sí mismo, en primer lugar, por la antigüedad con la que cuenta, pero también por el desconocimiento, en la mayoría de los casos, de los materiales presentes y su degradación a lo largo del tiempo; así como por las condiciones extremas en las que se encuentran, por las patologías y alteraciones, y por las propias intervenciones llevadas a cabo en las pinturas (en particular) y en los emplazamientos (en general).

Por ello, este trabajo cuenta no sólo con un amplio estudio de documentación y análisis de diversas fuentes escritas (tanto del ámbito arqueológico como conservativo-curativo), sino que pretende aportar conocimientos empíricos basados en una investigación científico-empírica para desarrollar un estudio riguroso y de calidad. Para este estudio se ha optado por el uso de técnicas de análisis que han requerido la elaboración de probetas con material pétreo procedente de fragmentos desprendidos de zonas circundantes al abrigo. Gracias a este estudio podemos conocer el material y determinar qué ha provocado su deterioro; y así, en función de los resultados obtenidos poder establecer un protocolo de consolidación adecuado.

La consolidación es un procedimiento que requieren la mayoría de los enclaves con arte Levantino, debido, precisamente, a las condiciones de conservación en las que se encuentran. Este proceso de consolidación, en muchos casos, es una intervención de urgencia que utiliza productos poco afines a la naturaleza físico-química de estos conjuntos rupestres como el uso del *Paraloid®* B-72 en *La Serreta* (Cieza, Murcia) y en *Cova dels Cavalls* (Tírig, Castellón) (BALLESTER, 2003), o el empleo de una resina acrílica (sin especificar) en el *Abrigo de Tortosilla* (MARTÍNEZ-VALLE, 2011).

Para proponer (en este trabajo) un correcto un tratamiento se van a evaluar, mediante un estudio comparativo, diferentes consolidantes superficiales afines al material pétreo del abrigo del *Navazo* tanto en probetas de material pétreo de descarte como en una zona cercana al abrigo probando los productos *in situ*, para determinar qué productos serán seleccionados, se requiere un estudio que permita conocer la naturaleza del soporte y se deberán de tener en cuenta los parámetros termohigrométricos (ver *II. Metodología*).

Una vez seleccionados los productos, se consideró necesario estudiar una metodología de aplicación específica para cada uno de éstos, como se desarrollará en líneas posteriores. Una vez elegido el protocolo de aplicación específico para cada uno de ellos, se propuso estudiarlos mediante diferentes ensayos (ver *II. Metodología*).

Al finalizar los ensayos se procesaron los datos y se obtuvieron los resultados evaluados por comparativa³⁸.

³⁸ Para ello se siguió los parámetros que marcados por Barreda (2016, p. 340): cambios en la morfología del producto y del material pétreo. Observaciones realizadas antes, durante y después y comparación de las propiedades físicas de las probetas antes y después de los ensayos. Este seguimiento del proceso se llevó a cabo a través de microscopía digital USB, microscopía estereoscópica y microscopía electrónica de barrido con EDX.

VII.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

Determinar la naturaleza del soporte de las pinturas del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* permite seleccionar los productos adecuados para la consolidación superficial del mismo. El procedimiento llevado a cabo ha sido explicado en *II. Metodología* (Figs. 42 y 43).



Figura 42. Observación muestras de material pétreo en METS (UPV).
Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 43. Observación muestras de material pétreo en SEM-EDX (UPV). Fuente: SERRANO, 2020.

En la observación morfológica del material pétreo con MEST se ha determinado que es una roca sedimentaria de tipo detrítico (Fig. 44), que presenta diferentes tipos de clastos diferenciables por su tonalidad: rojiza característica de la zona y blanca-translúcida, lo que indica la presencia de, al menos, dos componentes químicos diferentes, es decir, es una roca heterogénea. Precisamente por la presencia de diferentes minerales análogos, el tamaño de los mismos es variable, pero se pueden clasificar como grandes y heterométricas³⁹ por la diferencia de diámetro entre los diferentes clastos (Fig. 45).

En cuanto a la forma de las partículas las hay, tanto subhedrales como alotriomorfas, es decir, no presentan una estructura cristalina definida. Debido a estas características el hábito y su textura superficial presentan diversidad de formas, desde clastos con baja esfericidad a alta esfericidad, pero en todos los casos redondeadas. Así, el estado de agregación del material pétreo es granular, ya que posee una serie de clastos agregados a una matriz.

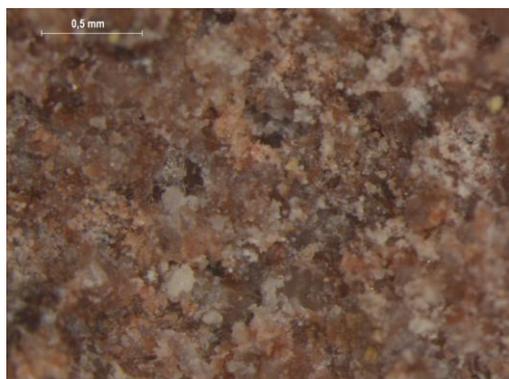


Figura 44. Imagen en MEST de material pétreo sedimentario detrítico procedente del abrigo de Los Toros del Prado del Navazo. (25x).
Fuente: SERRANO, 2020.

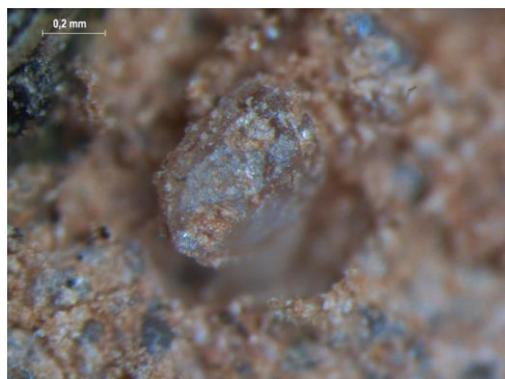


Figura 45. Detalle de cristal de sílice con textura y hábito de baja esfericidad, con aristas redondeadas (50x). Fuente: SERRANO, 2020.

³⁹ El particulado más grande presenta un diámetro de 480 μm^2 y el más pequeño 24 μm^2 , aproximadamente.

Los fragmentos extraídos presentan agregados superficiales, que podrían ser de tipo orgánico y biológico (Fig. 46), que parecen corresponder a huevos de insecto (ya nombrado), ya que presentan una morfología redondeada similar en todos los casos ($\text{Ø}89,6 \mu\text{m}$ aprox.). También presenta un recubrimiento orgánico de naturaleza endolítica que se ha desarrollado sobre el material pétreo (Fig. 47). Este recubrimiento se acomoda en la topografía de la piedra asentándose en los agregados minerales. Además, presenta hifas o raíces que abrazan las partículas minerales.

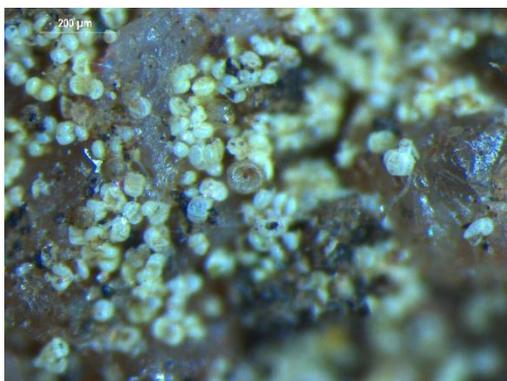


Figura 46. Detalle de acumulaciones orgánicas (50x). Fuente: SERRANO, 2020.

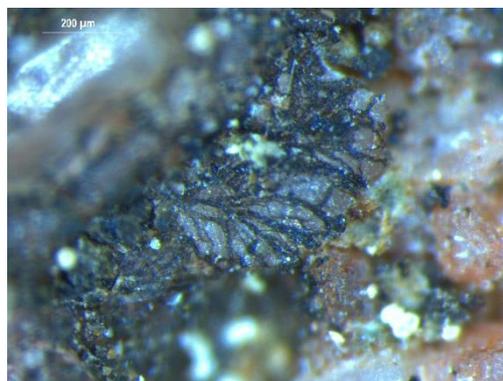


Figura 47. Detalle de hifas que abrazan un grano de mineral (50x). Fuente: SERRANO, 2020.

Respecto al análisis del soporte del abrigo de los *Toros del Prado del Navazo* se ha confirmado que es una arenisca feldespática de tipo arcillosa, perteneciente al grupo de arenitas, composición conocida por las formaciones *Buntsandstein* de la zona geográfica en la que se encuentra (BENITO, *et al.* 1991-92) (ver *IV.2 Descripción geológica*). La analítica ha revelado un elevado porcentaje de óxido de sílice o cuarzo (SiO_2), feldespatos potásicos (KAlSi_3O_8), así como óxido de hierro (FeO) y óxido de calcio (CaO) (Figs. 48 y 49) (consultar *Anexo IV*). Las imágenes tomadas permiten visualizar en detalle los minerales, se puede observar que las caras de éstos presentan escalones de crecimiento del propio cristal (CORTÉS *et al.*, 2006).

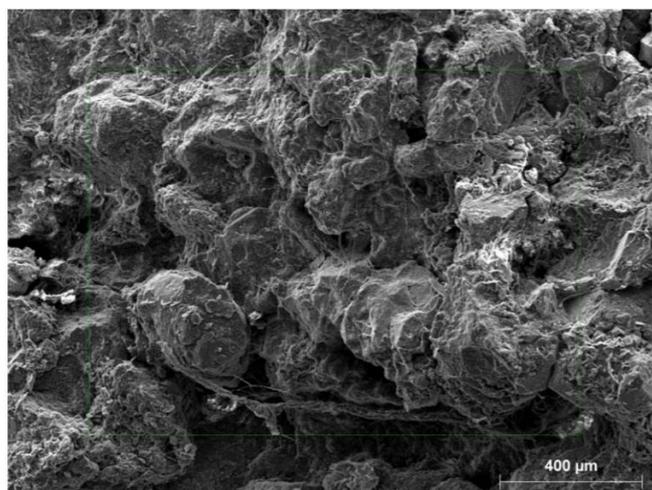


Figura 48. Rodeno sin tratar en SEM-EDX, *Hitachi® S-4800* (SCSIE, UV) (70x, 20.0 kV). Fuente: SERRANO, 2020.

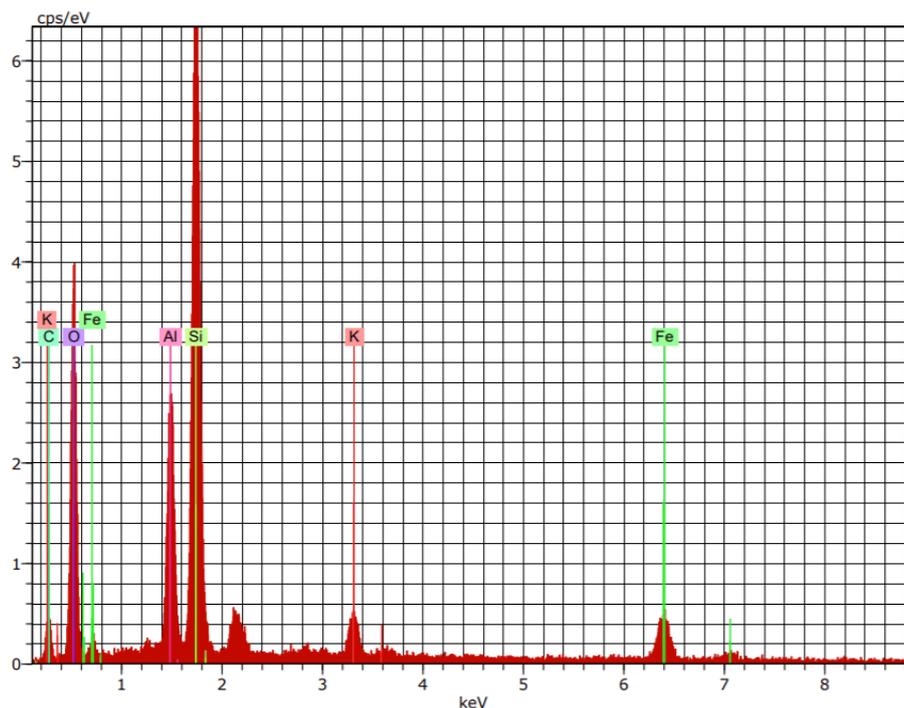


Figura 49. Espectro de SEM-EDX del material pétreo. Fuente: SERRANO, 2020.

VII.1.1 POROSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO

Los intersticios presentes entre los clastos de un material pétreo son un componente petrográfico importante de las características de una roca, en parte porque su volumen y distribución afectan a su uso, su alterabilidad y su durabilidad (MONTOTO, 1983). La porosidad de una roca es el porcentaje en volumen de los espacios vacíos de la roca respecto al volumen total de la misma⁴⁰. Con el fin de conocer y caracterizar el porcentaje de vacíos en el soporte pétreo del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* se ha realizado un ensayo para determinar la porosidad accesible al agua según la norma UNE-EN 1936:2006.

Este ensayo ha clasificado al material pétreo como una roca de porosidad baja a intermedia, ya que el promedio de los resultados revela un porcentaje de 6,49%, según se recoge en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Resultados del ensayo de porosidad accesible al agua (%).

	V_a (cm ³)	m_d (g)	m_s (g)	$(m_s - m_d)/V_a$	%
I	32,45	45,56	46,94	0,043	4,25
2	25,06	56,23	58,52	0,091	9,14
3	20,70	42,33	43,59	0,061	6,09
				MEDIA	6,49

⁴⁰ En función de su valor, se pueden clasificar en diferentes categorías: rocas de baja porosidad como el mármol o el granito (<5%); porosidad intermedia como la mayor parte de calizas y dolomías (entre 5 y 20%); y, finalmente, rocas muy porosas como las calcarenitas, con porosidades superiores al 20% (RODRÍGUEZ, 1994).

VII.1.2 TEST ABSORCIÓN HÍDRICA POR CONTACTO

Determinar el índice de absorción de una superficie permite conocer la cantidad de agua que absorbe el material pétreo, y cuánto se puede modificar ésta tras un tratamiento de intervención; de modo que se controla la efectividad del tratamiento. Dentro de la caracterización del material se estudió *in situ* la absorción de agua de los muros de cerramiento del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*⁴¹, en el interior y exterior de ambos, realizando en tres puntos de cada uno de ellos. El ensayo está recogido por la norma UNI 11432:2011, (ver *II. Metodología*). Los resultados obtenidos han sido los siguientes (Tablas 3 y 4):

Tabla 3. Resultados de absorción hídrica por contacto							
28/09/2020	P _i	P _f	W _a	03/03/2020	P _i	P _f	W _a
Muro izquierda-D	15,28	14,87	0,05	Muro izquierda-D	15,45	14,10	0,17
Muro izquierda-D	15,59	15,02	0,07	Muro izquierda-D	16,86	14,47	0,30
Muro izquierda-D	15,55	14,59	0,12	Muro izquierda-D	16,65	14,59	0,26
Muro izquierda-D	<i>MEDIA</i>		0,08	Muro izquierda-D	<i>MEDIA</i>		0,24
Muro izquierda-F	15,34	13,98	0,17	Muro izquierda-F	15,94	14,68	0,16
Muro izquierda-F	15,47	14,08	0,18	Muro izquierda-F	15,71	14,66	0,13
Muro izquierda-F	15,79	14,64	0,15	Muro izquierda-F	15,94	15,41	0,07
Muro izquierda-F	<i>MEDIA</i>		0,16	Muro izquierda-F	<i>MEDIA</i>		0,12
Muro derecha-D	15,21	13,74	0,19	Muro derecha-D	20,84	15,87	0,63
Muro derecha-D	15,43	13,81	0,20	Muro derecha-D	15,81	15,54	0,03
Muro derecha-D	15,63	13,95	0,21	Muro derecha-D	16,04	15,91	0,02
Muro derecha-D	<i>MEDIA</i>		0,20	Muro derecha-D	<i>MEDIA</i>		0,23
Muro derecha-F	15,59	15,24	0,04	Muro derecha-F	16,1	15,87	0,03
Muro derecha-F	15,83	15,17	0,08	Muro derecha-F	16,38	16,26	0,02
Muro derecha-F	15,37	15,05	0,04	Muro derecha-F	16,45	14,87	0,20
Muro derecha-F	<i>MEDIA</i>		0,06	Muro derecha-F	<i>MEDIA</i>		0,08

Tabla 4. Resultados del test de absorción hídrica por contacto.							
28/09/2020	P _i	P _f	W _a	03/03/2020	P _i	P _f	W _a
Muro izquierda-D	<i>MEDIA</i>		0,08	Muro izquierda-D	<i>MEDIA</i>		0,24
Muro izquierda-F	<i>MEDIA</i>		0,16	Muro izquierda-F	<i>MEDIA</i>		0,12
Muro derecha-D	<i>MEDIA</i>		0,20	Muro derecha-D	<i>MEDIA</i>		0,23
Muro derecha-F	<i>MEDIA</i>		0,06	Muro derecha-F	<i>MEDIA</i>		0,08

Los resultados determinan que la época del año la absorción de agua es similar, salvo en el muro izquierdo dentro que absorbió mayor cantidad de agua en marzo.

⁴¹ Este ensayo se completará y complementará con el ensayo de absorción de agua por capilaridad (ver *VII. 7 Ensayo de Absorción por Capilaridad*).

VII.2 ELECCIÓN DE PRODUCTOS CONSOLIDANTES

Teniendo en cuenta que la consolidación que se propone en el marco de esta investigación está limitada a la superficie del panel pintado; se han seleccionado⁴² productos de diferente naturaleza con fines **cohesivos**: dos consolidantes organosilíceo a base de silicato de etilo y dos inorgánicos a base de nanopartículas (ver Tabla 5)⁴³:

- **WACKER® OH100**: producto a base de silicato de etilo líquido sin disolvente⁴⁴, de naturaleza organosilíceo. Forma un gel a base de sílice que, al entrar en contacto con la humedad de los poros de la piedra, se seca en su interior (MOL *et al.*, 2017)⁴⁵.
- **TECNADIS® SOLIDUS**: material formado por éster etílico de ácido silícico en disolución de alcohol isopropílico. Se caracteriza por su buena penetración e impregnación sin formar *film*, por lo que presenta una buena permeabilidad al vapor de agua (TECNAN, 2018). El efecto consolidante es logrado tras una reacción con la humedad atmosférica tras la hidrolización del producto (OSCA, 2005).
- **NANO ESTEL®**: basado en nanopartículas de sílice coloidal en dispersión acuosa. No presenta toxicidad ni genera subproductos secundarios como algunos silicatos alcalinos (C.T.S., 2015). Puede tener una contraindicación en su aplicación, y es que según L. Borgioli⁴⁶, este producto ante la presencia de sales puede precipitar de manera instantánea, como se comprobó en las pruebas realizadas en el abrigo⁴⁷.
- **NANORESTORE®**: consolidante a base de hidróxido de calcio nanofásico (200 nm) en dispersión de alcohol isopropílico que por reacción con el CO₂ ambiental se transforma en carbonato cálcico (C.T.S., 2008)⁴⁸. Pese a presentar diferente naturaleza química con el soporte de las pinturas, se ha decidido estudiar en esta investigación porque es posible que exista un porcentaje elevado de carbonato cálcico en el soporte del abrigo por la presencia de concreciones calcáreas (ZALBIDEA y GASQUE, 2018)⁴⁹.

⁴² En este trabajo se abandona el uso de los consolidantes orgánicos como *Paraloid®* B72 que tantas desventajas presenta: irreversibilidad del material pues a corto-medio plazo provoca *cross-linking*, alteraciones cromáticas y presenta una elevada acidez (BORGIOLO, 2002; BORGIOLO y CREMONESI, 2005; OSCA, 2005; BENSI, 2005; BARREDA, 2012). Así mismo, su estabilidad se ve cuestionada por la presencia de microorganismos (AMOROSO, 2002). O, tal y como defiende Barreda (2012) la acumulación y distribución del producto es irregular, modificando la permeabilidad al vapor de agua y, por ende, provocar un envejecimiento desigual.

⁴³ Las fichas técnicas de los cuatro productos seleccionados se pueden consultar en el *Anexo V*.

⁴⁴ La ficha técnica del producto refleja que no presenta disolventes, pero en los ensayos empíricos del laboratorio presenta buena disolución en alcohol isopropílico.

⁴⁵ El fabricante recomienda realizar las aplicaciones en un mismo día para evitar que el producto se incruste en la superficie.

⁴⁶ Para mayor información ver: <https://vimeo.com/397970050/e52c874574>

⁴⁷ Durante la visita realizada en día 3 de marzo de 2020.

⁴⁸ Diseñado y patentado por *CSGI-Universidad de los Estudios de Florencia*, pero comercializado por *C.T.S.*

⁴⁹ Además, ha proporcionado buenos resultados en trabajos precedentes en consolidación de arte rupestre Levantino (BARREDA, 2012; 2016).

Tabla 5. Características de los consolidantes seleccionados.

<i>Producto</i>	WACKER® OHI00	TECNADIS® SOLIDUS	NANO ESTEL®	NANORESTORE®
<i>Casa comercial</i>	<i>Productos de conservación</i>	<i>Tecnan</i>	<i>C.T.S.</i>	<i>C.T.S.</i>
<i>Composición</i>	Éster etílico de ácido silícico (organosilíceo)	Éster etílico de ácido silícico (organosilíceo)	Nanopartículas de dióxido de silicio (SiO ₂)	Nanopartículas de hidróxido de calcio
<i>Concentración</i>	75%	70%	30%	0,5%
<i>Tamaño partícula</i>	-	-	<20 nm	I-100 nm
<i>Disolvente</i>	“Sin disolvente”	Alcohol isopropílico	Agua desmineralizada	Alcohol isopropílico

Todos los productos elegidos, salvo *Nano Estel®* y *Wacker® OHI00*, van dispersos en alcohol; la presencia de este disolvente garantiza una óptima penetración en los materiales porosos por succión capilar debido a su baja tensión superficial, por ello las partículas se insertan en los intersticios consolidando la red porosa (C.T.S., 2008).

Previo a la aplicación de los consolidantes se realizó, en el laboratorio, un ensayo empírico para determinar el porcentaje de aplicación de los productos, así como el número de capas a aplicar. En este estudio preliminar se valoró la superficie con microscopio digital antes y después del tratamiento y, también, se estudió la diferencia de color total (ΔE^*) realizando mediciones colorimétricas antes y después del tratamiento (ver *Anexo II*).

Paralelamente, se testaron empíricamente los productos consolidantes y se realizaron mediciones colorimétricas *in situ*. De esta manera se testó la aplicación en vertical de los productos y su comportamiento en una superficie de mayores dimensiones que las probetas. Este estudio no sólo permitió valorar los cambios cromáticos, sino que se estudió la ductilidad del material, la cantidad de producto que aplicar o su viscosidad.

VII.3 ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS

Para acometer el estudio termohigrométrico del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*, se instaló un dispositivo datalogger *Log® 32 TH* con el fin de controlar la humedad relativa (HR), temperatura (T^a) y el punto de rocío (DP) del interior del abrigo, con intervalos de 8 horas⁵⁰. Gracias a este estudio se puede realizar una estimación de cómo estos parámetros han podido interactuar con la conservación de las pinturas en el tiempo, observar su evolución y plantear un plan preventivo en su conservación y restauración.

Así mismo, con el objetivo de llevar un registro riguroso de los datos recabados por el datalogger *Log® 32 TH*, en cada una de las visitas se tomaron los datos de temperatura superficial con un termómetro digital de superficie *Tescoma®*, así como el contenido de humedad relativa superficial con el dispositivo *Neurtek® 01-37161*. Gracias a estos parámetros se permite valorar el riesgo de shock térmico que puede tener el soporte, que puede generar patologías tales como el agrietamiento del soporte, poniendo en peligro a la conservación de las pinturas⁵¹. La recogida puntual de datos físicos que afectan al abrigo queda registrada en la *Figura 50*.

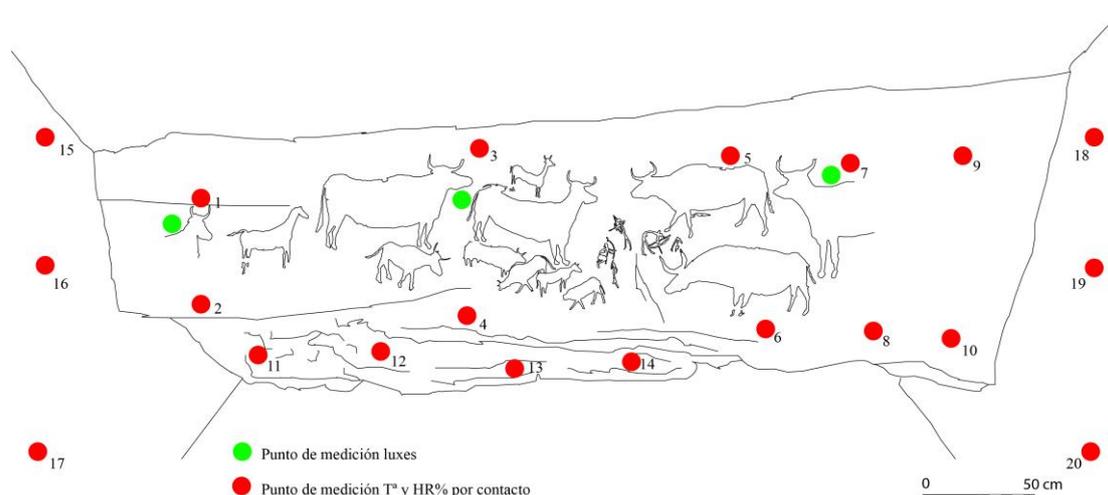


Figura 50. Puntos de medición de los parámetros físicos por contacto. Fuente: SERRANO, 2020.

Para completar el estudio de estos parámetros que pueden afectar a la conservación de las pinturas rupestres, se midieron los luxes con el luxómetro *Milwaukee® SM770*. De esta manera, se obtienen los datos del nivel de incidencia lumínica que reciben las pinturas, información importante para su correcta conservación a nivel cromático y físico-químico, pues puede afectar a la estabilidad de los aglutinantes y pigmentos (VAILLANT, *et al.*, 2003).

Es importante conocer que estos parámetros físicos no actúan de manera inmediata sobre los materiales por lo que es fundamental seguir un control. Éstos pueden dañar el abrigo acelerando la degradación del soporte y las pinturas porque pueden favorecer el desarrollo de microorganismos causando biodeterioro⁵². Por ello, se ha realizado un estudio de los microorganismos presentes en el interior del abrigo para determinar la presencia de potenciales biodeteriogenos.

⁵⁰ Este dispositivo fue instalado el día 28 de septiembre de 2019 y retirado el 20 de octubre de 2020, con el pretexto de que el estudio abarcará todas las estaciones. Por problemas técnicos no hubo registro de los meses de septiembre a marzo. Por lo que las medidas comienzan el día 3 de marzo de 2020.

⁵¹ Se realizaron 8 mediciones de temperatura y humedad superficial en el panel rupestre, en zonas próximas a las representaciones pintadas; y, también, se midió la temperatura y humedad superficial de los muros de cerramiento, con tres mediciones en cada una de las caras (un total de 6 mediciones por muro).

⁵² Aunque por la condición al aire libre de este tipo de obras los parámetros físicos no se pueden controlar.

Para realizarlo se tomaron muestras no invasivas por contacto para determinar la presencia de hongos y bacterias en el interior del abrigo en la techumbre y parte inferior del soporte de las pinturas (ver *II. Metodología*).

Las zonas de toma de muestras para el estudio microbiológico en el interior del abrigo fueron en los siguientes puntos (Fig. 51)⁵³:

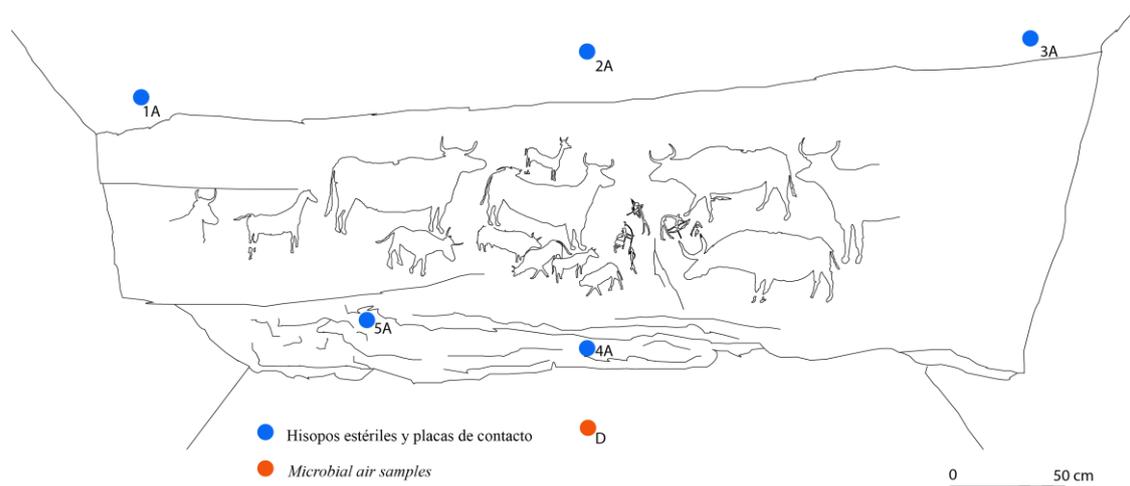


Figura 51. Puntos de toma de muestras para el estudio biológico del interior del abrigo. Fuente: SERRANO, 2020.

⁵³ La Figura 51 muestra los puntos de muestreo en el interior del abrigo (D), pero también se realizó un muestreo del exterior del abrigo mediante muestreador SAS® para comparar los microorganismos presentes en el exterior e interior del abrigo.

Los resultados obtenidos de estudio de parámetros físicos y biológicos se expresan a continuación:

En el siguiente gráfico (*Gráfico I*) se registran los datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío entre marzo y octubre de 2020:

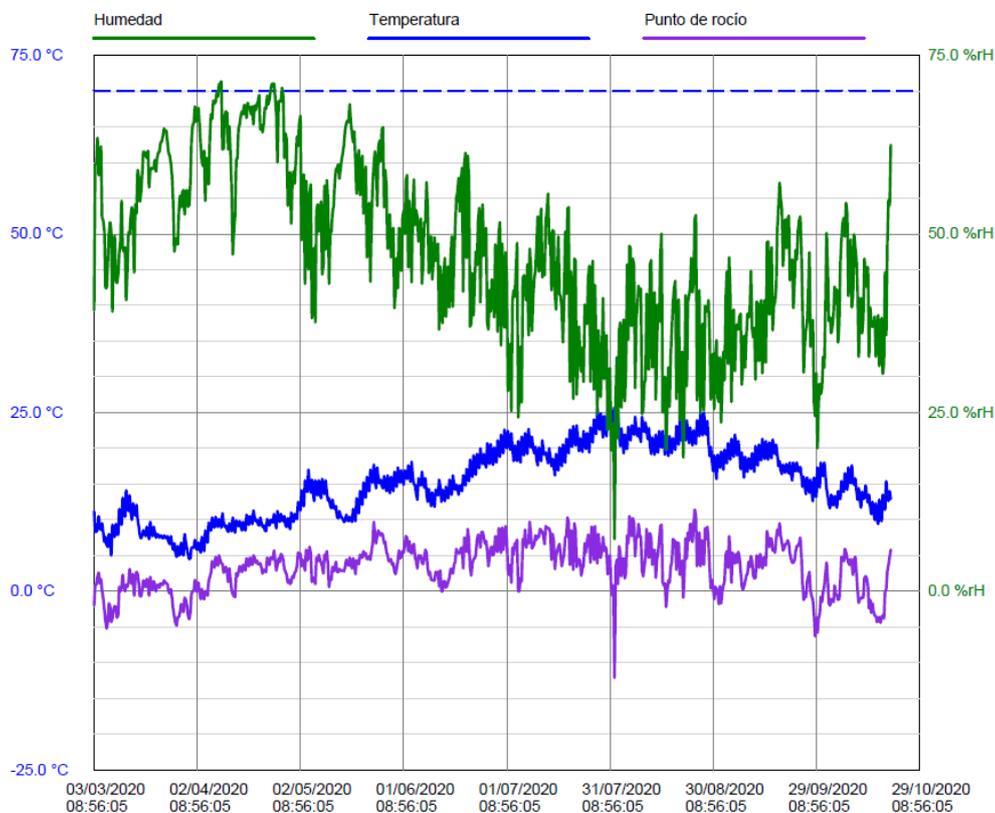


Gráfico I. Parámetros registrados en el abrigo de Los Toros del Prado del Navazo desde el 3/03/2020 hasta el 21/10/2020. Valores obtenidos con datalogger LOG32®.

En el *Gráfico I* se puede observar que los valores más altos de humedad relativa (HR%) se concentran en los meses de marzo-junio llegando a alcanzar una humedad relativa de 71,3%⁵⁴, cuando las temperaturas son más bajas, llegando a registrar 4,5°C como valor mínimo de temperatura. Así, se puede confirmar que la humedad relativa es un parámetro inversamente proporcional a la temperatura, pues como se puede observar ésta aumenta cuando la temperatura disminuye, y viceversa. El valor más bajo de humedad relativa (7,3%) coincide con el punto más alto de temperatura (25,7°C) registrado en el mes de julio, manteniéndose, con pequeñas oscilaciones, hasta septiembre.

Existe un incremento progresivo de la temperatura y un descenso de la humedad relativa, pero no se perciben variaciones bruscas de ambos parámetros.

⁵⁴ El valor máximo de humedad relativa es 71,3% y, por ende, no se ha llegado a alcanzar el 100% de humedad relativa, el punto de rocío no se ha producido en ninguno de los meses medidos.

En las mediciones no se han registrado valores negativos de temperatura, incluso habiendo nevado en el mes de abril de 2020⁵⁵. Esto hecho es importante ya que no han existido ciclos de hielo-deshielo, que han evitado la gelivación del soporte⁵⁶.

Por otra parte, es importante llevar a cabo no solo un seguimiento de los parámetros ambientales de humedad relativa y temperatura, sino un seguimiento a nivel superficial de ambos como se puede observar en los *Gráficos 2 y 3*.

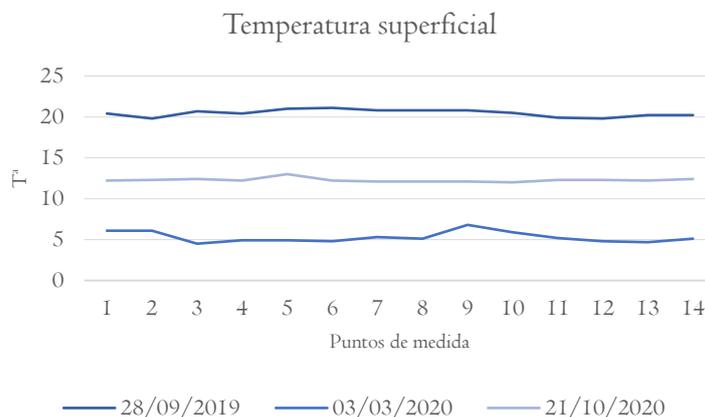


Gráfico 2. Registro de temperatura superficial durante las visitas mediante termómetro *Tescoma®*.

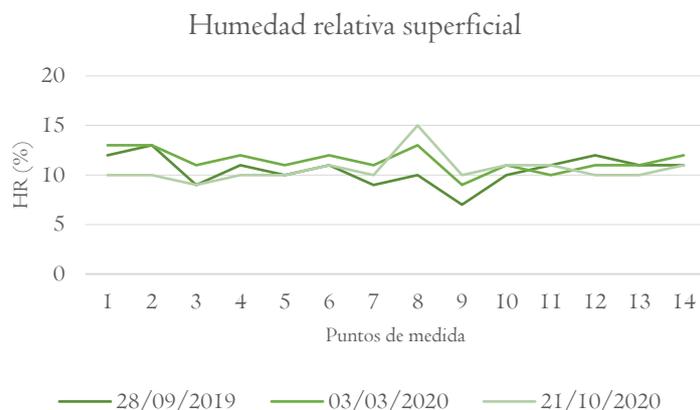


Gráfico 3. Registro de humedad relativa superficial durante las visitas mediante higrómetro *Neurtek®*.

La temperatura superficial en el soporte del abrigo varía en función de la estación del año, registrando máximas de 21°C en septiembre y mínimas de 4,5°C en marzo. Las mediciones de temperatura se mantienen estables en todos los puntos de medida. Se espera que el descenso y aumento de temperatura superficial sea paulatino, por lo que la agresión en el soporte es mínima.

Del mismo modo que en las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiental, en las mediciones superficiales se observa que a menor temperatura mayor humedad relativa, y viceversa. Por ello, en el mes de marzo que

⁵⁵ No obstante, para realizar un estudio completo y más representativo, sería importante registrar mediciones de temperatura, humedad relativa y el punto de rocío durante los meses más gélidos (diciembre-febrero).

⁵⁶ La gelivación es el cambio de estado que experimenta el agua del interior de los poros cuando se transforma en hielo. Este hecho produce un aumento de tamaño del poro que provocaría la alteración físico-mecánica del soporte (ESBERT, *et al.*1997).

se registran temperaturas más bajas ($5,3^{\circ}\text{C}$) la humedad relativa es mayor (11,43%). En cambio, en el mes de septiembre se registran temperaturas más altas ($20,46^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa es menor (10,50%). No obstante, en la *medición 8* se registra el valor más alto de temperatura en cada visita. Ese punto de medida coincide con la escorrentía, actualmente inactiva.

Respecto a la medida de luxes, los valores varían en función de la visita y están relacionados con la meteorología de ese día (*Gráfico 4*).



Gráfico 4. Medición de luxes *in situ* durante las visitas realizadas al abrigo con luxómetro Milwaukee®.

Los valores más altos se concentran en septiembre, llegando a alcanzar los 1900 luxes. El valor mínimo se dio en octubre con 145 luxes. Pese a esta diferencia de más de 1700 luxes, no existe una especificación adecuada de cuál es la cantidad de luxes recomendada para el arte rupestre, aunque sí existe para otro tipo de patrimonio (>300 lx). También es importante destacar que la incidencia lumínica es mayor a partir de las 13:30h, llegando a incidir los rayos de sol a partir de las 16:00h. No obstante, el daño producido por la iluminación es acumulativo, por lo que hay que evitar niveles altos de luxes; unido a ello, y entendiendo la sensibilidad del material no se debería superar los 300 luxes, aunque debido a su situación al aire libre, es difícil de controlar.

Se comprobó la calidad ambiental del abrigo. Para ello se han registrado los datos de microorganismos presentes por contacto en el *Gráfico 5*.

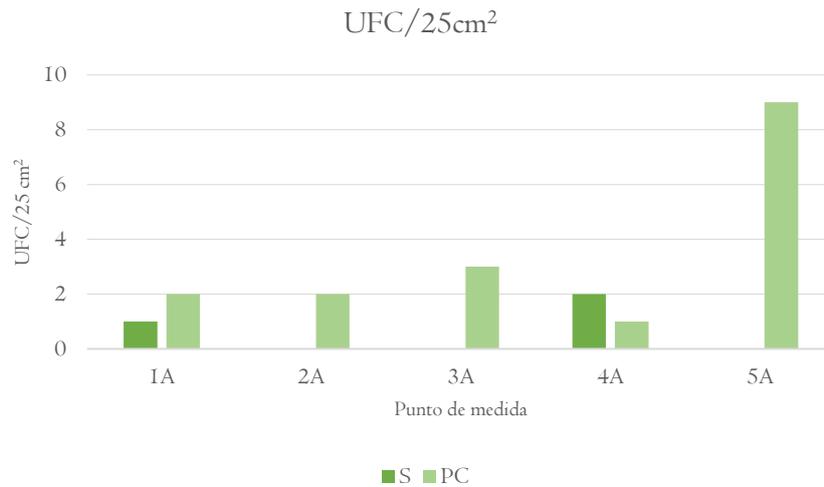


Gráfico 5. Microorganismos en superficie (UFC/25cm²). Medios: S (hongos) y PC (bacterias).

Se puede determinar que la presencia de hongos a nivel superficial es mínima, pues sólo se registra 1 UFC/25cm² en la techumbre (1A,) y 2 UFC/25cm² en los tafonis del abrigo. En cambio, la presencia de bacterias es algo mayor, pues se registran en todos los puntos de toma, llegando a haber 9 UFC/25cm²(5A) en los tafonis del abrigo (Fig. 52).

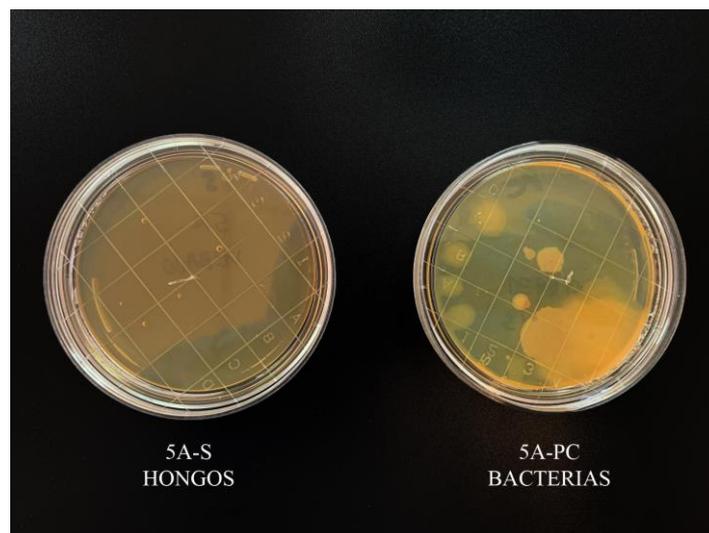


Figura 52. Placas Rodac del punto de muestra 5A, sin crecimiento de hongos (izq.) y con crecimiento de 9 UFC/25cm² de bacterias (dcha.). Fuente: SERRANO, 2020.

En cambio, en el aire existe una presencia mayor de microorganismos en el ambiente, que se ha determinado gracias al análisis de un caudal de aire determinado (100 l) (Tabla 6).

Tabla 6. Contaminación microbiológica del aire (UFC/m ³)					
		MEDIO	UFC	UFC CORREGIDAS	UFC/m ³
UBICACIÓN	DENTRO debajo pinturas	S	10	10	100
		PC	86	109	1090
	DENTRO	S	2	2	20
		PC	38	42	420
	FUERA	S	2	2	20
		PC	132	201	2010

Como se puede observar en la *Tabla 6* existe mayor presencia de microorganismos, y en especial de bacterias en el exterior del abrigo (2010 UFC/m³) (Fig. 53). En cambio, en el interior, en concreto debajo de las pinturas, la concentración de bacterias también es elevado (1090 UFC/m³), que determina que, aunque el día del muestreo la contaminación del aire exterior era elevada, el ambiente interior está más protegido del exterior superando los 800 UFC/m³ que recomiendan las normativas *UNE 10012:2005* y *UNE 17133-2:2000* (Fig. 54), aunque, es importante recordar que estas normativas no son específicas de patrimonio. Por otra parte, existe menor presencia de hongos, tanto en el interior como en el exterior, registrando sus valores mínimos en 20 UFC/m³ y como valor máximo 100 UFC/m³ debajo de las pinturas, encontrándose en el límite recomendado por NTP 409 de 1996, que al igual que las normativas anteriores, no es una recomendación específica para patrimonio cultural.



Figura 53. Placa Petri con los microorganismos presentes fuera del abrigo. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 54. Placa petri con los microorganismos presentes dentro del abrigo debajo de las pinturas. Fuente: SERRANO, 2020.

VII.4 ESTUDIO COLORIMÉTRICO

El estudio colorimétrico del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo* ha sido realizado, en primer lugar, como mecanismo preventivo para controlar del deterioro visual que puede experimentar el panel rupestre. Pero también, para cuantificar las posibles variaciones cromáticas al aplicar los consolidantes sobre las mismas. Para este estudio se han medido las coordenadas CIEL*a*b*⁵⁷ y CIEL*C*h°. Ambos sistemas van a proporcionar la misma información, aunque expresada de otra manera, pero el último (CIEL*C*h°) enriquece y hace más asequible la información al incluir las magnitudes psicofísicas Tono (h°), Cromo (C*) y Claridad (L*)⁵⁸ (MARTÍNEZ, 2004).

Para este estudio se ha utilizado el colorímetro *X-Rite®* (ver *II. Metodología*), realizando mediciones a en cada una de las fases de investigación. La metodología fue la siguiente:

- I. **Mediciones colorimétricas de las pinturas *in situ*** (Fig. 55).
 - Medición georreferenciada con láminas de papel vegetal a escala 1:1⁵⁹.
2. **Mediciones colorimétricas para el testado empírico de los consolidantes *in situ*** (Fig. 56).
 - Se seleccionó una parte de roca donde se encuentran las representaciones, pero alejada de las pinturas, en el exterior del cerramiento, donde se realizaron 12 catas de 8 cm (aprox.)⁶⁰.
3. **Mediciones colorimétricas para el testado empírico de los consolidante en laboratorio** (Fig. 57).
 - En fragmentos pétreos procedentes del abrigo se testó la metodología definitiva de aplicación de los productos (ver *Anexo II*). En este método de testado empírico fue fundamental el estudio colorimétrico. Las tomas se llevaron a cabo antes de la aplicación de los productos y tras ser aplicados, tanto con una capa de producto y con tres capas de producto; así como a diferentes concentraciones (25, 50, 75 y 100%).
4. **Mediciones colorimétricas en cada una de las probetas** (Fig. 58).
 - Las mediciones en las probetas se realizaron en el extremo superior derecho en todas las probetas sin tratar. Después se realizó una segunda toma en las probetas ya tratadas, y posteriormente de haberse sometido al ensayo de envejecimiento acelerado. Así se pudo comprobar el comportamiento de los productos y su estabilidad ante condiciones extremas.

⁵⁷ El sistema CIEL*a*b*, éste representa, por un lado, la variable luminosa (L*) mediante un eje de claridades escalonado, que va de 0 (negro) a 100 (blanco); y, por otra parte, dos variables cromáticas, que representan los diagramas de color: a* (rojo-verde) y b* (azul-amarillo), representadas a través de un eje cartesiano.

⁵⁸ Para este estudio, pese a que se han tomado los parámetros CIEL*C*h°, no se van a exponer los resultados ni extraer conclusiones con este sistema.

⁵⁹ Obtenidas a partir de los calcos de las pinturas proporcionados por el Dr. Manuel Bea. En función del tamaño de cada figura se realizaron de uno a tres puntos de medida con tres mediciones en cada uno.

⁶⁰ En cada tramo marcado se realizaron tres mediciones, tanto previo a la aplicación como después.



Figura 55. Medición colorimétrica *in situ* antes de aplicar productos consolidantes. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 56. Medición colorimétrica de las figuras. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 57. Medición colorimétrica de las muestras de material pétreo para su testado empírico. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 58. Medición colorimétrica en las probetas (1x1x1 cm) antes de aplicar los productos consolidantes. Fuente: SERRANO, 2020.

Los resultados se expresan con las diferencias de las distintas coordenadas (ΔL^* Δa^* Δb^*) y la diferencia de color total (ΔE^*) que permite cuantificar el cambio cromático y si es perceptible por el ojo humano, mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Los valores de diferencia de color total (ΔE^*) superiores a 2,5 se considera que el cambio ya es perceptible por el ojo humano (MELGOSA, *et al.*, 2001)⁶¹.

⁶¹ La norma UNE-EN 15886: 2011 no especifica cual es el valor perceptible por el ojo humano.

- Mediciones colorimétricas de las pinturas *in situ*.

A continuación se muestran los resultados de las mediciones realizadas a las figuras del panel (Tabla 7):

Tabla 7. Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* a las figuras del panel rupestre.

Figura	Medición	Valor medio de L*	Valor medio de b*	Valor medio de a*	Resultado cromático	Referencia visual
 1	● Punto a	53,773	11,24	16,68		 1
	● Punto b	55,89	11,87	19,07		
 2	● Punto a	53,42	11,58	16,34		 2
	● Punto b	56,41	11,27	16,60		
 5	● Punto a	53,00	10,193	16,89		 5
 6	● Punto a	58,417	12,437	19,48		 6
	● Punto b	54,453	11,51	19,21		
 7	● Punto a	56,810	12,380	17,54		 7
 8	● Punto a	54,21	12,77	16,98		 8
 9	● Punto a	59,97	15,307	22,92		 9
 10	● Punto a	56,14	3,997	4,357		 10

 11	● Punto a	51,04	12,17	18,00		 11
	● Punto b	52,833	11,24	17,27		
 12	● Punto a	55,41	11,42	16,75		 12
 13	● Punto a	55,36	11,31	16,75		 13
	● Punto b	54,203	14,01	19,05		
	● Punto c	54,55	11,620	17,46		
 14	● Punto a	56,933	6,867	8,50		 14
	● Punto b	47,15	11,18	16,34		

Como se puede observar (Gráfico 6) existe una tendencia de L^* en torno a 50-60, es decir presenta una luminosidad media. Respecto al valor a^* todos los colores viran hacia el color rojo, situándose en todos los casos próximos a $+a^*10-15$, salvo en las figuras 10-a ($a^*=3,997$) y 14-a ($a^*=6,867$). Respecto al parámetro b^* todos los colores viran hacia los tonos cálidos, por la presencia de la tonalidad amarilla en todos los casos; y es que, todas las figuras presentan valores próximos (entre $b^*=15-20$), salvo en las figuras 10-a y 14-a que el valor de b^* es más bajo, $b^*=4,357$ y $b^*=8,50$, respectivamente. También se puede apreciar que b^* es mayor en la figura 9-a ($b^*=22,92$).

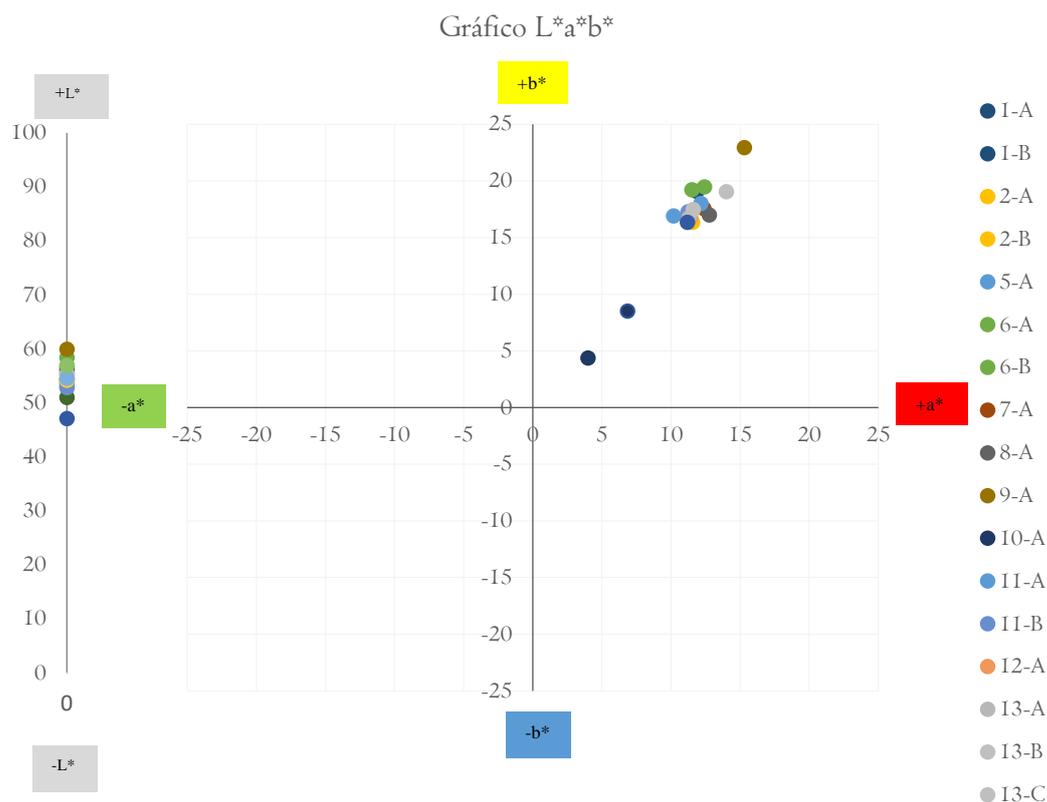


Gráfico 6. Parámetros colorimétricos de las figuras del abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*.

- **Mediciones colorimétricas para el testado empírico de los consolidantes *in situ*.**

El estudio colorimétrico de los consolidantes *in situ* se realizó previo a la aplicación de los mismos y tras la aplicación de los consolidantes para valorar la variación cromática tras un envejecimiento natural de siete meses. Los resultados se muestran en la *Tabla 8* y se representan en el *Gráfico 7*.

Tabla 8. Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de los consolidantes *in situ*.

	ANTES			DESPUÉS			DIFERENCIA DE COLOR			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE*
<i>Nanorestore 100%</i>	40,11	15,77	15,41	42,99	12,97	12,63	2,88	-2,80	-2,78	4,88
<i>Nanorestore 50%</i>	42,33	14,46	15,39	43,960	12,14	12,51	1,63	-2,32	-2,88	4,04
<i>Nanorestore 25%</i>	41,22	15,17	14,90	44,28	13,72	14,19	3,06	-1,45	-0,71	3,46
<i>Nano Estel 100%</i>	42,72	10,287	11,99	53,033	8,237	8,79	10,31	-2,05	-3,20	10,99
<i>Nano Estel 75%</i>	39,19	11,72	12,36	51,07	9,38	8,21	11,87	-2,34	-4,15	12,79
<i>Nano Estel 50%</i>	42,00	15,770	16,22	48,157	8,107	6,90	6,16	-7,66	-9,32	13,55
<i>Nano Estel 25%</i>	40,95	10,107	11,01	44,563	10,53	9,24	3,61	0,42	-1,77	4,05
<i>Tecnadis Solidus 100%</i>	36,46	10,61	10,86	33,08	9,91	9,52	-3,38	-0,70	-1,34	3,70
<i>Tecnadis Solidus 75%</i>	38,10	11,27	11,51	39,55	10,467	10,22	1,46	-0,80	-1,29	2,10
<i>Tecnadis Solidus 50%</i>	36,54	11,117	10,237	37,61	10,14	11,08	1,08	-0,98	0,84	1,68
<i>Tecnadis Solidus 25%</i>	42,09	10,203	11,26	35,373	10,367	10,87	-6,71	0,16	-0,39	6,73
<i>Wacker OH100 100%</i>	40,35	13,25	13,047	38,43	11,42	11,77	-1,91	-1,83	-1,27	2,94

En este estudio se observa un comportamiento diferente de cada uno de los consolidantes. La mayoría de consolidantes aclaran la superficie, salvo *Tecnadis® Solidus* al 25 y 100% ($\Delta L^*=-6,71$ y $-3,38$, respectivamente) y *Wacker® OHI100* ($\Delta L^*=-1,91$), es decir, tiende a oscurecer respecto al estado inicial. En cuanto a los valores de a^* se produce un descenso, pero se mantiene en valores positivos, por lo que mantiene una tonalidad rojiza. En cambio, en *Nano Estel®* 25% y *Tecnadis® Solidus* 25% se ha incrementado levemente el valor de a^* . Un hecho similar se puede observar en los valores de b^* , la mayoría de las medidas han sufrido un descenso de ese parámetro, aunque continúa en los valores positivos, por lo que ha disminuido la tonalidad amarillenta y ha virado a una tonalidad azulada. Solamente *Tecnadis® Solidus* 50% ha experimentado un leve incremento de b^* ($\Delta b^*=0,84$).

Gráfico $L^*a^*b^*$

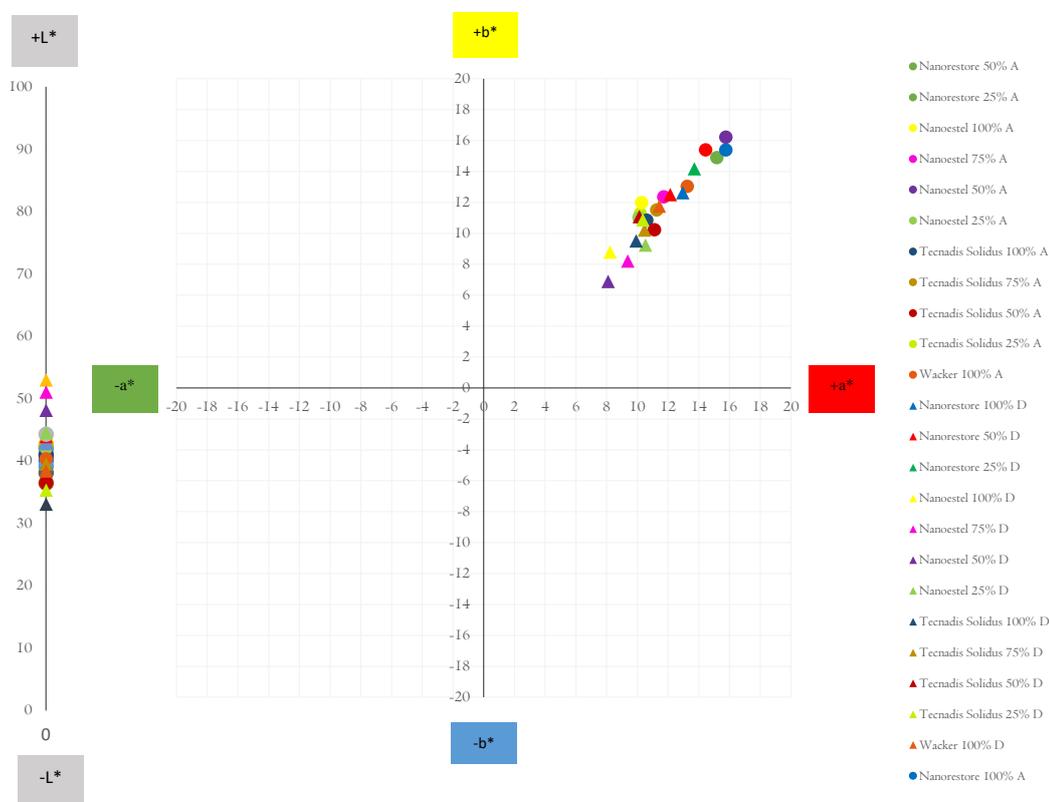


Gráfico 7. Parámetros colorimétricos del testado de los consolidantes *in situ*.

En términos generales, se puede comprobar que la aplicación de los consolidantes producen cambios cromáticos perceptibles por el ojo humano, ya que se supera la diferencia de color total ($\Delta E^*=2,5$) que es recomendada para patrimonio (MELGOSA, *et al.*, 2001). Así, la diferencia de color más considerable es la que ha producido *Nano Estel®* en todas sus concentraciones con diferencias de color $\Delta E^*=10,99$; $12,79$; $13,55$ y $4,05$. En cambio, los productos que han producido una variación cromática inapreciable son *Tecnadis® Solidus* 75, 50% ($\Delta E^*=2,10$ y $1,68$), y también *Wacker® OHI100*, aunque sobrepasa mínimamente el máximo permitido ($\Delta E^*=2,94$). En cambio, *Tecnadis® Solidus* 25% experimenta una diferencia de color total por encima de 6.

- **Mediciones colorimétricas en cada una de las probetas.**

Tras la evaluación de los productos consolidantes y determinar el porcentaje y método de aplicación (ver *Anexo II*), se realizó el estudio colorimétrico en las probetas para testar las variaciones cromáticas que pudieran experimentar⁶². Como se puede observar en la *Tabla 9* y *Gráfico 8*, se han realizado mediciones en dos probetas por cada producto.

Tabla 9. Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas antes y después del tratamiento.

	ANTES			DESPUÉS			DIFERENCIA DE COLOR			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
<i>Wacker OHI100 100%-1</i>	47,51	14,887	17,54	45,05	15,71	16,66	-2,46	0,82	-0,88	2,74
<i>Wacker OHI100 100%-2</i>	45,28	17,13	15,94	41,89	18,45	16,71	-3,38	1,32	0,78	3,71
<i>Tecnadis Solidus 100%-1</i>	43,64	18,27	16,45	39,98	17,81	16,03	-3,66	-0,47	-0,42	3,71
<i>Tecnadis Solidus 100%-2</i>	46,03	9,317	15,93	37,05	9,37	14,04	-8,98	0,05	-1,88	9,18
<i>Nano Estel 25%-1</i>	40,64	9,677	15,69	43,90	7,57	12,35	3,26	-2,10	-3,34	5,12
<i>Nano Estel 25%-2</i>	40,91	9,090	14,68	41,40	8,68	13,34	0,49	-0,41	-1,33	1,48
<i>Nanorestore 100%-1</i>	51,49	16,733	17,51	53,34	15,74	16,03	1,85	-0,99	-1,48	2,57
<i>Nanorestore 100%-2</i>	42,11	11,26	14,34	46,80	9,40	12,05	4,69	-1,86	-2,28	5,54

Se puede comprobar que los resultados cromáticos son dispares en un mismo consolidante, pues existe una diferencia de comportamiento aun habiendo sido aplicadas es las mismas condiciones. En primer lugar, la luminancia ha descendido en los consolidantes organosilíceos (*Wacker® OHI100* y *Tecnadis® Solidus*), por tanto, el material se ha oscurecido, observándose en *Tecnadis® Solidus-2* la mayor disminución ($\Delta L^*=-8,98$), y en *Wacker® OHI100-1* el menor descenso ($\Delta L^*=-2,46$). En cambio, en los consolidantes con nanopartículas (*Nano Estel®* y *Nanorestore®*) la luminosidad se ha incrementado, especialmente en *Nanorestore®-2* ($\Delta L^*=4,69$). Y, la menor variación de luminosidad la ha experimentado *Nano Estel®-2* con $\Delta L^*=0,49$. Respecto a los valores de a^* , de nuevo existe una diferencia entre el material nanoparticulado y el organosilíceo, pues en estos últimos, salvo en *Tecnadis® Solidus 100%-1*, existe una ligera intensificación hacia el color rojo, especialmente en *Wacker® OHI100-2* ($\Delta a^*=1,32$). Como se señalaba, *Tecnadis® Solidus-1* ha descendido su valor de a^* ($\Delta a^*=-0,47$), pero sigue manteniéndose en el rango de los rojos. Por otra parte, en cuanto a los parámetros b^* , en todos los casos, salvo en *Wacker® OHI100* ($\Delta b^*=0,78$), los consolidantes han enfriado la superficie, pues se observa una tendencia negativa de b^* , aunque se mantiene dentro de la tonalidad amarilla. No obstante, el consolidante que más ha enfriado la superficie ha sido *Nano Estel®-1* ($\Delta b^*=-3,34$).

⁶² Se realizaron mediciones colorimétricas a todas las probetas antes y después de la aplicación de los consolidantes, pero en este capítulo sólo vamos a ver una muestra representativa de las mismas.

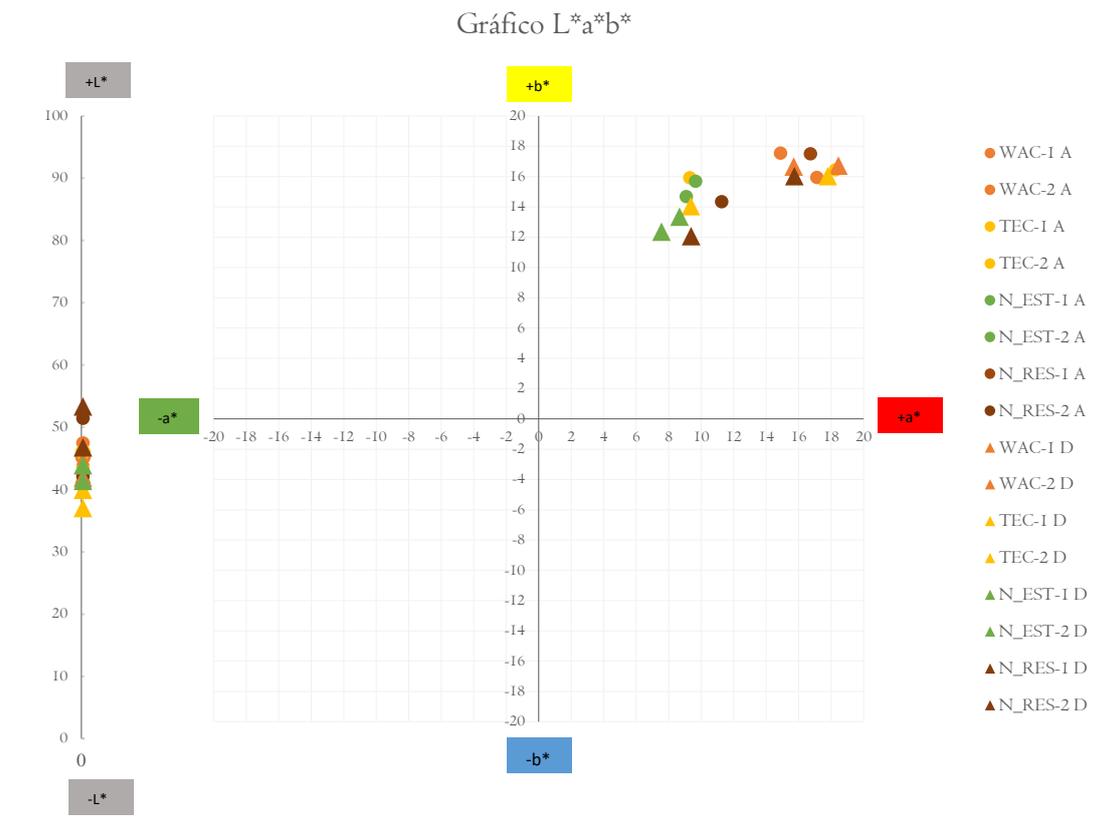


Gráfico 8. Parámetros colorimétricos antes y después de la aplicación de los consolidantes en probetas.

De manera general, las probetas *Wacker® OH100-I*, *Nano Estel®-2* y *Nanorestore®-I* ($\Delta E^* = 2,74$; 1,48 y 2,57, respectivamente), apenas han sufrido variación de color, ya que se sitúan dentro o próximos a $\Delta E^* 2,5$ valor a partir del cual el cambio cromático es perceptible por el ojo humano. El cambio de color más considerable lo experimenta *Tecnadis® Solidus-2* ($\Delta E^* = 9,18$), debido a que ha oscurecido considerablemente el material. Aunque, en conjunto, las probetas han tendido a oscurecerse y enfriarse.

VII.5 ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Con el fin de determinar si existe un cambio en las propiedades del material tratado, se han sometido dieciséis probetas⁶³ a ciclos de alteración acelerada en la cámara climática *KMF240* de *Binder*⁶⁴ (Fig. 59). El ensayo se ha realizado siguiendo las indicaciones de la norma ASTM D1183-03:2019.



Figura 59. Probetas en el interior de la cámara climática previo al inicio del ciclo de envejecimiento. Fuente: SERRANO, 2020.

Todas las probetas fueron visualizadas y estudiadas previamente con microscopio digital USB y SEM-EDX, tanto antes como después del ensayo; también se realizaron mediciones colorimétricas con la metodología explicada anteriormente.

Para evaluar el comportamiento y estabilidad superficial de los consolidantes sobre el material pétreo se van a ver los resultados obtenidos tras la visualización de la superficie pétrea de cada una de las probetas previo y después de someterlas a ciclos de envejecimiento acelerado.

Además, los resultados colorimétricos con los que se compara la diferencia de color de las superficies tratadas antes y después de someterse al ciclo de envejecimiento acelerado.

⁶³ Ocho probetas de 3x3x3 cm y ocho de 1x1x1 cm.

⁶⁴ Consultar la ficha técnica en *Anexo VI*.

- Resultados de microscopía:

MICROSCOPIA DIGITAL
DigiMicroscope USB Reflecta®
WACKER® OH100

ANTES

1



Figura 60. Probeta de Wacker® OH100-1, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

2



Figura 62. Probeta de Wacker® OH100-2, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

1

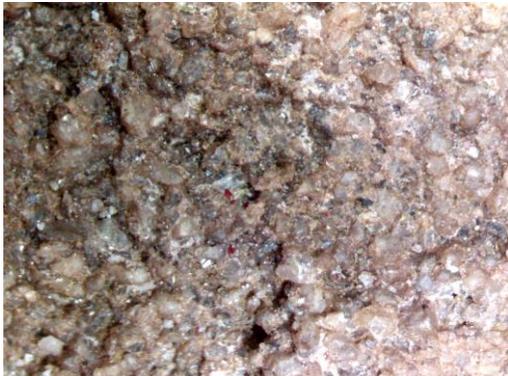


Figura 61. Probeta de Wacker® OH100-1, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

2

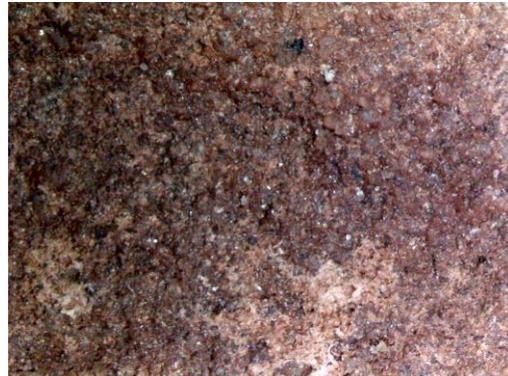


Figura 63. Probeta de Wacker® OH100-2, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

TECNADIS® SOLIDUS

ANTES

1



Figura 64. Probeta de *Tecnadis® Solidus-1*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

2

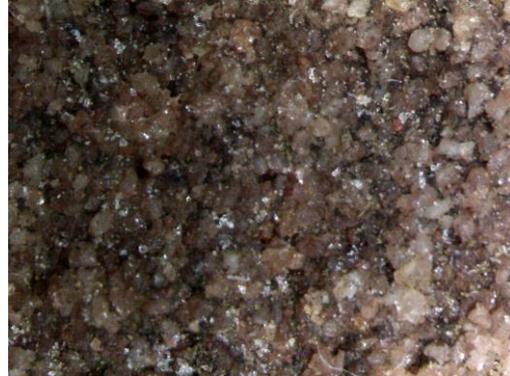


Figura 66. Probeta de *Tecnadis® Solidus-2*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

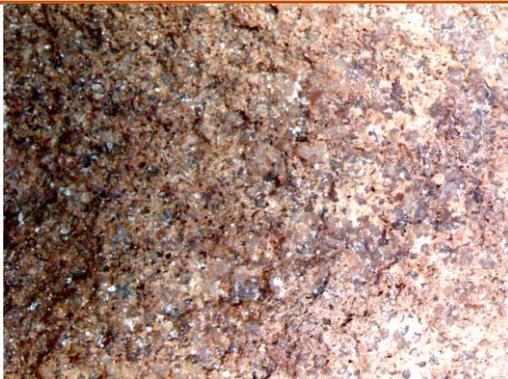


Figura 65. Probeta de *Tecnadis® Solidus-1*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 67. Probeta de *Tecnadis® Solidus-2*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una posible contracción del consolidante por posible acumulación serpenteante blanquecina (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

NANO ESTEL®

ANTES

1



Figura 68. Probeta de *Nano Estel®-1* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

2



Figura 70. Probeta de *Nano Estel®-2*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS



Figura 69. Probeta de *Nano Estel®-1* tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 71. Probeta de *Nano Estel®-2*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

NANORESTORE®

ANTES

1

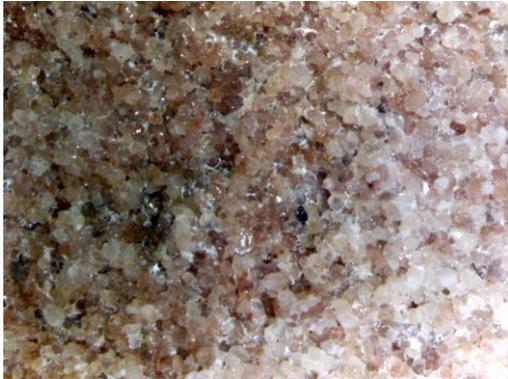


Figura 72. Probeta de *Nanorestore®-1* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

2

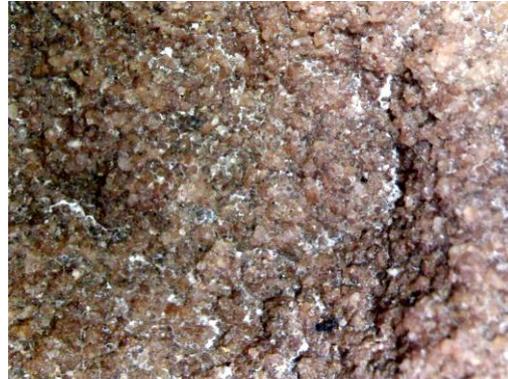


Figura 74. Probeta de *Nanorestore®-2* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

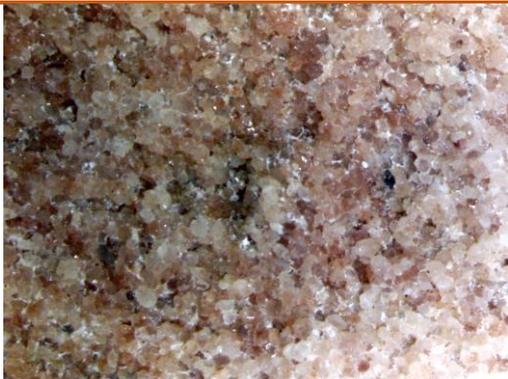


Figura 73. Probeta de *Nanorestore®-1* tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 75. Probeta de *Nanorestore®-2* tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (57x). Fuente: SERRANO, 2020.

SEM-EDX
S-4800

WACKER® OHI100

ANTES

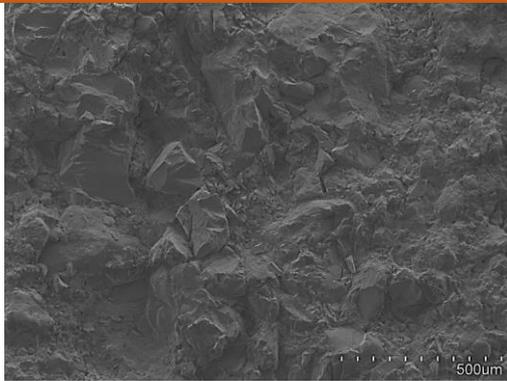


Figura 76. Probeta de Wacker® OHI100-I, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (80x). Fuente: SERRANO, 2020.

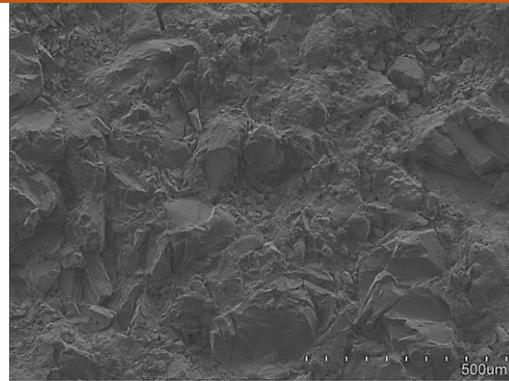


Figura 77. Probeta de Wacker® OHI100-I, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (100x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

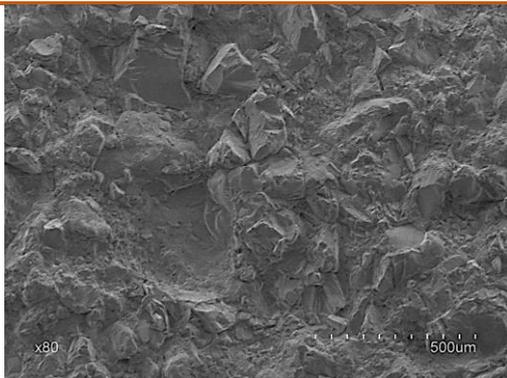


Figura 78. Probeta de Wacker® OHI100-I, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (80x). Fuente: SERRANO, 2020.

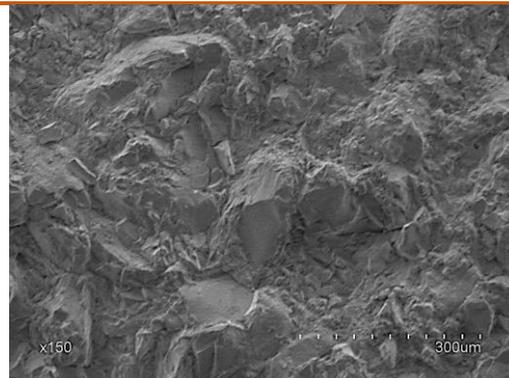


Figura 79. Probeta de Wacker® OHI100-I, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (150x). Fuente: SERRANO, 2020.

TECNADIS® SOLIDUS

ANTES

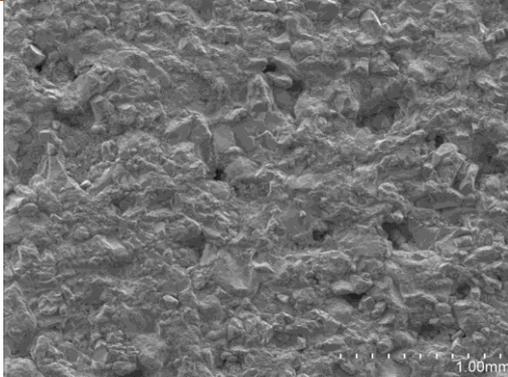


Figura 80. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (40x). Fuente: SERRANO, 2020.

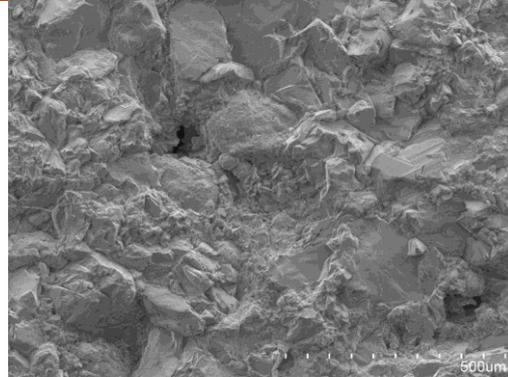


Figura 81. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento (110x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

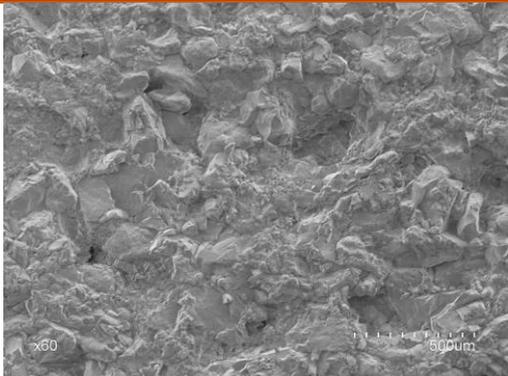


Figura 82. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se observan ciertas aglomeraciones (60x). Fuente: SERRANO, 2020.

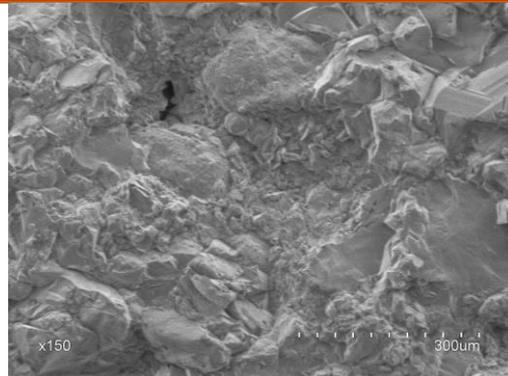


Figura 83. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una posible acumulación desigual del consolidante (150x). Fuente: SERRANO, 2020.

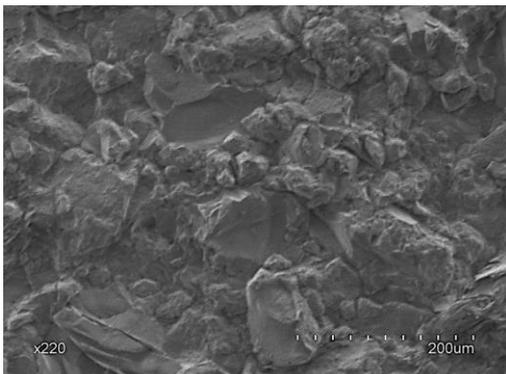


Figura 84. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una posible acumulación desigual del consolidante (220x). Fuente: SERRANO, 2020.

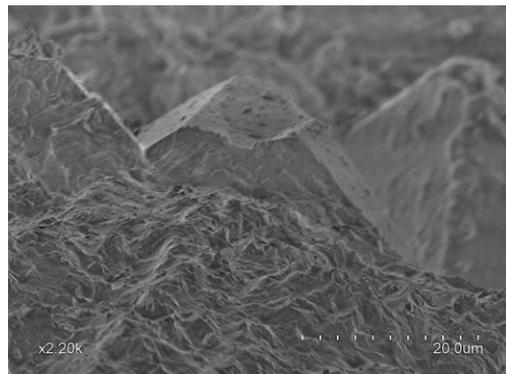


Figura 85. Probeta de *Tecnadis® Solidus-I*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una posible acumulación desigual del consolidante (2200x). Fuente: SERRANO, 2020.

NANO ESTEL®

ANTES

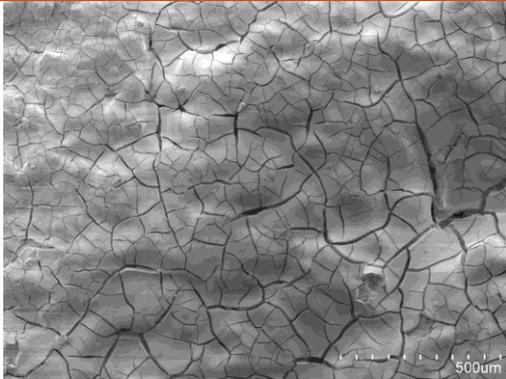


Figura 86. Probeta de *Nano Estel®-I* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia agrietamiento generalizado (40x). Fuente: SERRANO, 2020.

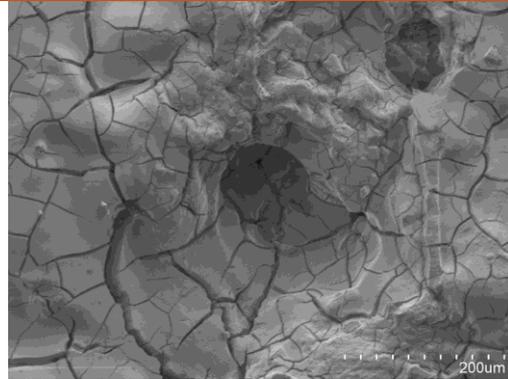


Figura 87. Probeta de *Nano Estel®-I*, tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia agrietamiento generalizado (110x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS

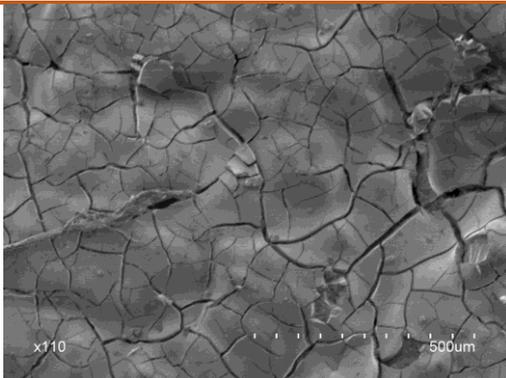


Figura 88. Probeta de *Nano Estel®-I* tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se observan levantamiento en los labios de las grietas y desprendimientos del consolidante. (110x). Fuente: SERRANO, 2020.

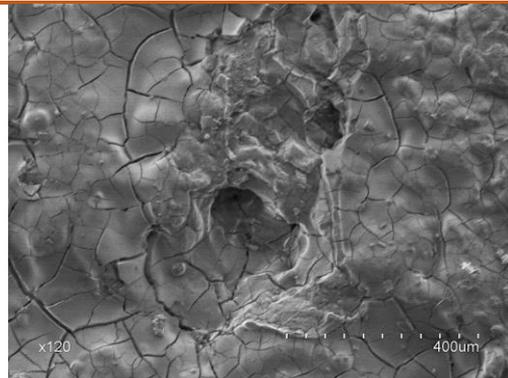


Figura 89. Probeta de *Nano Estel®-*, tras someterse al ciclo de envejecimiento. No se aprecia modificación superficial (120x). Fuente: SERRANO, 2020.

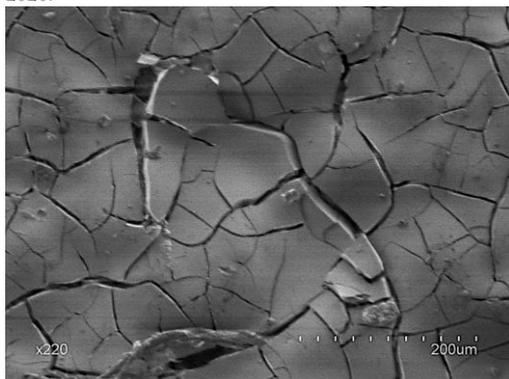


Figura 90. Probeta de *Nano Estel®-I* tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se observan levantamiento en los labios de las grietas. (220x). Fuente: SERRANO, 2020.

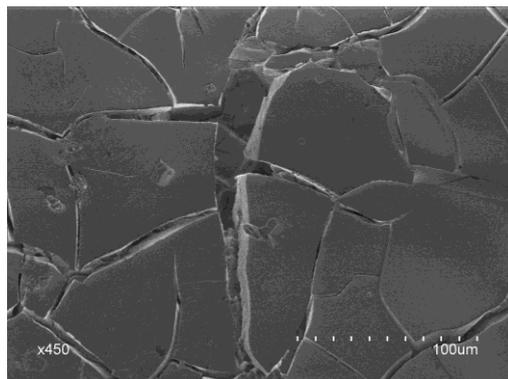


Figura 91. Probeta de *Nano Estel®-I* tras someterse al ciclo de envejecimiento. Detalle de uno de los levantamientos (450x). Fuente: SERRANO, 2020.

NANORESTORE®

ANTES



Figura 92. Probeta de *Nanorestore®-I* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento. Se observa agrietamiento en zonas con mayor acumulación de producto (110x). Fuente: SERRANO, 2020.

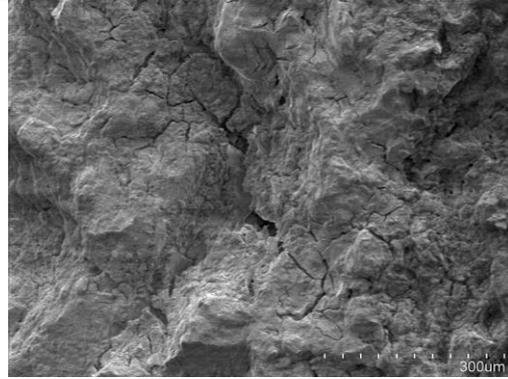


Figura 93. Probeta de *Nanorestore®-I* tras la aplicación antes de someterse al ciclo de envejecimiento. Se observa agrietamiento en zonas con mayor acumulación de producto (150x). Fuente: SERRANO, 2020.

DESPUÉS



Figura 94. Probeta de *Nanorestore®-I* tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una ligera transformación, mayor aumento de relieve superficial (110x). Fuente: SERRANO, 2020.

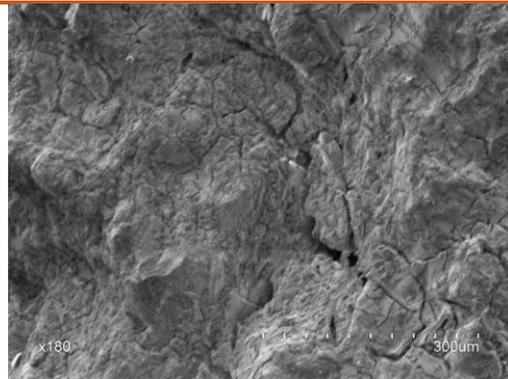


Figura 95. Probeta de *Nanorestore®-I* tras someterse al ciclo de envejecimiento. Se aprecia una ligera transformación, mayor aumento del relieve superficial (180x). Fuente: SERRANO, 2020.

- **Resultados de colorimetría:**

Se exponen los resultados obtenidos tras la aplicación de los productos y tras someterlos al ciclo de envejecimiento acelerado en la *Tabla 10* y el *Gráfico 9*.

Tabla 10. Datos medios del estudio colorimétrico en sistema CIEL*a*b* de las probetas después del tratamiento y tras un ciclo en cámara de envejecimiento.

	DESPUÉS APLICACIÓN			CÁMARA ENVEJECIMIENTO			DIFERENCIA DE COLOR			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
WAC-1	45,05	15,71	16,66	44,01	15,25	16,76	-1,04	-0,46	0,10	1,14
WAC-2	41,89	18,45	16,71	42,27	17,67	15,800	0,38	-0,78	-0,91	1,26
TEC-1	39,98	17,81	16,03	41,29	18,16	16,58	1,31	0,36	0,54	1,46
TEC-2	37,05	9,37	14,04	38,31	9,55	13,06	1,26	0,18	-0,98	1,61
N_EST-1	43,90	7,57	12,35	44,21	8,21	12,91	0,31	0,64	0,56	0,90
N_EST-2	41,40	8,68	13,34	36,42	8,45	10,25	-4,98	-0,23	-3,09	5,86
N_RES-1	53,34	15,74	16,03	51,92	16,02	15,99	-1,42	0,28	-0,05	1,45
N_RES-2	46,80	9,40	12,05	45,45	8,73	12,73	-1,35	-0,67	0,67	1,65

Respecto a los parámetros colorimétricos obtenidos tras la cámara climática de envejecimiento, se observa que algunas muestras han perdido luminosidad y otras han ganado, aun tratándose del mismo producto, como se puede ver en *Wacker® OH100* ($\Delta L^* = -1,04$ y $0,38$) y en *Nano Estel®* ($\Delta L^* = 0,31$ y $-4,98$). En cambio, *Nanorestore®*, ha perdido luminosidad ($\Delta L^* = -1,42$ y $-1,35$) y *Tecnadis® Solidus* ha ganado ($\Delta L^* = 1,31$ y $1,26$), en ambos casos en el mismo producto los valores son muy próximos. En cuanto a los valores de a^* , *Wacker® OH100* ha experimentado una disminución de ese parámetro ($\Delta a^* = -0,46$; $-0,76$), aunque se mantiene en la tonalidad rojiza. En cambio, *Tecnadis® Solidus* ha aumentado ligeramente la tonalidad rojiza ($\Delta a^* = 0,36$; $0,18$), saturándose el color. Las probetas con *Nano Estel®* y *Nanorestore* han actuado de manera distinta, aun siendo el mismo producto, *Nano Estel®-I* y *Nanorestore®-I* han incrementado los valores de a^* , pero los otros han disminuido. De un modo similar sucede con el parámetro b^* , cada una de las muestras independientemente del producto empleado, éstos han disminuido o incrementado su valor. Especialmente *Nano Estel®-2* ha descendido $-3,09$ tendiendo a enfriarse cromáticamente la superficie. Siendo *Nanorestore®-2* el producto que más ha incrementado su valor ($\Delta b^* = 0,67$).

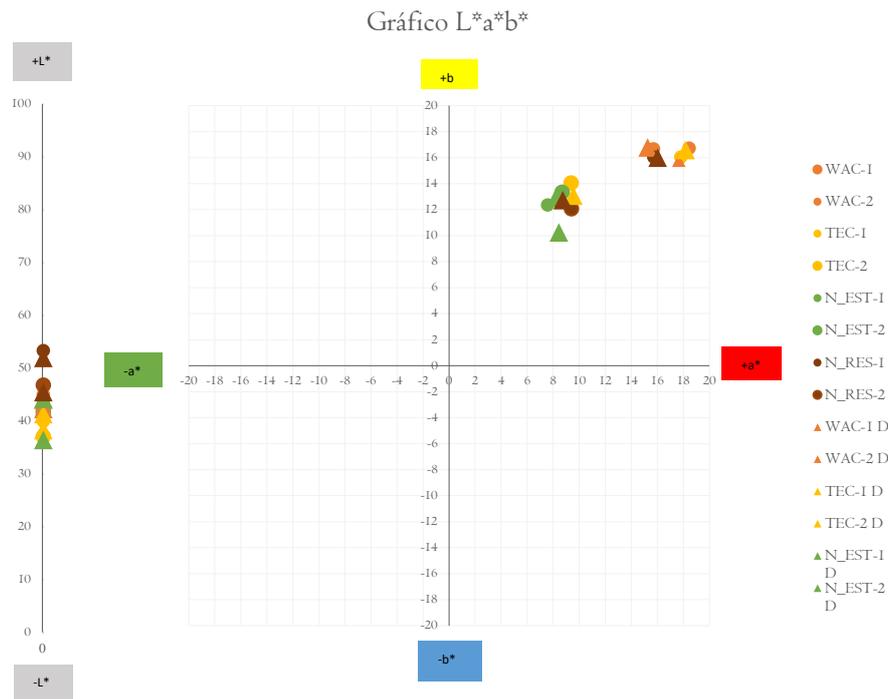


Gráfico 9. Parámetros colorimétricos después de la aplicación de los consolidantes y tras cámara climática de envejecimiento.

Pese a los incrementos y disminuciones de las coordenadas L*a*b*, se observa que la diferencia de color total de todos los productos no es perceptible por el ojo humano, ya que se encuentra por debajo de 2,5, pero que sumado a la diferencia de color ya anotada tras la aplicación de los consolidantes esta diferencia aumenta. Solamente ha sido sobrepasada esta diferencia por *Nano Estel®-2* ($\Delta E^* = 5,86$), y por el contrario el mismo producto (*Nano Estel®-1*) es la probeta que menos cambio de color ha generado ($\Delta E^* = 0,90$).

VII.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CRISTALIZACIÓN DE SALES

Para evaluar la durabilidad de los productos, se determinó la resistencia a la cristalización de sales, una de las patologías presentes en abrigo del *Navazo*. Gracias a este ensayo, recogido en la norma UNE-EN 12370:1999, se simularon las tensiones que se producen en el interior de los poros del material pétreo al cristalizar o hidratarse sales (VILLEGAS, 2003).

Se evaluaron quince probetas⁶⁵, de las cuales tres probetas estaban sin tratar y tres por cada producto consolidante (aplicados en todas las caras de la probeta), como describe la norma UNE-EN 12370:1999 (ver *II. Metodología*).



Figura 96. Probetas sumergidas en solución salina. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 97. Probetas tras un ciclo de cristalización de sales. Fuente: SERRANO, 2020.

Los resultados obtenidos de este ensayo se pueden contemplar en la *Tabla II*.

Tabla II. Resultados del ensayo de resistencia a la cristalización de sales.					
	ST	WAC	TEC_S	N_EST	N_RES
MASA INICIAL (M_i) (g)	56,82	54,80	59,25	52,49	47,60
MASA FINAL (M_f) (g)	56,80	54,60	59,18	52,40	47,52
DIFERENCIA RELATIVA DE MASAS (%)	-0,035	-0,365	-0,118	-0,171	-0,168

Como se puede observar, en todas las probetas existe una pérdida de masa, debida a la penetración de agua en la piedra. No obstante, existe una pérdida de masa menor en la probeta sin tratar (-0,035%) con respecto al material tratado, registrando la mayor pérdida las probetas tratadas con *Wacker® OHI00* (-0,365%).

⁶⁵ Diez probetas de 3x3x3 cm y cinco de 1x1x1 cm.

VII.7 ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Con el fin de determinar la cantidad y la velocidad a la que el material pétreo absorbe agua por capilaridad y establecer comparativas entre el material tratado y sin tratar, se ha realizado el ensayo hídrico de absorción de agua por capilaridad, según la norma UNE-EN 15801:2009, que está diseñada para evaluar el patrimonio cultural inorgánico y poroso.



Figura 98. Probetas tratadas y sin tratar sobre lecho permeable con agua destilada para la determinación de la absorción de agua por capilaridad.
Fuente: SERRANO, 2020.

En este ensayo se ha comparado la cantidad de agua absorbida por cada probeta ($Q=kg/m^2$)⁶⁶ en un tiempo determinado (s). Los resultados se representan en un gráfico para determinar y visualizar la curva de absorción (Gráfico 10).

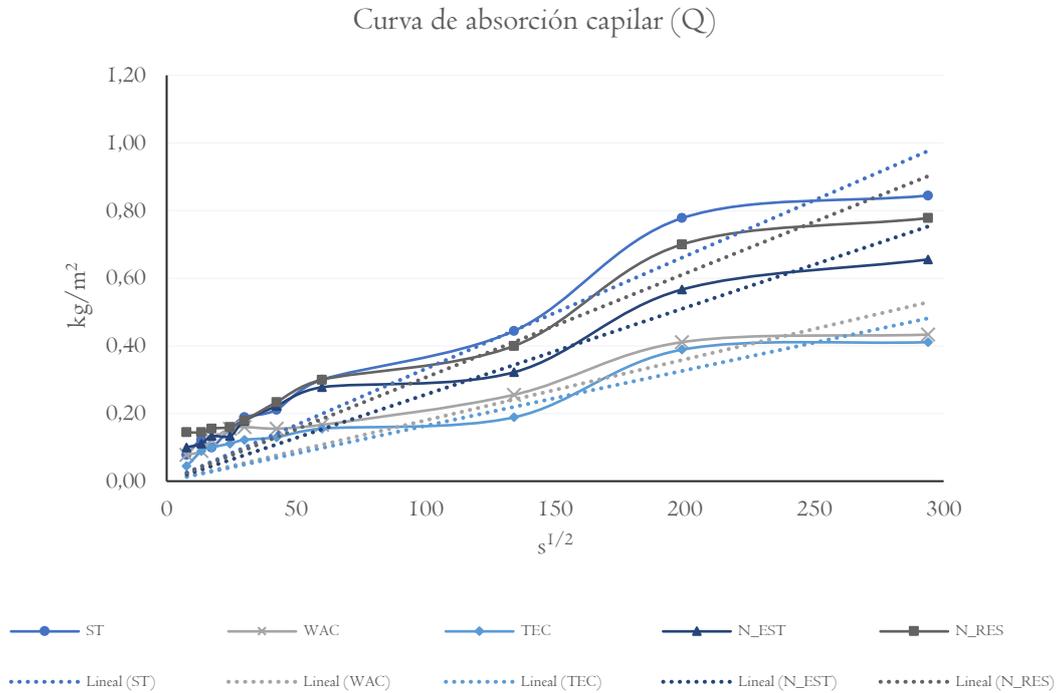


Gráfico 10. Curva de absorción capilar de material pétreo tratado y sin tratar.

Así mismo, con los valores obtenidos se ha podido determinar el coeficiente de absorción por capilaridad ($AC=kg/(m^2 \cdot s^{1/2})$) del material pétreo sin tratar y tratado, que se registra en la siguiente tabla (Tabla 12):

Tabla 12. Coeficiente de absorción ($AC \text{ kg}/(m^2 \cdot s^{1/2})$) de material tratado y sin tratar.

Muestras	AC $kg/(m^2 \cdot s^{1/2})$
<i>ST</i>	0,0063
<i>WAC</i>	0,0053
<i>TEC</i>	0,0041
<i>N_EST</i>	0,0059
<i>N_RES</i>	0,0060

Como se puede observar en el *Gráfico 10* la probeta que más ha incrementado su masa ha sido el material que está sin tratar (ST), registrando el mayor coeficiente de absorción ($0,0063 \text{ kg}/m^2 \cdot s^{1/2}$). Respecto al material tratado, la probeta que ha registrado mayor penetración del agua por capilaridad ha sido *Nanorestore®*, pues es el material tratado que ha experimentado un mayor incremento de su masa ($AC=0,0060 \text{ kg}/m^2 \cdot s^{1/2}$), siguiéndole *Nano Estel®* ($AC=0,0059 \text{ kg}/m^2 \cdot s^{1/2}$).

⁶⁶ La cantidad de agua absorbida por unidad de superficie (Q). Q se ha calculado siendo $Q (kg/m^2) = (m-m_0)/A$. Q se representa en el gráfico frente a la raíz cuadrada del tiempo ($s^{1/2}$).

Por el contrario, el valor más bajo registrado de coeficiente de absorción lo presenta *Tecnadis® Solidus* ($AC=0,0041 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$), tal y como se puede ver representado en el *Gráfico 10*. Este producto presenta una diferencia de $0,0019 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$ respecto a *Nanorestore®*.

En cambio, en un punto intermedio se sitúa *Wacker® OHI00*, y aunque en la curva de absorción se observa que se encuentra muy próximo a *Tecnadis® Solidus*, se puede determinar que la diferencia entre ambos es más acusada ($AC=0,0012 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$), ya que el coeficiente de absorción de *Wacker® OHI00* corresponde a $0,0053 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^{1/2}$.

VII.8 ENSAYO DE PENETRACIÓN MEDIANTE TINCIÓN

Para conocer el alcance del tratamiento propuesto es importante determinar la profundidad del consolidante en el interior del material pétreo se añadió *Rodamina B*⁶⁷ (BARREDA y ZALBIDEA, 2019) a los productos consolidantes y se aplicó sobre la superficie de las probetas (Fig. 98)⁶⁸.



Figura 98. Aplicación de productos consolidantes con Rodamina B mediante impregnación con pincel. Fuente: SERRANO, 2020.

Una vez aplicado el material teñido, las probetas se cortaron y se fotografiaron con el microscopio (*Leica® DMR* y *Leica® DM IRBE*⁶⁹, SCSIE, UV). Después tiene lugar el procesamiento de imágenes con *Photoshop® CS5* para medir la profundidad de penetración.

⁶⁷ La *Rodamina B* es un colorante orgánico heterocíclico fluorescente.

En un inicio del estudio se planteó teñir las probetas con Fucsina, pero no era miscible en los consolidantes *Tecnadis® Solidus* ni *Wacker® OH100*.

⁶⁸ El número de probetas utilizadas han sido ocho (cuatro de 3x3x3 cm y cuatro de 1x1x1 cm).

⁶⁹ Se utilizó el filtro nº 3.

Los resultados se muestran visualmente por la fluorescencia emitida por la *Rodamina B* tras ser procesadas las imágenes con *Photoshop® CS5* y se comparan los valores medios de penetración en la *Tabla 13*.

- *Nano Estel®* al 25%, aplicación por impregnación con pincel *wet on wet*.

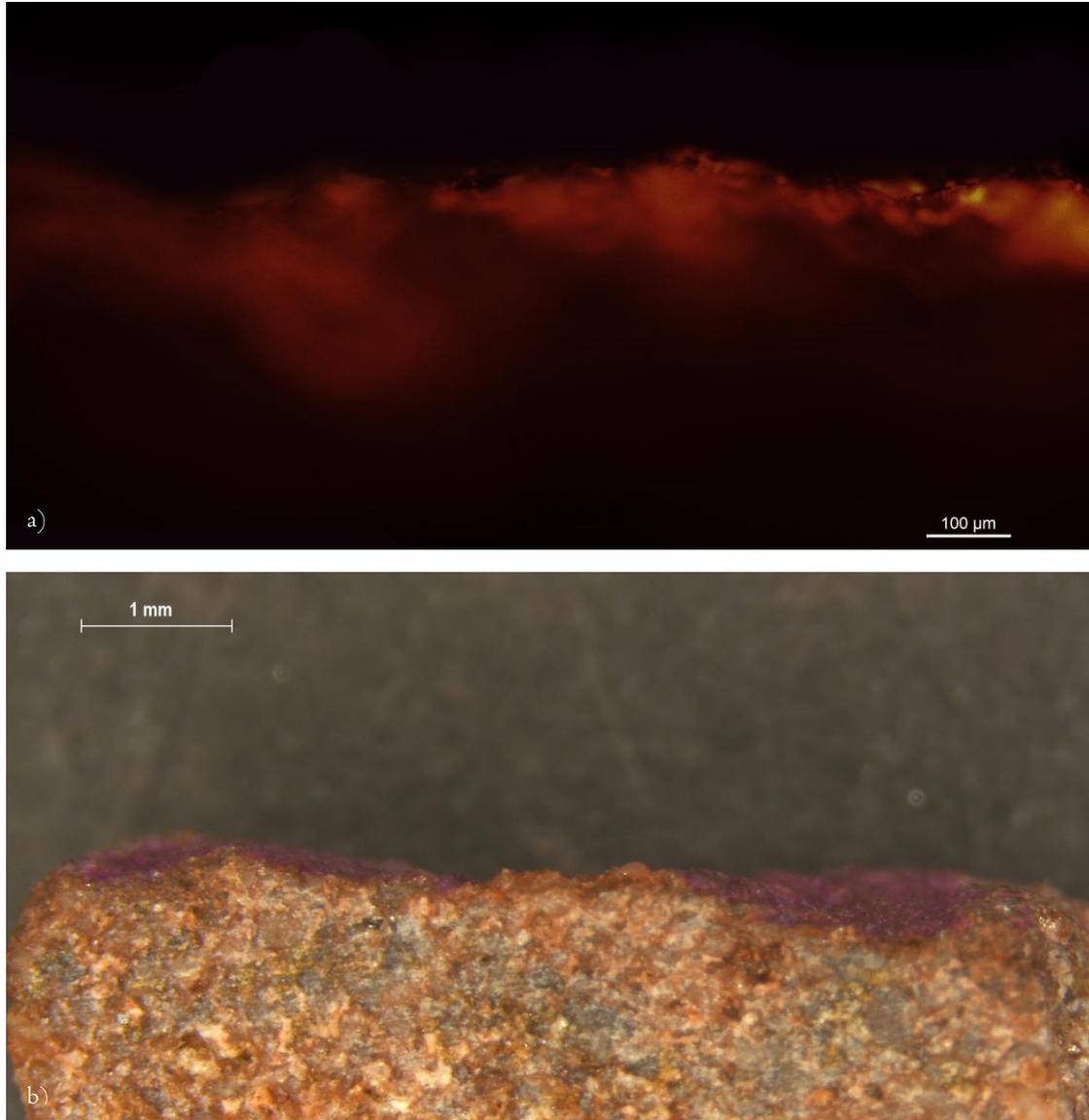


Figura 99. Probetas tratadas con *Rodamina B* para determinar el nivel de penetración de *Nano Estel®*; (a) Imagen adquirida con microscopía de fluorescencia (10x); (b) Imagen adquirida con microscopía MEST (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

- *Nanorestore*® al 100%, aplicación por impregnación con pincel *wet on wet*.

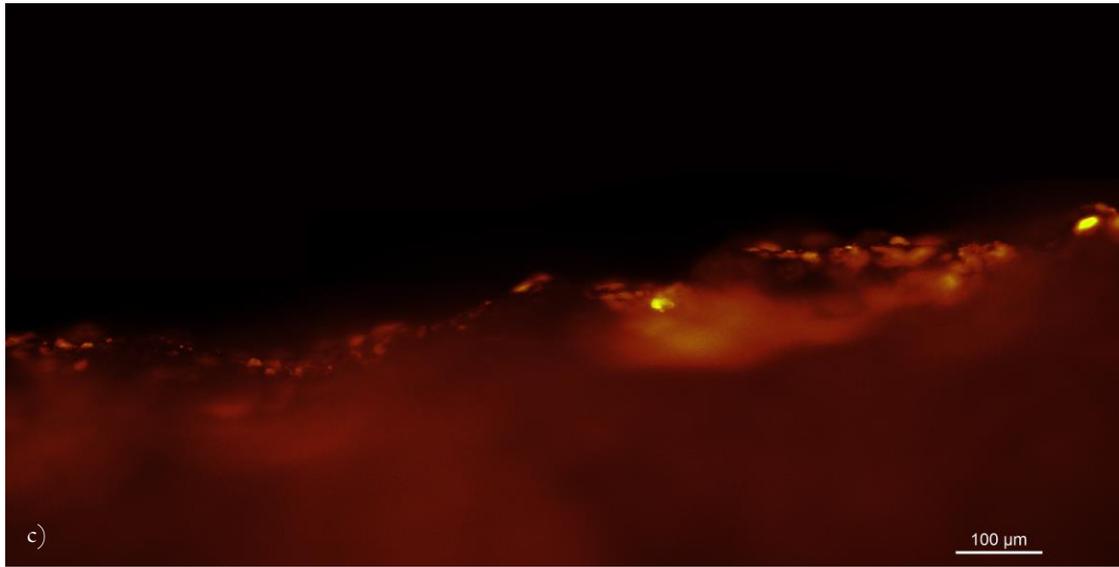


Figura 100. Probetas tratadas con *Rodamina B* para determinar el nivel de penetración de *Nanorestore*®; (c) Imagen adquirida con microscopía de fluorescencia (10x); (d) Imagen adquirida con microscopía MEST (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

- *Tecnadis® Solidus* al 100 %, aplicación por impregnación con pincel *wet on wet*.

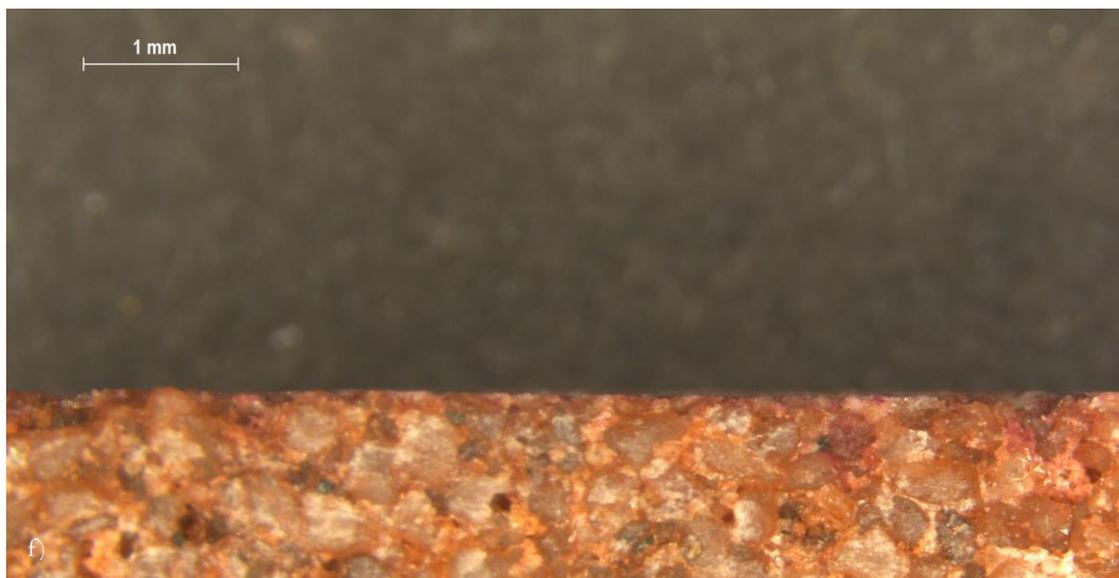
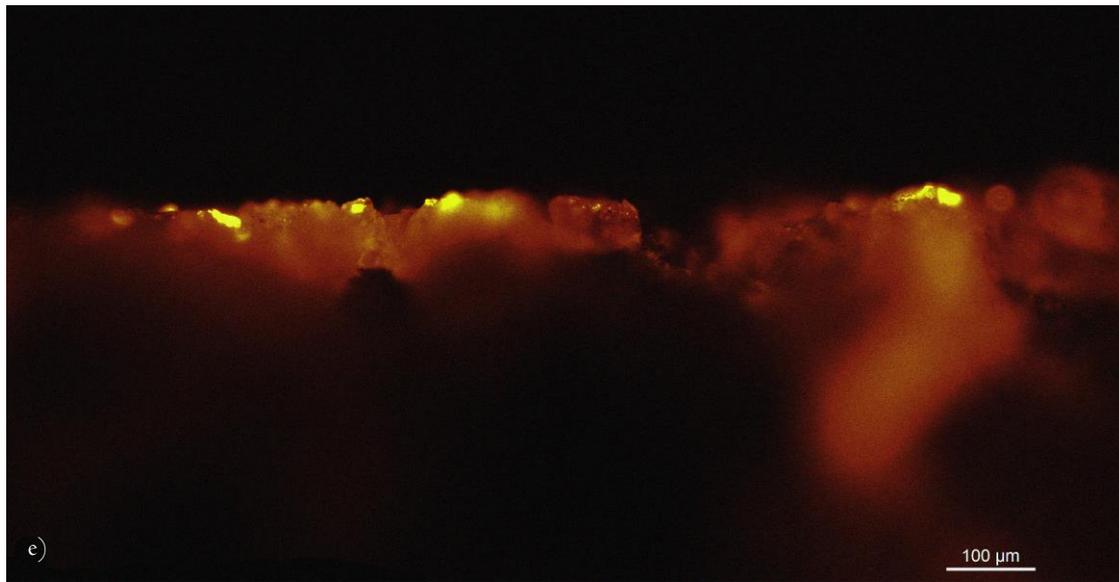


Figura 10I. Probetas tratadas con *Rodamina B* para determinar el nivel de penetración de *Tecnadis® Solidus*; (e) Imagen adquirida con microscopía de fluorescencia (10x); (f) Imagen adquirida con microscopía MEST (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

- *Wacker® OHI00* al 100%, aplicación por impregnación con pincel *wet on wet*.

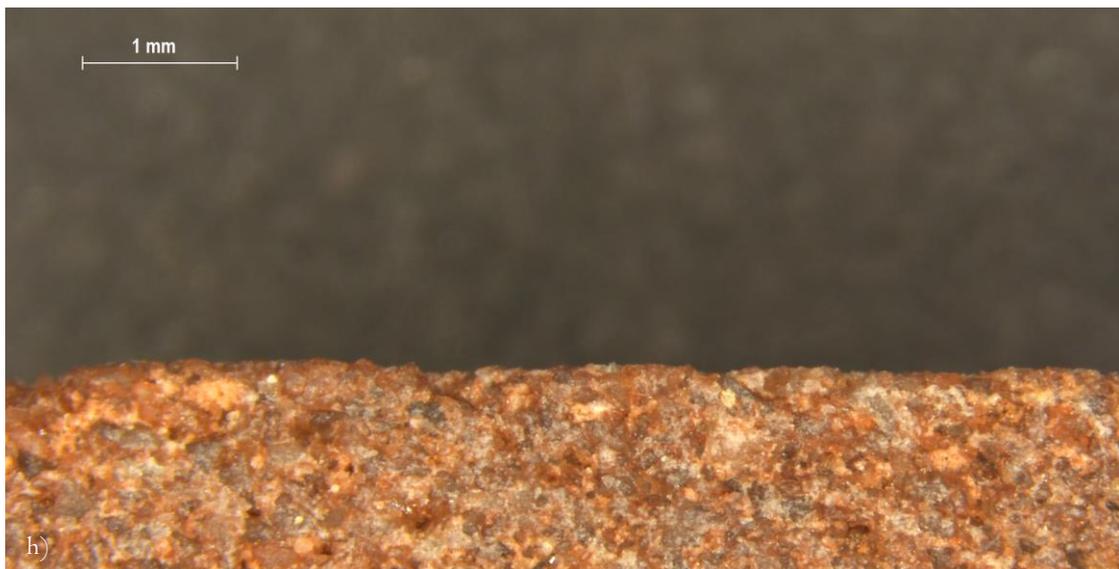
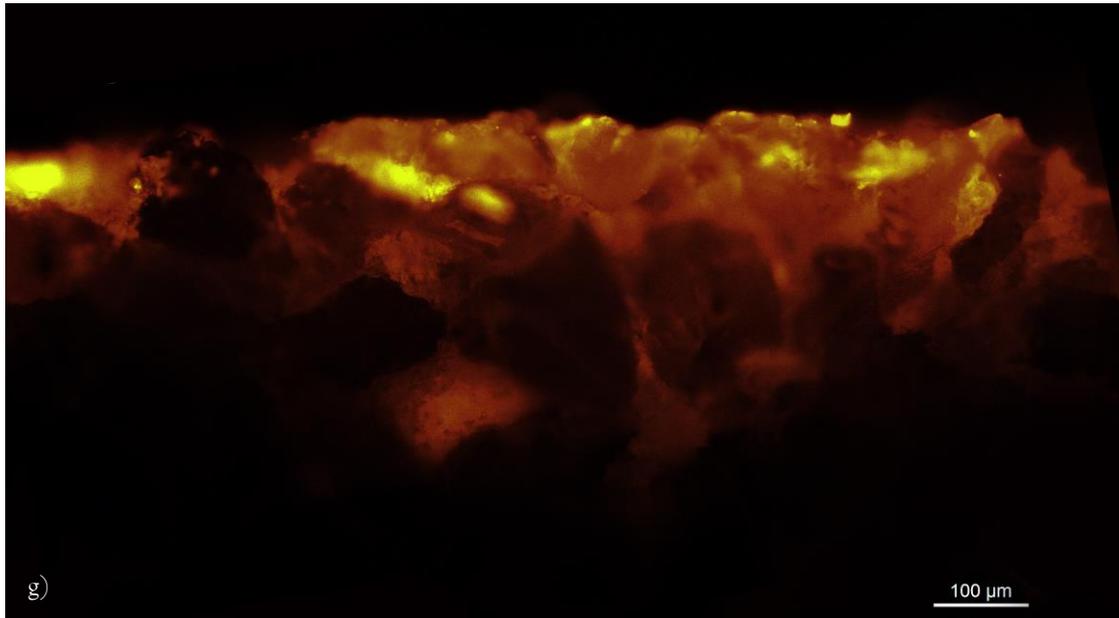


Figura 102. Probetas tratadas con *Rodamina B* para determinar el nivel de penetración de *Wacker® OHI00*; (g) Imagen adquirida con microscopía de fluorescencia (10x); (h) Imagen adquirida con microscopía MEST (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

Como se puede observar (Figs. 99a, 100c, 101e y 102g) se muestran imágenes binarias tomadas con el microscopio de fluorescencia, procesadas con *Photoshop® CS5*. En ellas se aprecia como la penetración de todos los productos es desigual, pero su distribución superficial es homogénea. También, se puede ver que existe una señal fluorescente más intensa en algunos puntos en todos los consolidantes, que se traduce en las imágenes en una tonalidad amarillenta, observándose especialmente en *Nanorestore®*, *Tecnadis® Solidus* y *Wacker® OHI100*, por lo que la absorción es irregular.

Tanto en *Tecnadis® Solidus* como en *Wacker® OHI100*, se aprecia una penetración más profunda en zonas concretas, que pudiera corresponder con grietas superficiales.

En cambio, en las imágenes adquiridas con el microscopio estereoscópico no se aprecia ningún tipo de penetración (Figs. 99b, 100d, 101f y 102h). Por ello, gracias a las imágenes con fluorescencia, se ha podido calcular los valores medios de penetración (Tabla 13) gracias a la medición en diferentes puntos de las mismas⁷⁰. Se ha determinado que el producto que más ha penetrado ha sido *Nanorestore®* (0,316 mm), pudiéndose corroborar con las imágenes adquiridas. Por el contrario, los consolidantes que menos han penetrado han sido *Nano Estel®* y *Tecnadis® Solidus*, además presentan una profundidad de penetración muy similar (0,162 y 0,164 mm, respectivamente). Así, en un punto intermedio con buenos resultados se situaría *Wacker® OHI100* (0,227 mm).

Tabla 13. Valores medios de profundidad de penetración obtenidos a través del procesado con <i>Photoshop® CS5</i> .				
	Min. (µm)	Max. (µm)	Media (µm)	Prof. Penetración media (mm)
<i>Nanoestel</i>	89,21	277,56	162,73	0,162
<i>Nanorestore</i>	229,38	412,37	316,48	0,316
<i>Tecnadis Solidus</i>	60,59	354,36	164,32	0,164
<i>Wacker OHI100</i>	86,48	412,17	227,01	0,227

⁷⁰ Se han realizado 13 mediciones de la penetración en vertical en cada una de las imágenes procesadas con *Photoshop® CS5*.



VIII. CONCLUSIONES

Los tratamientos de conservación y restauración, y en especial las intervenciones de consolidación llevadas a cabo en arte Levantino, han sido poco respetuosas con los materiales originales. El uso de determinados materiales como cemento o resinas sintéticas son poco apropiados, siendo evidenciadas (por autores de prestigio) sus contraindicaciones para la conservación-restauración. Aun así, en numerosos abrigos con arte rupestre han sido utilizados de un modo ordinario. Este hecho unido a la poca documentación (o al menos poco accesible) de estos procesos y la información poco relevante que ofrecen las publicaciones existentes, genera la necesidad de proponer tratamientos de consolidación específicos y contrastados tanto científica como empíricamente para poder acometer intervenciones respetuosas y rigurosas en arte Levantino.

En la actualidad existen múltiples productos idóneos para su uso en conservación-restauración que permiten, en función del estado de conservación, proponer diferentes tratamientos adecuados. Por ello, es importante conocer en profundidad cómo se encuentra el bien y realizar un exhaustivo análisis del estado de conservación y las posibles causas que han determinado su estado actual.

De esta manera se ha estudiado el abrigo de *Los Toros del Prado del Navazo*, ejemplo de arte Levantino con unas características muy particulares, para poder determinar un tratamiento de consolidación apropiado, ya que este abrigo cuenta con un estado de conservación grave por varios motivos.

Hay que tener en cuenta que el paso del tiempo ha dejado una huella irreversible, ya que impide conocer datos relevantes que ayudarían a interpretar su deterioro. Ejemplo de ello sería la posible ausencia de aglutinante pictórico, que no sólo ayudaría a estudiar la técnica de ejecución de las pinturas, sino que contribuiría a un estudio de datación aproximado del mismo, y también orientaría a adecuar un tratamiento de conservación y restauración integral conociendo qué materiales pueden emplearse. Por otra parte, este abrigo es un ejemplo magnífico (junto con todos los abrigos del Arco Mediterráneo) de estudio porque debido a su relevancia histórica y patrimonial; su débil estado de conservación podría desencadenar en la pérdida de un ejemplar excepcional de arte rupestre, pues cuenta con diferentes alteraciones que suponen un riesgo para su conservación:

La exposición continua a los agentes climáticos es uno de los motivos que inciden directamente sobre su estado de conservación, y aunque como se ha podido constatar, las oscilaciones térmicas son graduales y la humedad relativa generalmente estable dentro de un rango variable, el riesgo de experimentar ciclos de dilatación y contracción a corto plazo es menor, el daño de éstos es acumulativo. Pero no sólo eso, sino que el abrigo del *Navazo* cuenta con un deterioro antrópico importante, ya no sólo por los grafitis y marcas de perdigón, sino por los muros que encierran perimetralmente los laterales del abrigo. Este muro de cerramiento, realizado en 1933 con la intención de proteger el enclave de los actos vandálicos, ha desencadenado otros problemas que no son favorables para la conservación del abrigo. Pese a que se utilizó para su construcción el mismo material pétreo que el soporte de las pinturas (respetando el principio de compatibilidad material dentro del código ético de la conservación-restauración), el mortero de rejunte

de los sillares próximo a las pinturas, ha producido la aparición de eflorescencias salinas. Estas eflorescencias se depositan en la superficie por la acción eólica; pero, también a causa de coladas de agua, éstas se transportan y se asientan sobre las pinturas. Esto, unido a la propia composición mineralógica del soporte y sus características, favorecen los procesos de haloclastismo y disolución del material, causando la meteorización del soporte, como se puede apreciar en los tafonís generados por estos procesos. Esta patología, unida a la humedad por capilaridad que aporta el muro de cerramiento a las pinturas, trae como consecuencia la degradación del soporte y las pinturas.

Además, este muro genera una concentración de microorganismos, ya que impide la ventilación del interior. Estos microorganismos podrían desarrollarse en superficie generando daños mediante la germinación de esporas. Aunque este estudio está todavía por desarrollar en profundidad, sería importante atender la relación entre la iluminación y el crecimiento de microorganismos. Como se ha señalado existe un crecimiento biológico que invade el voladizo y migra en forma descendente hacia las pinturas, hecho que podría estar relacionado con la ausencia de iluminación en esa zona concreta.

Para minimizar el impacto de estas alteraciones sobre las pinturas se propone una consolidación que garantice la estabilidad de las mismas. Gracias al registro fotográfico, colorimétrico y cartográfico en mapas de daños del abrigo se puede llevar un control de las alteraciones como mecanismo preventivo. Así, todo este proceso de estudio puede servir a las diferentes administraciones para llevar un seguimiento y control de los abrigos.

Es preciso, como se señalaba, realizar un estudio previo que garantice que el tratamiento propuesto cumpla con los objetivos previstos, y que interactúe de un modo correcto con todos los parámetros implícitos en el abrigo. Por ello, para que el funcionamiento de los consolidantes sea correcto es importante realizar un análisis previo de los diferentes factores que inciden en la conservación de las pinturas y, por ende, en los futuros tratamientos. Y, también, el testado de los productos en probetas en diferentes ensayos. Porque se ha observado a lo largo de esta investigación que las condiciones de aplicación del tratamiento influyen en su comportamiento. Prueba de ello, es la aplicación de *Nano Estel®*.

Aun así, durante esta investigación se ha podido determinar:

El método de aplicación influye en el aspecto superficial del material pétreo, tanto morfológicamente como ópticamente. Los resultados obtenidos han determinado que la aplicación de los productos sobre una capa previa de disolvente entre capas (método *wet on wet*) producían un cambio de morfología y cromático menor.

El material más adecuado, según la composición química del material y por las buenas propiedades con las que cuenta, no es el consolidante que mejores resultados ha proporcionado. Los resultados obtenidos por SEM y colorimétricos de *Nano Estel®* han determinado la generación de un film brillante y grueso que cuenta con numerosas grietas, que se incentivaron tras el ciclo de envejecimiento artificial. Aunque, estudios recientes como los de Iucolano *et al.* (2019) y Gheno *et al.* (2018) han determinado que la estabilidad de *Nano Estel®* tras ciclos de envejecimiento acelerado no produce cambios de color visibles, en esta investigación se ha constatado que sí se han producido, ya que tras éstos aclaró notablemente la superficie. También, en un estudio comparativo entre muestras tratadas con silicatos de etilo y otras tratadas con *Nano Estel®* se comprobó que la resistencia del *Nano Estel®* fue mayor respecto a la piedra sin tratar y a los silicatos de etilo (LICCHELLI, 2014), aunque en esta investigación no se ha constatado.

Además, *Nano Estel®* en el ensayo *in situ*, generó problemas en el momento de aplicación, debido a la posible presencia de sales en superficie que hicieron precipitar las nanopartículas de sílice. Y tras un envejecimiento natural de siete meses, se incentivó con la generación de un film brillante, blanquecino e irregular. Por motivos como el expuesto es importante realizar un testado previo *in situ* junto con los ensayos de laboratorio.

En cambio, productos organosilíceos como *Wacker® OHI00* y *Tecnadis® Solidus*, no han generado films continuos, posiblemente debido a que la reacción que necesita el éster de silicio con la humedad ambiental para hidrolizar el producto sea más lenta, aunque dependerá de las condiciones de trabajo. Tras el ciclo de envejecimiento se produjo una acumulación de consolidante a nivel superficial con un patrón serpenteante en *Tecnadis® Solidus*, cambio que no se percibió en *Wacker® OHI00*.

De un modo diferente actuó superficialmente *Nanorestore®*, ya que generó concentraciones irregulares de hidróxido de calcio dispersos en la superficie, que estaría relacionado con la irregularidad de la superficie. Este hecho no tiene porqué ser contraproducente, ya que ha actuado rellenando los intersticios a consolidar o, por el contrario, no ha penetrado correctamente y la carbonatación ha tenido lugar en la superficie. Pero, se ha observado que es el producto que mayor penetración ha ofrecido. Aunque, en SEM se observa que en las acumulaciones de producto se ha agrietado superficialmente la concreción.

Respecto a las variaciones de color en la mayoría de los casos son perceptibles por el ojo humano, es decir, superan el valor 2,5 a partir del cual el ojo humano percibe el cambio cromático. Tras el ensayo de envejecimiento se produjo un incremento de la diferencia de color en todas las muestras tratadas. No obstante, los consolidantes que mejor actuaron sobre probetas fueron *Wacker® OHI00* (100%) y *Nano Estel®* (25%). En cambio *in situ*, *Nano Estel®* no obtuvo tan buenos resultados, precisamente por la precipitación del producto en superficie, lo que impidió su penetración. *Wacker® OHI00* (100%), siguió obteniendo un cambio cromático dentro del rango no perceptible, junto con *Tecnadis® Solidus* (75 y 50%).

Habría que tener en cuenta el seguimiento colorimétrico del envejecimiento natural de los productos consolidantes para comprobar si el incremento de la diferencia de color también sucede a lo largo del tiempo o a partir de un determinado momento se mantiene.

Respecto a la absorción por capilaridad de estos materiales con respecto al material sin tratar, añadir que no se ha pulido la superficie de las probetas como la norma indica, ya que se considera que el ensayo no hubiera sido tan fidedigno. Así, se ha podido determinar que los materiales que presentan una absorción de agua similar a la roca sin tratar son los dos productos nanoparticulados (*Nano Estel®* y *Nanorestore®*) ya que respetan, en mayor medida, la porosidad de la roca. En cambio, los productos organosilíceos experimentan una absorción menor, aunque *Wacker® OHI00* tiene un valor próximo a los productos con nanopartículas. Por lo que el material que más modificaría las propiedades originales de la roca, en cuanto a porosidad y permeabilidad al valor de agua sería *Tecnadis® Solidus*.

Por otra parte, respecto a la penetración de los productos en términos generales presentan una penetración heterogénea y poco profunda. En concreto el consolidante que más ha penetrado ha sido *Nanorestore®*, pero presenta una absorción irregular. Esta mayor penetración se debe a que el alcohol reduce la tensión superficial y favorece la

penetración por succión capilar. *Wacker® OHI00* también ha ofrecido buenos resultados, ya que el sólido cristalino satura y se ve como penetra perimetralmente por los sólidos accediendo a capas más internas del estrato.

La evaluación de la penetración mediante fluorescencia requiere un estudio en profundidad, ya que no se puede controlar que la fluorescencia emitida contenga partículas de consolidante, y que ésta sea producto de la acción del disolvente. Por ello, esta técnica se podría complementar con otras técnicas de análisis, como Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) con extensión ATR, que permitiría evaluar por tomas puntuales los espectros de cada punto medido para determinar la penetración de los productos y, así, comprobar la efectividad del ensayo de penetración por tinción fluorescente.

No obstante, los resultados obtenidos de penetración podrían estar relacionados con la porosidad de la roca, que como ya se ha señalado presenta una porosidad baja-intermedia, debido a esta condición la penetración podía ser menor, y habría que plantearse otros métodos de aplicación.

En cuanto a los ciclos de cristalización de sales, las probetas tratadas han ofrecido un comportamiento diferente y no esperado respecto al material sin tratar. Se ha detectado mayor pérdida de masa en las probetas tratadas, hecho que pudiera deberse a que durante los ciclos a los que han estado sometidas, el producto consolidante se haya eliminado, y no ha sobrevivido al ensayo. Entonces, la pérdida de masa no fuera de material pétreo, sino de consolidante, porque no se aprecia una pérdida de volumen respecto al inicio del tratamiento. Pero, no es una afirmación que se pueda confirmar, por lo que, para futuros ensayos, sería recomendable pesar la masa de las probetas antes de aplicar los productos, después de su aplicación y al final el ensayo.

Con todo, el consolidante que mejor ha actuado en los ensayos realizados tanto en laboratorio como *in situ* ha sido *Wacker® OHI00*. En cambio, son significativos los resultados obtenidos con *Nano Estel®*, respecto a la previsibilidad de los resultados que se esperaban del mismo, especialmente por la presencia de nanopartículas y la afinidad química con el material original. No obstante, sería interesante estudiar el producto con la adición de n-octilamina, como apuntan alguna de las investigaciones ya mencionadas (aunque habría que debatir la evolución del tensioactivo, y que no genere alteraciones derivadas de su presencia).

Destacar la importancia de un testado empírico de materiales, tanto *in situ* como en laboratorio, lo que, acompañado de una metodología específica de trabajo en la que se registren rigurosamente todos los tratamientos con todos los datos necesarios, puede permitirnos realizar un seguimiento completo de los enclaves intervenidos.

De modo que, el presente trabajo deja patentes futuras investigaciones en materia de conservación en arte rupestre, que se señalan a continuación.

En primer lugar, sería fundamental continuar con el estudio de las materiales *in situ*, para evaluar el deterioro de éstos de un modo real. Junto a este estudio se podría añadir la combinación de un tratamiento de consolidación junto con un tratamiento hidrofugante a base de nanopartículas de sílice, ya que ha ofrecido excelentes resultados en materiales similares al soporte del *Navazo*, que ayudaría a minimizar el impacto del agua sobre éstas.

Por otra parte, estudiar de un modo exhaustivo todos los materiales para proponer procesos de intervención integral que permitan generar pautas de conservación y restauración con criterios sobre materiales y tratamientos adecuados

para un conjunto de abrigos con arte Levantino declarados Patrimonio Mundial. Dentro de esta propuesta habría que tener en cuenta la remoción de los muros de cerramiento, por su sustitución por nuevos sistemas de protección menos agresivos con las pinturas y su soporte; pero también el diseño de un sistema de limpieza de todas las sustancias detríticas y concreciones presentes en el panel, que permitieran la eliminación de la veladura superficial de diversa naturaleza y de las invasiones de cemento que impiden una correcta visualización de las representaciones.

También, es interesante, dentro del marco de esta investigación, tener en cuenta la retratabilidad de los procesos de consolidación. Durante la realización de este trabajo se ha observado que los tratamientos de conservación y restauración, independiente de la disciplina, contemplan un seguimiento de las intervenciones destinadas, especialmente centrados en el control de los parámetros físicos como conservación preventiva, pero no tienen en cuenta la obsolescencia de los tratamientos. Por ejemplo, los tratamientos de hidrofugación tienen previsto un retratamiento a medio plazo, pero los tratamientos de consolidación no cuentan con esta premisa. Además, siendo que el tratamiento propuesto va a estar expuesto a las inclemencias climatológicas que, como ya se ha visto, éstas inciden directamente sobre el panel, habría que determinar la fecha de caducidad de estos tratamientos, para que la efectividad de los mismos sea eficaz a largo plazo.

Todos estos propósitos serán estudiados en el desarrollo de la Tesis Doctoral en el Grupo de investigación “Primeros Pobladores y Patrimonio Arqueológico” de la Universidad de Zaragoza, siendo el arte rupestre uno de los bloques de investigación esenciales del proyecto HAR2017-85023-P. Este trabajo se llevará a cabo gracias al contrato predoctoral concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo la dirección de Dr. Carlos Mazo Pérez, Dr. Manuel Bea Martínez y Dra. María Antonia Zalbidea Muñoz.



IX. BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, M.; RIPOLL, E.; BELTRÁN, A., 1956. *Prehistoria del Bajo Aragón*. Zaragoza: Instituto de Estudios Turolenses de la Diputación Provincial de Teruel. Consulta: 10-04-2020. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00574a&AN=cbzara.bI348800&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- ALONSO, A., GRIMAL, A., 1992. El lenguaje del arte. *Historia de Castellón*. Zaragoza: Prensa Valenciana. pp. 61-88.
- AMOROSO, G. G. 2002. *Trattato di scienza della conservazione dei monumenti. Etica della conservazione, degrado dei monumenti, interventi conservativi, consolidanti e protettivi*. Firenze: Alinea editrice. ISBN 978-8881254101
- APARICIO, J. y MOROTE, G., 1999. Yacimientos arqueológicos y datación del A.R.L. En *Cronología del arte rupestre Levantino*. Valencia: Real Academia de Cultura Valenciana. pp. 77-108
- AURELL, M.; BÁDENAS, B. Y MELÉNDEZ, A., 2010. Geología de la Sierra de Albarracín. En PEÑA, J. L.; SÁNCHEZ, M. Y LOZANO, M. V. (coords.). *Las formas de relieve de la Sierra de Albarracín. Colección Estudios*, 7. Teruel: Centro de Estudio de la Comunidad de Albarracín. pp. 13-38.
- AYARZAGÜEÑA, M., 2013. Historiografía de la Prehistoria en España: el Paleolítico y el Mesolítico. En: M. Menéndez Fernández. *Prehistoria Antigua de la Península Ibérica*. Madrid: UNED. ISBN 978-84-362-6562-0.
- BALLESTER, L., 2003. *Conservación de las pinturas rupestres del Levante español*. Tesis doctoral [inédita]. Universitat Politècnica de València, Valencia.
- BARREDA, G., 2012. *Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso en el Abric de Pinos (Benissa-Alicante)*. Diploma d' Estudis Avançats (DEA). Universitat Politècnica de València, València.
- BARREDA, G., 2016. Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de Arte Rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remigia (Barranc de Gasulla-Aresdel Maestre). M. A. ZALBIDEA, J. OSCA (dirs.). Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València- Consulta: 06-04-2020. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/I0251/63280>
- BARREDA, G. Y ZALBIDEA, M. A., 2018. Estudi de conservació de l' Abric de Pinos (Benissa, Alacant): patologies i causes de deterioració d'un jaciment amb art rupestre lleuntí. *Pyrene*, **49** (1), 155- 185. doi: <https://10.1344/Pyrenae2018.vol49num1.6>
- BEA, M. 2017. El abrigo de Hoya de Navarejos III (Tormón, Teruel). Nuevas perspectivas para el análisis del arte levantino interior. *Complutum*, **28** (1), 37-50. doi: <https://doi.org/10.5209/CMPL.58417>
- BELLE-FOREST, F., 1575. *La Cosmographie universelle de tout le monde*. París: Chez Michel Sonnius. Consulta: 10-04-2020. Disponible en: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k54510n.image>
- BELTRÁN, A., 1968. *Arte rupestre levantino*. Monografías arqueológicas, IV. Zaragoza: Facultad de Filosofía y Letras, Seminario de Prehistoria y Protohistoria. ISBN 978-8440069931
- BELTRÁN, A., 1989. *Ensayo sobre el origen y significación del arte prehistórico*. Zaragoza: Prensas Universitarias. ISBN 84-7733-136-7

- BELTRÁN, A., 1990. Los Parques Culturales y el Arte Rupestre en Aragón. *Jornadas sobre Parques con Arte Rupestre*. Zaragoza: Diputación General del Aragón. pp. 13-60. ISBN 84-7753-128-5
- BELTRÁN, A., 1992. Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín, ideas generales para un debate. *Caesaraugusta*, 69, 7-31. ISSN 0007-9502.
- BELTRÁN, A., 1993. *Arte prehistórico en Aragón*. Zaragoza: Ibercaja. ISBN 8488793030.
- BELTRÁN, A., 1995. Sobre el arte levantino, especialmente de Albarracín. Ideas generales para un debate. *XXI Congreso Nacional de Arqueología (1991, Teruel)*. Zaragoza: Diputación General de Aragón. pp. 289-315. ISBN 84-7753-672-4.
- BELTRÁN, A., 2000. La cueva de Rouffignac y los problemas de autenticidad de las pinturas prehistóricas, *BARA*, 3, julio, 2000, 171-186. ISSN 1139-9260
- BELTRÁN, A. (coord.), 2002. *Las pinturas rupestres del abrigo de Val del Charco del Agua Amarga de Alcañiz*. Zaragoza: Prames. ISBN 978-84-8321-133-5
- BELTRÁN, A., 2002. *Mito, misterio y sacralidad. La pintura prehistórica aragonesa*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico. ISBN 84-8324-126-9 (tomo 9).
- BENITO, G., MACHADO, M.J. Y SANCHO, C., 1991-92. Alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albarracín (Teruel) y su influencia en la conservación de las pinturas rupestres. *Kalathos*, 11-12, 7-24. ISSN 0211-5840
- BENSI, P., 2006. Le resine acriliche sulle pitture murali. In A. Finozzi (Ed.) *Seminario Esperienze e Materiali di Restauro. Le Resine Acriliche Sulle Pitture Murali: Thiene (VI)*. Villa Fabris (11 giugno 2005). Padova: Il Prato, 81-84. ISBN 9788889566411
- BORGIOLI, L., 2002. *Polimeri di sintesi per la conservazione della pietra*. Padova: Il Prato. ISBN 9788887243383
- BORGIOLI, L. Y CREMONESI, P., 2005. *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*. Padova: Il Prato. ISBN 9788863362565
- BREUIL, H. Y CABRÉ, J., 1909. Les peintures rupestres du bassin inférieur de l'Ébre. *L'Anthropologie XX*, 1-21.
- BREUIL, H., 1910. Nouvelles découvertes en Espagne. *L'Anthropologie XXI*. 369-371.
- BREUIL, H., OBERMAIER, H. y ALCALDE DEL RÍO, H., 1913. *La Pasiega à Puente Viesgo (Espagne)*. Mónaco: A. Chene. ISBN 9789333132275
- BRIFFA, S., SINAGRA, E. y VELLA, D. 2012., Teos based consolidants for matese globigerina limestone: effect os hydroxyl conversion treatment. In *12th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Consulta: 20-06-2020. Disponible en: <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/18235>
- BRUS, J. y KOTLIK, P., 1996. El agrietamiento de los geles organosilíceos utilizados en consolidantes para piedra. *Cuadernos de conservación*, 41 (1), 28-31. ISSN 1137-2621.
- CABRÉ, J., 1915. *Arte rupestre en España*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consulta: 05-03-2020. Disponible en: <http://simurg.bibliotecas.csic.es/viewer/image/CSIC000154498/1/>
- CARTAILHAC, E., 1902. La grotte d'Altamira, Espagne. Mea culpa d'un sceptique. *L'Anthropologie*, 13, 348-354.
- CENDRERO, O., 1997. Estudio preliminar. En J. Vilanova y Piera. *Conferencias dadas en Santander*. Santander: Universidad de Cantabria. ISBN 9788481021639.
- CENTRO, UWH, s. F. 22 com viii. B. I — Decisión., sitio web del Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Consulta: Recuperado 8-05-2020. Disponible en: <https://whc.unesco.org/en/decisions/2780/>

- COLLADO, O., 1990. El parque cultural de Albarracín. *Jornadas sobre Parques con Arte Rupestre*. Zaragoza: Diputación General de Aragón. pp. 167-175. ISBN 8477531285.
- COLLADO, O., 1992. *Parque Cultural de Albarracín*. Zaragoza: Centro del Libro de Aragón, Gobierno de Aragón. ISBN 978-84-7753-278-1.
- CORTÉS, H. F., MARTÍNEZ, P. N. y ALBEIRO, H., 2006. *Fundamentos de cristalografía*. Colombia: Elizcom. ISBN 9789584404299.
- CREMONESI, P. Y SIGNORINI E., 2012. *Un approccio alla pulitura dei dipinti mobili*. Padova: Il Prato. ISBN 9788863361919.
- C.T.S. ESPAÑA, 2008. Ficha técnica Nanorestore®. Consulta: 10-10-2020. Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/175-nanorestore-consolidante-a-base-de-nanocales>
- C.T.S. ESPAÑA, 2015. Ficha técnica Nano Estel®. Consulta: 10-10-2020 Disponible en: <https://shop-espana.ctseurope.com/174-nano-estel-consolidante-a-base-de-nanosilice>
- DANIEL, G., 1974. *Historia de la Arqueología. De los anticuarios a V. Gordon Childe*. Madrid: Alianza Editorial. ISBN 8420615218.
- DAVID, H., 2008. *Contribución del Arte Rupestre Prehistórico*. Tesis Doctoral [inédita]. Universitat Politècnica de València.
- DE GÓNGORA, M., 1868. *Antigüedades prehistóricas de Andalucía*. Consulta: 05-04-2020. Disponible en: <http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/es/consulta/registro.cmd?id=7965>
- DE VEGA, L., 1604. *Las batuecas del duque de Alba*. Consulta: 05-04-2020. Disponible en: http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/las-batuecas-del-duque-de-alba--I/html/ff889856-82b1-11df-acc7-002185ce6064_3.html
- DOHENE, E., y PRICE, C., 2010. *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute. Consulta: 10-05-2020. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/stoneconservation.pdf
- DOMÉNECH, M., 2004. *Los grabados rupestres prehistóricos de Morella y Alpuente: procesos de deterioro y conservación preventiva*. C. PÉREZ (dir.) y R. MARTÍNEZ (codir.). Tesis Doctoral [inédita]. Universitat Politècnica de València.
- EIROA, J.J., 2000. *Nociones de Prehistoria general*. Barcelona: Ariel. ISBN 9788434452138.
- E.M.R., 2014. *Memoria de actuación propuesta para la realización de trabajos de conservación, consolidación y limpieza de las pinturas rupestres del abrigo del Cantalar I*. Informe (inédito) entregado a la Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón.
- ESBERT, R. M^a., ORDAZ, J., ALONSO, J. y MONTORO, M., 1997. *Manual de Diagnósis y Tratamiento de Materiales pétreos y Cerámicos*. Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, 1-136. ISBN 9788487104299.
- FACIO, D. S., ORDÓÑEZ, J. A., ALMORAIMA, M. L., CARRASCOSA, L. A. M. y MOSQUERA M. J., 2018. New consolidant-Hydrophobic Treatment by Combining SiO₂ Composite and Fluorinated Alkoxysilane: Application on Decayed Biocalcareus Stone from an 18th Century Cathedral. *Coatings*, **8** (5), 170. 1-14. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings8050170>
- FORTEA, J., 1974. Algunas aportaciones a los problemas del arte levantino. *Zephyrus* XXV, 225-257. ISSN 2386-3943.
- FULLOLA, J.M. Y NADAL, J., 2005. *Introducción a la Prehistoria. La evolución de la cultura humana*. Barcelona: Editorial UOC. ISBN 84-9788-153-2.

- GARCÍA, M^a. R., 2003. *Inicial y Medio. Datos arqueológicos y valoración del registro gráfico en dos zonas con arte levantino. La Rambla Carbonera (Castellón) y la rambla Seca (Valencia)*. V. VILLAVERDE (dir.) y R. MARTÍNEZ (codir.). Tesis Doctoral [inédita], Universitat de València.
- GASQUE, R., 2017. *Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de arte rupestre al aire libre. El caso del abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas, Albarracín (Teruel)*. Trabajo Final de Grado, Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universitat Politècnica de València. Consulta: 01-02-2020. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/98326>
- GASQUE, R.; ZALBIDEA, M. A.; ROYO, J. I. y LATORRE, B., 2018. Mecanismos preventivos en la conservación y restauración de pintura rupestre al aire libre. El caso del abrigo de Los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel). En José Ignacio Lorenzo y José María Rodanés (eds.), *II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*. Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, 91-101. ISBN 978-84-09-02130-7.
- GHENO, G., BADETTI, E., BRUNELLI, A., GANZERLA, R. y MARCOMINI, A., 2018. Consolidation of Vicenza, Arenaria and Istria stones: A comparison between nano-based products and acrylate derivatives. *Journal of Cultural Heritage*, **32**, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.013>
- GIOIA, G., 2002. Uso dei silicati nelle facciate dipinte Palazzo Pallavicino a Genova. *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento dei manufatti storici*. Turin: Associazione Villa dell'Arte e Fondazione per le Biotecnologie. ISBN 9788888177106.
- GIORGI, R., DEI, L. y BAGLIONI, P., 2000. A new method for consolidating wall paintings base on dispersions of lime in alcohol. *Studies in Conservation*, **45**, 154-161. <http://dx.doi.org/10.1179/sic.2000.45.3.154>
- GIRGINOVA, P. I., GALACHO, C., VEIGA, R., SANTOS SILVA, A. y CANDEIAS, A., 2018. Inorganic nanomaterials for restoration of cultural heritage: Synthesis approaches towards nanoconsolidants for Stone and wall paintings. *ChemSusChem*, **11**, 4168-4182. <https://doi.org/10.1002/cssc.201801982>
- GÓMEZ-VILLALBA, L. S., LÓPEZ-ARCE, P., FORT, R. y ÁLVAREZ DE BUERGO, M., 2010. La aportación de la nanociencia a la conservación de bienes del patrimonio cultural. *Patrimonio Cultural de España*, **4**, 43-56. ISSN 1889-3104.
- GRIMAL, A., 1995. Avance al estudio de las pinturas rupestres de la cueva de la Cocina y su relación técnica con el arte levantino. *XXI Congreso Nacional de Arqueología*. Zaragoza: Centro del Libro de Aragón, Gobierno de Aragón. pp. 317-326. ISBN 978-84-7753-533-1.
- GRAN-AYMERICH, E., 2001. *El nacimiento de la arqueología moderna 1798-1945*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN 8477335567.
- GUILLAMET, E., 2000. Intervencions de conservació-restauració en pintura rupestre. *Cota Zero, revista d'Arqueologia i Ciència* [en línea], **16**, Barcelona. Consulta: 06-06-2020. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/CotaZero/article/view/67326>
- HERNÁNDEZ, M.S., 2009. Arte rupestre Postpaleolítico en el Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. Balance de 10 años de descubrimientos y estudios. *El Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica*. Valencia: Generalitat Valencina. pp. 59-80. ISBN 978-84-482-5304-2.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E., 1919. *La caverna de la Peña de Candamo (Asturias)*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consulta: 10-04-2020. Disponible en: http://simurg.bibliotecas.csic.es/viewer/image/CSIC000281748/1/LOG_0003/
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E., 1924. *Las pinturas prehistóricas de la Cueva de la Araña (Valencia)*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consulta: 10-04-2020. Disponible en: http://simurg.bibliotecas.csic.es/viewer/image/CSIC000087673/1/LOG_0003/

- HERNÁNDEZ, A. Y OLIVÉ, A., 1983. *Mapa geológico 1:50.000 N° 566 (Cella)*. Madrid: Instituto Geológico y Minero. Consulta: 01-04-2020. Disponible en: <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=566>
- HERRERO, M.A., NIETO, E., COLLADO, O., MARTÍNEZ ANDRÉS, Mª. R. y LOSCOS, R. Mª., 1994. Informe sobre la campaña de documentación del arte rupestre del conjunto de Albarraçín (Teruel). *Arqueología Aragonesa*, 1991, 25-30.
- HOYOS, L., 1902. Viaje realizado por el señor Cartailhac a la cueva de Santillana. *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, 2, 298-299.
- IOELE, M., SANTAMARÍA, U. y TIANO, P., 2002. Studio comparativo di silicati di etile commerciali e sperimetali a confortro con microemulsioni acriliche per il consolidamento di matrici carbonatiche fortemente decoese. *I Silicati nella Conservazione, ingagini, esperienze e valutazioni per il consolidamento deo manufatti storici*. Turin: Associazione Villa dell' Arte e Fondazione per le Biotecnologie. ISBN 9788888177106.
- IUCOLANO, F., COLELLA, A., LIGUORI, B. y CALCATERRA, D., 2019. Suitability of silica nanopartivles for tuff consolidation. *Construction and Building Material*, 202, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.002>
- JORDÁ, F., 1966. Notas para la revisión de la cronología del Arte rupestre Levantino. *Zephyrus*, XVII, 47-76. ISSN 0514-7336.
- JORDÁ, F., 1971. Sobre la cronología del arte rupestre levantino. *XII Congreso Nacional de Arqueología*. Jaén, 1971. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, seminario de Arqueología. 85-100.
- JORDÁ, F., 1974. Formas de vida económica en el arte rupestre levantino. *Zephyrus* XXV, Salamanca, 209-223. ISSN 2386-3943.
- LEY 3/1999, de 10 de marzo, del Patrimonio Cultural Aragonés. *Boletín Oficial del Estado*, 88, de 14 de abril de 1999. Consulta: 06-04-2020. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es-ar/1/1999/03/10/3/con>
- LICCHELLI, M., MALAGODI, M. WETHTHIMUNI, M. y ZANCHI, C., 2014. Nanoparticles for cnservation of biocalcarene Stone. *Applied Physics A*, 114, 673-683. <https://doi.org/10.1007/s00339-013-7973-z>
- LLAVORI DE MICHEO, R., 1988-89. El arte postpaleolítico levantino de la península Ibérica. Una aproximación socio-cultural al problema de sus orígenes. *Ars Praehistorica*, VII-VIII, 145-156. ISSN 0212-7288.
- LUCAS, Mª.R., 2004. El Arte Rupestre en la obra de Juan Cabré. En J. Blázquez y B. Rodríguez (ed.). *El arqueólogo Juan Cabré (1882-1947). La fotografía como técnica documental*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. 167-193. ISBN 978-8481812015.
- MARCONELL, E., 1892a. Los toros de la Losilla. *Miscelánea Turolense*, 9. Año II: 160. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARCONELL, E., 1892b. Los toros de la Losilla. *Miscelánea Turolense*, 10. Año II: 180. [Edición facsímil] 1891-1901. Madrid.
- MARTÍ, B. y HERNÁNDEZ, M.S., 1988. *El Neolític Valencià. Art rupestre i Cultura Material*. Valencia: Servei d'Investigació Prehistòrica. ISBN 978-84-7795-003-5.
- MARTÍ, B. y JUAN-CABANILLES, J., 1997. Epipaleolíticos y neolíticos: población y territorio en el proceso de neolitización de la península Ibérica. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I. Prehistoria y Arqueología*, Madrid: UNED. 215-264. ISBN 1131-7698 (tomo 10).
- MARTÍ, B. y JUAN-CABANILLES, J., 2000. Dualitat cultural i territorialitat en el Neolític Valencià. *Scripta in Honorem Enriquet*. Alicante: Llobregat Conesa. 119-135. ISBN 84-7784-358-9.

- MARTÍ, B. y JUAN-CABANILLES, J., 2002. La decoració de les ceràmiques neolítiques i la seua relació amb les pintures rupestres dels abrics de La Sarga. En Hernández y Segura (coords.). *La Sarga. Arte rupestre y territorio*. Alcoy. 147-170. Valencia: Servicio de Investigación Prehistórica. Diputación de Valencia. ISBN 84-89136-34-3
- MARTÍNEZ BEA, M., 2004. Un arte no tan levantino. Perduración ritual de los abrigos pintados: el ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel). *Trabajos de Prehistoria*, **61** (2), 111-125. doi: <https://doi.org/10.3989/tp.2004.v61.i2.46>
- MARTÍNEZ BEA, M., 2005. *Variabilidad estilística y distribución territorial del arte rupestre levantino en Aragón: El ejemplo de La Vacada (Castellote, Teruel)*. Tesis doctoral [inédita]. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- MARTÍNEZ BEA, M., 2008. Arte rupestre de Albarraicín: la excepcionalidad de un conjunto interior. Hernández, M.S., Soler, J.A. y López, J.A. (eds.), *IV Congreso de Neolítico Peninsular*. Alicante: Museo Arqueológico Provincial de Alicante (MARQ), 141-148. ISBN 978-84-96979-00-0.
- MARTÍNEZ, R., GUILLEM, P. M. y BALLESTER, L. 2011. Los abrigos de Tortosilla. Una nueva visión tras los trabajos de conservación preventiva. I. DOMINGO, R. RUBIO y B. RIVES (coords.). *Abrigo de Tortosilla 100 aniversario de su descubrimiento. Primer hallazgo de Arte Rupestre de la Comunidad Valenciana*. Ayora 14-16 de octubre de 2011, Ayora: Ayuntamiento de Ayora y Diputación de Valencia. pp.79-85. ISBN 978-84616-1554-4.
- MASSCHELEIN-KLEINER, L., 1991. *Les solvants*. Bruxelles: Institut Royal du Patrimoine Artistique. ISBN 956-244-166-0
- MATTEINI, M., y MOLES, A., 2001. *La química en la restauración: los materiales del arte pictórico*. San Sebastián: Nerea. ISBN 9788489569546
- MENÉNDEZ, M., 2013. *Prehistoria antigua de la Península Ibérica*. Madrid: UNED. ISBN 978-84-362-6562-0.
- MOL, L., GÓMEZ-HERAS, M., BRASSEY, C., GREEN, O. y BLENKINSOP, T., 2017. The Benefit of a tough skin: bullet holes, weathering and the preservation of heritage. *The Royal Society open sci*, **4** (160335). <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160335>
- MOLINA, L.; GARCÍA PUCHOL, O. y GARCÍA ROBLES, M^a.R., 2003. Apuntes al marco crono-cultural del arte levantino: Neolítico vs neolitización. *Saguntum*, **35**, 51-67. ISSN 2174-517X
- MONTOTO, M., 1983. Petrophysics: The Petrographic Interpretation of the Physical Properties Of Rocks. *5th ISMR (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering)*. Melbourne, 10-15 abril de 1983. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ISRM-5CONGRESS-1983-056>
- MORA, P. y PHILIPPOT, P., 1984. *Conservation of wall painting*. London: Butterworths. ISBN 9780408108126.
- MOSQUERA. M. J., 2013. Nuevos productos para restauración y conservación del Patrimonio Cultural RIIPAC. *Revista sobre Patrimonio Cultural: Regulación, Propiedad Intelectual e Industrial*, **2**, 153-172. [en línea]. Consulta: 24-05-2020. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/riipac/03/index.htm>
- MOSQUERA. M. J., DE LOS SANTOS, D. M., MONTES, A. y VALDEZCASTRO, L., 2008. New nanomaterials for consolidating Stone. *Langmuir*, **24**, 2772-2778. <https://doi.org/10.1021/la703652y>
- NAIDU, S., LIU, C. y SCHERER, G. W., 2015. Hidroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants. *Journal of Cultural Heritage*, **16**, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.01.001>
- NIETO, G., 1984. Don Fernando José López de Cárdenas, descubridor del arte rupestre esquemático (1783). *Zephyrus*, **37-38**, 211-216. 2386-3943. Consulta: 13-03-2020. Disponible en: <https://revistas.usal.es/index.php/0514-7336/article/view/4924/0>

- OBERMAIER, H., 1916. *El Hombre Fósil*. Madrid: Colegio Universitario de Ediciones Istmo. ISBN 9788470901515
- OBERMAIER, H. y WERNERT, P., 1919. *Pinturas rupestres del Barranco de Valltorta (Castellón)*. Madrid: Museo de Ciencias Naturales.
- OSTICIOLI, I., MASCALCHI, D., PINNA, D. y SIANNO, S., 2014. Removal of *Verrucaria nigrescens* from Carrara marble artefacts usin Nd:YAG lasers: comparison among different pulse durations and wavelengths. *Applied Physics A, Materials Science & Processing*. Springer, Berlín. doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8933-y>
- PAN DEL, I. y WERNERT, P., 1915. Interpretación de un adorno de las figuras humanas masculinas de Cogul y Alpera. *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas*, 3. I-II. Madrid: Museo de Ciencias Naturales.
- PELAYO, F. y GOZALO, R., 2012. *Juan Vilanova y Piera (1821-1893), la obra de un naturalista y prehistoriador valenciano: la donación Masía Vilanova en el Museo de Prehistoria de Valencia*. Valencia: Museu de Prehistòria de València y Diputació de València. 978-84-7795-627-3. Consulta: 18-03-2020. Disponible en: http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva_dedalo/publicaciones/145/es
- PEÑA, J. L.; SÁNCHEZ, M. y LOZANO, M. V. (coords.), 2010. *Las formas de relieve de la Sierra de Albarracín. Colección Estudios*, 7. Teruel: Centro de Estudio de la Comunidad de Albarracín, pp. 13-38. ISBN 978-84-693-4157-5.
- PIÑÓN, F., 1982. *Las pinturas rupestres de Albarracín (Teruel)*. Santander: Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira. 84-600-2.537-3. Consulta: 31-03-2020. Disponible en: <http://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:46caa643-0a52-4138-9f22-ca2fb3adf497/pdf06-pinon-1982-pinturas-rupestres-albarracin.pdf>
- PRODUCTOS DE CONSERVACIÓN, 2020. Ficha técnica de Wacker OHI00. Consulta: 08-09-2020. Disponible en: <https://www.productosdeconservacion.com/eshop/materiales-de-arqueologia-y-piedra/1702-consolidante-wacker-oh-consolidante-wacker-oh.html>
- PUCHE, O. y AYARZAGÜENA, M., 1997. Ingenieros de minas, arqueólogos en el siglo XIX. La huella de Prado: Homenaje a Casiano de Prado (1797-1866) en el bicentenario de su nacimiento. *Boletín Geológico y Minero*, **108** (3), 295-330. ISSN 0366-0176.
- REMZOVA, M., CARRASCOSA, L. A. M., MOSQUERA, M. J y RATHOUSKY J., 2019. Modified Ethysilicates as Efficient Innovative Consolidants for Sedimentary Rock. *Coatings*, **9** (6), 1-14. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings9010006>
- RIBA, O., 1959. *Estudio geológico de la Sierra de Albarracín*. Madrid: C.S.I.C. Instituto Lucas Mallada, monografía nº 16.
- RIPOLL, E., 1965. Para una cronología relativa del arte rupestre postpaleolítico en la Península Ibérica. En L. Pericot y E. Ripoll (eds.), *Prehistoric Art of the Western Mediterranean and the Sahara*. Nueva York: Wenner-Gren Foundation for Antropological Research. pp. 167-175. ISBN 0083-6249
- RIPOLL, E., 1968. Cuestiones en torno a la cronología del arte rupestre postpaleolítico en la península Ibérica. *Simposio Internacional de Arte Rupestre*, Barcelona: IPA 165-192. doi: <https://doi.org/10.1017/S0079497X00013566>
- RIPOLL, E., 1992. La piedra con figuras rupestres de dos Federico Marés. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología*, **0** (5). doi: <https://doi.org/10.5944/etfi.5.1992.4567>

- RODANÉS, J.M., 1988. *La Prehistoria. Apuntes sobre concepto y método*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. ISBN 84-7733-088-3.
- RODANÉS, J. M., (coord.), 2018. *Arte rupestre en Aragón*. 1998-2018. Veinte años como Patrimonio Mundial Zaragoza: Gobierno de Aragón. ISBN 978-84-8380-399-8.
- RODRÍGUEZ, C., 1994. *Causas y mecanismos de alteración de los materiales calcáreos de las catedrales de Granada y Jaén*. Tesis doctoral [inédita], Univerdad de Granada.
- ROYO, J.I. LATORRE, B., LASARTE, J., PARDINILLA, I., DALDA, H., CANET, R., BENEDÍ, S., BENAVENTE, J.A. y LANAU, P., 2020. Inventario de arte rupestre de Aragón (IARA) y sus aportaciones: un instrumento de gestión y de investigación. En Lorenzo, J.I. y Rodanés, J.M. (coords.), *Actas III Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés*. Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón. 463-475. ISBN 978-84-90-212558-3
- ROYO, J.I., 2020. El arte rupestre en Aragón y su gestión como patrimonio Mundial (1998/2018). En Martínez, J. y Hernández, M.S. (coords.), *Actas Jornadas Arte Rupestre Patrimonio Mundial. El papel de los municipios rurales*. Jaén: Diputación de Jaén y Ayuntamiento de Quesada. 47-57. ISBN 978-84-15583-51-6
- ROYO, J.I., 2019. Catalogación, protección y documentación del arte rupestre de Aragón. En R. Viñas i Vallverdú (coord.). *I Jornades Internacionals d'Art Rupestre de l'Arc Mediterrani de la Península Ibèrica XX è Aniversari de la Declaració de Patrimoni Mundial*. Montbanc, 25-27 de octubre, 2019. Montblanc: Museu Comarcal de la Conca de Barberà, Museu Arqueològic de Catalunya (MAC) y Ajuntament de Montblanc. 395-426. ISBN 1525-2019
- ROYO, J., ANDRÉS, J. A., ROYO, J. I. y ALLOZA, R., 2013. Trabajos de estabilización de urgencia en el soporte rocoso y estudio de patologías en el abrigo de "La Cañada de Marco" en Alcaine, Parque Cultural del Río Martín (Teruel). *Cuadernos de arte rupestre*, 6. 147-159. ISBN 1699-0889.
- RUIZ, J. F.; MAS, M.; HERNANZ, A. ROWE, M. W.; STEELMAN, K. L. y GAVIRA, J. M., 2006. First radiocarbon dating of oxalate crust over Spanish prehistoric rock art. *International Newsletter on Rock Art (INORA)*, 26, 1-5. ISSN 1022-3282.
- SAN NICOLÁS DEL TORO, M., 2005. Siete años después de la declaración de Patrimonio de la Humanidad del arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 2, 221-236. ISSN 1699-0889.
- SANTOS, M., 2017. Arte rupestre en España. En: López, P., (coord.). *La Prehistoria en la Península Ibérica*. Madrid: Akal. 225-296. ISBN 978-84-7090-488-2.
- SANZ DE SAUTUOLA, M., 1880. *Breves apuntes sobre algunos objetos prehistóricos de la provincia de Santander*. Imp. Telesforo Martínez, Santander. Consulta: 04-03-2020. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/mnaltamira/investigacion/publicaciones/breves-apuntes.html>
- SARAMIEGO, I. y ZORNOZA-INDART, A., 2020. Influencia del método de aplicación en la consolidación con nanopartículas de sílice (SiO₂): arenisca del claustro de la Catedral de Pamplona. *Ge-conservación*, 17, 100-113. doi: <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.698>
- SERRANO, C., ZALBIDEA, M. A. y BEA, M., (e.p.). Propuesta de protocolo de consolidación para el arte rupestre levantino. El caso práctico del abrigo de los Toros del Prado del Navazo (Albarraçín). En *I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural*. Madrid, 2019.
- SIERRA-FERNANDEZ, A., GÓMEZ-VILLALBA, L., RABANAL, M., y FORT, R., 2017. Revisión de los nuevos nanomateriales para la conservación y restauración del material pétreo. *Materiales de Construcción*, 67 (325), doi: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.07616>

- TECNAN. 2018. Ficha técnica de Tecnadis Solidus. Consulta: 08-09-2020. Disponible en: <https://tecnan-nanomat.es/tecnadis-solidus/>
- TORMO, E., 1921. Preliminar. En *Catálogo de la exposición de arte prehistórico español*. Madrid: Sociedad Española de Amigos. Consulta: 05-03-2020. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/l1ibres/1921/74880/expartpre_a1921@ucm.pdf
- UNE-EN 1936: 2007 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total. (s. f.). Consulta: 04-10-2020. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0038621>
- UNE-EN 12370: 1999 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las ventas. (s. f.). Consulta: 04-10-2020. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0010820>
- UNE-EN 15801: 2010 Conservación del patrimonio cultural. Método de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. (s. f.). Consulta: 04-10-2020. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0046036>
- UNE-EN 15886: 2011 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. (s. f.). Consulta: 04-10-2020. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/UNE?c=N0046629>
- UNI I1432: 2011. Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Misura della capacità di assorbimento di acqua mediante spugna di contatto. (s. f.). Consulta: 04-10-2020. Disponible en: <http://store.uni.com/catalogo/uni-I1432-2011>
- UTRILLA, P. y CALVO, M.J., 1999. Cultura material y arte rupestre «levantino»: la aportación de los yacimientos aragoneses a la cuestión cronológica. Una revisión del tema en el año 2000. *Bolskan*, **16**, 39-70. ISSN 0214-4999.
- UTRILLA, P., 2000. *El arte rupestre en Aragón*. Zaragoza: Colección CAI 100. ISBN 8495306328.
- VILLAVERDE, V. y MARTÍNEZ-VALLE, R., 2002. Consideraciones finales. En Martínez-Valle, R. y Villaverde, V. (coords.). *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*. Valencia: Generalitat Valenciana, 191-202. ISBN 84-482-3333-6.
- VALLESPÍ, E., 2006. Sobre el descubrimiento de las pinturas rupestres levantinas: los testimonios de los tres protagonistas del Calapatá (S. Vidiella, H. Breuil y J. Cabré en 1906-1909). *Cuadernos de Arqueología de la Universidad de Navarra*, **14**, 59-68. ISSN 1133-1542.
- VILLEGAS, R., BAGLIONI, R. Y SAMEÑO, M., 2003. *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Granada: Comares. ISBN 84-8266-370-4.
- VIÑAS, R., 1982. *La Valltorta: arte rupestre del Levante español*. Barcelona: Ediciones Castell. 9788474891751.
- WEISS, N., SLAVID, I. y WHEELER, G., 2000. Development and assessment of conversion treatment for calcareous Stone. In *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (vol. 2). Amsterdam: Elsevier. 533-540. ISSN 9780080530338.
- WHEELER, G. 2005. *Alkoxysilanes and the consolidation of stone*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute. ISBN 978-0-89236-815-0
- WOLBERS, R., 2003. *Cleaning painted surfaces*. London: Archetype Publications. ISBN 978-1873132364.
- BARREDA, G. y ZALBIDEA, M. A. 2019. Luminescent Staining with Rhodamine B to Study the Penetration of Calcium Hydroxide-based (Ca (OH)₂) Nanoparticulated Consolidants to Preserve Rock Art.

CONSERVATION 360 VOL I. UV-Vis Luminescence Imaging Techniques. Editorial Universitat Politècnica de València. 261-278. https://doi.org/10.4995/360_2019.I10002

ZALBIDEA, M. A. y GASQUE, R., 2018. Análisis preventivos para la conservación y restauración del Abrigo de los Toros del Barranco de las Olivanas (Albarracín, Teruel). En: J. A. LÓPEZ y J. M. SEGURA (coords.). *El Arte Rupestre del Arco del Mediterráneo de la Península Ibérica. 20 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. Alcoy, 29-30 noviembre-I diciembre 2018. Alcoy: Generalitat Valenciana. 145-154. ISBN 978-84-482-6449-9.

ZALBIDEA, M. A., BARREDA, G., GASQUE, R. y SERRANO, C., 2019. Estudios colorimétricos como método de conservación preventiva en abrigos con pintura rupestre. En G. GARCÍA ATIÉNZAR y V. BARCIELA GONZÁLEZ (coord.). *Sociedades prehistóricas y manifestaciones artísticas. Imágenes, nuevas propuestas e interpretaciones*. Alicante, 6-9 de noviembre, 2019. Alicante: Universitat d'Alacant, Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Investigación en Arqueología y Patrimonio Histórico (INAPH). 321-328. ISBN 978-84-1302-054-9.

X. ANEXOS

ANEXO I. PERMISO DE ACCESO AL ABRIGO



Servicio Provincial de Educación, Cultura y Deporte
Sección de Patrimonio
C/ San Vicente de Paúl, 3
44002 - TERUEL
Tel.: 978 541037 678 541022 Fax: 978 541134

GOBIERNO DE ARAGON
REGISTRO DEL SERVICIO PROV.
DE EDUCACION, CULTURA Y
DEPORTE TERUEL (RE-4MT)
27/04/2018 - 08:28
S20180134863

EXPEDIENTE N.º: 2018/0143
LOCALIDAD: ALDARRACÍN
EMPLAZAMIENTO: ABRIGO DEL BARRANCO DE LAS OLIVANAS
INTERESADO: MARÍA ANTONIA ZALBIDEA. DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES DE LA FACULTAD DE BBAA. UPV.
ASUNTO: DOCUMENTACIÓN RELATIVA A REALIZAR PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN SOBRE MATERIAL ROCOSO DESPRENDIDO DE LA ROCA EXTERNA DEL ABRIGO

La Comisión Provincial del Patrimonio Cultural Aragonés de Teruel, regulada por el Decreto n.º 300/2002, de 17 de septiembre, del Gobierno de Aragón (BOA de 4 de octubre de 2002), modificado parcialmente por el Decreto n.º 134/2005, de 5 de Julio (BOA de 11 de Julio de 2005), en sesión celebrada el día 25 de abril de 2018, cuya acta está pendiente de aprobación, adoptó el siguiente acuerdo, que transcribo para su conocimiento y efectos:

Escrito de Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia, con entrada en el Servicio Provincial de Educación, Cultura y Deporte el día 4 de abril de 2018, adjuntando solicitud para realizar las pruebas de consolidación sobre material rocoso desprendido de la roca externa del abrigo de los toros del Navazo de Albarracín, Monumento declarado BIC.

SE ACUERDA:

Autorizar la documentación referenciada, en lo que es materia competencia de esta Comisión, condicionado al cumplimiento de la siguiente prescripción:

- Las actuaciones previstas se realizarán con la supervisión de los técnicos de la Dirección General de Cultura y Patrimonio José Ignacio Royo y Blanca Latorre y del Agente de Protección del Patrimonio Cultural adscrito a la zona de intervención.

La presente resolución se efectúa basándose en el acta de la mencionada sesión, sin perjuicio de su posterior aprobación definitiva.

Contra dicha resolución, cabe interponer recurso contencioso-administrativo ante los Juzgados de lo Contencioso Administrativo de Teruel, en el plazo de dos meses contados a partir del día siguiente al recibo de esta notificación, sin perjuicio de cualquier otro que pudiera interponer.

Teruel, 28 de abril de 2018
E. SECRETARIO DE LA COMISIÓN PROVINCIAL
DEL PATRIMONIO CULTURAL ARAGONÉS,

Fdo.: Joaquín Ubeda Carrascosa

MARÍA ANTONIA ZALBIDEA -
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES
FACULTAD DE BBAA. UNIVERSITAT POLITÈCNICA
CAMINO DE VERA, N.º 14 - 46022 - VALENCIA

ANEXO II. TESTADO DE CONSOLIDANTES EN PROBETAS

Los productos consolidantes han sido estudiados empíricamente en el laboratorio antes de su aplicación en las probetas, con el fin de determinar el porcentaje de aplicación y el número de capas sin alterar la superficie. Para extraer conclusiones objetivas, se llevó a cabo un seguimiento mediante un estudio colorimétrico con el colorímetro *X-Rite® Eye-One Defined* y el software *i1Profiler®* (Fig. 1). Se midieron las coordenadas cromáticas CIEL*a*b* para medir las variaciones de color antes y después del tratamiento. Y, también, se estudiaron a nivel superficial los cambios producidos en el material pétreo tras la aplicación del material por comparación con las imágenes tomadas antes de su aplicación con el uso del microscopio digital *DigiMicroscope USB Reflecta®* (Fig. 2). Así, una vez obtenidos los valores medio se estableció una metodología de aplicación y porcentaje de disolución.



Figura 1. Medición colorimétrica con colorímetro *X-Rite® Eye-One Defined*. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 2. Toma de imágenes del material pétreo con microscopio digital *DigiMicroscope USB Reflecta®*. Fuente: SERRANO, 2020.

Existen diferentes métodos de aplicación (pulverización, brocha, inmersión, capilaridad o goteo), al igual que hay disponibles en el mercado diferentes productos consolidantes, pero se seleccionaron y estudiaron en diferentes porcentajes los siguientes (Tabla I):

Tabla I. Selección de productos a testar y porcentajes de concentración de los mismos.

Productos	WACKER® OHI00	TECNADIS® SOLIDUS	NANO ESTEL®	NANORESTORE®
Porcentaje (%)	100	100	100	-
	75	75	75	75
	50	50	50	50
	25	25	25	25

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se recogieron fragmentos desprendidos del propio abrigo y los alrededores del mismo, ya que presentan similar composición química que el soporte de las pinturas. Se seleccionaron dos muestras pétreas por cada producto consolidante. En láminas de acetato se perfilaron los fragmentos, dos por cada lamina y producto (Fig. 3). Estas láminas se perforaron para georreferenciar el estudio colorimétrico y la evaluación superficial por microscopía digital.

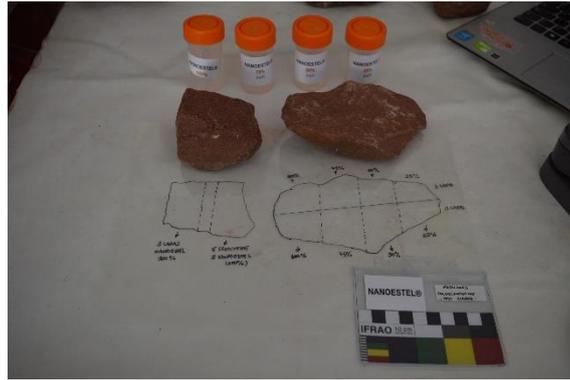


Figura 3. Perfilado de los fragmentos pétreos sobre lámina de acetato. Fuente: SERRANO, 2020.

El pincelado fue el método de aplicación seleccionado para realizar el presente trabajo, debido a que el estado de conservación del abrigo no presenta disgregación ni pulverulencia y permite dicha aplicación.

- Una de las muestras determinaba el método de aplicación de las capas del producto (Fig. 4a).
 - Capas yuxtapuestas de consolidante, al 100% de concentración;
 - Aplicación *wet on wet*, es decir, entre capas de consolidantes aplicar una capa de disolvente y la difusión del producto.
- El otro fragmento se pretendía valorar el porcentaje de aplicación y el número de capas (Fig. 4b).

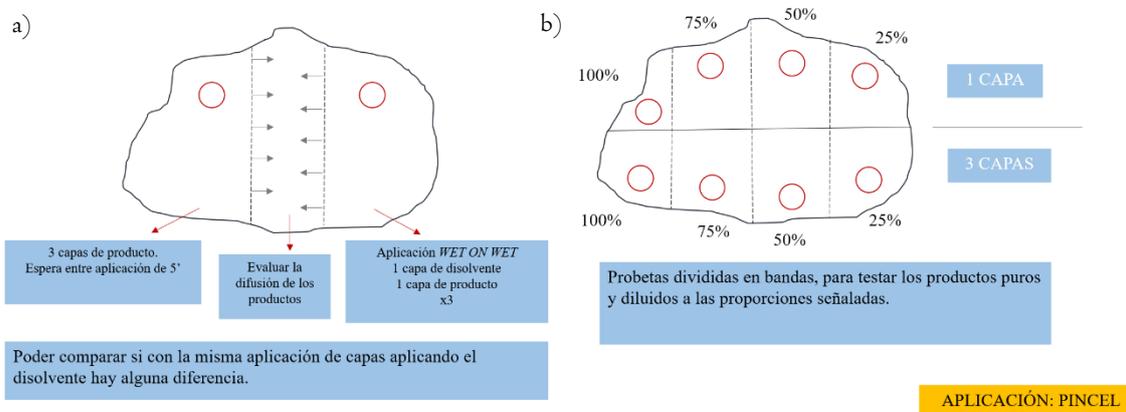


Figura 4. Esquema de método de aplicación de productos (a) y determinación del porcentaje de los productos consolidantes y el número de capas (b). Fuente: SERRANO, 2020.

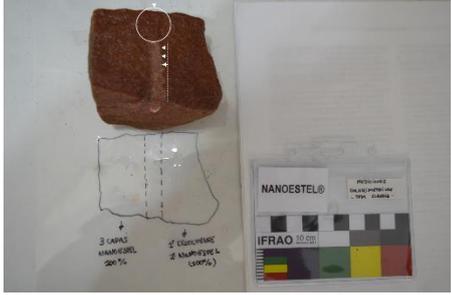
RESULTADOS

DIFUSIÓN DEL PRODUCTO

La difusión de los consolidantes fue estudiada para tener en cuenta la propagación que pueden tener los productos (Tabla 2). Una mayor difusión superficial puede implicar una menor penetración del producto, hecho que habría que tener y comprobar en un estudio más profundo.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la difusión de los productos consolidantes tras 3 capas de aplicación. Fuente: SERRANO, 2020.

PRODUCTOS	CAPAS	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍA
<i>WACKER® OH100</i>	3 al 100%	<ul style="list-style-type: none"> - Menor a 1,1cm -desigual, posiblemente porque se empezó a aplicar de arriba para abajo y el pincel estaba más cargado de producto. - Penetración más lenta en la tercera capa. - Evaporación rápida del disolvente. 	
	3 al 100% <i>Wet on wet</i> (alcohol isopropílico)	<ul style="list-style-type: none"> - Menor a 1cm -desigual, posiblemente porque se empezó a aplicar de arriba para abajo y el pincel estaba más cargado de producto. - Penetración más lenta en la tercera capa. - Evaporación rápida del disolvente. 	
<i>TECNADIS® SOLIDUS</i>	3 al 100%	<ul style="list-style-type: none"> - De 3 a 5 milímetros en función de la topografía de la piedra. - Si hay desnivel hacia abajo la difusión es mayor. - Satura mucho el color de la piedra en húmedo 	
	3 al 100% <i>Wet on wet</i> (alcohol isopropílico)	<ul style="list-style-type: none"> - De 3 a 5 milímetros en función de la topografía de la piedra. - Si hay desnivel hacia abajo la difusión es mayor. - Evaporación rápida del disolvente, hay que aplicar el producto consolidante en el mismo momento. 	

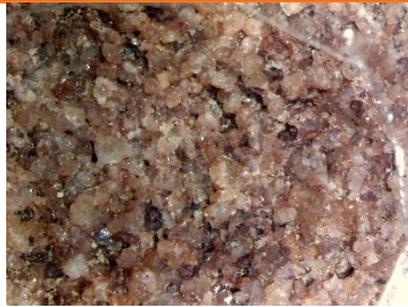
<p><i>NANO ESTEL®</i></p>	<p>3 al 100%</p> <p>3 al 100% <i>Wet on wet</i> (agua destilada)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Difusión menor a 1 mm No ha precipitado como sucedió <i>in situ</i>. Aunque se queda a nivel muy superficial. - Le cuesta más penetrar al producto si no se ha aplicado la capa previa de disolvente. Difusión en la tercera aplicación fue 3mm, le costaba más penetrar. 
<p><i>NANORESTORE®</i></p>	<p>3 al 100%</p> <p>3 al 100% <i>Wet on wet</i> (alcohol isopropílico)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A penas hay difusión (2-3mm) - Evaporación muy rápida del disolvente - Se genera un halo blanquecino (precipitación de hidróxido de calcio en superficie). - Con la tercera capa le cuesta más penetrar, la difusión en superficie es mayor  <ul style="list-style-type: none"> - Mayor difusión con la aplicación del disolvente (hasta 6 mm) - Evaporación muy rápida del disolvente - Se genera un halo blanquecino, aunque menor que cuando se aplica el Nanorestore sin disolvente previo (precipitación de hidróxido de calcio en superficie). 

MICROSCOPIA DIGITAL

La microscopía digital ha permitido comprobar el aspecto superficial que generan los productos consolidantes sobre el material pétreo por comparación con las imágenes tomadas antes de la aplicación de los mismos.

- **WACKER® OH100**

Tabla 3. Representación de las imágenes tomadas por microscopía digital y observaciones realizadas.



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.



DESPUÉS (57x)

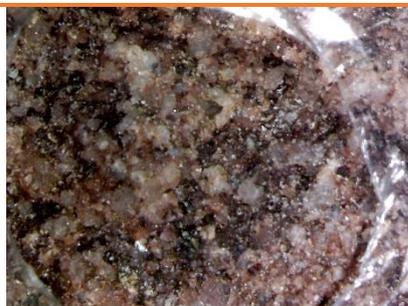
Fuente: SERRANO, 2020.

Se observan en los intersticios puntos brillantes repartidos de manera heterogénea. No genera film.

OBSERVACIONES

- **TECNADIS® SOLIDUS**

Tabla 4. Representación de las imágenes tomadas por microscopía digital y observaciones realizadas.



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.



DESPUÉS (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

Aumento de brillo y saturación.

OBSERVACIONES

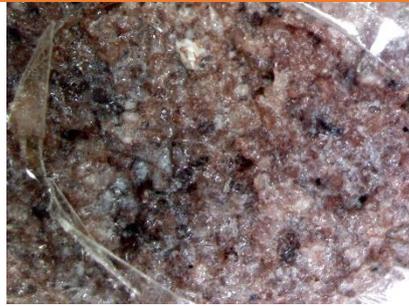
• **NANO ESTEL®**

Tabla 5. Representación de las imágenes tomadas por microscopía digital y observaciones realizadas.



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.



DESPUÉS (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

El consolidante rellena los intersticios, creación de un film. Aspecto muy brillante y blanquecino.

OBSERVACIONES



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.



DESPUÉS (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

Consolidante rellena los intersticios, creación de un fil muy fino. Aspecto brillante.

OBSERVACIONES

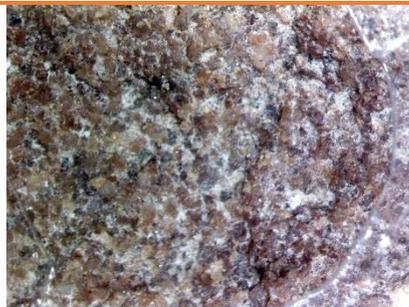
- **NANORESTORE®**

Tabla 6. Representación de las imágenes tomadas por microscopía digital y observaciones realizadas.



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

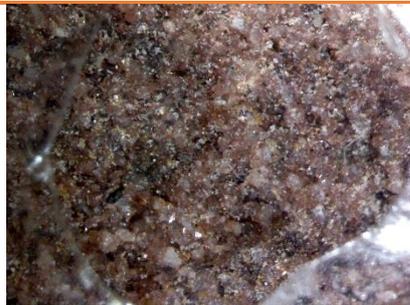


DESPUÉS (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

Aspecto blanquecino,
acumulaciones desiguales
de carbonato de calcio.

OBSERVACIONES



ANTES (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.



DESPUÉS (57x)

Fuente: SERRANO, 2020.

Menor acumulación de
carbonato cálcico al aplicar
wet on wet a la misma
concentración que la
anterior.

OBSERVACIONES

ESTUDIO COLORIMÉTRICO

En el estudio colorimétrico se han realizado mediciones antes y después de la aplicación de los consolidantes en el mismo punto de la muestra gracias a la georreferenciación realizada en el acetato, descrito e ilustrado anteriormente. Se han tenido en cuenta los valores cromático $L^*a^*b^*$. El conocimiento de estos tres parámetros identifica a un color en todos sus atributos reconocidos, tales como luminosidad, tono y saturación: L^* , el valor $L^*=0$ indica negro y $L^*=100$ indica blanco; a^* posición entre el rojo y el verde: a^*- indican verde y a^{*+} significa rojo; y b^* posición entre amarillo y azul: b^*- indica azul y b^{*+} significa amarillo. Con la medición de estos valores, tanto del antes y del después se ha realizado la diferencia de color de cada una de las coordenadas cromáticas (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) gracias a la diferencia entre el después (D) y el antes (A) de las mediciones de cada una de las coordenadas:

$$\Delta n^* = D - A$$

Una vez realizado este cálculo se procede al cálculo de la diferencia de color total (ΔE^*), mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta b^2 + \Delta a^2 + \Delta L^2)}$$

Tras la obtención de la diferencia de color se comparan los resultados con los proporcionados por la *norma ISO 12647-2:2004 (Procesos de litografía offset en plano y rotativa)* (Tabla 7). La norma mencionada recoge que a partir de una diferencia de color con valor 5 o superior, el cambio de color es muy significativo y perceptible por el ojo humano, aunque Melgosa (2001) sostiene que la diferencia de color es perceptible a partir de 2,5.

ΔE^*	CALIDAD
1	Excelente
1-2	Buena
2-4	Normal
2-5	Suficiente
>5	Mala

- **WACKER® OHI00**

Tabla 8. Resultados obtenidos del estudio colorimétrico que determinan la diferencia de color total ΔE^* de *Wacker® OHI00*

	DIFERENCIA DE COLOR			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
I. ANTES 100% 3 CAPAS	-7,830	0,16	0,22	7,83
I. ANTES WET ON WET 100% 3 CAPAS	-3,467	0,37	0,77	3,57
2. ICAPA 100%	-1,387	-2,10	-3,70	4,48
2. ICAPA 75%	-6,110	-1,74	-3,17	7,10
2. ICAPA 50%	-1,700	-1,05	-1,66	2,60
2. ICAPA 25%	-0,517	0,33	0,14	0,63
2. 3CAPAS 100%	-5,337	1,89	1,40	5,83
2. 3CAPAS 75%	-7,450	1,03	0,96	7,58
2. 3CAPAS 50%	-1,633	1,11	1,12	2,27
2. 3CAPAS 25%	2,030	1,18	0,40	2,38

CONCLUSIONES WACKER® OHI00:

- Es el que menos cambios ha producido cromáticamente, en términos generales oscurece la superficie.
- Especialmente, el que más ha oscurecido es la aplicación de 3 capas al 100% y al 75%. El que menos 1 capa al 50 y 25%.
- Aunque también ha funcionado bien aplicando 3 capas al 25 y 50%.

- **TECNADIS® SOLIDUS**

Tabla 9. Resultados obtenidos del estudio colorimétrico que determinan la diferencia de color total ΔE^* de *Tecnadis® Solidus*

	DIFERENCIA DE COLOR			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
I. ANTES 100% 3 CAPAS	-4,26	-1,873	-3,09	5,59
I. ANTES WET ON WET 100% 3 CAPAS	-5,12	-1,427	-2,28	5,78
2. ICAPA 100%	-2,04	2,333	2,56	4,02
2. ICAPA 75%	3,97	-0,760	-0,37	4,06
2. ICAPA 50%	-4,09	-0,677	-0,17	4,15
2. ICAPA 25%	-1,66	-0,347	-0,57	1,79
2. 3CAPAS 100%	-7,06	-0,790	-2,28	7,46
2. 3CAPAS 75%	-7,76	-1,083	-1,50	7,97
2. 3CAPAS 50%	7,01	2,140	1,40	7,47
2. 3CAPAS 25%	-2,37	-0,177	-0,59	2,45

CONCLUSIONES TECNADIS® SOLIDUS

- Oscurece ligeramente la superficie.
- No produce *film*.
- Funciona mejor aplicando una capa de disolvente previa.
- El que mejor ha funcionado ha sido 1 CAPA al 25% y también 3 CAPAS al 25%, ya que los cambios entran dentro del rango permitido (ΔE^* 1,79 y 2,45, respectivamente). No obstante, la aplicación de 3 capas (100%) y 1 capa (100, 75 y 50%) el cambio de color no es perceptible.

- **NANO ESTEL®**

Tabla 10. Resultados obtenidos del estudio colorimétrico que determinan la diferencia de color total ΔE^* de Nano Estel®				
	DIFERENCIA DE COLOR			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
I. ANTES 100% 3 CAPAS	9,66	-2,29	-2,02	10,13
I. ANTES WET ON WET 100% 3 CAPAS	2,15	-3,42	-4,55	6,09
2. 1CAPA 100%	6,62	0,36	-0,23	6,63
2. 1CAPA 75%	-3,47	0,58	-1,36	3,78
2. 1CAPA 50%	2,91	1,16	1,83	3,63
2. 1CAPA 25%	0,28	2,05	2,42	3,18
2. 3CAPAS 100%	2,19	-3,65	-5,37	6,85
2. 3CAPAS 75%	4,22	-4,80	-5,40	8,36
2. 3CAPAS 50%	-9,49	-2,06	-3,87	10,45
2. 3CAPAS 25%	-11,64	-3,43	-3,80	12,72

CONCLUSIONES NANO ESTEL®

- Ha aclarado la superficie en todos los casos, especialmente en la aplicación de 3 capas al 100%, 75%, 50% y 25%.
- La diferencia de color en las aplicaciones de 1 capa a concentraciones 25%, 50% y 75% entra dentro de los parámetros normales.
- En cambio, se observa un oscurecimiento acusado en la aplicación de 3 capas al 25% y al 50%. El examen colorimétrico se ha realizado 2 veces, se desconoce el motivo.

- **NANORESTORE®**

Tabla II. Resultados obtenidos del estudio colorimétrico que determinan la diferencia de color total ΔE^* de <i>Nanorestore®</i>				
	DIFERENCIA DE COLOR			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
I. ANTES 100% 3 CAPAS	8,92	-1,25	-2,083	9,25
I. ANTES WET ON WET 100% 3 CAPAS	3,39	-1,49	-2,473	4,45
2. ICAPA 100%	6,36	-0,81	-3,590	7,35
2. ICAPA 50%	3,23	1,14	1,540	3,76
2. ICAPA 25%	-5,83	-1,05	-1,797	6,19
2. 3CAPAS 100%	11,63	-2,01	-2,160	12,00
2. 3CAPAS 50%	1,38	-0,51	2,233	2,67
2. 3CAPAS 25%	4,86	-1,61	-3,130	6,00

CONCLUSIONES NANORESTORE®

- Aclara la superficie en todos los casos, aunque se observa un oscurecimiento en I capa de *Nanorestore®* al 25%.
- La superficie se ha aclarado menos aplicando primero I capa de disolvente.
- El que mejor ha funcionado ha sido el *Nanorestore®* aplicado al 50%, tanto en I capa como 3 capas.

CONCLUSIONES

En términos generales se ha observado que la aplicación de los consolidantes *wet on wet* permite cualquier concentración porque la diferencia de color (ΔE^*) no supera ΔE^*5^{71} , salvo en *Nano Estel*[®], que se recomienda aplicar de 1 a 3 capas al 25% de concentración. Aplicar los productos de esta manera permite disponer tres capas; aunque sería interesante estudiar si la penetración es mayor o no, y también, habría que tener en cuenta si se arrastra consolidante en el pincel al aplicar las sucesivas capas de disolvente.

Del mismo modo, en todos los productos estudiados se puede observar gracias al estudio con el microscopio digital que el cambio a nivel superficial es menor cuando se aplican *wet on wet*.

Por ello, se ha determinado que la aplicación de los consolidantes en las probetas pétreas se va a realizar de la siguiente manera:

Tabla 12. Conclusiones de método de aplicación de los productos consolidantes.		
PRODUCTOS	CONCENTRACIÓN (%)	NÚMERO DE CAPAS
<i>Wacker</i> [®] <i>OHI100</i> (alcohol isopropílico)	100	3 <i>Wet on wet</i>
<i>Tecnadis</i> [®] <i>solidus</i> (alcohol isopropílico)	100	3 <i>Wet on wet</i>
<i>Nano Estel</i> [®] (agua destilada)	25	3 <i>Wet on wet</i>
<i>Nanorestore</i> [®] (alcohol isopropílico)	100	3 <i>Wet on wet</i>

⁷¹ Según la norma ISO 12647-2:2004.

ANEXO III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN INVESTIGACIÓN DE ARTE RUPESTRE

El reconocimiento de la Prehistoria como Ciencia Internacional en 1859 supone el inicio de los estudios prehistóricos, gracias a los trabajos de excavación realizados por William Pengelly en la *Cueva de Brixham*, en Devon (1858-1859), que pese a que no fue una labor pionera, pues ya existían aportaciones realizadas por McEnery, Boucher de Perthes⁷² o Eduardo Lartet, su trabajo supuso la creación de la comisión *British Geological Society*, que demostraba la existencia de sílex en las mismas unidades estratigráficas que restos de huesos de animales extinguidos⁷³ (AYARZAGÜENA, 2013).

La *Royal Society* en Inglaterra y la *Académie des Sciences* en Francia se hicieron eco del trabajo y ambas lo reconocieron el mismo año. El interés por los orígenes de la existencia del hombre estaba latente, momento que coincidió con la publicación de *El origen de las especies* de Charles Darwin en 1859, que recogía el paradigma (entre otros) del origen del ser humano, así como por la publicación de *The descent of Man and Selection in relation to sex* (1871) (CENDRERO, 1997). La publicación ayudó a que surgiera una nueva cronología que ampliara los límites temporales que se recogían en las Sagradas Escrituras (PELAYO y GOZALO, 2012). El desarrollo y el interés por la Prehistoria la consolidó como disciplina científica, lo que supuso la creación de organismos cualificados, permitiendo la formación y estructuración de una ciencia especializada, que no sólo realizaba prospecciones y excavaciones arqueológicas por afición o divertimento, sino que estaba instaurada dentro de un marco de investigación oficial (DANIEL, 1974; RODANÉS, 1988; EIROA, 2000; GRAN-AYMERICH, 2001; FULLOLA y NADAL, 2005; AYARZAGÜENA, 2013).

En España se fundó en 1864 la *Sociedad Antropológica Española*, que contaba como socio fundador con el eminente Juan Vilanova y Piera (1821-1893), cátedra en Geología y Paleontología. Aunque no fue hasta el verano de 1866 cuando inició sus investigaciones prehistóricas junto con el joven Eduardo Boscá en la *Cova del Parpalló* (Gandía) y la *Cova Negra* (Xátiva). Desde entonces la figura de J. Vilanova fue destacada y comenzó a asistir a encuentros internacionales de Antropología y Arqueología Prehistórica, como el que tuvo lugar en Dinamarca y Suecia en 1869, que facilitó el intercambio de conocimientos entre los países europeos y España. En dichos intercambios científicos, España se situaba pionera en cuanto a la defensa de la existencia de periodos intermedios, como el Mesolítico o Calcolítico (PUCHE y AYARZAGÜENA, 1997).

En 1875 con la Restauración Borbónica recién instaurada y bajo el reinado del monarca Alfonso XII, la ciencia prehistórica comienza un periodo de inestabilidad; momento significativo porque coincide con el descubrimiento del yacimiento y de las pinturas paleolíticas de Altamira. Éstas fueron descubiertas por María Sanz de Santuola, de Marcelino Sanz de Santuola, en 1879, aunque se publicaron un año después (SANZ DE SAUTUOLA, 1880). El descubrimiento tuvo bastantes detractores, pero Villanova defendió su autenticidad en el *Congreso Internacional de Arqueología y Antropología Prehistóricas* (Lisboa, 1880), aunque los expertos se mostraron reticentes (AYARZAGÜENA, 2013). No será verificada su autenticidad hasta principios del s. XX cuando se aceptaron como

⁷² Boucher de Perthes publicó en 1847 *Antiquités celtiques et antédiluviennes*, que para algunos estudiosos podría significar, siquiera de forma simbólica, el nacimiento de esta ciencia.

⁷³ Aunque este trabajo no fue el único en esta línea, los trabajos de Boucher de Perthes en Abbeville mantenían las mismas conclusiones respecto a la aparición de sílex con restos óseos de animales extinguidos (Ayarzagüena, 2013).

fidedignos los hallazgos de otras cavernas con arte prehistórico como los grabados de la cueva de *Pair-non-Pair* (Gironde, Francia) o las pinturas de *Font-de-Gaume* (Dordoña, Francia), que provocaron la visita de Emile Cartailhac y Henri Breuil a España. Es, entonces, cuando Carthailhac asume su error públicamente y por escrito, reflejándolo en el artículo *La grotte d'Altamira. Espagne. «Mea culpa» d'un sceptique* donde verifica la autenticidad de las pinturas de Altamira (CARTAILHAC, 1902; PELAYO y GOZALO, 2012; AYARZAGÜENA, 2013; BARREDA, 2016).

Esta disculpa no pasó desapercibida en la *Sociedad Española de Historia Natural*, quienes comentaron la visita de varios prehistoriadores franceses que sostenían que debían de haberse tomado en cuenta las opiniones de Juan Vilanova con respecto al origen prehistórico de los dibujos de Altamira (HOYOS, 1902).

En 1911 se creó la *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas*, institución que dependía del *Museo Nacional de Ciencias Naturales*, que surgió como respuesta al imperialismo científico francés, concretamente al *Institut de Paléontologie Humaine*. Dicha Comisión financiará estudios de arte rupestre a diferentes investigadores españoles, como Juan Cabré y Eduardo Hernández-Pacheco.

Al año siguiente (1912) tendrá lugar la creación de la *Junta Superior de Excavaciones*, lo que supondrá el reconocimiento oficial de la ciencia prehistórica en España, al menos desde el punto de vista administrativo. En este momento, se comienza una investigación sistemática del arte rupestre prehistórico (PELAYO y GOZALO, 2012). Aunque los estudios de Prehistoria no formaron parte de los programas universitarios de manera oficial hasta 1922, que coincide con la creación de la Cátedra de Historia Primitiva del Hombre en la Universidad de Madrid (BARREDA, 2016).

III.1 LOS PRIMEROS DESCUBRIMIENTOS DE ARTE RUPESTRE

Es posible que la referencia más antigua sobre la evidencia de arte rupestre a nivel internacional europeo es la que menciona François Belle-Forest en el siglo XVI sobre la presencia de unas pinturas en la *Cueva de Rouffignac* (Fleurac, Francia) (SANTOS, 2017). Según Belle-Forest (1575) en su obra *La Cosmographie universelle de tout le monde*, narra que:

“Cerca de Miramont, [...], se ve una caverna o gruta que los naturales del país llaman Cluzeau, en la que quienes entran encuentran grandes maravillas, la distancia a recorrer en longitud bajo tierra es de cinco o seis leguas, y allí hay bellas salas y cámaras, algunas pavimentadas de piedra menuda y diversificada en colores como un mosaico, y se ven pasadizos y pinturas en muchos lugares y la huella o marca de distintas clases de bestias grandes y pequeñas”.

Aunque algunos autores ponen en duda que Belle-Forest haga referencia a las pinturas prehistóricas (BELTRÁN, 2000; SANTOS, 2017), hoy se consolidan como uno de los conjuntos de arte rupestre paleolítico más importantes. Pese ello, se puede considerar que las primeras evidencias de arte parietal documentadas sean las pinturas de *Cachão da Rapa* (Portugal) según menciona Carvalho da Costa en *Corografía Portuguesa e Descrição topográfica do famoso Reyno de Portugal, com as Notícias das Fundações das Cidades, Villas & lugares* (1706) (Ídem).

A nivel nacional, la documentación más temprana que consta es la de *Las Batuecas del Duque de Alba* de Lope de Vega, obra teatral estrenada en 1604 y que hace referencia a las pinturas de *Peña Escrita* y *La Batanera* (Ciudad Real) (LOPE DE VEGA, 1604). Los mismos conjuntos aparecen referenciados por López de Cárdenas en 1783, quien dio

noticia del arte rupestre esquemático y ordenó la copia de las pinturas al escribano Antonio José Díaz Pérez y a su hermano y presbítero Antonio López Cárdenas (NIETO, 1984; SANTOS, 2017). Años posteriores, Manuel de Góngora en *Antigüedades Prehistóricas de Andalucía*, ilustra los “geroglíficos” de *La Batanera* (Fuencaliente) o *Cueva de los Letreros* (Vélez-Blanco) (GÓNGORA, 1868).

A lo largo del s. XIX fueron sucediendo descubrimientos de arte mueble paleolítico que se recogen en el primer compendio de arte mueble publicado por Édouard Lartet y Henry Christy en 1875 bajo el título de *Reliquiae Aquitanicae* (SANTOS, 2017). Será pocos años después cuando se descubran las pinturas paleolíticas de Altamira (1879), ya comentadas, lo que supondrá la llegada de diferentes investigadores al país como Henri Breuil o Hugo Obermaier. A partir de entonces son numerosos los descubrimientos de arte rupestre, tanto en la cornisa franco-cántabra como en el Arco Mediterráneo.

Ambos focos recogen importantísimos conjuntos con manifestaciones rupestres, todos considerados a principios del s. XX como paleolíticos por la fauna pleistocénica que representan y el hallazgo de materiales procedentes del Paleolítico Medio y Superior próximos a los conjuntos rupestres (BREUIL, 1910; CABRÉ, 1915; OBERMAIER, 1916; OBERMAIER y WERNERT, 1919). Los investigadores que apoyan esta cronología son coetáneos a los descubrimientos, algunos de ellos son Breuil, Cabré, Obermaier, Wernert o Bosch-Gimpera. Pese a esta primera estimación, también existen defensores que consideran al Arte Levantino dentro del Neolítico o Eneolítico, como Hernández, Martí, Utrilla, Mesado o Jordá, entre otros.

No obstante, dentro del marco de los hallazgos con arte rupestre, tanto de la cornisa cantábrica y francesa y del levante mediterráneo, se fueron dando descubrimientos de manera simultánea en ambos puntos. El descubrimiento pionero dentro del arte Levantino son los abrigos de los *Toros del Prado del Navazo*, conjunto objeto de estudio en esta investigación, y *La Cocinilla del Obispo*, ambos hallados en 1892 y situados en Albarracín (Teruel). Fueron dados a conocer por Emilio Marconell en una nota de prensa de una revista turolense (MARCONELL, 1892A, 1892B; UTRILLA Y BEA 2018), pero su hallazgo nos ocupará en líneas posteriores. Pese a que la extensión geográfica del arte rupestre se va dispersando no sólo en el arco mediterráneo, sino que suceden de manera paralela en la cornisa franco-cántabra, como *La Pasiiega* (1911) (BREUIL, *et al.*, 1913) o *Cueva de la Peña de Cándamo* (1914) (HERNÁNDEZ-PACHECO, 1919), así como en el sur de la península; este trabajo va a estar centrado en el arte rupestre Levantino en Aragón, en concreto en la provincia de Teruel.

III.1.1 BREVE HISTORIOGRAFÍA DEL ARTE LEVANTINO EN ARAGÓN

Como se señalaba en líneas anteriores, Aragón, y en concreto la provincia de Teruel, comprende las primeras manifestaciones de arte Levantino descubiertas más emblemáticas que dejaron la cultura de los últimos cazadores-recolectores y primeros agricultores (BELTRÁN, 1968, 1989, 2000; UTRILLA, 2000; MARTÍNEZ-BEA, 2005; RODANÉS, 2018). Los primeros ejemplos de arte Levantino fueron recogidos por E. Marconell en la revista *Miscelánea Turolense* en 1892, donde pone de manifiesto que “*existen unas siluetas de toros en unos peñascos inaccesibles*” (MARCONELL, 1892B; UTRILLA, 2000; MARTÍNEZ-BEA, 2005; SERRANO *et al.*, e.p.). Aunque no será hasta la llegada del arqueólogo aragonés Juan Cabré cuando da visibilidad al arte Levantino en sí mismo

gracias al descubrimiento de la *Roca dels Moros* en el Barranco de Calapatá (Cretas, Teruel) en 1903, aunque publicado en 1907 (VALLESPÍ, 2006). Después de la publicación de Vidiella, Cabré hace referencia a estos conjuntos en una obra manuscrita, que después será publicada por la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas (CABRÉ, 1915).

Henri Breuil, abate y prehistoriador francés, se trasladó hasta Aragón momento en el que descubre *Els Gascons* (Cretas, Teruel) en 1906. Breuil y Cabré publicaron en 1909 en la prestigiosa revista francesa *L'Anthropologie* tales hallazgos, pero otorgaron a las pinturas de una cronología paleolítica (BREUIL y CABRÉ, 1909).

Desde entonces se sucedieron una serie de descubrimientos como *Roca dels Moros* en Cogul (1908), *Cueva de La Vieja* en Alpera (1910), *las Tortosillas* en Alpera (1911), *Cantos de la Visera* en Yecla (1912), *Valdelcharco del Agua Amarga* (1913) *Minateda* (1914) o la Val del Charco del Agua Amarga en Alcañiz (1913), entre otros muchos. Estos descubrimientos motivaron a J. Cabré publicar en 1915 de *El arte rupestre en España*, que siguió fechando las pinturas como paleolíticas. Y, seguidamente motivó la publicación de *El hombre fósil* en 1916 a H. Obermaier (OBERMAIER, 1916). Los hallazgos se fueron sucediendo progresivamente hasta 1926, y los descubrimientos se paralizaron, en cierto modo⁷⁴, hasta dos décadas después, teniendo lugar el descubrimiento del *Abrigo de Doña Clotilde* en 1949 gracias a Martín Almagro. Esta figura, junto con Beltrán y Ripoll publicaron en 1956 *La Prehistoria del Bajo Aragón*, donde dedican un extenso capítulo al arte rupestre (ALMAGRO *et al.*, 1956). Ya en 1968 Antonio Beltrán (BELTRÁN, 1968) establece cuatro estilos que organizan el arte levantino, de acuerdo con las cuatro etapas evolutivas o cronológicas que Ripoll (1965 y 1968) había clasificado.

Desde entonces, los hallazgos han sido pródigos a lo largo del s. XX y s. XXI, especialmente en la cuenca del río Martín y en la serranía de Albarracín.

⁷⁴ Por ejemplo, se descubrió *Cova Remigia* en Ares del Maestre en 1934, pero la Guerra Civil fue un punto de inflexión en el descubrimiento de nuevos conjuntos.

III.2. EL ARTE RUPESTRE LEVANTINO DECLARADO *PATRIMONIO MUNDIAL*

Previo al comienzo de la explicación sobre la declaración del arte rupestre Levantino como Patrimonio Mundial, cabe destacar la creación de Parques Culturales en la Comunidad de Aragón. El inicio de esta iniciativa procede de la experiencia de otros países, como Australia (Parque de Kakadú) en materia de protección, conservación y difusión del arte rupestre (BELTRÁN, 1990; COLLADO, 1990, 1992). Así, en 1987 tuvo lugar un coloquio en Albarracín para incoar el expediente de la creación de los Parques Culturales del río Vero y Albarracín. No fue hasta diez años después cuando se llevaron a cabo, incluyendo como Parques Culturales no sólo los mencionados, sino también el Maestrazgo, río Martín y San Juan de la Peña. La creación de los Parques Culturales en la comunidad aragonesa permite salvaguardar cada uno de los elementos que integran los parques, evitando la degradación y desarrollar un turismo ecológico, con el objetivo de “musealizar” los espacios naturales (JUSTE, *et al.* 2012).

El arte rupestre es incluido por primera vez en la lista de Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1979, especialmente los grabados de Valcamonica (Lombardía, Italia), y las Cuevas del *Valle de Vézère* (Dordoña, Francia) (BARREDA, 2016). La propuesta de incluir en arte rupestre Levantino en la lista de Patrimonio Mundial partió en 1995, momento en el que se fueron realizando diferentes encuentros con especialistas en el ámbito del arte rupestre levantino (SAN NICOLÁS DEL TORO, 2005). Tanto es así, que, en enero de 1996, en la *IIIª Reunión de Gestores de Patrimonio Arqueológico* (Toledo) se propuso plantear la petición de declaración para todo el Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica (SAN NICOLÁS DEL TORO, 2005; HERNÁNDEZ, 2009). En este mismo año, tiene lugar una reunión en El Forcall (Castellón) donde se reúne la documentación precisa para presentar al Consejo de Patrimonio Histórico del Ministerio de Cultura, entre ella la incoación del expediente para la declaración como Patrimonio de la Humanidad (*Ídem*). Los encuentros y reuniones entre los expertos siguen sucediendo en las diferentes comunidades autónomas afectadas; en cualquier caso, destacar que fue un proceso largo cuyos pormenores se pueden consultar en la publicación de San Nicolás del Toro (2005).

La proclamación como Patrimonio Mundial se oficializó el 2 de diciembre de 1998 bajo el Criterio (iii) que sostiene: “*El corpus del periodo prehistórico de las pinturas rupestres del arco mediterráneo del Este de España es el conjunto más grande de pinturas rupestres de toda Europa y constituye una imagen excepcional de la vida humana en un periodo de la evolución cultural de la humanidad*” (Centre, s. f.). En un comunicado emitido por el Director General de Cultura se dio a conocer la noticia, que, según San Nicolás del Toro (2005), recogía lo siguiente: “*En el día de hoy, la Asamblea General de la UNESCO reunida en Kioto (Japón), ha declarado Patrimonio de la Humanidad el “Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica”*”. En la lista de Patrimonio Mundial del Arte Rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica se incluyen 758 conjuntos⁷⁵ con arte rupestre distribuidos en seis comunidades autónomas: Andalucía, Aragón, Castilla-La Mancha, Cataluña, Murcia y Valencia.

⁷⁵ Centro, UWH (s. F.). Arte rupestre de la cuenca mediterránea en la península ibérica. Recuperado 18 de abril de 2020, sitio web del Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO: <https://whc.unesco.org/en/list/874/>

ANEXO IV. MICROSCOPIA ESTEREOSCOPICA Y ELECTRONICA DE BARRIDO CON DETECTOR DE RAYOS X

ÍNDICE

I.	Microscopía estereoscópica (MEST)	123
	1.1 Material pétreo	123
	1.2 Caracterización eflorescencias salinas.....	125
	1.3 Caracterización mortero del cerramiento	126
	1.4 Caracterización costras calcáreas.....	127
	1.5 Caracterización resina.....	128
2.	Microscopía electrónica de barrido con EDX (SEM-EDX)	129
	2.1 Caracterización del material pétreo	129
	2.2 Caracterización de eflorescencias salinas	133
	2.3 Caracterización mortero	134
	2.4 Caracterización costras calcáreas.....	136

IV.1. MICROSCOPIA ESTEREOSCÓPICA (MEST)

1.1 MATERIAL PÉTREO



Figura 1. Superficie del material pétreo (32x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 2. Superficie del material pétreo (32x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 3. Tallo con posibles restos de resina incrustado en el material pétreo (50x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 4. Detalle de tallo con posibles restos de resina incrustado en el material pétreo (63x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 5. Raíces presentes en la superficie pétrea (20x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 6. Recubrimiento de posible musgo sobre la superficie pétrea (20x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 7. Acumulación de posibles huevos de insecto (32x). Fuente: SERRANO, 2020.

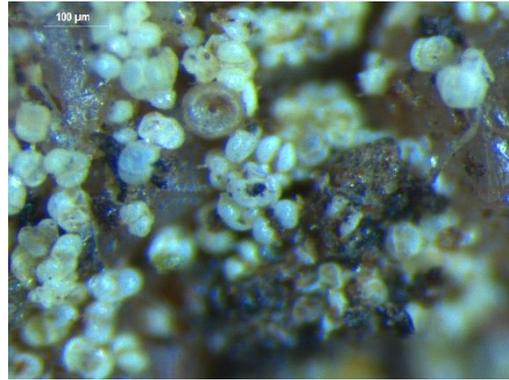


Figura 8. Detalle de posibles huevos de insecto (48x). Fuente: SERRANO, 2020.

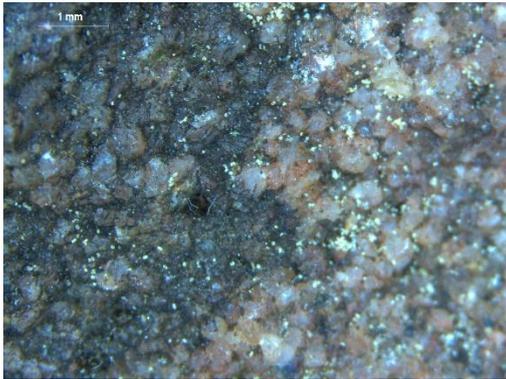


Figura 9. Pátina orgánica y presencia de posibles huevos de insecto (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

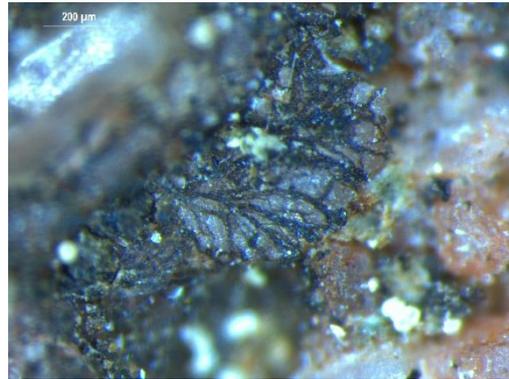


Figura 10. Detalle de recubrimiento orgánico, donde se aprecia como las hijas recubren los clastos del material pétreo (63x). Fuente: SERRANO, 2020.

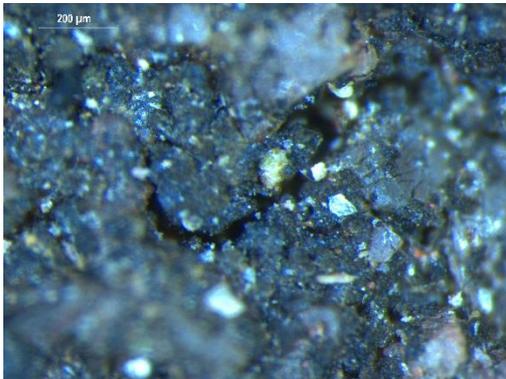


Figura 11. Detalle de recubrimiento completo de material orgánico que se adapta a la topografía de superficie (63x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 12. Acumulación de huevos de insecto y posibles deyecciones de mosca (señalado) (32x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 13. Posible resto orgánico tipo planta superior incrustado en el material pétreo (32x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 14. Detalle del posible resto orgánico tipo planta superior (63x). Fuente: SERRANO, 2020.

1.2 CARACTERIZACIÓN EFLORESCENCIAS SALINAS

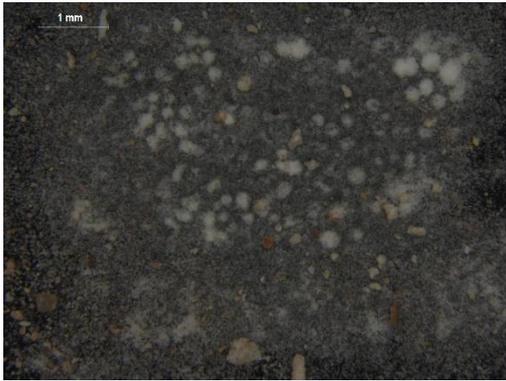


Figura 15. Sales de eflorescencias salinas procedentes del mortero de rejunte del muro de cerramiento (8x). Fuente: SERRANO, 2020.

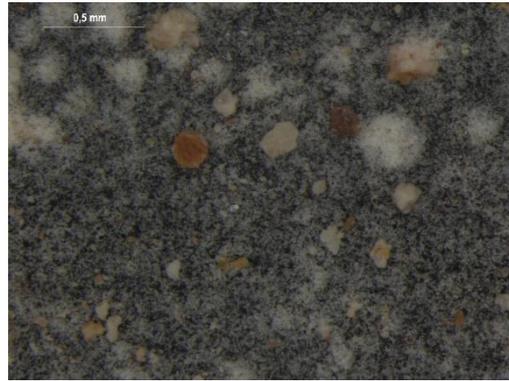


Figura 16. Detalle de sales de eflorescencias salinas (25x). Fuente: SERRANO, 2020.

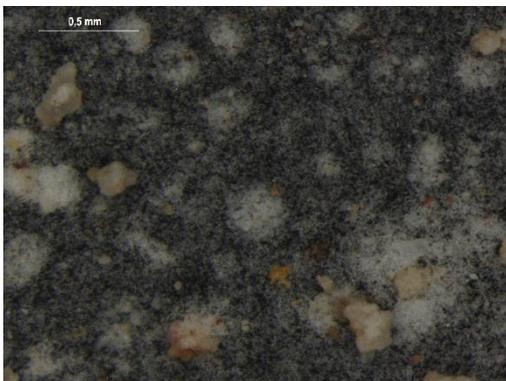


Figura 17. Sales procedentes de eflorescencias salinas (25x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 18. Acumulación de sales de eflorescencias salinas (25x). Fuente: SERRANO, 2020.

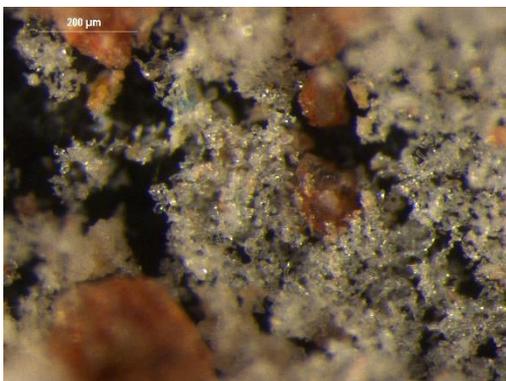


Figura 19. Sales procedentes del muro de cerramiento con morfología filamentososa y presencia de granos de sílice (63x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 20. Sales procedentes del muro de cerramiento con morfología filamentososa y presencia de granos de sílice (63x). Fuente: SERRANO, 2020.

1.3 CARACTERIZACIÓN MORTERO DEL CERRAMIENTO



Figura 21. Corte transversal de mortero de cerramiento. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 22. Detalle de porosidad de mortero y restos vegetales. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 23. Detalle de mortero y su porosidad. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 24. Clastos de diversa naturaleza componen en mortero. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 25. Diferencia de color en el mortero. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 26. Superficie de mortero, donde se observa su porosidad. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 27. Detalle de la elevada porosidad del mortero. Fuente: SERRANO, 2020.

1.4 CARACTERIZACIÓN COSTRAS CALCÁREAS



Figura 28. Aspecto superficial de concreción calcárea, se aprecia agrietamiento y tonalidad parda. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 29. Aspecto interior de la concreción calcárea: tonalidad blanquecina (la marca gris procede de la herramienta de corte). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 30. Morfología globular de la concreción calcárea. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 31. Detalle de la morfología globular de la concreción calcárea. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 32. Detalle de la morfología globular de la concreción calcárea. Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 33. Detalle de un glóbulo de la concreción calcárea. Fuente: SERRANO, 2020.

1.5 CARACTERIZACIÓN RESINA



Figura 34. Resina proyectada sobre el interior del muro de cerramiento (8x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 35. Detalle de resina (32x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 36. Detalle de resina (63x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 37. Detalle de resina (63x). Fuente: SERRANO, 2020.

IV.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO CON DETECTOR DE RAYOS X (SEM-EDX)

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

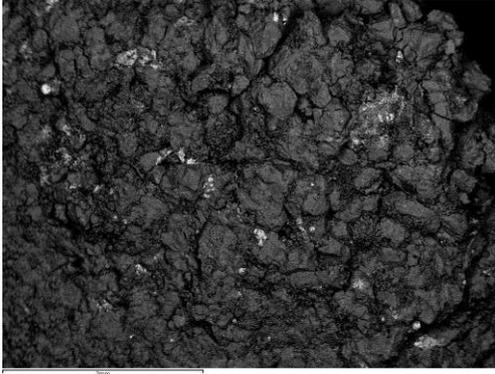


Figura 38. Superficie del material pétreo que muestra la diferencia de tamaño entre los diferentes clastos (25x). Fuente: SERRANO, 2020.



Figura 39. Disposición de los granos que integran la roca con hábito tabular (1200x). Fuente: SERRANO, 2020.

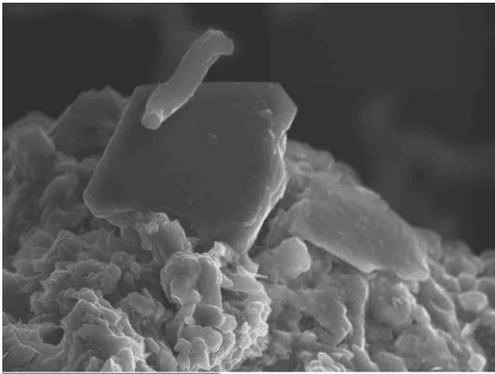


Figura 40. Detalle de cristal de sílice con morfología romboidal que tiene sobre sí un grano de sulfito de magnesio (1000x). Fuente: SERRANO, 2020.

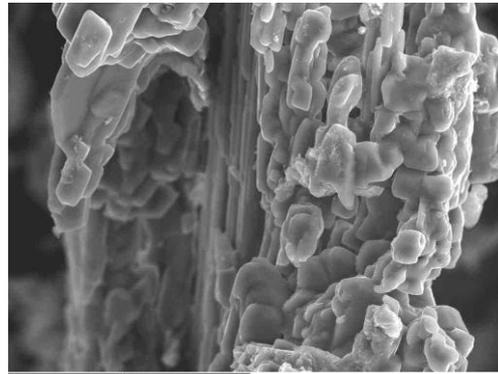


Figura 41. Hábito tabular del soporte (1000x). Fuente: SERRANO, 2020.

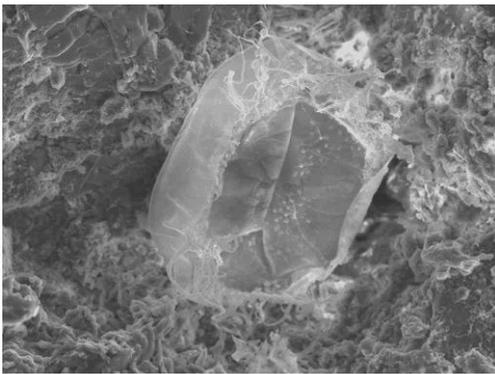


Figura 42. Presencia de un posible nido de un microorganismo (500x). Fuente: SERRANO, 2020.

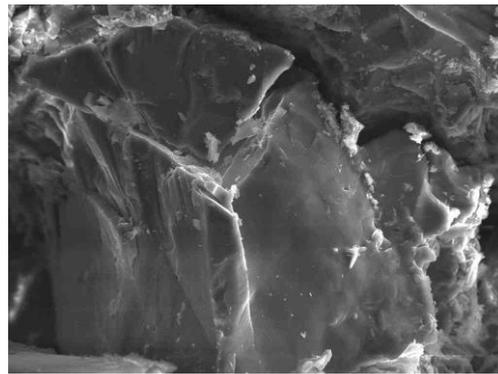


Figura 43. Morfología del cristal de sílice (800x). Fuente: SERRANO, 2020.

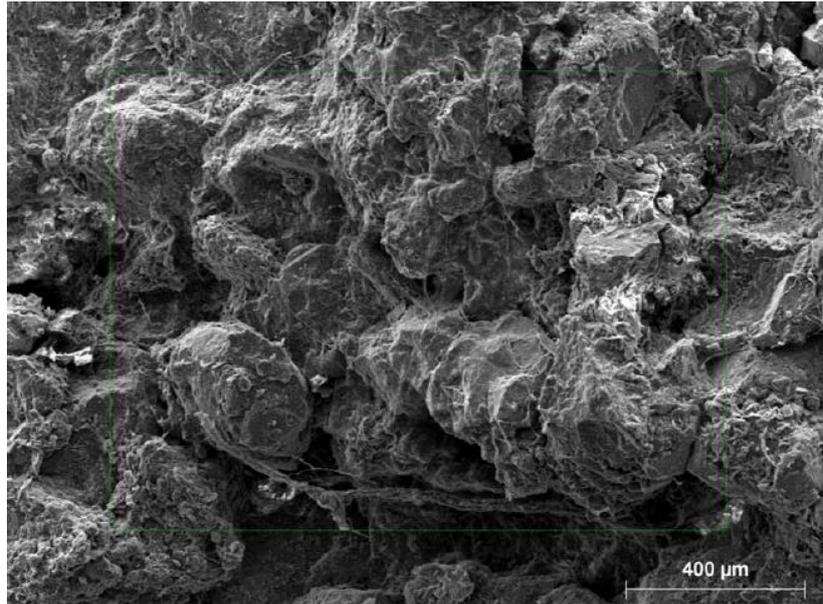


Figura 44. Superficie del material pétreo (x70). Fuente: SERRANO, 2020.

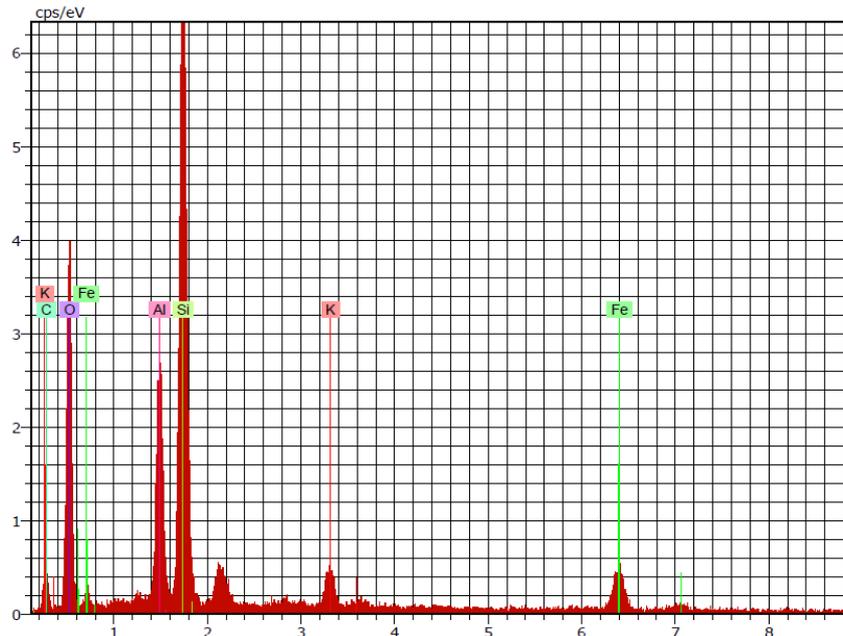


Figura 45. Espectro del microanálisis (EDX) del material pétreo. Presencia de hierro, sílice, aluminio y potasio, que denotan la presencia de óxido de sílice, feldespatos potásico y óxido de hierro. Fuente: SERRANO, 2020.

Spectrum: 1

Element	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [wt. %]
Carbon	K-series	9.69	13.04	20.44	2.6
Oxygen	K-series	35.02	47.15	55.48	5.2
Aluminium	K-series	6.28	8.46	5.90	0.3
Silicon	K-series	16.09	21.67	14.52	0.7
Potassium	K-series	1.98	2.67	1.28	0.1
Iron	K-series	5.21	7.01	2.36	0.2
Total:		74.27	100.00	100.00	

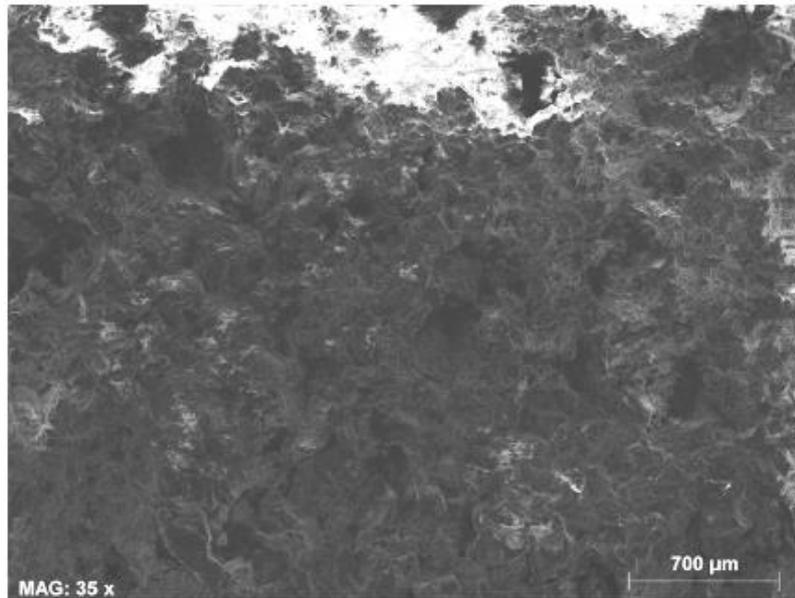


Figura 46. Superficie del material pétreo (x35). Fuente: SERRANO, 2020.

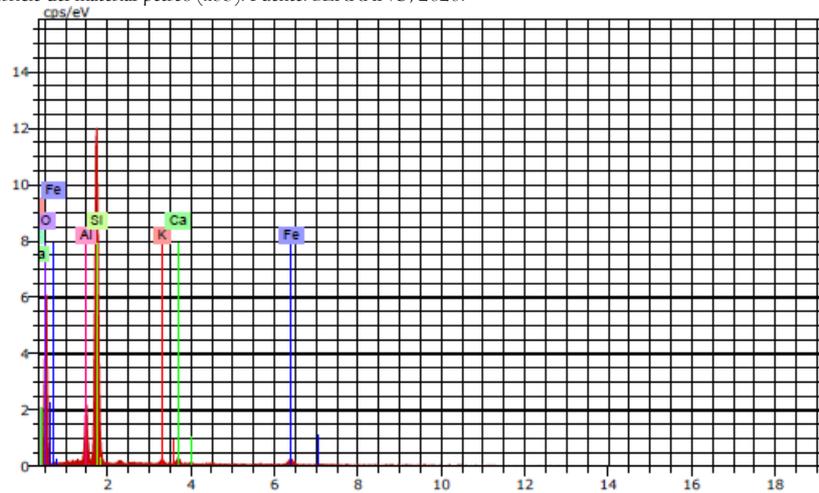


Figura 47. Espectro del microanálisis (EDX) del material pétreo. Presencia de hierro, sílice, aluminio y potasio, que denotan la presencia de óxido de sílice, feldespatos potásico y óxido de hierro. Fuente: SERRANO, 2020.

Spectrum: 1

Element	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error [wt. %]
Carbon	K-series	2.92	3.99	6.39	1.2
Oxygen	K-series	40.92	55.96	67.26	5.7
Aluminium	K-series	3.73	5.10	3.63	0.2
Silicon	K-series	22.36	30.58	20.94	1.0
Potassium	K-series	0.75	1.02	0.50	0.1
Calcium	K-series	0.71	0.97	0.46	0.1
Iron	K-series	1.74	2.38	0.82	0.1
Total:		73.12	100.00	100.00	

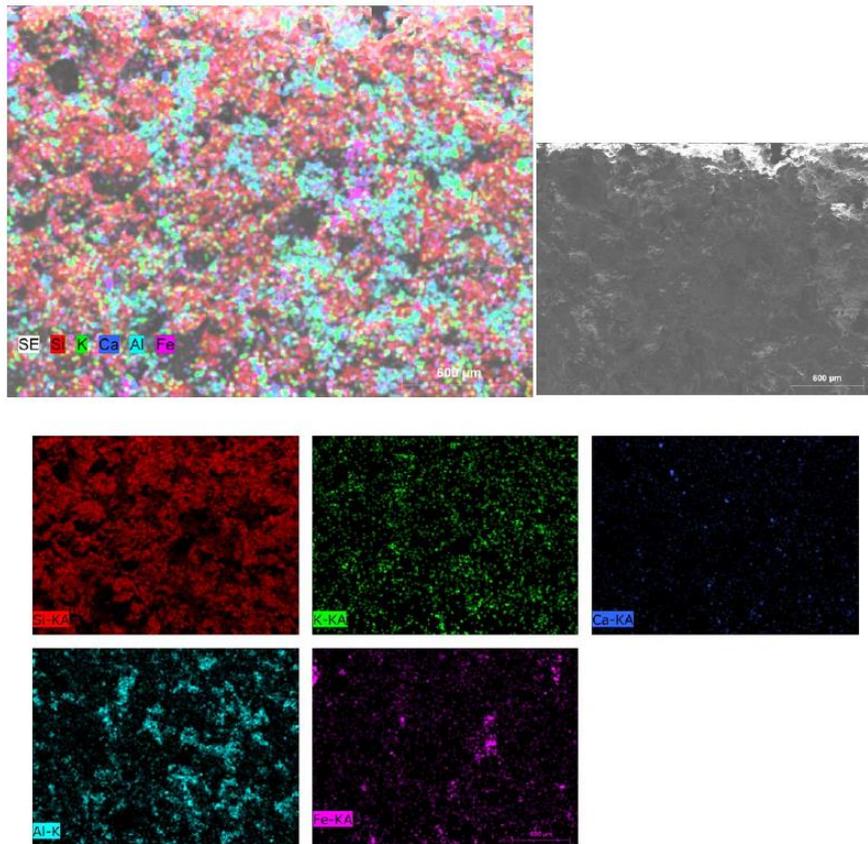


Figura 48. Mapping de la distribución de los elementos en el material pétreo. Fuente: SERRANO, 2020.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE EFLORESCENCIAS SALINAS

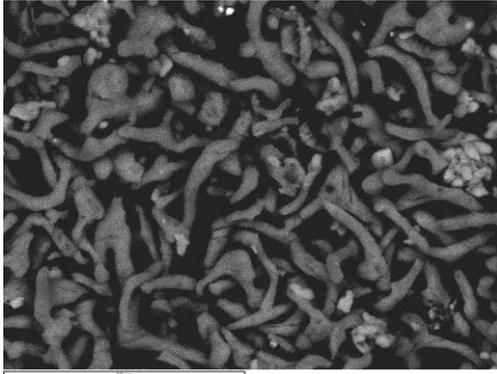


Figura 49. Morfología filiforme de los cristales de las sales que afectan al muro de cerramiento (1000x). Fuente: SERRANO, 2020.

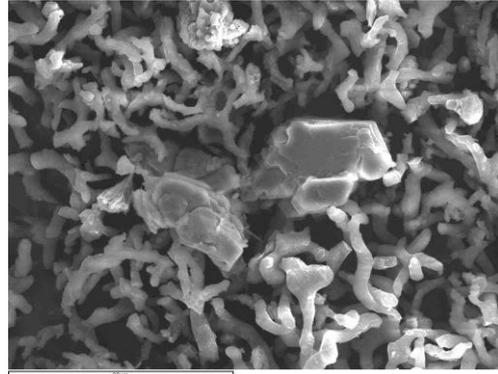


Figura 50. Morfología filiforme de los cristales de sales con presencia de cristales de sílice (700x). Fuente: SERRANO, 2020.

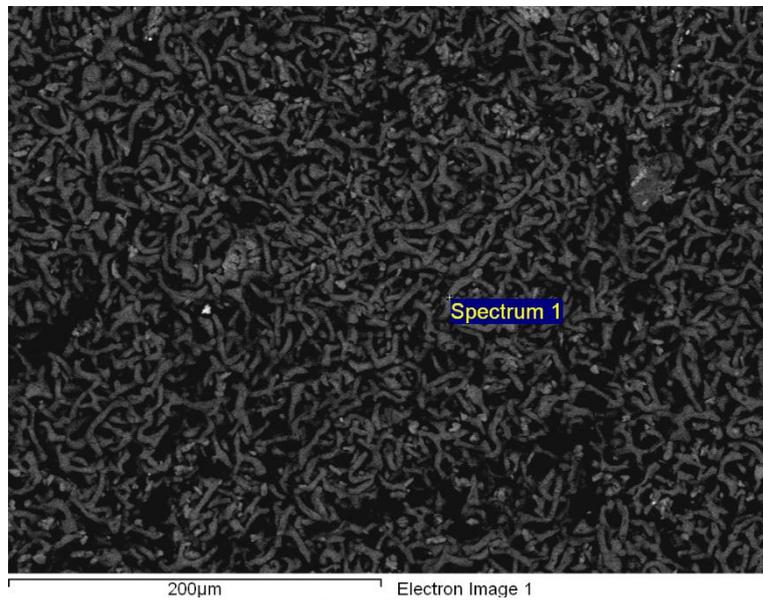


Figura 51. Eflorescencias salinas de aspecto filiforme (300x). Fuente: SERRANO, 2020.

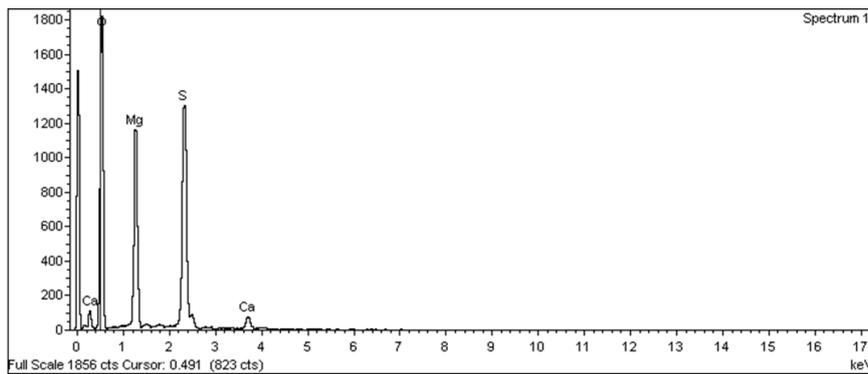


Figura 52. Espectro de microanálisis (EDX) de eflorescencias salinas que determinan la naturaleza de las eflorescencias: sulfatos de magnesio. Fuente: SERRANO, 2020.

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Mg K	20.11	16.74	33.35	MgO
S K	25.53	16.11	63.74	SO ₃
Ca K	2.08	1.05	2.91	CaO
O	52.28	66.11		
Totals	100.00			

2.3 CARACTERIZACIÓN MORTERO

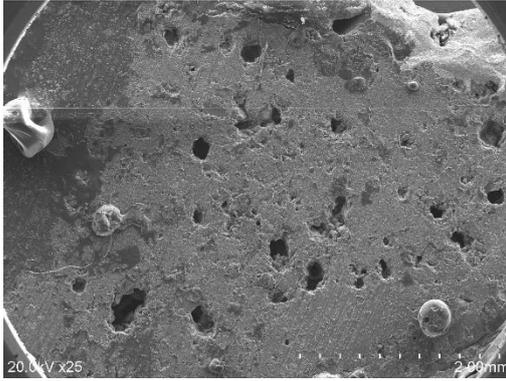


Figura 53. Sección transversal de mortero, muestra un tamaño de poro elevado (25x). Fuente: SERRANO, 2020.

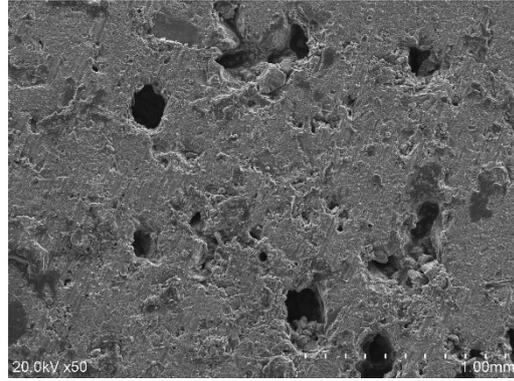


Figura 54. Detalle de la porosidad del mortero (50x). Fuente: SERRANO, 2020.

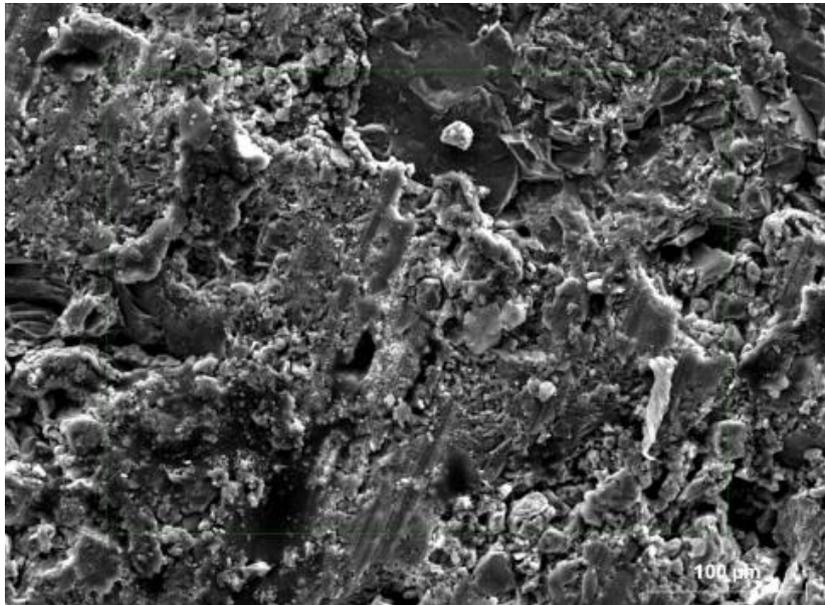


Figura 55. Superficie y distribución del mortero, que determina la presencia de diversos materiales por la variedad de su morfología (250x). Fuente: SERRANO, 2020.

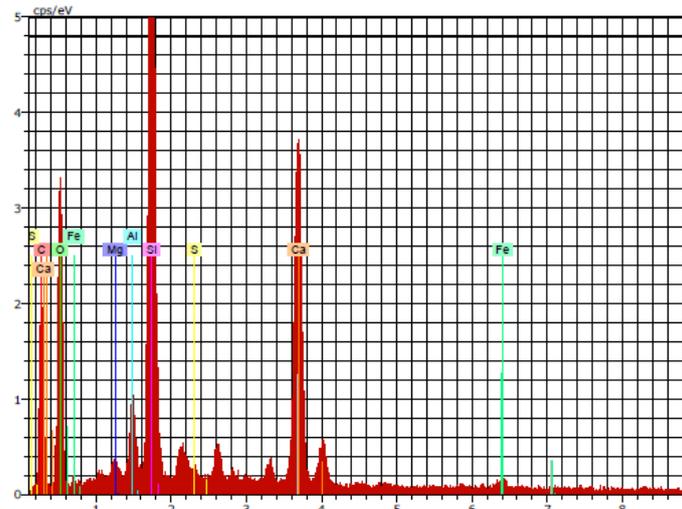


Figura 56. Espectro de microanálisis del mortero, que indica la presencia de aluminio, calcio, magnesio, sílice, hierro y sulfuro (en baja proporción). Posible aluminato de calcio mezclado con arena. Fuente: SERRANO, 2020.

Spectrum: 1

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Carbon	K-series	20.54	29.21	41.12	3.5
Oxygen	K-series	29.27	41.63	44.00	4.4
Magnesium	K-series	0.19	0.27	0.19	0.0
Aluminium	K-series	0.99	1.40	0.88	0.1
Silicon	K-series	9.07	12.90	7.77	0.4
Sulfur	K-series	0.01	0.02	0.01	0.0
Calcium	K-series	9.65	13.72	5.79	0.3
Iron	K-series	0.60	0.85	0.26	0.1
Total:		70.31	100.00	100.00	

2.4 CARACTERIZACIÓN CONCRECIONES

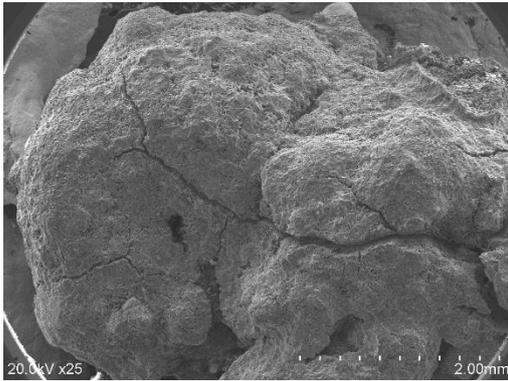


Figura 57. Morfología globular de la concreción (25x). Fuente: SERRANO, 2020.

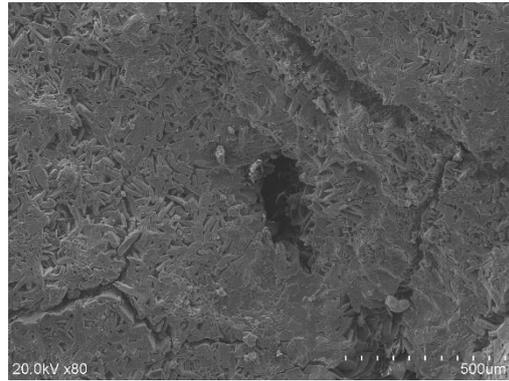


Figura 58. Detalle de la superficie de la concreción (80x). Fuente: SERRANO, 2020.

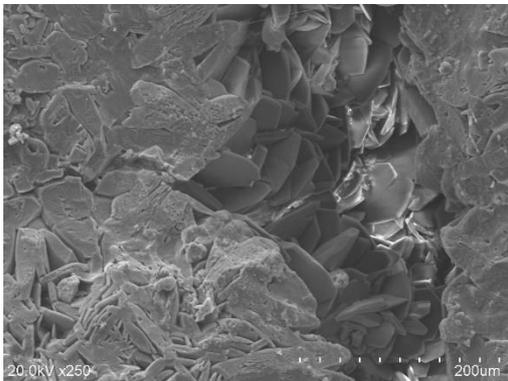


Figura 59. Hábito tabular de los cristales (250x). Fuente: SERRANO, 2020.

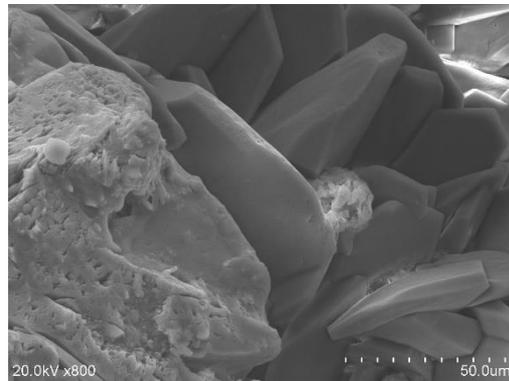


Figura 60. Detalle de los cristales que presentan hábito tabular (800x). Fuente: SERRANO, 2020.

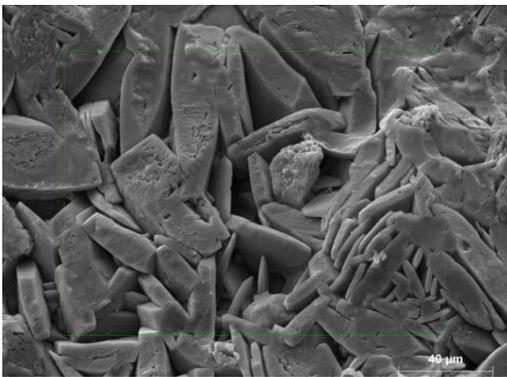


Figura 61. Ordenación y diferencia de tamaño de los cristales (600x). Fuente: SERRANO, 2020.

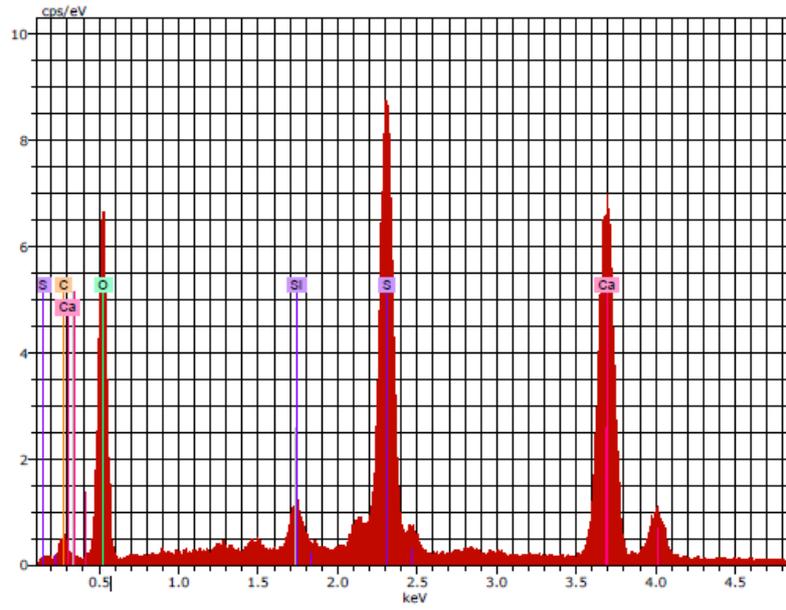


Figura 62. Espectro de microanálisis (EDX) que determina la naturaleza de la concreción: sulfato de calcio (CaSO_4). Fuente: SERRANO, 2020.

Spectrum: 1

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Carbon	K-series	6.27	6.33	10.16	1.6
Oxygen	K-series	59.01	59.58	71.79	8.0
Sulfur	K-series	11.88	11.99	7.21	0.5
Calcium	K-series	20.89	21.09	10.15	0.7
Silicon	K-series	0.99	1.00	0.69	0.1
Total:		99.03	100.00	100.00	

ANEXO V. FICHAS TÉCNICAS DE LOS CONSOLIDANTES

NANO ESTEL®



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.
C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos
28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33
www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

N A N O E S T E L

PRODUCTO CONSOLIDANTE Y FIJATIVO PARA PIEDRAS NATURALES, LADRILLO,
TERRA COTA, MORTEROS E INTONACOS.

CARACTERÍSTICAS

NANO ESTEL es una dispersión acuosa coloidal de sílice con dimensiones nano métricas, en torno a 10-20 nm.

Estas dimensiones son inferiores a las de las micro emulsiones acrílicas (40-50 nm), y a las de la nano cal (200 nm).

Se presenta como un líquido muy fluido, también con un residuo seco del 30%, y siendo estabilizado con NaOH (<0,5%) presenta un pH alcalino (pH = 9,8-10,4).

Después de la evaporación del agua las partículas se ligan entre sí formando el gel de sílice, similar a lo que ocurre con el silicato de etilo y consiguiéndose así el efecto consolidante.

VENTAJAS

Respecto al silicato de etilo **ESTEL 1000**, la dispersión de sílice puede aplicarse en ambientes húmedos, y presenta un tiempo de toma reducido (3 - 4 días).

Siendo una dispersión acuosa **NANO ESTEL** no es inflamable y no presenta símbolos de toxicidad, con la consiguiente reducción de los factores de riesgo en laboratorio y en obra, y reduciendo los costes de transporte y almacenamiento.

A diferencia de los silicatos alcalinos no provoca la formación de subproductos secundarios dañinos (con los silicatos de sodio y potasio se forman respectivamente soda y potasa, que carbonatan con el aire formando sales solubles).

Dada la naturaleza del gel de sílice la reducción de permeabilidad al vapor de agua es mínima.

La acción consolidante debido a la formación del sílice permite el empleo de **NANO ESTEL** también como ligante de inertes para realización de morteros, para pequeños estucados, o con pigmentos, obteniendo una superficie opaca y químicamente estable.

LIMITES

La capacidad de penetración es reducida respecto al silicato de etilo, el nivel del poder de consolidación es todavía objeto de estudio. También la resistencia en el tiempo de los morteros obtenidos está por valorar.

EMPLEO

NANO ESTEL es un producto concentrado, con un 30% de residuo seco, a diluir con 1-2 partes de agua desmineralizada, llevando así el porcentaje de materia activa al 10-15%. Se aconseja efectuar test de prueba para determinar el rapor exacto de dilución, que en algunos casos puede ser distinto de lo indicado, en base al soporte y al efecto que se quiere obtener.

La superficie a tratar debe estar limpia y saneada de eventuales sales eflorescentes presentes.

La temperatura atmosférica y de la superficie a tratar debe estar comprendida entre 5°C y 35°C.

Por debajo de 5° C la reacción no se produce.

El producto puede aplicarse también en presencia de elevados valores de humedad, o también sobre superficies húmedas (aunque esto hace dificultosa la penetración)



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.
C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos
28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33
www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

NANO ESTEL puede aplicarse por inmersión, pincel o pulverizado a baja presión y finalmente inyectado mediante jeringas en fisuras.

Su reacción se completa después de aproximadamente tres - cuatro días con temperatura ambiente de 20°C. aproximadamente.

Para acelerar la toma se aplica antes alcohol etílico Mostanol, después **NANO ESTEL** diluido en agua desmineralizada.

Debido a la heterogeneidad de los materiales existentes, es indispensable realizar test preliminares sobre una muestra del material que se quiera tratar con el fin de verificar:

- el grado del efecto consolidante que se obtiene;
- la cantidad de material a utilizar;
- la ausencia de variaciones cromáticas sobre el material pétreo tratado.

ADVERTENCIAS

La gelificación de **NANO ESTEL** se puede obtener con los siguientes sistemas:

- Haciendo evaporar el agua (método normal)
- Cambiando el pH (por ejemplo mezclado con cal se cementa de repente)
- Mezclando con disolventes hidrosolubles (alcohol, acetona)
- Añadiendo una sal (método desaconsejado para el sector restauración)

Es entonces necesario valorar la influencia de estos parámetros antes de procedes a la aplicación.

En el caso de sobre dosificación es posible retirar el exceso, antes del endurecimiento, con papetas empapadas en agua desmineralizada.

Dado el pH alcalino el efecto sobre algunos tipos de película pictórica puede ser negativo: verificar con cuidado antes de la aplicación.

DATOS FISICOS

Principios activos	Bióxido de silicio de dimensiones nano metricas
Contenido de principio activo (%)	30
Viscosidad dinámica (mPas a 20°C)	6-8
Densidad (g/cm3 a 20°C)	1,1-1,3
Tensión de vapor (hPa a 25°C)	32
Dimensiones de las partículas (nm)	<20
Superficie específica (m2/g)	260
pH	9,5-10,4

CONFECCIONES

NANO ESTEL está disponible en envases de 1 - 5 - 25 kg.

ALMACENAJE

12 meses en recipientes originales herméticamente cerrados. Conservar entre 5° C y 40 °C

La información contenida en esta ficha técnica se basa en nuestro conocimiento y pruebas de laboratorio en la fecha de la última versión. El usuario debe comprobar la idoneidad del producto para cada uso específico de las pruebas preliminares, y deben respetar las leyes y reglamentos vigentes en materia de higiene y seguridad. C.T.S. España S.L. garantiza una calidad constante del producto, pero no se hace responsable de los daños causados por un uso incorrecto del material. Este producto está destinado exclusivamente para uso profesional. Además, pueden cambiar en cualquier momento de los componentes y los envases sin ningún tipo de comunicación.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.
C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos
28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33
www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

A continuación les reportamos algunas referencias recogidas sobre la línea "NANO ESTEL"

Nombre del monumento/obra	Localidad – Provincia (País)
Calcestruzzo dell'acquedotto romano	Sesto Fiorentino (I)
Cimborrio della Cattedrale di Barcellona	Barcelona (E)
Capilla de los Sastres – Cattedrale di Terragona	Terragona (E)
Portale in arenaria Galleria Ricci Oddi	Piacenza (I)
Ritocco pittorico sull'orologio del Campanile di Lavis	Lavis – Trento (I)
Concotti in terracotta provenienti dal sito palafitticolo di Lucone di Polpenazze	Lucone – Brescia (I)

Los estudios científicos realizados por la Universidad

Università di Parma

Licchelli M., Weththimuni M., Zanchi C.; "Nanoparticles For the consolidation of Lecce Stone", Atti del XXIV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Lecce, 11-16 settembre 2011.

Università degli Studi di Napoli

Angelici E., Grassini S., Fulginiti D., Parvis M., Segimiro A.; "Compatibilità and efficiency of restoration products for artefacts in neapolitan yellow tuff" *Scienza e Beni Culturali XXIX, Bressanone, 2013.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

G. Borsoi, R. Veiga, A. Santos Silva; "Effect of nanostructured lime-based and silica-based products on the consolidation of historical renders", 3rd Historic Mortars Conference 11-14 September 2013, Glasgow, Scotland



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

NANORESTORE®

Dispersiones de nanocal en alcohol isopropilico desnaturalizado
Patente Italiana Consorcio CSGI-Universidad de los Estudios de Florencia
n° FI/96/A/000255, 31/10/1996

CARACTERÍSTICAS

Dada la naturaleza absolutamente innovadora del producto, el Consorcio CSGI, inventor de la formulación, ofrece consultoría técnica con fines científicos para individualizar las mejores condiciones aplicativas (para información contactar con el personal CSGI en la siguiente dirección: direttore@csgi.unifi.it).

Nanorestore® se presenta como el consolidante compatible por excelencia para frescos y piedras de matriz carbonática, estando constituidas por partículas de cal apagada con dimensiones en el dominio de los materiales nanoestructuradas dispersas en alcohol isopropilico.

El alcohol garantiza una óptima penetración en los materiales porosos (gracias a su baja tensión superficial) por succión capilar; y penetrando en la matriz porosa transporta detrás de si las partículas nano-estructuradas que se insertan en los intersticios y en las porosidades a consolidar inmediatamente por debajo de la superficie.

Una vez transformados en carbonato de calcio por acción del anhídrido carbónico atmosférico, originan una red de micro-cristales de calcita que confieren a la obra nuevas y elevadas propiedades mecánicas sin introducir materiales extraños a la naturaleza química original de la obra. Los espesores de consolidación son estrechamente superficiales, del orden de algunos centenares de micron.

El producto Nanorestore® se presta óptimamente a la aplicación como pre-consolidante de superficies antes de cualquier operación preliminar de limpieza.

CARACTERÍSTICAS QUIMICO -FISICAS

aspecto:	líquido blanco opaco
Viscosidad a 25° C:	2.75 cP
residuo seco:	0,5 %
peso específico:	ca. 0,8 g/cm ³

MODALIDAD DE APLICACIÓN

Antes de usar agitar vigorosamente el recipiente durante al menos 2 minutos. La dispersión, para uso en frescos, puede ser diluida en el caso de que se evidencien, después de test aplicativos, efectos de veladura blanca que puede, de todas formas, ser fácilmente eliminada con simples compresas de agua.

En el caso de pétreos de matriz carbonática puede no ser necesaria la disolución. La relación de disolución se decide en relación a la capacidad absorbente de la superficie a tratar y del nivel de porosidad de la obra. Se sugieren las siguientes disoluciones:

de 80 a 500 cc en 1 litro

La relación de disolución se decide cada vez en relación a la capacidad absorbente de las matrices porosas. Es evidente que cuanto más diluida es la dispersión más numerosas pueden ser las aplicaciones necesarias. El disolvente a añadir para diluir es el alcohol isopropilico desnaturalizado CTS, tal cual o también, para aplicaciones particulares, una mezcla con agua desmineralizada hasta un contenido máximo de agua similar al 50 % en volumen. El uso de cantidades más o menos relevantes de agua depende de las condiciones de humedad del soporte y del ambiente: cuanto menor sea la humedad mayor cantidad de agua puede añadirse y viceversa. Una vez conseguida la disolución agitar nuevamente el recipiente que contiene la dispersión diluida y proceder a la aplicación mediante pincel o mediante nebulización, con protección de las superficies con papel japonés.

Aplicar hasta saturación del soporte ("hasta su rechazo") y esperar el completo secado antes de efectuar una eventual aplicación sucesiva. Efectos apreciables de consolidación se consiguen normalmente después de un número de aplicaciones que está obviamente relacionada a la concentración seleccionada: cuanto más se diluye la dispersión, mayor es el número de aplicaciones necesarias. Se puede aplicar desde 1-2 aplicaciones para la más concentrada a 10-12 para la más diluida. Acabada la última aplicación esperar 5-7 días antes de las pruebas de limpieza y verificación de las propiedades mecánicas de la superficie.

Antes de cualquier aplicación el recipiente que contiene la dispersión debe de agitarse y con igual cuidado se deben tratar las agitaciones de los recipientes de uso durante las aplicaciones.

La superficie tratable con 1 litro de producto no es a priori definible ya que depende tanto de la concentración de uso como de la capacidad absorbente de la matriz del soporte. Antepuesto esto se estima que el producto en concentración standard permite tratar aproximadamente 5-10 m² de



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

superficie pictórica de media porosidad de grado medio de decohesión superficial.

Es oportuno evitar el uso de Nanorestore® en aquellas situaciones en que la porosidad superficial se anula del todo por la presencia de fijativos poliméricos, depósitos consistentes de suciedad.

El uso del producto no como simple pre-consolidante, sino como consolidante final en presencia de sulfatación debe prever en uso preventivo de un tratamiento desulfatante con papetas de soluciones de carbonato de amonio o resina de intercambio iónico Amberlite 4400 OH. El producto Nanorestore® puede a este punto ser usado según las modalidades consabidas también en alternativa a las papetas de solución de hidrato de bario, si bien en este caso es aconsejable contactar con el Consorzio CSGI.

Se señalan sin embargo posibles problemas en caso de presencia de cantidades muy elevadas de sales de magnesio. Se recomienda, en cualquier caso, realizar una mínima investigación diagnóstica, antes de la intervención, finalizada a la determinación de la técnica pictórica y a la valoración de la degradación.

Se subraya en fin que es un material que se recomienda adecuado para las partes pintadas "en fresco".

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Nanorestore® no presenta particulares peligros para los usuarios.

En las aplicaciones a nebulización protegerse con máscara de los vapores de alcohol isopropílico y en ambientes muy cerrados facilitar la dispersión de los vapores con aspiradores.

El producto **Nanorestore®** es inflamable. Se manipula y almacena con las precauciones normales relativas a este tipo de productos.

ESTABILIDAD Y ALMACENAMIENTO

Puede formarse sedimento sobre el fondo, se recomienda una vigorosa agitación manual antes del uso.

Las confecciones mantenerlas bien selladas y ausentes de aire y humedad tienen una duración de 12 meses.

CONFECCIONES

Nanorestore® está disponible en confecciones de 1 lt.

Las indicaciones y los datos indicados en el presente folleto se basan en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben en ningún caso sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto a cada caso determinado.

C.T.S. España garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un empleo no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin obligación de comunicación alguna.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

A continuación, le indicamos, algunas referencias relativas a la aplicación del **Nanorestore®**:

Nombre del monumentos/obra	Localidad – Provincia (Nación)	Año
Pitture murali del Cappellone degli Spagnoli nella Chiesa di Santa Maria Novella	Firenze (Italia)	1997
Pitture murali della controfacciata della Cattedrale di Santa Maria del Fiore	Firenze (Italia)	1999
Pitture murali di Filippo Lippi nella Cattedrale di Prato	Prato (Italia)	2002-3
Pitture murali medievali (XIII e XIV secolo) nella cripta di San Zeno	Verona (Italia)	2005
Pitture murali in Santa Maria delle Grazie	Gravedona-Como (Italia)	2005
Pitture murali del sito Maya di Calakmul (dichiarato dall'UNESCO World Heritage Site)	Calakmul (Messico)	2005-2008
Affreschi della cappella del podestà al museo del Bargello	Firenze (Italia)	2006
"La leggenda della Vera Croce" di Agnolo Gaddi, Chiesa di Santa Croce	Firenze (Italia)	2007
Pitture murali in Villa del Bene	Volargne-Verona (Italia)	2007
Bassorilievi in pietra d'Angera in Ca' Granda-Università Statale di Milano	Milano (Italia)	2007
Pitture nella chiesa di Vendel	Vendel (Svezia)	2007-2008
Pitture murali del sito Azteca di Tlatelolco	Città del Messico (Messico)	2007-2008
Pitture murali nella cappella dell'Annunciazione	Nazareth (Israele)	2008
Pitture murali del sito Azteca di Cholula	Cholula (Messico)	2008

TECNADIS® SOLIDUS

 TECNAN <small>TECNOLOGÍA NAVARRA DE NANOPRODUCTOS, S.L.</small>	<h2>FICHA TECNICA</h2>	Versión: nº2 Edición: 15/12/2017
<h3>TECNADIS CONSOL</h3> <p>Consolidante para la restauración de piedra natural y otros materiales porosos.</p>		

Descripción del Producto	Consolidante diseñado para piedra natural y otros materiales porosos. Monocomponente. Este producto consolida los materiales pétreos gracias a su fácil penetración hasta alcanzar el núcleo sano del material a tratar, donde reacciona con la humedad ambiente, y actuando como sustancia aglutinante.
Composición	Formado principalmente por Ester Etilico de Ácido Silícico en disolución. Especifico para materiales pétreos. Totalmente compatible con los hidrofugantes nanoparticulados de TECNAN.
Aplicaciones	Consolidante diseñado para ser aplicado sobre todo tipo de materiales minerales absorbentes, como pueden ser areniscas, toba, traquita, ladrillo, materiales térreos, yesos, etc. que se degradan fácilmente debido a agentes atmosféricos. Para una correcta aplicación la superficie a tratar debe ser absorbente, estar limpia y seca. Se recomienda que la temperatura de aplicación se encuentre como mínimo en 10°C y como máximo en 25°C.
Características y ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Producto monocomponente, no tóxico, seguro y fácil de usar. ▪ Muy buena penetración ante el material pétreo a tratar. ▪ Secado total, sin formación de sustancias pegajosas. ▪ Se crea un aglutinante mineral estable a los rayos UV, no atacable por los agentes atmosféricos. ▪ Impregnación completa sin formar películas y con una buena permeabilidad al vapor de agua. ▪ No se producen cambios cromáticos en el material pétreo tratado. ▪ El efecto consolidante se logra al alcanzar el producto el núcleo sano del material, donde tras llevarse a cabo una reacción con la humedad atmosférica, se producen cambios en la parte silícea, constituyéndose la sustancia aglutinante que consolida el material tratado.
Datos del producto. Composición y Propiedades físico químicas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Color: De transparente a amarillo paja ▪ Contenido en silicato de etilo: 70% ▪ Contenido en solvente: 30% ▪ Presentación: 1, 5 y 25 kg ▪ Almacenamiento: 6 meses desde su fecha de fabricación en sus envases herméticos originales a temperatura ambiente. ▪ Viscosidad: 3,3 CST a 25°C ▪ Peso específico: 0,970 a 15°C ▪ Punto de inflamación: <23°C
Preparación del soporte	Es importante no exponer la superficie a tratar la luz solar directa. En el caso de superficies sucias, es esencial proporcionar una limpieza precisa con agua desmineralizada y luego un secado completo del soporte. Se recomienda no utilizar ácidos, sales alcalinas o que contengan agua que puedan formar eflorescencias. En el caso de superficies muy dañadas que tienden a desmoronarse, se sugiere hacer una pre-consolidación antes de la limpieza. Debido a la heterogeneidad de los materiales pétreos existentes, se recomienda realizar pruebas preliminares en el material a tratar para verificar: <ul style="list-style-type: none"> ▪ El grado de consolidación alcanzable; ▪ La dosificación del producto, que puede variar (de acuerdo con la absorción del material) de 0,3 a 15 l/m². ▪ La ausencia de cambios cromáticos en el material pétreo tratado; ▪ La efectividad del tratamiento a realizar.

 <p>TECNAN <small>TECNOLOGÍA NAVARRA DE NANOPRODUCTOS, S.L.</small></p>	<h2>FICHA TECNICA</h2>	Versión: nº2 Edición: 15/12/2017
<p>TECNADIS CONSOL Consolidante para la restauración de piedra natural y otros materiales porosos.</p>		

Modo de empleo	<p>Es preferible que el producto sea aplicado por pulverización o baja presión (0,5 bar máximo). También puede ser tratado por inmersión. El material a tratar debe estar completamente saturado de producto (hasta que se produzca rechazo del mismo), para favorecer que este penetre hasta el núcleo sano de la piedra.</p> <p>Una aplicación generalmente es suficiente, pero a veces es necesario repetir el tratamiento después de 2 a 3 semanas.</p> <p>Para resultados óptimos se debe esperar 4 semanas, a temperatura ambiente de 20 ° C, y con una humedad relativa de 40 - 50%.</p> <p>Una vez finalizada la consolidación, es esencial aplicar un tratamiento hidrofugante en base a nanopartículas, como son la gama TECNADIS hidrofugantes y oleofugantes para superficies verticales y horizontales (AQUASHIELD ULTIMATE, AQUASHIELD FORTE, TECNADIS PRS PERFORMANCE).</p>
Rendimientos y conservación	<p>Rendimiento: puede variar (de acuerdo con la absorción del material), de 0,3 a 15 L/ m2. Se recomienda realizar prueba previa para determinar en cada caso y con el material a tratar específico, su rendimiento concreto. Mantener los envases en un lugar fresco y seco. Proteger de fuentes de calor y rayos solares.</p>
Precauciones de manipulación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debido a la inflamabilidad de los solventes contenidos en el producto, está prohibido fumar o usar llamas libres durante la aplicación de consolidante. ▪ El producto reacciona con la humedad atmosférica; por lo que es necesario mantener los envases bien cerrados después del uso. ▪ En caso de utilizar más cantidad de la debida, es posible eliminarlo, por supuesto antes del endurecimiento del mismo mediante la utilización de tampones humedecidos con solventes minerales.
Información sobre garantía limitada	<p>Sírvase leerla con atención:</p> <p>La información de este folleto se ofrece de buena fe en la confianza de que es exacta. Sin embargo, debido a que las condiciones y los métodos de empleo de nuestros productos están fuera de nuestro control, esta información debe ser utilizada correctamente, verificando en test preliminares, que el producto es idóneo para el uso al que está destinado. Las sugerencias de empleo no deben tomarse como estímulo para infringir cualquier patente en particular. La única garantía de TECNAN S.L. es que el producto cumplirá con las especificaciones de venta de vigentes en el momento de la expedición. La única alternativa por incumplimiento de esta garantía se limita a la devolución del importe o a la sustitución de todo producto que no sea el garantizado. TECNAN S.L. niega específicamente cualquier otra garantía expresa o implícita de aptitud para una finalidad o comercialización determinada. TECNAN S.L. declina responsabilidades por cualquier daño ocasionado accidentalmente.</p>



SILRES® BS OH 100 MASONRY WATER REPELLENTS

Product description

SILRES® BS OH 100 is a solventless, ready-to-use product for the consolidation of construction materials.

Special features

- one-pack system - therefore easy processing
- low-molecular - therefore optimum penetration
- tack-free drying - therefore no dirt attraction
- no by-products that are damaging to the building material
- the binder formed is mineral - therefore resembling the building material
- the binder formed is acid-resistant-therefore resistant to rainwater
- pores are not sealed - therefore the treated building material maintains its water vapour permeability

Mode of action

SILRES® BS OH 100 is based on ethyl silicate. When applied, it penetrates through the capillaries deep into the construction material. The neutral catalyst promotes the reaction between ethyl silicate and water from atmospheric humidity or the moisture in the capillary pores. A glass-like silica gel binder ($\text{SiO}_2\text{-aq.}$) is formed. The ethanol by product evaporates. Under standard conditions ($20^\circ\text{C} / 50\% \text{ r. h.}$), final hardness is reached after two weeks, i. e. when most of the ethyl silicate has been converted to silica gel.

The product does not contain any hydrophobic additives such as silanes or siloxanes. Before the reaction is complete, the treated surface may show slight beading, though this does not mean that it is water repellent.

Application

The main application of the product is to restore weather-damaged natural stone, stucco or frescos. It may also be used to treat other construction materials such as brick or terracotta.

Any absorbent mineral construction material can be treated with SILRES® BS OH 100. By saturation with the product, their original strength and porosity can be

practically restored.

Processing

Preliminary test, test area

Due to the fact that the degree of deterioration will differ from one building material to the next, the instructions given in the following can only serve as general guidelines for successful restoration:

- Determine the exact state of the substrate which is to be consolidated (binder, salt content, porosity, etc.);
- Establish the necessary steps to be taken and likely material consumption;
- Mark out a sufficiently large test area (also used to determine the material consumption) and check the results by looking for discoloration and making relevant physical measurements;
- Check that the necessary steps are taken and monitor material consumption;
- Carry out thorough final tests.

Substrate condition

Buildings which are to be restored often have a thick, dirty surface layer (crust). The areas must be cleaned thoroughly but mildly, e. g., by spraying with cold or hot water, or by steam cleaning. In many cases, the stone is already friable, and so cleaning is not possible without a further loss of substance. It is, however, possible to consolidate the material with SILRES® BS OH 100 beforehand to prevent substance loss. Then the material can be cleaned and the main consolidation can take place.

In order to enable the SILRES® BS OH 100 to penetrate all the friable building material, it is necessary for the area to be air-dry and absorbent. The treated area should be protected against rain during the following two to three days. It is also important that the area be protected against direct sunlight prior to treatment. If the building material is allowed to absorb too much heat, the product will evaporate too quickly and therefore will not penetrate sufficiently. The optimum temperatures for application are between 10 and 20°C . The relative humidity should be $> 40\%$. In order to prevent the building material from heating up too much, awnings can be set up.



Application method

SILRES® BS OH 100 may be applied by spraying, brushing or dipping, according to the object to be consolidated. Larger areas should be treated with spraying equipment, but smaller ones can be treated with a wash bottle. Portable objects such as sculptures can be treated by dipping or by means of compresses.

Amount to be applied

One of the chief prerequisites or successful restoration is that the product penetrates to the sound core of the masonry as otherwise the possibility of flaking due to crust formation cannot be excluded.

In order to achieve the desired penetration depth, small areas of the building material (perhaps one stone or block or brick at a time) should be treated wet-on-wet with SILRES® BS OH 100 until the building material is fully saturated, i. e., it is unable to absorb any more of the product. If necessary, a second course of treatment can follow after two to three weeks at the earliest; here, too, complete saturation of the friable material must be achieved.

If a second course of treatment is carried out before the formation of active substance is complete, the masonry will not be able to absorb the stone strengthener. As a consequence, the surface will turn gray.

The amount of SILRES® BS OH 100 needed for the consolidation depends on the type of building material. The consumption may range from 0.5 to 15 l/m². Example: a stone which was weathered to depth of 6cm needed in the first course of treatment 5 l/m² of SILRES® BS OH 100 and 3.5 l/m² in the second course carried out after three weeks. In another case, 2.7 l/m² was applied and a penetration depth of 10cm demonstrated. The necessary amount of stone strengthener must be determined on a test area.

Post-treatment

Discoloration of the surface by ethyl silicate can be prevented by washing it with a solvent such as white spirit as soon as it is fully saturated.

Application of stone substitute or paint

When the SILRES® BS OH 100 course has reacted completely, stone substitute or mineral silicate paint can be applied to the treated area. The consolidated surface can also be treated with silicone paint. SILRES® BS OH 100 can also be applied to surfaces after they have been treated with stone substitute or mineral silicate paint, but only after an interval of four

weeks.

Water-repellent treatment

After restoration work, a water-repellent coat should be applied to protect against rainwater. Wacker Chemie AG will be glad to advise you about suitable products.

Storage

The containers must be protected against sunlight. If the product is allowed to react with atmospheric humidity, it will gel and be rendered unfit for use.

The "Best use before end" date of each batch is shown on the product label.

Storage beyond the date specified on the label does not necessarily mean that the product is no longer usable. In this case however, the properties required for the intended use must be checked for quality assurance reasons.

Additional information

- Before applying SILRES® BS OH 100, cover up any window panes or solvent-sensitive plastics, etc. When applying the product outdoors by spraying, take care not to splash parked cars.
- If, in application by the dipping process, a lengthy dipping time is required, ensure that the dip tank is hermetically sealed to avoid gelling of the product.
- If the treated surface has a beading effect, which may affect the application of stone substitute or mineral silicate paint, this can be remedied by wiping the surface with an ammonia solution.
- If areas treated with SILRES® BS OH 100 are to be molded, the surface should be pretreated with a wetting agent, e. g. a soap solution or PVA solution, to prevent the silicone rubber compound from sticking to the surface.

Safety notes

Comprehensive instructions are given in the corresponding Material Safety Data Sheets. They are available on request from WACKER subsidiaries or may be printed via WACKER web site



<http://www.wacker.com>.

Product data

Typical general characteristics	Inspection Method	Value
Color		colorless to yellowish
Ethyl silicate content		approx. 100 wt. %
Density at 25 °C	DIN 51757	approx. 0,997 g/cm³
Catalyst		neutral
Flash point	ISO 2719	40 °C
Ignition temperature (liquids)	DIN 51794	230 °C

These figures are only intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

The data presented in this medium is in accordance with the present state of our knowledge but do not absolve the user from carefully checking all supplies immediately on receipt. We reserve the right to alter product contents within the scope of technical progress or new developments. The recommendations made in this medium should be checked by preliminary trials because of new materials are also being used. The information provided by us does not absolve the user from clarifying the position. Recommendations, however, do not constitute a warranty, either explicit or implied, of the fitness or suitability of the product for a specific purpose.

The management system has been certified according to DIN EN ISO 9001 and DIN EN ISO 14001

WACKER® is a trademark of Wacker Chemie AG. SILRES® is a trademark of Wacker Chemie AG.

For technical, quality, or product safety questions, please contact:

Wacker Chemie AG
Hanns-Seidel-Platz 4
81737 München, Germany
info.silicones@wacker.com

www.wacker.com

ANEXO VI. FICHA TÉCNICA CÁMARA CLIMÁTICA

Hoja de especificaciones Modelo KMF 240



Modelo KMF 240 | Cámaras de clima constante con rango ampliado de humedad/temperatura

La BINDER KMF se encarga de mantener totalmente constantes las condiciones de prueba en toda la cámara. Algunas de las principales ventajas de esta cámara de clima constante son el poco espacio que ocupa y su gran flexibilidad en términos de suministro de agua. Además, su amplio rango de temperatura y humedad la convierten en una especialista para los ensayos de estrés.

VENTAJAS

- Condiciones climáticas homogéneas gracias a la cámara de precalentamiento APT.line™
- Gestión automática de agua y desagües
- Humectación por vapor de rápida reacción
- Amplio rango de humedad hasta 98 % h.r.
- Apto para ensayos de estrés exigentes, por ejemplo, a 85 °C y 85 % h.r.



Modelo 240



Modelo 240

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

- Rango de temperatura desde -10 °C hasta 100 °C
- Rango ampliado de humedad: desde 10 % hasta 98 % h.r.
- Tecnología de cámara de precalentamiento APT.line™
- Control de humedad con sensor de humedad capacitivo y sistema de humidificación por vapor
- Cámara interna completamente fabricada en acero inoxidable
- BINDER Multi Management Software APT-COM™ Basic Edition
- Controlador intuitivo con pantalla táctil y programación a intervalos y en tiempo real
- Registro interno de datos, valores de medición en formato abierto, seleccionables a través de USB
- Prueba automática del equipo para un completo análisis del estado
- Puerta interior de cierre hermético y cristal de seguridad (ESG)
- Evitar la corrosión del cristal mediante un revestimiento TIMELESS especial
- 1 rejilla de acero inoxidable
- Puerto de acceso con tapón de silicona 30 mm, izquierda
- Controlador de selección de temperatura clase 3.1 (DIN 12880) con alarma de temperatura óptica y acústica
- Interfaz de ordenador: Ethernet
- Calentamiento de la puerta

INFORMACIÓN DE PEDIDOS

Volumen interior [L]	Tensión nominal	Modelo	Variante del modelo	N.º de art.
247	200...230 V 1~ 50/60 Hz	Estándar	KMF240-230V	9020-0343
	200...240 V 1~ 50/60 Hz	Estándar	KMF240-240V	9020-0344

DATOS TÉCNICOS

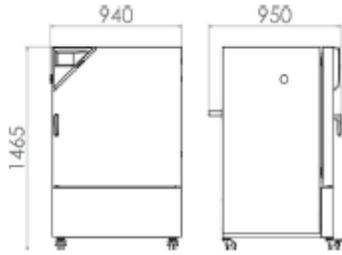
Descripción	KMF240-230V ¹	KMF240-240V ¹
Número de artículo	9020-0343	9020-0344
Datos técnicos temperatura		
Rango de temperatura	-10...100	-10...100
Velocidad media de calentamiento según IEC 60068-3-5 [K/min]	0,8	0,8
Velocidad media de refrigeración según IEC 60068-3-5 [K/min]	0,4	0,4
Compensación de calor máxima a 25 °C [W]	200	200
Datos técnicos clima		
Rango de temperatura [°C]	10...90	10...90
Desviación de temperatura ambiente en función del valor de consigna [± K]	0,1...1	0,1...1
Fluctuación de la temperatura en función del valor de consigna [± K]	0,1...0,3	0,1...0,3
Rango de humedad [% h. r.]	10...98	10...98
Desviación momentánea de la humedad en función del valor de consigna	±2 ± % h.r.	±2 ± % h.r.
Rango del punto de rocío [°C]	5...90	5...90
Datos eléctricos		
Tensión nominal [V]	200...230	200...240
Frecuencia de red [Hz]	50/60	50/60
Potencia nominal [kW]	2,1	2,1
Fusible del equipo [A]	16	16
Fase (tensión nominal)	1~	1~
Dimensiones		
Volumen interior [L]	247	247
Peso neto del equipo (vacío) [kg]	189	189
Carga total máxima [kg]	100	100
Carga máxima por bandeja [kg]	30	30
Distancia a la pared trasera [mm]	100	100
Distancia a la pared lateral [mm]	100	100
Dimensiones interiores		
Anchura [mm]	650	650
Altura [mm]	785	785
Fondo [mm]	485	485
Puertas		
Puertas interiores	1	1
Puertas exteriores	1	1
Dimensiones exteriores sin componentes y conexiones		
Anchura neto [mm]	930	930
Altura neto [mm]	1465	1465
Fondo neto [mm]	800	800
Datos de relevancia medioambiental		
Consumo energético a 85 °C y 85 % h.r. [Wh/h]	570	570
Nivel de presión acústica [dB(A)]	52	52
Estructuras		
Cantidad de bandejas (est./máx.)	1/9	1/9

¹ Todos los datos técnicos son válidos exclusivamente para equipos sin carga con equipamiento estándar a una temperatura ambiente de 22 ± 3 °C y una fluctuación de la tensión de red del ±10%. Los datos de temperatura se han calculado según el estándar de fábrica BINDER y de conformidad con la norma DIN 12880:2007, basándose en las distancias a la pared recomendadas del 10% de la altura, la anchura y el fondo de la cámara interior. Todos los datos corresponden a los valores medios de equipos de serie. Los datos técnicos hacen referencia al 100% de las revoluciones del ventilador. Nos reservamos el derecho a realizar modificaciones técnicas.

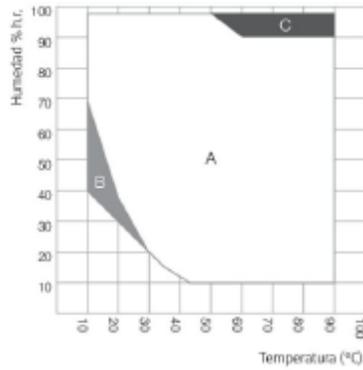


Hoja de especificaciones Modelo KMF 240

DIMENSIONES INCL. COMPONENTES Y CONEXIONES [MM]



GRÁFICOS



- A: Rango de regulación de la temperatura y humedad relativa
- B: Rango discontinuo (funcionamiento no continuado)
- C: Rango en el que puede formarse condensación en el interior

Gráfico de temperatura y humedad

OPCIONES

Denominación	Descripción	*	N.º de art.
Ampliación del certificado de calibración	para temperatura y humedad, para ampliar la medición en el centro del espacio útil a otro valor de comprobación	-	8012-1591
Cerradura	Manilla de puerta con llave	-	8012-1660
Certificado de calibración de temperatura	Medición de temperatura ambiente incluido certificado, 15-18 puntos de medición a la temperatura de comprobación especificada	-	8012-1586
	Medición de temperatura ambiente incluido certificado, 27 puntos de medición a la temperatura de comprobación especificada	-	8012-1606
	Medición de temperatura ambiente incluido certificado, 9 puntos de medición a la temperatura de comprobación especificada	-	8012-1565
Certificado de calibración de temperatura y humedad	Medición de temperatura (según DIN12880) y humedad ambiental, incluido certificado, 27 puntos de medición de temperatura y 1 punto de medición de humedad, a 25 °C / 60 % h.r. o con los valores de comprobación especificados	-	8012-1612
	Medición en el centro del espacio útil a 25 °C / 60% h.r. o con valores de comprobación especificados	-	8012-1185
Controlador de selección de temperatura clase 3.3	con alarma óptica (DIN 12880)	-	8012-1674
Cámara interna, reforzada	Incluidas 2 bandejas reforzadas	-	8012-0624
Interfaz RS 485 de 2 hilos	Interfaz serial adicional que se puede utilizar de forma paralela a Ethernet, para Multi Management Software APT-COM™	-	8012-1712

* Indicaciones - última página de la hoja de especificaciones.



Hoja de especificaciones Modelo KMF 240

Denominación	Descripción	*	N.º de art.
Puerto de acceso con tapón de silicona	arriba		
	30 mm	01	8012-1452
	50 mm	01	8012-1458
	100 mm	01	8012-1464
	derecha		
	30 mm	01	8012-1440
	50 mm	01	8012-1470
	100 mm	01	8012-1339
	izquierda		
	30 mm	01	8012-1446
50 mm	01	8012-1476	
100 mm	01	8012-1342	
Salida analógica 4-20 mA	para valores de temperatura y humedad (salida no ajustable)	-	8012-1680
Salida de alarma, sin voltaje	para temperatura (±2 °C) y humedad (±5 % h.r.), mediante conector DIN de 6 polos con señal acústica desconectable (máximo 24 V - 2,5 A)	-	8012-1677
Sensor de temperatura PT 100	adicionalmente, PT 100 flexible en el interior, para mostrar la temperatura en la pantalla del equipo	-	8012-1682

* Indicaciones - última página de la hoja de especificaciones

ACCESORIOS

Denominación	Descripción	*	N.º de art.
Accesorios de rejilla	Seguros para fijación adicional de rejillas (1 kit de 4 unidades)	-	8012-0620
APT-COM™ 4 GLP-Edition	para trabajar en condiciones conformes con las BPL. La documentación de los valores de medición se realiza de acuerdo con los requisitos de las directivas de la FDA 21CFR11, mediante una manipulación segura. Versión 4, edición BLP	19	9053-0042
APT-COM™ 4 PROFESSIONAL-Edition	administración sencilla de equipos y usuarios basados en la edición BASIC. Apto para la interconexión en red de hasta 100 equipos. Versión 4, edición PROFESSIONAL	19	9053-0040
Bandas de luz LED	El set de ampliación consta de 2 piezas, material de fijación: pinzas. Para ampliar el set básico de las bandas de luz		
	Set de ampliación 300, longitud 30 cm	-	8012-1716
	Set de ampliación 500, longitud 50 cm	-	8012-1717
	Set básico compuesto de 2 piezas, material de fijación, unidad de control para un máximo de 4 bandas de luz, 100-240 V, 50/60 Hz		
	Set básico 300, longitud 30 cm	-	8012-1107
	Set básico 500, longitud 50 cm	-	8012-1108
Bandeja perforada	Acero inoxidable	-	6004-0040
BINDER PURE AQUA SERVICE	Sistema para tratar y desalar por completo el agua corriente, kit completo compuesto por cartucho de uso único PURE AQUA 300, medidor y todas las piezas de conexión necesarias	-	8012-0759
BINDER PURE AQUA SERVICE, accesorios	Cartucho de uso único para BINDER PURE AQUA System	-	6011-0165
Convertidor de interfaz RS 485/RS 422	Juego de cables RS 422 y convertidor de interfaz RS 485/RS 422 para conectar al distribuidor de corriente de 10 secciones		
	Modelo 115 V	-	8012-0599
	Modelo 230 V	-	8012-0589
Data Logger Kit	T 220: para el registro continuo de la temperatura desde de -90 °C a 220 °C; el kit incluye 1 registrador de datos, sensor Pt100 con cable prolongador de 2 m y 1 soporte magnético para la fijación en el equipo BINDER	19	8012-0715
	TH 100/70: para el registro continuo de la temperatura y la humedad desde -40 °C hasta 100 °C y desde 0% hasta 100% h.r. y registro adicional de las condiciones ambientales; el kit incluye 1 registrador de datos, 2 sensores combinados acoplables para humedad/temperatura, cable prolongador de 2 m y 1 soporte para la fijación en el equipo BINDER	19	8012-1838
	TH 100: para el registro continuo de la temperatura y la humedad desde -50 °C hasta 100 °C y desde 0 % hasta 100 % h.r.; el kit incluye 1 registrador de datos, sensor Pt100 con cable prolongador de 2 m y 1 soporte magnético para la fijación en el equipo BINDER	19	8012-1837
Data Logger Software	Kit de software LOG ANALYZE, software de configuración y evaluación para todos los BINDER Data Logger Kits, (incluido cable de datos)	19	8012-0821

* Indicaciones - última página de la hoja de especificaciones



Hoja de especificaciones Modelo KMF 240

Denominación	Descripción	*	N.º de art.
Documentación de calificación	Documentos IQ/OQ, documentación de apoyo para la validación por parte del cliente, compuesta por: listas de comprobación IQ/OQ incl. instrucciones de calibración y documentación detallada de los equipos; parámetros: valores de temperatura y humedad		
	Digital en formato PDF	-	7057-0002
	Impresos en la carpeta	-	7007-0002
	Documentos IQ/OQ/PQ, documentación complementaria para la validación por parte del cliente, según los requisitos del cliente, ampliación de la carpeta de calificación IQ/OQ con el capítulo PQ; parámetros: valores de temperatura y humedad		
	Digital en formato PDF	-	7057-0006
	Impresos en la carpeta	-	7007-0006
Kit de suministro de agua	compuesto por depósito de agua fresca y de agua residual de 20 litros respectivamente, cableado y bomba		
	externo, para colgar en el dorso del aparato	-	8012-0643
	externo, se puede colocar libremente	-	8012-1846
Limpiador neutro	Intenso, para la eliminación delicada de restos de suciedad; volumen de llenado: 1 kg	-	1002-0016
Rejilla	Acero inoxidable	-	6004-0101
Rejilla reforzada	Acero inoxidable, con seguros (1 kit de 4 unidades)	-	8012-0638

* Indicaciones - última página de la hoja de especificaciones

SERVICIOS

Denominación	Descripción	*	N.º de art.
Servicios de instalación			
Instrucción sobre el equipo	Instrucción en cuanto a las funciones del equipo, su manejo y programación del regulador	18	DL10-0700
Puesta en marcha del equipo	Desembalaje del equipo, instalación, acoplamiento a las conexiones existentes y comprobación del funcionamiento	15, 18	DL10-0300
Servicios de mantenimiento			
Mantenimiento	Comprobación del funcionamiento de todos los componentes eléctricos y mecánicos, calibración breve, documentación en el plan de mantenimiento	14, 18	DL20-0400
Servicios de calibración			
Calibración de temperatura y humedad	Ampliación - incluido certificado, cada punto de medición adicional en el centro del espacio útil, a 25 °C / 60 % h.r. o con un par de valores especificados	14, 16, 17, 18	DL30-0302
	Calibración de la temperatura y la humedad con 1 punto de medición en el centro del espacio útil, con un par de valores predeterminados, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0301
Medición de temperatura ambiental, 15 puntos de medición	Medición de la temperatura ambiental con 15 puntos de medición a una temperatura de comprobación predeterminada, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0218
Medición de temperatura ambiental, 18 puntos de medición y 1 punto de medición de humedad	Medición de temperatura ambiental con 18 puntos de medición de temperatura y 1 punto de medición de humedad en el centro del espacio útil, con un par de valores predeterminados, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0318
Medición de temperatura ambiental, 27 puntos de medición y 1 punto de medición de humedad	Medición de la temperatura ambiental con 27 puntos de medición de temperatura y 1 punto de medición de humedad en el centro del espacio útil, con un par de valores predeterminados, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0327
Medición de temperatura ambiental, 9 puntos de medición y 1 punto de medición de humedad	Medición de la temperatura ambiental con 9 puntos de medición de temperatura y 1 punto de medición de humedad en el centro del espacio útil, con un par de valores predeterminados, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0309
Medición de temperatura ambiental: 27 puntos de medición y 1 punto de medición de humedad según DIN12880	Medición de temperatura ambiental según DIN12880 con 27 puntos de medición de temperatura y 1 punto de medición de humedad en el centro del espacio útil, con un par de valores especificados, incluido certificado	14, 16, 17, 18	DL30-0427
Servicios de validación			
Aplicación de la IQ/OQ	Aplicación de la IQ/OQ según la carpeta de calificación	15, 18	DL42-0300
Aplicación de la IQ/OQ/PQ	Aplicación de la IQ/OQ/PQ según la carpeta de calificación	15, 18	DL44-0500
Servicios de garantía			
Ampliación de la garantía de 2 a 3 años	La garantía se amplía de 2 a 3 años a partir de la fecha de entrega, excluidas las piezas de desgaste	-	DL02-4041
Ampliación de la garantía de 2 a 5 años	La garantía se amplía de 2 a 5 años a partir de la fecha de entrega, excluidas las piezas de desgaste	-	DL02-4042

* Indicaciones - última página de la hoja de especificaciones

INDICACIONES

- 01 En la zona del puerto de acceso puede generarse condensación.
- 02 En las posiciones especiales de los puertos de acceso se prevé un aumento.
- 03 Se suprime el carácter UL al usar esta opción.
- 04 Sólo resiste un máximo de 200 °C.
- 05 Sólo para equipos de 230 V.
- 06 La entrada de calor adicional puede influir en el comportamiento de la temperatura.
- 07 No es compatible con la opción de puerto de acceso, puerta con ventana e iluminación interior.
- 08 No es posible para equipos de 23 litros.
- 09 No es posible para equipos de 23 y 53 litros.
- 10 Sólo para equipos de 230 V / 400 V.
- 11 Los trabajos de instalación y conexión se realizan en el lugar de uso del equipo, el transporte dentro de la empresa solo se realiza previo acuerdo.
- 12 Le recomendamos un contrato de servicio BINDER para la inspección, calibración y validación del equipo.
- 13 OQ según el libro amarillo = documentación de validación de fábrica cumplimentada con todas las listas de control OQ.
- 14 La calibración de los sensores se realiza en un laboratorio de calibración acreditado.
- 15 La calibración se realiza según el estándar de fábrica de BINDER.
- 16 Los precios indicados no incluyen los gastos de desplazamiento. Puede consultar los gastos de desplazamiento para su campo de aplicación en el capítulo Servicio BINDER.
- 17 Para aplicaciones en Suiza, a todos los precios de servicios indicados es preciso añadirles un recargo local (a petición).
- 18 Consulte el capítulo de la documentación del proceso para más información sobre otros accesorios.

BINDER GmbH
Tuttlingen, (Alemania)
TEL +49 7462 2005 0
FAX +49 7462 2005 100
info@binder-world.com
www.binder-world.com

BINDER Asia Pacific (Hong Kong) Ltd.
Kowloon, Hong Kong, R.P. China
TEL +852 39070500
FAX +852 39070507
asia@binder-world.com
www.binder-world.com

Representative Office for CIS
Mosú (Rusia)
TEL +7 495 988 15 16
FAX +7 495 988 15 17
russia@binder-world.com
www.binder-world.com

BINDER Environmental Testing
Equipment (Shanghai) Co., Ltd.
Shanghái, R.P. China
TEL +86 21 685 808 25
FAX +86 21 685 808 29
china@binder-world.com
www.binder-world.com

BINDER Inc.
Bohemia, Nueva York (EE. UU.)
TEL +1 631 224 4340
FAX +1 631 224 4354
usa@binder-world.com
www.binder-world.us