



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes
Culturales

Estudio de los morteros de la Torre de l'Homenatge del
Castell de Marinyén en Benifairó de la Valldigna

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación y Restauración de Bienes
Culturales

AUTOR/A: Castellet Vidal, Catia

Tutor/a: Zalbidea Muñoz, Maria Antonia

Cotutor/a externo: SAÑUDO DIE, PABLO

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

ESTUDIO DE LOS MORTEROS DE LA TORRE DE
L'HOMENATGE DEL CASTELL DE MARINYÉN
EN BENIFAIRO DE LA VALLDIGNA

Trabajo Final de Máster
Máster en Conservación y Restauración de los Bienes Culturales
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Presentado por: Catia Castellet Vidal

Directores T.F.M.:

M.^a Antonia Zalbidea Muñoz

Pablo Sañudo Die

ESTUDIO DE LOS MORTEROS DE LA TORRE DE
L'HOMENATGE DEL CASTELL DE MARINYÉN
EN BENIFAIRO DE LA VALLDIGNA

Trabajo Final de Máster
Máster en Conservación y Restauración de los Bienes Culturales
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



València, 2022

Presentado por: Catia Castellet Vidal

Directores T.F.M.:

M.^a Antonia Zalbidea Muñoz

Pablo Sañudo Die

*¿No tenemos la obligación de proteger y
transmitir la memoria cultural, vehículo de
los valores materiales e inmateriales
compartidos y fundadores de cohesión social
sin la cual una sociedad no puede existir?*

(La Restauración de la tapia en la Península Ibérica
Camilla Mileto y Fernando Vegas, 2014).

AGRADECIMIENTOS

Me gusta añadir este apartado ya que, la realización del Trabajo Final de Máster ha sido posible gracias a que existe un apoyo enorme detrás de familiares, amigos, conocidos y de los tutores del mismo.

Por esta razón, agradezco, en primer lugar, a mi familia, en especial a mis padres, por el ánimo y la confianza que siempre han depositado en mí, además de por la ayuda ofrecida y por mostrarme vías de escape alternativas con ingenio, para afrontar de forma resolutiva problemas imprevistos. Y en concreto, a mi abuela Fina, por mostrarse siempre presente en la ayuda de “vigilancia de fraguado” de los morteros realizados en el garaje de su casa, “*gràcies “uela”*. A Jordi, por creer en mí en todo momento.

A las amigas de infancia, de grado y de máster, por su ánimo y alegría que desprenden. A Bea, Paula y Celine, por convertir el agobio y estrés en risas y apoyo mutuo.

A Xavi, Laura Osete y Laura Fuster por la ayuda desinteresada con: los moldes normativos, explicación de los resultados de ensayo normativo granulométrico y el material prestado.

A Tona, por contar conmigo para las prácticas de restauración de la Torre de l’Homenatge en el Castell de Marinyén, al igual que en este Trabajo y abrirme de este modo, un mundo nuevo de la restauración. Espero seguir aprendiendo de ti.

A Pablo, por mostrarme su saber arqueológico e histórico del Castell de Marinyén e indicarse siempre dispuesto.

A Andrés, por ser el primero en enseñarme la restauración y conservación de un bien patrimonial como es la Torre de Homenatge. Fue toda una experiencia.

A tots vosaltres, gràcies. Gràcies per ensenyar-me que tots ens equivoquem, i que, si no ens equivocarem, no aprendriem. Per donar-me consells i pautes per a seguir sempre amb força.

Gracias al Ajuntament de Benifairó de la Valldigna por su interés en la salvaguarda del B.I.C.

La Torre del Castell fue intervenida gracias a las subvenciones destinadas a actuaciones de conservación y protección de los bienes inmuebles del patrimonio cultural de la Comunitat Valenciana. [2021/8006] DOGV. Núm. 9135/206.07.2021. (Projecte d'intervenció arqueològica i restauració de la torre de l'homenatge en el BIC del Castell de Marinyén 33.149,99 € -2021)

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	3
3.	METODOLOGÍA	3
4.	INSTRUMENTACIÓN Y MATERIALES	5
4.1.	Instrumentación	5
4.2.	Materiales	7
5.	CONTEXTUALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VALLDIGNA Y APROXIMACIÓN HISTÓRICA DEL CASTELL DE MARINYÉN	8
5.1.	Elementos arquitectónicos del Castell de Marinyén.....	14
5.2.	La Torre de l’Homenatge o Torrasa.....	19
	19
5.3.	Cerámica de la Torre de l’Homenatge.....	23
5.4	Breve introducción a la cal usada en época medieval	26.
6.	TRATAMIENTOS CONSERVATIVOS EN LA TORRE DE L’HOMENATGE	31
7.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS ORIGINALES	37
7.1.	Microscopía óptica; Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM); Microscopía electrónica de barrido con dispersión de rayos x (SEM-EDX)	39
8.	FASE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS. Ensayos normativos	43
8.1.	Determinación de la granulometría de las partículas	43
8.2.	Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.....	45
8.3.	Ensayo de envejecimiento acelerado.....	46
8.4.	Determinación de la resistencia a la cristalización de sales.....	48
8.5.	Ensayo resistencia a las heladas.....	50
9.	CONCLUSIONES	52
10.	BIBLIOGRAFÍA	54
11.	ANEXOS	59
11.1.	Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge.....	60
11.2.	Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros	66
11.3.	Anexo fotográfico: Moneda	92
11.4.	Anexo fotográfico: Proceso estratigráfico.....	94
11.5.	Anexo analítico: MO	95
11.6.	Anexo analítico: SEM-EDX.....	100
11.7.	Anexo analítico: FESEM.....	112

11.8.	Anexo fotográfico: Realización morteros restaurativos.....	130
11.9.	Anexo fotográfico: Método del tamizado	131
11.10.	Anexo: Determinación granulométrica	132
11.11.	Anexo: Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica	138
11.12.	Anexo: Ensayo de envejecimiento acelerado.	139
11.13.	Anexo: Resistencia a la cristalización de sales	152
11.14.	Anexo: Resistencia a la helacidad	155
11.15.	Anexo fotográfico: Molde normativo.....	158
11.16.	Anexo: Fichas Técnicas	159

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster se ha centrado en el estudio de caracterización de los morteros medievales pertenecientes a la Torre de l'Homenatge en el Castell de Marinyén. Dicho castillo, fechado en el siglo XI, se encuentra en el municipio de Benifairó de la Valldigna, València. Además de caracterizar los morteros originales se ha abordado el estudio de los morteros utilizados en la intervención de consolidación que tuvo lugar en 2021, en la que se participó en el grupo de trabajo a través de la modalidad de prácticas extracurriculares del Máster de conservación y restauración. En consecuencia, se pretende realizar un estudio de los materiales (tanto originales como de reposición) que pueda servir de interés y apoyo en futuras intervenciones de carácter conservativo en el Castell de Marinyén o d'Alfandec, dado que el monumento catalogado como Bien de Interés Cultural (BIC), en 24 de octubre del año 2002, con categoría de Monumento, sufre un importante deterioro.

Para poder realizar este trabajo se han desarrollado análisis y ensayos con normativa tecnológica en las muestras arqueológicas extraídas de la Torre y en los morteros restaurativos.

De esta forma, se han obtenido resultados concluyentes que han permitido realizar una comparación y caracterización de los morteros originales y restaurativos, y también adquirir información relevante acerca de la resistencia e idoneidad de los mismos.

Palabras Clave: Castell de Marinyén, Reina Mora, Alfandec, castillo medieval, Benifairó de la Valldigna

RESUM

Aquest Treball Final de Màster s'ha centrat en l'estudi de caracterització dels morters medievals que pertanyen a la Torre de l'Homenatge al Castell de Marinyén. Aquest Castell, datat al segle XI, es troba al municipi de Benifairó de la Valldigna, València. A més de caracteritzar els morters originals s'ha abordat l'estudi dels morters utilitzats en la intervenció de consolidació que va tenir lloc el 2021, en què es va participar al grup de treball a través de la modalitat de practiques extracurriculars del Màster de conservació i restauració. En conseqüència, es pretén fer un estudi dels materials (tant originals com de reposició) que puga servir d'interés i suport en futures intervencions de caràcter conservatiu al Castell de Marinyén o d'Alfandec, atès que el monument catalogat com a Bé d'Interés Cultural (BIC), el 24 d'octubre de l'any 2002, amb categoria de Monument, pateix un important deteriorament.

Per poder realitzar aquest treball s'han desenvolupat anàlisis i assaigs amb normativa tecnològica a les mostres arqueològiques extretes de la Torre i als morters restauratius.

D'aquesta manera, s'han obtingut resultats concloents que han permès realitzar una comparació i caracterització dels morters originals i restauratius, i també adquirir informació rellevant sobre la seva resistència i idoneïtat.

Paraules Clau: Castell de Marinyén, Reina Mora, Alfandec, Castell medieval, Benifairó de la Valldigna.

ABSTRACT

This Master's Thesis has focused on the characterization study of the medieval mortars belonging to the Torre de l'Homenatge in the Castell de Marinyén. Said castle, dating from the 11th century, is located in the municipality of Benifairó de la Valldigna, Valencia. In addition to characterizing the original mortars, the study of the mortars used in the consolidation intervention that took place in 2021 has been addressed, in which I participated in the working group through the extracurricular internship modality of the Master in Conservation and Restoration. Consequently, it is intended to carry out a study of the materials (both original and replacement) that may be of interest and support in future interventions of a conservative nature in the Castell de Marinyén or d'Alfandec, given that the monument cataloged as an Asset of Interest Cultural (BIC), on October 24, 2002, with Monument category, suffers significant deterioration.

To carry out this work, analyzes and tests have been carried out with technological regulations on the archaeological samples extracted from the Tower and on the restoration mortars.

In this way, conclusive results have been obtained that have allowed a comparison and characterization of the original and restoration mortars to be made, as well as to acquire relevant information on their resistance and suitability.

Keywords: Castell de Marinyén, Reina Moorish, Alfandec, medieval castle, Benifairó de la Valldigna

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se ha desarrollado a raíz de elaborar prácticas formativas en la empresa de conservación y restauración de patrimonio del restaurador Andrés Ballesteros Labrado. Estas prácticas fueron tramitadas a través del Servicio Integrado de Empleo (SIE) de la *Universitat Politècnica de València* (UPV). La tutora de las mismas ha sido Dra. María Antonia Zalbidea Muñoz. Estas, se realizaron durante el mes de noviembre de 2021 por un total de 60 horas de trabajo, centradas en labores y procesos de consolidación y reposición de morteros en los trabajos de restauración de la *Torre de l’Homenatge* en el *Castell de Marinyén*.

. Dicho *Castell* es una fortaleza que pertenece al municipio de *Benifairó de la Vall digna, València*, que data de finales del siglo XI, y fue declarado como Bien de Interés Cultural (BIC) en el año 2002¹.

Como se ha comentado, las prácticas restaurativas se realizaron en la *Torre de l’Homenatge* donde se llevaron a cabo labores de consolidación de los morteros murarios, además de reintegración volumétrica y cromática. Para las tareas de colmado de lagunas, de sellado y rejunte de grietas, se empleó mortero de cal hidráulica de *Saint Astier* (NHL 5) con su respectiva dosificación de árido de polvo de mármol de 200 µm y arena de sílice de 0,2 µm. Estas intervenciones se aplican en el bien con el fin de rellenar y nivelar las áreas con disminución de material notable y frenar su acusada degradación, además de la entrada y tránsito de agua hacia el interior del monumento, con el resultante debilitamiento de la estructura que ello conlleva. Dicho mortero se pigmentó de acuerdo al tono del mortero original² con el fin de conseguir una armonía cromática. Al mismo tiempo, también se actuó sobre la base de la Torre, zona que está en contacto con la tierra y que presentaba faltantes de tamaño considerable. En este caso también se utilizó mortero a base de cal hidráulica con el añadido de piedras naturales (recogidas *in situ*) para aportar más fuerza y adhesión al conjunto del mortero (ver dosificaciones de conglomerante/árido mostradas en la Tabla 1.) El mortero también fue pigmentado de acuerdo a la gama cromática de su entorno. El mortero de cal aérea en pasta de Cales Pascual S.L., se aplicó como sellado en zonas de la superficie de la Torre con grandes faltantes y en un estado avanzado de rotura, se pigmentó de acuerdo al original. Para finalizar, se realizaron tareas de consolidación por inyección con lechada de cal hidráulica (NHL 5)³. También se realizaron consolidaciones por inyección con polímero⁴ con la intención de aportar plasticidad y elasticidad entre los estratos de los lienzos de la Torre, rellenando los huecos existentes, macroporos y/o fisuras de los revestimientos, uniendo de esta forma, en la medida de lo posible, las partículas disgregadas y devolverles la facultad mecánica. El empleo de este polímero también se utilizó como añadido en el agua de amasado de los morteros confeccionados de cal aérea y de cal hidráulica con el fin de consolidar e hidrofugar los morteros de intervención.

Las prácticas realizadas me permitieron aplicar y complementar los conocimientos adquiridos en mi formación académica, favoreciendo la adquisición de competencias de actividades profesionales con el trabajo de campo a través del empleo de la metodología de proyecto de Aprendizaje Servicio (ApS). Además, me otorgaron la posibilidad de generar un estudio de investigación sobre los morteros empleados tanto en la restauración, como aquellos originales. De esta forma este estudio aporta

1 Para mayor información se debe consultar la página web de Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la *Generalitat Valenciana*, que clasifica este bien inmueble en la 1ª categoría de monumento. Anotación Ministerio R-I-51-0010910 en fecha 24/10/02 y código 46.25.059-001. [Consulta: 28 febrero 2022] Disponible en: < <https://ceice.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics> >

2 Para más información, consultar las Tablas 1-3 correspondientes a los morteros utilizados para la reintegración cromática y volumétrica de la *Torre de l’Homenatge*.

3 El uso de la cal aérea para inyección queda descartado por su imposibilidad de ventilación o aireación, y, por ende, de carbonatación y fraguado, además de por su insuficiencia mecánica.

4 Del producto EVA ART®, proporcionado por la casa CTS®. Se trata de una resina etilvinilacetato en dispersión acuosa con alta resistencia al envejecimiento y empleada como método conservativo. Para mayor información consultar: p. 145 de este documento

información interesante que puede tenerse en cuenta para una futura actuación en el *Castell de Marinyén*, ya que la Dirección Facultativa pretende abordar nuevas actuaciones futuras.

Para una mayor contextualización del monumento, véase el Vídeo 1.



Vídeo 1. Vídeo expositivo del conjunto arquitectónico del Castell de Marinyén. @CUERDAS Y DRONES. *El castillo de Marinyén también conocido como Castillo de la Reina Mora, Castillo de Benifairó.* [vídeo en línea]. YouTube.com.: 2021. [consulta: 10 de julio 2022]. Disponible en: < <https://www.youtube.com/watch?v=rO-Tor8wols> >

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este Trabajo Final de Máster se han centrado en:

Conocer, identificar y caracterizar tanto los morteros originales de la *Torre de l’Homenatge del Castell de Marinyén*, como establecer características operativas y resultados interesantes y útiles sobre los morteros utilizados en la consolidación de la Torre. De esta forma, se aportará datos importantes y necesarios para ejecutar acciones de consolidación futuras en el inmueble.

Para alcanzar estas metas, se han propuesto unos objetivos específicos o secundarios:

- Establecer una identificación y caracterización de los morteros originales por medio de seguimiento fotográfico y microscópico; caracterización granulométrica; y composición química.
- Evaluar la resistencia y el grado de deterioro de los morteros usados en la restauración a través de su comportamiento (hídrico y durabilidad), estudiado mediante normativa tecnológica (ver apartado metodología).
- Contribuir a poner en valor el conjunto del *Castell de Marinyén* aportando documentación técnica que permita a la administración promover acciones futuras ya sean acciones didácticas o solicitudes para actuaciones de conservación y protección de los bienes inmuebles del Patrimonio Cultural de la *Comunitat Valenciana*.

3. METODOLOGÍA

El procedimiento llevado a cabo para la realización de este trabajo se caracteriza por una división de enfoque; en primer lugar, un enfoque teórico y, posteriormente se trabaja en un segundo bloque empírico inscrito en la reconstrucción arqueológica experimental.

En cuanto a lo que respecta al marco teórico, que abarca una intensa investigación documental, ha sido determinante para el estudio y análisis de la historia del *Castell* pudiendo así contextualizar el mismo en la zona de la Vall digna. Un texto fundamental ha sido el libro *El Castell de Marinyén* (JOAN, M., 2009) donde se recogen datos primordiales y determinantes que no se reúnen en otras obras consultadas. Por otra parte, se han llevado a cabo búsquedas bibliográficas para profundizar en la tipología constructiva del castillo y del momento histórico, el estudio de los materiales y los morteros usados en época medieval, atendiendo especialmente a los pasajes que nombran el uso de la cal en la zona de la Safor y la Costera.

También se han consultado bases de datos a través del Polibuscador (UPV) con el sistema *Virtual Private Network* (VPN). Entre las bases de datos consultadas se enumeran; la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), de *International Organization for Standardization* (ISO), de *Reunion Internationales des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux de et les Constructions* (RILEM), *The French institute of science and technology for transport, development and networks* (IFSTTAR) y, de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM INTERNATIONAL). Estas consultas han permitido obtener la normativa tecnológica adecuada para realizar los ensayos propuestos.

En relación al método empírico experimental, se han elaborado diferentes prácticas. Por lo que atañe al trabajo de campo *in situ* en el *Castell de Marinyén*, se ha registrado de forma intensa tanto documentación

fotografía, como los datos tan básicos acerca de las proporciones, los materiales y los métodos de trabajo utilizados para la confección y aplicación de los morteros y de los consolidantes que fueron utilizados en la restauración de la *Torre de l’Homenatge*. También se ubicaron en distintos puntos diferentes fisurómetros y se obtuvo información meteorológica del municipio de Benifairó de la Vall d’igna a través de la Agencia Estatal de Meteorología (©AEMET) así como del archivo meteorológico de *Climate.Data.org*. Estas agencias procuran datos que aportan información para tomar criterios futuros tanto en ámbito conservativo como de mantenimiento y protección.

Adicionalmente, se ha realizado trabajo en laboratorio fotográfico⁵ para la creación de un archivo fotográfico de las muestras de morteros originales tomadas de la Torre (6 muestras)⁶ y dos muestras pertenecientes al aljibe noroeste. Las muestras de la Torre permitieron conocer y determinar la dosificación utilizada además de la granulometría de las partículas de los áridos. Estos datos se obtuvieron del ensayo normativo (AEONOR, UNE-EN 933-1 2012)⁷ realizado a un total de 5 muestras ya que se decidió dejar una muestra como testigo (M-3). También se englobaron restos de fragmentos pertenecientes a las muestra M-1, M-2, M-4 y M-5, además de las muestras pertenecientes al aljibe y un fragmento de cerámica medieval perteneciente a la M-5. De esta forma, se generaron estratigrafías que posteriormente fueron visualizadas y observadas al microscopio óptico (MO) y analizadas con el Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) y Microscopio electrónico de barrido con dispersión de rayos X (SEM-EDX).

Por otra parte, para el estudio de los morteros restaurativos, se ha realizado en laboratorio un total de 101 probetas prismáticas según marcan los criterios normativos de cada norma de ensayo. Estas probetas fueron utilizadas en las siguientes pruebas:

- Métodos de ensayo para piedra natural. *Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*. (UNE-EN 13755).
- Métodos de ensayo para piedra natural. *Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*. (UNE-EN 12370).
- Métodos de ensayo para piedra natural. *Determinación de la resistencia a la helicidad*. (UNE-EN 12371).
- *Essais Recommandés Des Pierres Et Evaluer L’efficacité Des Méthodes De Traitement. Protection Et Erosion Des Monuments. (Essai nº V.3: Tenue au gel, 1980, RILEM)*.
- *Méthodes d’Auscultation sur Prélèvements Béton. Essai de gel d’un béton*. (IFSTTAR A1-7)⁸.
- *Standard Practices for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions*⁹ (ASTM INTERNATIONAL, Designation: D1183-3 (Reapproved 2011)).

5 También se fotografió una moneda de aluminio encontrada en el muro de la *Torre de l’Homenatge*. La moneda fue acuñada en 1991, en Lituania y representa 1 “CENTAS”. En el anverso se muestra escrito el número 1, un escudo y la palabra “CENTAS”. En el reverso, un caballero medieval con escudo y espada en alza y debajo de este, escrito “LIETUVA 1991”. Para mayor información consultar la Web: < <https://www.numismaticabilbao.com/es/51384-lituania-1-centas-1991-caballero-medieval-km85-moneda-de-aluminio-sc-lietuva-lithuania.html> > Consúltese para mayor información: Anexo fotográfico: Moneda.

6 Véase el Anexo: Cata muraria y caracterización morteros.

7 Para mayor información acerca de la norma consultar: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado*. UNE-EN 933-1 Madrid: AEONOR, 2012.

8 THE FRENCH INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR TRANSPORT, DEVELOPMENT AND NETWORKS *Méthodes d’Auscultation sur Prélèvements Béton. Essai de gel d’un béton*. IFSTTAR A17. Lyon, 2015. Disponible a: < https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CI11/pdfs/FicheA1-7-Guide_Auscultation_Ouvrage_Art-Cahier_Interactif_ifsttar.pdf >

9 Normativa adaptada para uso en morteros de cal, utilizados en la *Torre de l’Homenatge*. Para más información consultar la norma: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Practices for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions*. D1183-3. ASTM: West Conshohocken, 2011.

Por último, para poder realizar los ensayos tecnológicos de - *Determinación de la resistencia a la helicidad - Essai nº V.3. Tenue au gel y Essai de gel d’un béton - Méthodes d’Auscultation sur Prélèvements Béton. Essai de gel d’un béton*, hizo falta la creación de un molde apropiado de acuerdo a las características y requisitos normativos. Para este ensayo, se elaboró un molde con la silicona¹⁰. El procedimiento que se siguió fue el siguiente: se utilizaron tres bloques de madera prismáticos con las dimensiones requeridas las cuales fueron impermeabilizadas con goma laca para evitar el agarre de la silicona, ya que se trata de un material poroso. Como recipiente se utilizó una cubeta de 30×30 cm, y, de aislante de superficie, se aplicó jabón de pH básico. Se preparó la silicona según recomendaciones de la ficha técnica (Véase Anexo: Fichas Técnicas) y se vertió sobre la cubeta con los tabloncillos de madera bien dispuestos. Se proporcionó peso y un tope para evitar el exceso de flote de los listones¹¹ (Véase Anexo: Molde normativo para mayor entendimiento).

4. INSTRUMENTACIÓN Y MATERIALES

4.1. Instrumentación

La instrumentación utilizada para la caracterización de los morteros originales y conocer así tanto la morfología de los mismos, como la composición de estos e incluso el comportamiento de las probetas realizadas, se expone a continuación:

- Mesa fotográfica de reproducción *Kaiser Fototechnik RS 2 XA Copylizer*, cámara NIKON D3400 con objetivo 105 mm. (también NIKON). El uso del trípode permitió un ajuste en la cámara según las necesidades requeridas para poder realizar las fotografías que, permitieron posteriormente realizar la caracterización de los morteros originales.
- Programas informáticos: *ImageJ*, *Adobe Photoshop CS6®* y *PowerPoint (2019)*. Para realizar la medición, evaluación y montaje de las fotografías finales de los materiales estudiados.
- Tamizadora analítica AS 300 control, RESTCH®¹² con movimiento tridimensional para tamices de 100/150/200/203/305/315 mm de diámetro. Apropiada para tamizar polvos, productos a granel en seco y en húmedo. Los tamices de ensayo empleados para la tamizadora, cumplían la certificación de la normativa internacional ISO 3310-1:200¹³ que se identifica con la norma española UNE 7050-3:1997¹⁴. Los tamices con apertura de luz utilizados fueron los siguientes: 2,5 mm; 2 mm; 1,25 mm; 1 mm; 0,800 mm; 0,300 mm; 0,150 mm; 0,125 mm; 0,100 mm; 0,080 mm; y 0,063 mm.
- Balanza de precisión electrónica KERN® modelo 600-2, con un peso de carga máximo de 600 g. y una resolución de 0,01 g.
- Microscopio LEICA del Aula/ Laboratorio Fotografía, B-3-1 de la Facultad de Bellas Artes (UPV).

10 La silicona utilizada para realizar este molde fue: Silical 120 (CTS© España S.L.) es una goma de silicona líquida que se trabaja por colada. Producto bicomponente: Silical 120 más el catalizador Silical 125 relación en peso al 5%. Para más información consultar: CTS ESPAÑA. *Productos y Equipos para la Restauración, S.L.* [en línea]: Silical 120. Goma Silicona líquida colable. Disponible a: < <https://shopespana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/6.5gomasiliconasparamoldes2016/silical120esp.pdf> >

11 Para mayor información referente al proceso, consultar el Anexo – Realización molde normativo.

12 LABOQUIMIA. *Tamizadora analítica AS 300 control*, RETSCH. Disponible en: < http://www.laboquimia.es/catalogo/producto.php?codigo=20445100047&sub_amarillo=yes > Herramienta utilizada en: Aula/taller C+R Escultura/Arqueología, E-0-24. Facultad de BBAA, (UPV).

13 Para mayor información consultar la norma: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Test sieves. Technical requirements and testing. Part I: Test sieves of metal wire cloth.* ISO 3310-1. Ginebra, 2016.

14 Para mayor información consultar la norma: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Tamices y tamizado de ensayo. Parte III: Exigencias técnicas y verificaciones de los tamices de ensayo de la tela metálica.* UNE 7050-3: 1997. Madrid: AEONOR, 1997.

- Leica MC170 HD con microscopio estereoscópico, óptico (MO), LEICA MZ APO. Por el Servicio de Microscopia Electrónica de la UPV ubicado en el edificio 8D.
- Microscopio Electrónico de Barrido emisión de campo con haz de iones enfocado (FIB). Dispone de microanálisis EDX. Microscopio electrónico de barrido emisión de campo (FESEM), de la marca SCIOS 2. Por el *Servei Central de Suport a la Investigació Experimental (SCSIE) de la Universitat de València, en el Campus de Burjassot-Paterna, València.*
- Microscopio Electrónico de Barrido con dispersión de rayos X (SEM-EDX), de la marca JEOL, modelo JSM6300. Por el Servicio de Microscopia Electrónica de la UPV ubicado en el edificio 8D.
- Congelador de alcance -20°C, cámara frigorífica 2°C, horno ventilado capaz de mantener una temperatura de (105 ± 5) °C.
- Estufa de desecación y esterilización Serie AI, INDELAB del Aula/ Laboratorio C+R Pintura Mural E-1-6 de Conservación y Restauración, E-1-6. Facultad de BBAA, (UPV).

4.2. Materiales

Los productos y materiales (Ver Tablas 1-3) que han sido utilizados y aplicados en la restauración y consolidación de la *Torre de l’Homenatge* y que se han utilizado para la confección de las probetas específicas para poder llevar a cabo el estudio de los mismos, son los siguientes:

- Cal hidráulica natural de *Saint Astier* (NHL 5).
- Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.).
- Polvo de mármol de 200 μm .
- Arena de sílice de 0,4 - 2 μm .
- Pigmentos *Conesland*[®]: almagra (nº 17), ocre (nº 13), sombra natural (nº 23), siena natural (nº 19).
- Agua desionizada
- Etilenvinilacetato en dispersión acuosa (EVA ART[®]-CTS)¹⁵ diluido al 2% en agua desionizada.

Por otro lado, para poder realizar el ensayo *Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*¹⁶, se ha precisado de sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) decahidratado.

MORTERO A						
Conglomerante	Áridos		Aditivos			Polímeros
Cal hidráulica (<i>Saint Astier</i>) NHL 5	Polvo de mármol 200 μm .	Arena de sílice 0,2 μm .	Pigmento almagra <i>Conesland</i> [®] Nº 17	Pigmento ocre <i>Conesland</i> [®] Nº 13	Pigmento sombra natural <i>Conesland</i> [®] Nº 23	Eva Art [®] al 2% diluido en agua destilada

Tabla 1. Proporción de aglomerante/ árido (1: 2) del mortero.

MORTERO B						
Conglomerante	Áridos		Aditivos			Polímeros
Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.)	Polvo de mármol 200 μm .	Arena de sílice 0,2 μm .	Pigmento siena natural <i>Conesland</i> [®] Nº 19	Pigmento ocre <i>Conesland</i> [®] Nº 13	Pigmento sombra natural <i>Conesland</i> [®] Nº 23	Eva Art [®] al 2% diluido en agua destilada

Tabla 2. Proporción de aglomerante/ árido (1: 1,5) del mortero.

MORTERO C ‘MIXTO’						
Conglomerante	Áridos		Aditivos			Polímeros
Cal aérea en pasta (Cales Pascual, S.L.)	Polvo de mármol 200 μm .	Arena de sílice 0,4 μm .	Agregado de un 5% del mortero (A) de cal hidráulica			Eva Art [®] al 2% diluido en agua destilada

Tabla 3. Proporción de aglomerante/ árido (1: 3) del mortero.

¹⁵Para mayor información sobre el polímero consultar: CTS ESPAÑA. *Productos y Equipos para la Restauración*, S.L. EVA ART. < https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.4resinasvinilicas2016/evaartec_es.pdf >

¹⁶ Para consultar la norma véase: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*. UNE-EN 12370: Madrid: AEONOR, 1999.

5. CONTEXTUALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VALLDIGNA Y APROXIMACIÓN HISTÓRICA DEL CASTELL DE MARINYÉN

La *Valldigna* es un valle de origen natural formada por los pueblos de *Simat*, *Tavernes de la Valldigna*, *Benifairó de la Valldigna* y *Barx*. Situada al sureste de la provincia de *València* (Fig. 1), pertenece a la comarca de la Safor (Fig. 2) y limita su territorio con las comarcas de *la Ribera Alta*, de *la Ribera Baixa*, de *la Costera* y de la *Vall d’Albaida*. Ésta última comarca, rica en geología, queda al este de la Safor por medio de un desfiladero cerrado por el Mondúber¹⁷, lugar que desde la prehistoria la piedra ha sido un elemento clave¹⁸, de donde nace la explotación directa de la roca calcárea y dolomítica, y con éstas, multitud de canteras¹⁹. Asimismo, la situación geográfica de la Safor hace que en ella existan pequeños oficios artesanos que se vinculan al territorio y se dedican a su manufactura, como la explotación de las arcillas de *Keuper*²⁰ y rocas margas para la obtención y fabricación de baldosas, tejas, y más aún, para la elaboración de yeso a través de los filones o vetas de tizas de las arcillas²¹. La provincia de *València* es una aérea que debido a su geología ahonda el suministro de cal y, en época del bajomedieval, el entorno de Gandía (la Safor) abastecía a la ciudad de *València* a través de las caleras en *Beniarjó*, *Beniopa* y *Vilallonga*²² (Fig. 3). Estas poblaciones pertenecían a señoríos en los que solía vivir abundante población mudéjar que se empleaban en la industria de la cal a cambio de rentas.



Figura. 1. Mapa político de las comarcas de la *provincia de València*. Disponible en: <
https://farm2.staticflickr.com/1847/42370474140_71bca3fbfb_o.jpg>



Figura. 2. Comarca de la Safor. Localización de Benifairó de la Valldigna. Disponible en: <
https://www.ermitascomunidadvalenciana.com/logos/MapaSafor_01.gif>

17 Macizo montañoso al sureste de la comarca de la Safor.

18 SANZ LLOPIS, R. et. al. *Pedra i Calç: Una historia sobre els artesans de la pedra*, 2017. p. 17

19 *Íbid.* p. 18., Como muestran la cantidad de restos de hornos extendidos por el término de *Llutxent*, *València*.

20 Perteneció al grupo de las tres divisiones del Triásico en facies germánica. La de *Keuper*, establecidos en ambientes continentales, está constituida por arcillas contudentes de tonos múltiples, por margas iridiscentes, paralelas con yesos y sales. Glosario. Estratigrafía del Triásico. *Geología Comunidad Valenciana*. [consulta: 17 junio 2022]. Disponible a: <
http://www.upv.es/dit/Itinerarios/Estrati_Triasico_CV.htm#:~:text=KEUPER%3A%20constituido%20por%20margas%20iridasas,ambientes%20continentales%20%3A1ridos%20y%20c%3A1lidos.>

21 *Íbid.* p. 18

22 GARCÍA MARSILLA, J.; IZQUIERDO ARANDA, T. *Abastecer la obra gótica. El mercado de materiales de construcción y la ordenación del territorio en la Valencia bajomedieval*, 2013. p. 146

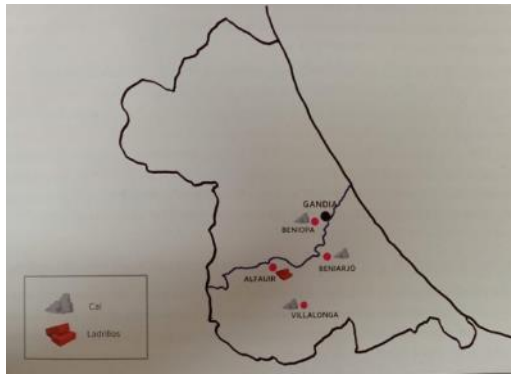


Figura. 3. Materiales usados en la comarca la Safor en época medieval. Fuente: GARCÍ, J.; IZQUIERDO, T, 2013. p. 133

La *Vall digna*, se caracteriza por tener un clima mediterráneo rico en fauna y flora que abarca hasta el litoral con la desembocadura del río Vaca. Esta zona tiene un alto nivel de lluvias, entre 900 y 800 mm²³, que beneficia a su gran cantidad de huertas y fuentes, siendo, de esta forma, un lugar de hábitat desde la antigüedad como demuestran los yacimientos paleolíticos más importantes europeos²⁴ como la *Cova de Bolomor* (cercana al *Castell de Marinyén*), además de los restos de época romana, como son los *nummus*²⁵, sestercios y restos de cerámica. Además, este valle se encuentra rodeado de montañas con rocas de origen calcáreo y dolomías, de barrancos como el *Raboser* y el *Castell*, y entre estos barrancos, nace un peñón escarpado de 240 m de altura donde se encuentra la fortificación del *Castell de Marinyén* (Fig. 4-5) cuyo valle está definido como hábitat de protección arqueológica (Fig. 6) por la *Generalitat Valenciana* (GVA) en el año 2006²⁶.



Figura. 4. Vista este del Castell de Marinyén. Disponible en: <<https://i.pinimg.com/736x/ca/ce/a7/cacea7da7e2434a0ddbbba1ba9df57a7e--mediterranean-sea-castle.jpg>>

23 JOAN, M. *El Castell de Marinyén*, 2009. p. 9

24 *Ibid.* p. 12

25 En época romana da nombre a las acuñadas de dimensiones pequeñas.

26 Según JOAN, M., 2009. *Op. cit.* p. 13, el hábitat de protección es de un radio de 500 m.



Figura. 5. Vista aérea del Castell. Disponible en: < https://gentedelasafor.es/upload/images/02_2021/1293_mora31.jpg >



Figura. 6. Ubicación y entorno del Castell de Marinyén. En rojo, zona protegida de hábitat por la GVA. Fuente: Conselleria de Educació, Cultura y Deporte de la GVA. Disponible en: < <https://ceice.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics> >

El *Castell de Marinyén*, *Castell d’Alfàndec* o, más popularmente, *Castell de la Reina Mora*, es una antigua fortaleza que tiene su origen a finales del siglo XI, en época islámica, que según Gómez Sahuquillo²⁷: “...el mejor de los dos que se encuentran en ese valle²⁸ y se pueden identificar perfectamente los distintos espacios y estancias en que queda dividida la fortaleza [...] un magnífico ejemplo al castillo de la Reina Mora como castrum complejo...”. A pesar de que en la actualidad solo conserve restos en estado de ruina, se pueden apreciar técnicas constructivas de época islámica como los encofrados por tapiales²⁹, la

27 GÓMEZ SAHUQUILLO, M. *Castellología Islámica de la Ribera del Xúquer (Valencia)*. 2017, p. 288

28 Se refiere a las fortalezas *dels Castellets*, en la montaña de les Creus de la Serra de la Corbera, en término del municipio de Tavernes.

29 Al decir de SANZ LLOPIS, R. *Op. cit.*, 2017. pp. 20-128: “El tap és, en definitiva, un conglomerant argilenc i blanquinós que es pot presentar en forma compacta o esfulladissa i amb diferents graus de duresa” - “...cadascun dels trossos de paret que d’una sola vegada es fan amb terra pastada i piconada en un encofrat”.

mampostería encofrada, la tapia calicostrada³⁰, y también marcas de incisiones en forma de zigzag en el interior de los aljibes y en zonas del albacar.

Existen diferentes sistemas constructivos del tapial y, dependiendo de la composición, colocación y elaboración de los materiales expuestos en el interior de las tablas³¹, mayoritariamente cal o la arcilla como conglomerante de la mezcla de tierras y grava, pueden ser: tapia real (tierra y *lechada* de cal de forma alternada), tapial de tierra (tierra con arena o grava), tapial de tierra y cal (tierra mezclada con cal), tapial calicostrado (tierra o tierra y cal con mortero rico en cal), tapial hormigonado (vertido de hormigón de cal), tapial calicanto (nivel de piedra, nivel de tierra o de tierra y cal)³². Generalmente, los tapiales se realizaban con la tierra y cal local, material que se compactaba y apisonaba en grandes cajones de madera. La cantidad de cal que se empleaba era mínima y posee la cualidad de no interferir en la porosidad de la tierra, conservando la particularidad de adherirse y unirse a otros materiales constructivos garantizando el intercambio higrotérmico entre aire y vapor de agua con el medio³³. Esta técnica árabe continuó utilizándose en la conquista cristiana³⁴, y por lo que respecta al *Castell de Marinyén*, es un arte que convive en sintonía con construcciones de tipología cristiana de los siglos XIV y XVI, como por ejemplo la capilla gótica. Como explica Mileto³⁵ en su texto:

“El hecho de que antiguos muros de tapia se encuentren aún en pie y que hayan permanecido prácticamente inalterados con el paso de los siglos es una muestra tangible de su resistencia y larga duración, así como de la habilidad que tuvieron sus constructores para resolver problemas técnicos, aprovechar los recursos disponibles y adaptarse tanto al clima de zonas mediterráneas como continentales de la península”.

No se hayan referencias documentales de la actual Valldigna hasta la conquista de Jaume I en 1240 cuando se nombran los castillos de Bairén, Gandía y *Marinyén* en su Crónica cita al municipio de la Valldigna como *val Dalfàndec*, que en árabe³⁶ significa terreno pantanoso. Es por esto que, hasta esta fecha, no se encuentran referencias documentales acerca del Castell de Marinyén y su historia. Es a raíz de entonces cuando, la Corona de Aragón cede el *Castell* al monasterio de Santa María de la Valldigna, en 1298, y se le añaden elementos constructivos de características típicas de estilo gótico cristiano como la capilla con bóveda de crucería con sillares. Ya en el año 1346, durante la Guerra de Unión entre Castilla y Aragón, se cita al *Castell* como *Castell d’Alfàndec de Marinyén*, gracias a la documentación que dejan los monjes cistercienses cuando se refugiaron en el mismo. En los siglos XV y XVI, el *Castell* fue reconstruido, siendo este último utilizado como prisión por la piratería bereber que había en el valle. En esta época, la reconstrucción consistía en asolar aquellas construcciones precedentes ya existentes para trabajar nuevos cimientos que, sobre pavimento estable, introducían un aglomerado a base de cantos de piedras y arena con argamasa de mortero de cal³⁷, la cual formaba una costra de considerable resistencia.

Ya en el siglo XVII, a raíz del decreto de 1609, tras la expulsión ya definitiva de los moriscos de las tierras valencianas, el *Castell* queda abandonado, perdiendo su función de refugio y protección, aunque según J.

30 Sobre la tapia consultar: SORIANO, María Pilar; ZALBIDEA, María Antonia. Construcciones tradicionales; el tapial. *Ecohabitar*, 2013, nº 38, pp. 26-28. Y sobre la tapia calicostrada ver: MILETO, C; VEGAS, F. 2014., p. 40, afirman: “...aplicación posterior de un enlucido de mortero de cal que no esté vinculado a su construcción en el encofrado. Se construye extendiendo en cada tongada previamente al apisonado de la tierra una cuña de mortero de cal contra el encofrado o tapial, que se va ligando con las sucesivas cuñas superiores resultando en un enlucido encofrado con una característica sección en forma de cremallera de cuñas trabadas en la masa del muro que le confieren mayor estabilidad”.

31 SAN LLOPIS, R. *Op.cit.*, 2017. pp. 128-129

32 SORIANO, María Pilar; ZALBIDEA, María Antonia. *Op. cit.*, *Ecohabitar*, 2013. p. 28

33 *Ibid.* p. 26-27.

34 GARCÍA MARSILLA, J; IZQUIERDO ARANDA, T. *Op. cit.*, 2013. p. 144

35 MILETO, C; VEGAS, F. 2014. *Op. cit.* p. 33.

36 SAÑUDO DIE, P., ZALBIDEA MUÑOZ, M. et al. *Projecte de intervenció arqueològica i de restauració de la Torre del Homenatge al B.I.C. del Castell de Marinyén de Benifairó de la Valldigna (València)*, 2021. p. 10

37 GARCÍA MARSILLA, J; IZQUIERDO ARANDA, T. *Op. cit.*, 2013. p. 218

Toledo “...quan l’expulsió de la raça morisca el 1609 ja estava abandonat i enrunat”³⁸. Los documentos escritos que se encuentran de entonces sobre la Vall d’igna muestran que, en aquella época, no se conoce el nombre del Castell, y lo citan como “El Castell de Noringuén”³⁹. Finalmente, en el siglo XIX, pasa a denominarse Castell de la Reina Mora, al igual que muchos otros castillos de época medieval pertenecientes a tierras valencianas. En el siglo XX, sufre expolio a causa de las muchas leyendas populares acerca de la Reina Mora, la cual cuenta la leyenda que “vivió entre las fortificaciones del Castillo y que, en el momento de la conquista, guardó su tesoro en el Castell y se arrojó al vacío con su recién nacido en brazos”⁴⁰. Los expolios que ha sufrido la fortaleza desde entonces han sido innumerables, llegando incluso a agujerear el muro inferior de la capilla de época cristiana. También es cierto que, los sillares y demás construcciones, se han visto reaprovechadas para la construcción de sistemas agrícolas entre otros.

Desde 2006 se están realizando prospecciones arqueológicas que han contribuido a generar el Pla Director del Castell⁴¹, y, a raíz de esto, se han hallado diversos fragmentos arqueológicos de cerámica que abarcan un amplio recorrido histórico, desde la época romana hasta finales del siglo XVII, como por ejemplo “...un dineret de billó baix medieval⁴², en argent i coure”⁴³ de acuñación valenciana durante el mandato de Jaume I.

Las investigaciones realizadas por los arqueólogos Pablo Sañudo Die y Ernestina Herreros Hernández en 2021, establecen que las primeras fases de ocupación del Castell fueron en época musulmana. Aunque, suscitan la posibilidad de poder haber sido habitado en épocas anteriores tras hallazgos de restos arqueológicos y de la existencia de estructuras de época romana.

A pesar de ser un monumento B.I.C. y estar bajo la protección de la Declaración Genérica del Decreto de 22 de abril de 1949⁴⁴ y por la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español⁴⁵, el 25 de marzo del 2020, el Castell de Marinyén fue incluido en la Lista Roja del Patrimonio⁴⁶ por encontrarse en un pésimo estado de conservación y situación de dejadez, además del riesgo de derrumbe en algunas zonas del conjunto fortificado. Como resultado de este ruinoso estado de conservación, los vecinos de la Vall d’igna manifestaron su preocupación creando una plataforma en la que se recogían firmas con el fin

38 JOAN, M. *Op. cit.*, 2009. p. 33

39 MILETO, C; VEGAS, F. *Op. cit.*, 2014. p. 33

40 Información obtenida de BALLESTEROS LABRADO, Andrés, a través de comunicación oral el 9 de noviembre de 2021 *Castell de Marinyén*.

41 El Pla Director del Castell es el informe en el que se incluye la relación de elementos a conservar debido a su importancia dentro del edificio (o conjunto) y a su carga histórica. Firmado por el Ajuntament de Benifairó de la Vall d’igna y la Mancomunitat de la Vall d’igna para la realización de actuaciones restaurativas, programas de investigación, protección, difusión y documentos que faciliten la comprensión del conjunto del Castell. Para más información, consultar la web: LA COTORRA DE LA VALL. *El Pla Director d’actuacions en el Castell de Marinyén*. Disponible en: < <https://lacotrradelavall.blogspot.com/2020/09/el-pla-director-dactuacions-en-el.html> >

42 Un dinero de vellón de bajo medieval, en plata y cobre [N. De T]. El término “vellón” se refiere a una moneda de cobre con aleación de un 25% de plata. Llamado también como dinero de “terno” por tener tres dineros de ley. Para más información consultar la web: CERES. *Colecciones en Red. Ministerio de Cultura y Deporte*. Gobierno de España. Disponible en: < <https://acortar.link/JVbkBw> >

43 JOAN, M., *Op. cit.*, 2009. pp. 44-45.

44 Para más información consultar: Decreto de 22 de abril de 1949 sobre Protección de los Castillos Españoles. Boletín Oficial del Estado. Madrid: BOE, 1949, nº 125. Disponible en: < <https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1949/125/A02058-02059.pdf> >

45 Para más información consultar: Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Boletín Oficial del Estado. Madrid: BOE, 1985, nº 155. Disponible en: < <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16> >

46 La Lista Roja fue creada en 2007 por Hispania Nostra, que es una asociación sin ánimo de lucro, declarada de utilidad pública, que trabaja desde el año 1976 en la defensa, promoción y puesta en valor del patrimonio cultural y natural, al que considera como vector de desarrollo social y económico. Tiene como objetivo promover la participación social en las actividades de protección, conservación, difusión y disfrute por los ciudadanos de su herencia cultural y natural. Para ello lleva a cabo programas de vigilancia sobre patrimonio en peligro; de estímulo a las buenas prácticas; promueve la colaboración ciudadana entre instituciones públicas y privadas y participa en actividades de educación y promoción del valor social del patrimonio. Para más información consultar: LISTA ROJA DEL PATRIMONIO, 2020. *Castillo de Benifairó de la Vall d’igna*. Disponible en: < <https://listarojapatrimonio.org/ficha/castillo-benifairo-la-valldigna/> >

de salvaguardar al conjunto histórico. La plataforma tenía como nombre “Salvemos el Castillo de Marinyén”⁴⁷. Fruto de esta gestión, en el 2021 empezaron a realizarse trabajos de intervención subvencionados por el *Ajuntament* de Benifairó y la *Mancomunitat* de la *Valldigna*, bajo la supervisión de los arqueólogos Pablo Sañudo Die y Ernestina Herreros Hernández. La primera fase de actuación consistió en la limpieza y desbroce en el conjunto fortificado, para el posterior trabajo arqueológico y restaurativo. En julio de 2021 fue concedida la subvención⁴⁸ para la realizar los trabajos de consolidación de los morteros de la *Torre del Homenatge*, dichos trabajos concluyeron en enero de 2022.

47 CHANGE.ORG. *Salvemos el Castillo de Marinyén (Benifairó de la Valldigna)*. Disponible en: < <https://www.change.org/p/gobierno-de-espa%C3%B1a-rehabilitaci%C3%B3n-y-puesta-en-valor-del-castillo-de-alfandec-benifair%C3%B3-de-la-valldigna> >

48 RESOLUCIÓN de 20 de julio de 2021, Director general de Cultura y Patrimonio, Concesión de subvenciones destinadas a actuaciones de conservación y protección de los bienes inmuebles del patrimonio cultural de la *Comunitat Valenciana*. [2021/8006] Para mayor información consultar: VERIFICACIÓ DE DOCUMENTS. *Generalitat Valenciana*. Disponible en: < <https://www.tramita.gva.es/csv-front/index.faces?cadena=TCAUC5D8:IH27JR1F:51APVJCG> >

5.1. Elementos arquitectónicos del Castell de Marinyén

Como se ha comentado, en conjunto, las estructuras y edificaciones del *Castell* se encuentran en un estado pésimo de conservación, estando prácticamente en estado de ruina. Esta decadencia se debe a distintos tipos de erosión producidos por diversas causas: antrópicas, biológicas, físico-mecánicas y químicas; siendo todas ellas, una gran amenaza para la integridad del conjunto monumental. Partiendo de la base que el grado de deterioro de un objeto está intrínsecamente y extrínsecamente relacionado por los materiales que lo componen, los cuales están ligados a una serie de procesos naturales, como las características químicas o físicas del objeto en cuestión, y también de los factores ambientales de donde se haya, las alteraciones de deterioro se pueden ver más o menos afectadas, pero la continua evolución a la que está sometida la obra, con sus respectivas causas de alteración, hacen que, en un tiempo relativo, la obra quede destruida por completo si no se actúa sobre ella con acciones conservativas y restaurativas de patrimonio. Como ya se ha mencionado, la acción antrópica en forma de expolio, vandalismos y abandono, es posiblemente, la mayor causa de degradación de los elementos arquitectónicos que componen el *Castell*, seguida muy probablemente por la acción del agua, que favorece la mayoría de las reacciones químicas⁴⁹. Asimismo, los contaminantes atmosféricos que se encuentran suspendidos en el ambiente, como sales, arena y otros, también favorecen a la degradación del bien material inmueble.

Son varios los elementos arquitectónicos los que componen el conjunto militar del *Castell*, y para una mayor comprensión, se describen a continuación⁵⁰:

Primer recinto amurallado:

- El Albar, del árabe *al-baqarah*, significa: “la novilla o la vaca” (Fig. 7). Lo forman un conjunto de alrededor de 12 casas construidas a través de la técnica de encofrado. Datadas en el siglo XVI. La función del albar era dar refugio a la población de un núcleo inmediato cuando éste se encontraba amenazado⁵¹. También se le atribuye la función de resguardar al ganado, como su nombre en árabe indica. La entrada se efectúa a través de una puerta constituida por un arco de medio punto de 3,4 m de altura por 6 m de ancho. La puerta esta flanqueada por dos torres defensivas de las que hoy en día solo queda la planta rectangular.
- Del albar nace una muralla que pasa por el barranco del *Raboser*, de construcción ascendente con una longitud de 243 m y de alrededor de 1,5 m de anchura, protege el recinto hasta la puerta de entrada al *Castell*. En la muralla son visibles algunas troneras⁵² y un sistema de canalización en la parte superior. La técnica constructiva de este espacio es la del encofrado.

49 FERRER MORALES, A. *La pintura mural. Su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas.*, 1998. p. 67, aclara que: “El agua es un compuesto de oxígeno e hidrógeno que reacciona con otros cuerpos dando lugar a hidratos. Estos producen a su vez compuestos que dañan o destruyen...”.

50 La información sobre los recintos y estructuras del conjunto del *Castell de Marinyén*, se ha extraído de: JOAN, M. Op. cit., 2009. pp. 51-79 y, GÓMEZ SAHUQUILLO, M. Op. cit., 2017. pp. 289-293.

51 Otros conjuntos cercanos también comparten esta estructura como el castillo de Xàtiva. Para más información consultar: GARCÍA MARSILLA, Juan Vicente. La gran fábrica del Castell de Xàtiva. Saitabi, *Revista de la Facultat de Geografia i Història*, 2020, vol. 1, nº 70, pp. 43-66.

52 Orificios abiertos en los muros como elemento defensivo.



Figura. 7. Arco de medio punto del Albacar. Fuente: CASTELLET, 2021.

Segundo recinto amurallado que fue la zona más habitada por los cristianos, de ahí que haya más dependencias de esta época:

- Puerta y torres de acceso al *Castell*, en estado de ruina. Datados entre los siglos XV y XVI.
- Capilla cristiana orientada hacia el nordeste y sudeste, siendo poco habitual según el criterio cisterciense (Fig. 8). De forma rectangular sobre el muro del barranco del *Raboser*, al este. Todavía se aprecian ménsulas, de decoración sencilla y geométrica, y restos de los arranques de los arcos. La capilla estaba cubierta por una bóveda de cruz gótica y plementería⁵³ de losetas. La puerta de entrada al templo, datada en el siglo XIV, es de medio punto con cruz doble y aún conserva los orificios por donde se anclaba. El recinto tiene dos ventanas que dan vista al barranco, siendo una de ellas de dimensiones más grande, pudiendo ser en origen un balcón. En la zona inferior está excavada en la misma roca madre, que hace de muro, con un techo cubierto por una bóveda de cañón en el que se observan las huellas de las cañas de construcción, aunque se desconoce la finalidad de esta sala.
- Enfrente de la capilla, se encuentra un muro construido en tapia (Fig. 11), donde son visibles las marcas del encofrado y, además, se observan unas incisiones figurativas, posiblemente de época gótico cristiana (Fig. 8-9) aunque aún queda por determinar. La disposición de los muros hace que aún se conserve en la parte superior un arranque de la bóveda.
- El muro que sigue a la capilla conserva ménsulas trabajadas en piedra calcárea. La estancia termina con un arco, del que solo queda el arranque
- En la cara noroeste de la fortaleza, se encuentran un conjunto en decadencia, con ventanas trabajadas a sillares y muros en mampostería y tapial. Ambas datadas en el siglo XVI (Fig. 10).
- Se observan tres aljibes, dos de ellos situados al noroeste y otro al este. Este último, situado al final de las escaleras de la Torre y enfrente de la capilla, de forma irregular, construido por encofrado con mortero de cal y piedras, con incisiones en zigzag. Los otros dos aljibes, comunicados entre sí, están situados en la zona superior de la loma, son de planta

⁵³ Conjunto de las dovelas o plementos que envuelven y cierran el espacio entre los nervios de una bóveda nervada o de crucería.

cuadrangular, y el grande de los dos, tiene acceso a una pequeña fuente natural. También con incisiones en zigzag (Fig. 12).

- En la zona más elevada del peñasco, se encuentra en estado de ruina, la **Torre de l’Homenatge** o **Torrassa**, de la que sólo se conservan restos de tres paramentos laterales, uno de ellos de mayores dimensiones, alberga la puerta construida con un arco de medio punto que da acceso a una escalera encofrada de piedras y mortero de cal que se dirige hacia el aljibe (Fig. 13).

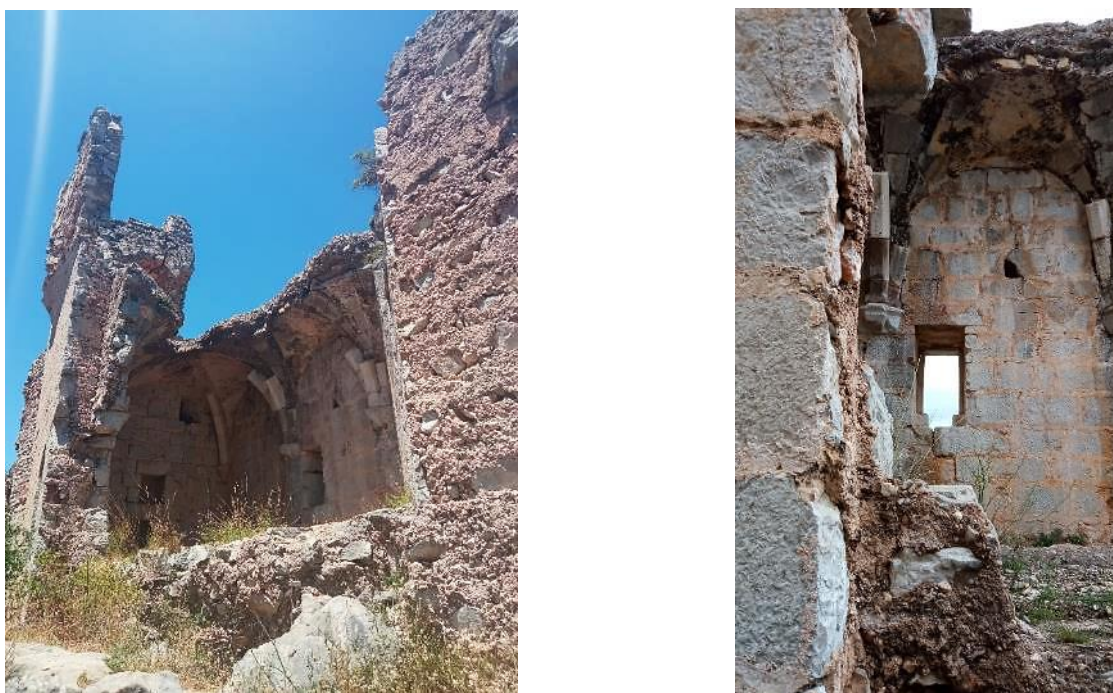


Figura. 8. Restos arquitectónicos de la capilla cristiana en el Castell. Fuente: CASTELLET, 2021.

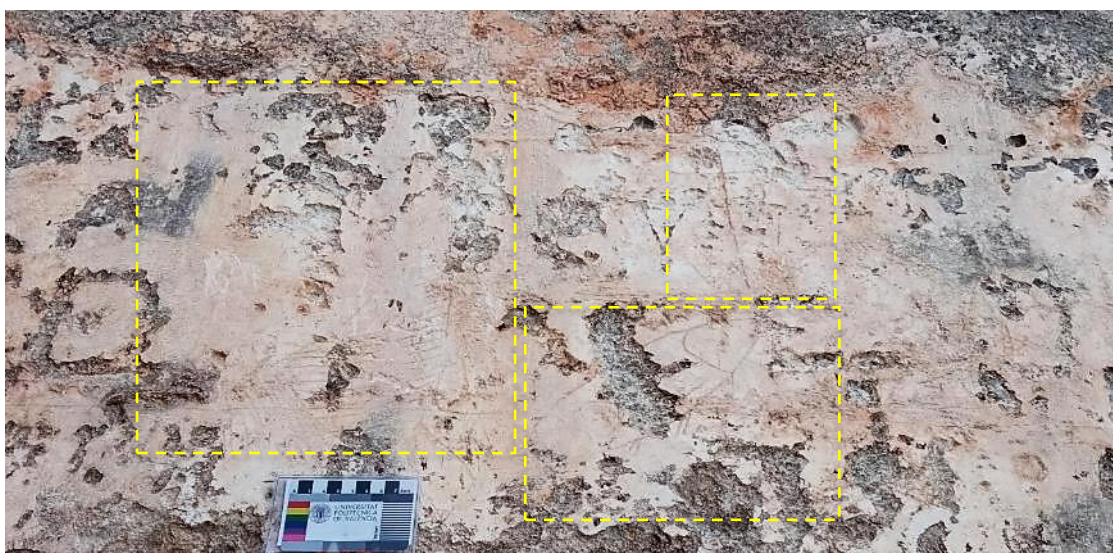


Figura. 9. Incisiones de motivos figurativos en el muro de enfrente de la capilla. Se aprecia de izq. a drcha.: proa o popa de un barco y debajo de éste, una estrella; pez; cruz. Fuente: CASTELLET, 2021.



Figura. 10. Muro a sillares tras la capilla cristiana. Fuente: CASTELLET, 2021.



Figura. 11. Muro de construcción a tapial situado en frente de la capilla cristiana. Aún conserva revestimiento en zonas concretas. Se observan los agujeros por aguja de tapial. Fuente: CASTELLET, 20220.



Figura. 12. Aljibe principal situado al noroeste, al fondo, *Benifairó de la Vall d'Alfama*. Fuente: CASTELLET, 2021.



Figura. 13. Torre de l'Homenatge, muro este. De izq. a drcha.: antes de la restauración, después de la restauración. Fuente: (Izda.) ZALBIDEA. 2021: (drcha.) BALLESTEROS. 2022.

5.2. La Torre de l’Homenatge o Torrasa

El estado inicial de la *Torrasa*, al igual que el conjunto del *Castell*, no era bueno, con unas patologías muy acusadas en cuanto a la degradación de los restos arquitectónicos en estado de ruina (Fig. 14). En consecuencia, los muros que forman la Torre, se encontraban parcialmente desprendidos, y sin la parte superior, los remates, y tampoco se conservaba el pavimento, estando, de esta forma, el basamento en contacto directo con la tierra. En el muro derecho (vista interior dirección este), se halla un faltante de dimensiones razonables (68 x 60 cm), que evidencia el proceso de degradación y ponía en peligro la estructura por posible derrumbe. Por otra parte, se localizaron pérdidas del material de origen en la parte interna y externa de la Torre, como es el caso de los enlucidos, en peligro de desprendimiento y evidente erosión, siendo necesario una intervención de consolidación, colmado y rejunte de los faltantes urgente. En la puerta del arco de medio punto, en la cara interior, aún se pueden observar los orificios donde se anclaba la puerta. En toda la Torre se aprecian, por los distintos materiales utilizados, diferentes reparaciones que no fueron documentadas.

La piedra de la puerta se halla parcialmente cubierta por un enjalbegado de tono rojizo que debía de cubrir tanto el rejunte como la propia piedra y así crear homogeneidad a través de este enlucido rico en óxidos de hierro⁵⁴. Como indican los restos, este estrato cubriría toda la piedra, hoy en día, su pérdida hace ver las marcas del hacha y del puntero utilizados en la época por los maestros picapedreros de los siglos XIV y XV⁵⁵ (Fig. 16). Las piedras que fueron utilizadas son rocas sedimentarias⁵⁶, de origen **calcáreo**⁵⁷-**dolomítico**, que presentan un aspecto irregular de color grisáceo claro. Se trata de rocas de cristales equigranulares y homogéneos, compuesta por gránulos empastados en una matriz de espacio intergranular ocupado por esparita. La roca calcárea marmórea metamorfoseada no translúcida, se halla recristalizada. Se trata pues, de una piedra mono mineral formada de calcita (Ca CO₃). En zonas de los fragmentos se aprecia el origen natural de la roca sedimentaria carbonatada de origen bioquímico, conocida como roca Travertina (Fig. 15).

El muro construido a tapia que envuelve el arco, es de unos 0,60 cm de grosor, presenta un calicostrado en muy mal estado de conservación y en el que se observan diferentes momentos constructivos (Fig. 18). Según Sepulcre⁵⁸, para la construcción del tapial calicostrado se usaba habitualmente una cal constituida principalmente por óxidos e hidróxidos de calcio (CaO, Ca (OH)₂), con cantidades inferiores de magnesio (MgO, Mg (OH)₂), sílice (SiO₂), aluminio (Al₂O₃) y hierro (Fe₂O₃). Es sabido que esta composición de elementos otorga a la cal una cierta hidráulica⁵⁹. (Para más información ver Anexo: fotográfico Restauración de la Torre de l’Homenatge)

54 SAÑUDO DIE, P. *et.al. Op. cit.*, 2021. p.4

55 *Ibid.* p. 4

56 Formadas por el movimiento del agua y del viento. MAS i BARBERÀ, X. *Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamiento*: 2010, pp. 34-36: Expone que: "...Concretamente, las sedimentarias con variante química carbonatada, formada por precipitación de sustancias inorgánicas... Las rocas sedimentarias ocupan aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, las rocas carbonáticas la constituyen en la quinta parte... La roca caliza, compuesta mayoritariamente por calcita (CaCO₃), proceso de formación lento y tiene lugar en aquellos ambientes marinos... Dureza aproximada de 4 en la escala de Mohs, roca blanda y trabajable... El color se debe a la tinción de los óxidos y/o inclusiones de materia orgánica en su entorno".

57 PRICE, M; WALSH, K. *Guías de bolsillo. Rocas y minerales. Una guía fotográfica de las rocas y los minerales del mundo*. 2006. p. 32, describen a la roca caliza como: "...rocas amarillentas, blancas o grises compuestas mayoritariamente del mineral calcita...La calcita puede hallarse en forma de fango calcáreo (micrita), granos detríticos (calcarenita), pequeñas esferas (oolitos), cristales de calcita (esparita) y/o fósiles. Las distintas combinaciones de texturas que dan una importante información del entorno de formación de la caliza"

58 SEPULCRE AGUILAR, A. Tópicos comunes en la elaboración y uso de los morteros de restauración de fábricas. *Pátina*, 2003, nº 12. Disponible en: < <http://patina.edu.es/index.php/patina/article/view/183> >

59 La caracterización de estos elementos se pudo llevar a cabo gracias al estudio estratigráfico y morfológico realizado a las muestras de los morteros y analizadas a través de microscopía óptica digital (MOD).



Figura. 14. Vista este de la Torrassa. Se aprecian los numerosos faltantes y la falta de pavimento. Fuente: Izqda. VALENCIABONITA®, 2021; Drcha.: ZALBIDEA, 2021.

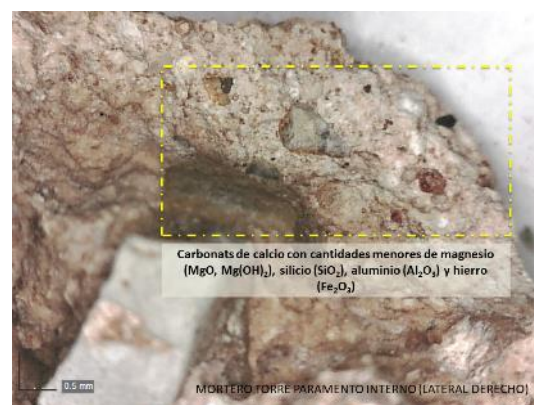
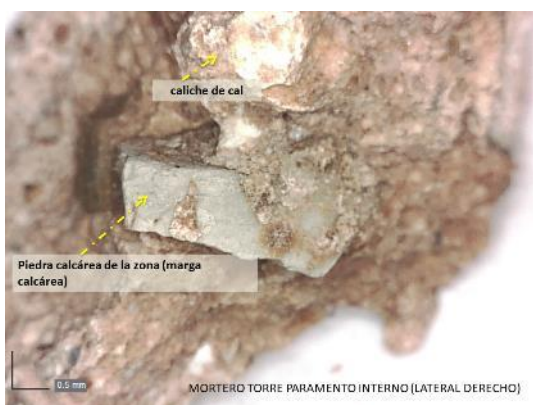


Figura. 15. Análisis *in situ* con *Dinolite*, se aprecia material de origen sedimentario. Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Figura. 16. Marcas del hacha y restos de enlucido rojizo debajo del arco de medio punto de la Torre. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

Figura. 17. Gran concentración de caliches en muro Este de la Torre. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

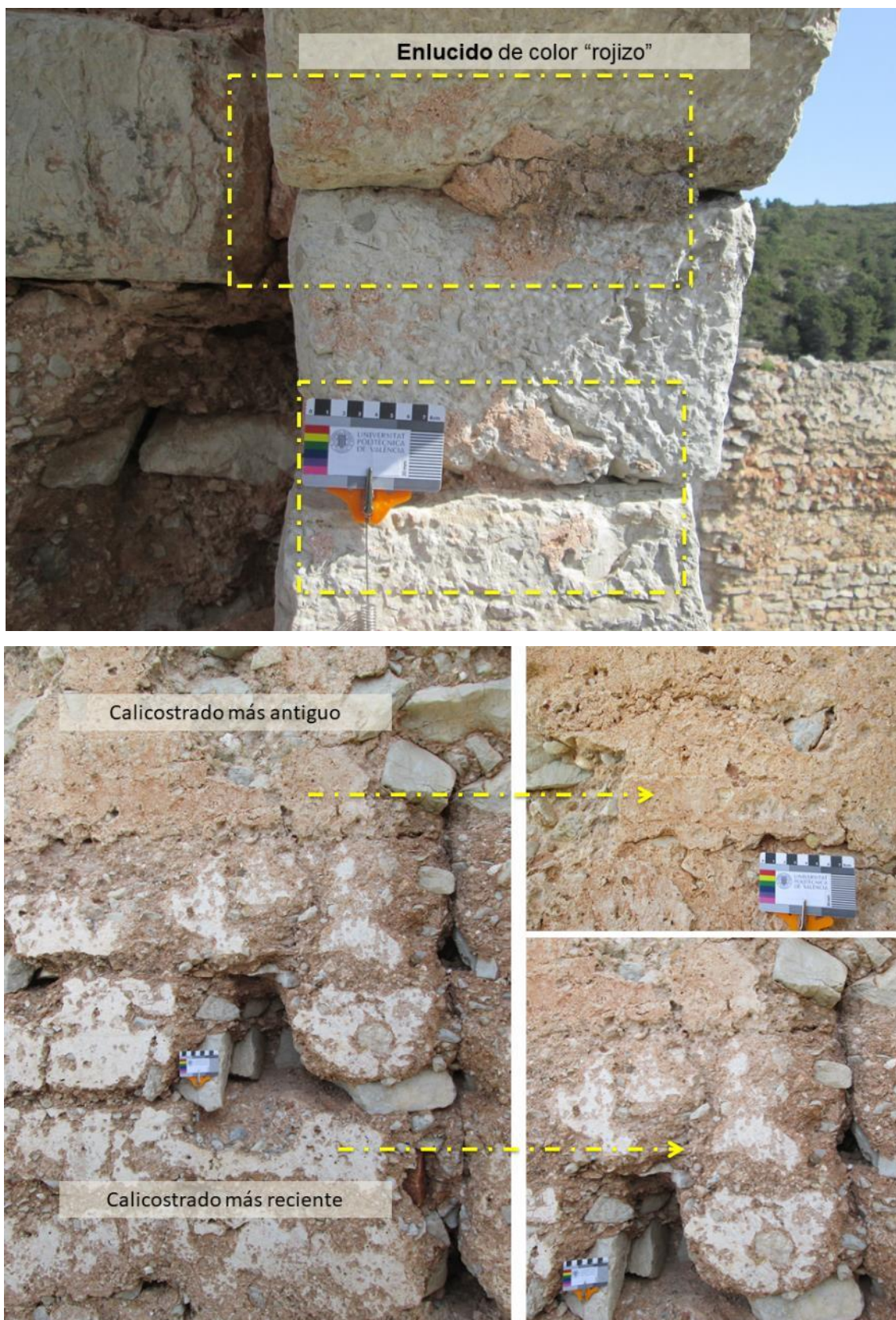


Figura. 18. Imagen sup.: Restos de enjalbegado de color rojizo en el arco de medio punto de la Torre. Inf.: En la imagen se aprecian distintos momentos constructivos y calicostrado. Uno más antiguo (sup.) y otro más reciente (inf.). Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Figura. 19. Zona del arco de medio punto. Se aprecian caílches entre mortero de color rojizo. Sobre piedra caliza, se observa un grafismo por acto vandálico. Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Figura. 20. Numerosas faltantes y oquedades en muro este interno de la Torre. Zonas donde se deposita el agua de lluvia. Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Figura. 21. Muro este norte interior. Se aprecia el grosor del mismo. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

5.3. Cerámica de la Torre de l’Homenatge

En primer lugar, cabe decir que, a lo largo del *Castell*, se encontraban restos cerámicos con superficie vidriada y sin vidriar entre los muros del conjunto arquitectónico (usado como material auxiliar en los morteros), con características similares a la cerámica del siglo XI. Este uso de fragmentos cerámicos entre los morteros de la Torre, era muy habitual en época medieval, con estos fragmentos se pretendía aportar una mayor resistencia al conjunto del mortero. Para poder realizar un mejor estudio arqueológico acerca de la cerámica, se procedió a tomar muestra (un total de 8 fragmentos⁶⁰). Posteriormente, se efectuó una limpieza para obtener mejores resultados en cuanto a fotografía y datación de las mismas (Fig. 22-23).



Figura. 22. Fragmentos cerámicos medievales pertenecientes al muro del arco de medio punto, vista este, de la Torre. Estado inicial. Se pueden observar las grandes concreciones de carbonatos adheridos en los fragmentos. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 23. Fragmentos cerámicos de época medieval pertenecientes al muro noreste de la Torre. Estado inicial. Se aprecian las concreciones de índole terrosa y carbonatos adheridos en los fragmentos. Fuente: CASTELLET, 2022.

60 Facilitados por el arqueólogo Pablo Sañudo Die.

Es conocido que la cerámica es un material inorgánico, y, aun presentando una resistencia más o menos idónea, si es sometida a cambios bruscos puede desencadenar una sucesión de alteraciones en su estructura o materia, las cuales son proporcionales a la porosidad de su pasta cerámica⁶¹, a mayor porosidad, mayor alteración de la cerámica.

Algunos de los fragmentos estudiados tienen un esmalte vidriado característico de color verde manganeso con líneas decorativas de color negro, datadas de finales del siglo XI y XIII, considerándola cerámica islámica, y también se aprecian decoraciones por realizadas por incisiones (Fig. 26). Por lo que respecta al estado conservativo, las patologías de las muestras no presentaban mayor daño que: incrustaciones de restos de mortero de cal y de tipo terroso de grosores y dureza diversa, además de suciedad producida por diferentes sustancias y por residuos grasos (de carácter calcáreo) produciendo manchas, y, finalmente, en pequeñas cantidades, se apreciaba alteración de carácter orgánico. Estas sustancias diversas han causado alteraciones en la superficie vítrea y en la pasta cerámica.

La limpieza se efectuó en primer lugar, de forma físico mecánica mediante el cepillado con cepillo de pelo suave en la superficie de cada una de los fragmentos para eliminar la suciedad no arraigada, seguida del uso del escalpelo y bisturí a fin de eliminar las concreciones terrosas y los carbonatos fuertemente adheridos. Posteriormente, se realizó un test con ácido clorhídrico al 5% para evaluar dichas concreciones. Se obtuvo un resultado positivo en carbonatos⁶². Seguidamente, se llevó a cabo una limpieza físico-química, para esto, se realizaron diversas catas de los principales solventes: agua desmineralizada, alcohol, acetona y la mezcla de ambos (2 A)⁶³: (alcohol/agua destilada 50%, acetona/agua desmineralizada 50%). Las pruebas que mejor resultado dieron fueron el agua y agua/alcohol, de tal forma que, al disminuir la tensión superficial⁶⁴ del agua al añadir el alcohol como tensoactivo, se pudo realizar el tratamiento de limpieza con mayor tiempo de humectación, de tal manera que, la combinación de ambos solventes actuaba por más tiempo y de forma más óptima sobre las incrustaciones de índole terroso. Para esta acción se empleó el hisopo como instrumento. A falta de maquinaria instrumental como: vibro-incisor, ultrasonido, micro-torno; la eliminación de las concreciones calcáreas de mortero no se pudo retirar del todo por completo y, para no ocasionar daños en superficie, en la integridad de la pieza, no se quiso incidir en la limpieza (Fig. 24-26).

61 CARRASCOSA MOLINER, B. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*, 2009. p. 44.

62 CARRASCOSA, MOLINER, B.; LASTRAS PÉREZ, M. *La conservación y restauración de la azulejería.*, 2012. p. 82. “Para su determinación se recogerá una muestra de las concreciones y sobre ella se dejará caer unas gotas de ácido clorhídrico al 5-10% manifestándose una efervescencia” en caso de ser positivo en carbonatos.

63 CARRASCOSA MOLINER, B. *Op. cit.*, 2009. p. 77, nombra a la combinación de los solventes como 3A y 2ª, siendo 3A formado por agua, alcohol y acetona a partes iguales, y el 2A la combinación de ambos de ellos en sus diversas alternativas en la misma proporción.

64 MASSCHELEIN-KLEINER, L. *Los solventes*. 2004. p. 14.: “Mientras más alta es la tensión superficial de un fluido, mayor será la tendencia a aglutinarse en gota y más difícilmente mojará un sólido”.

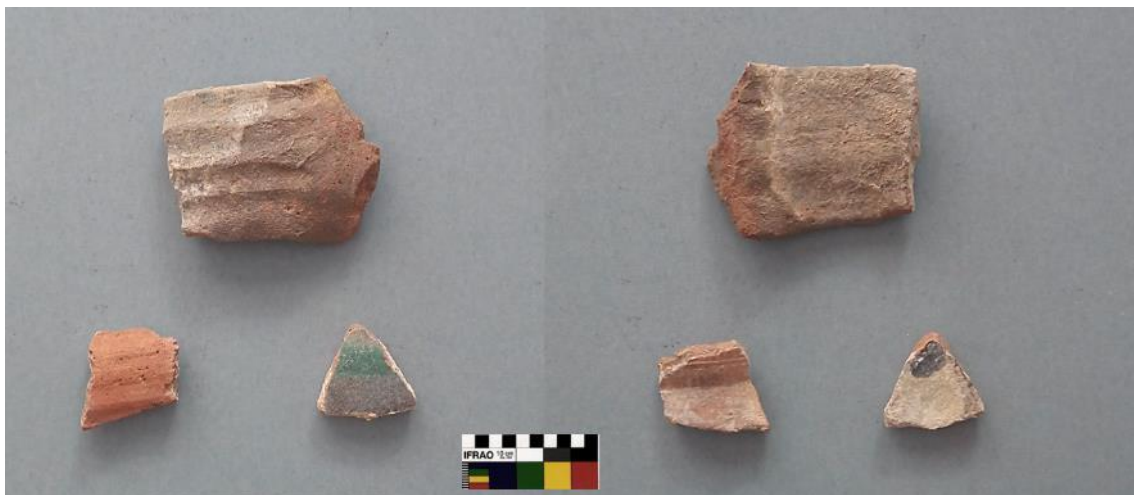


Figura. 24. Fragmentos cerámicos tras la limpieza. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 25. Fragmentos cerámicos muro NE tras restauración. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 26. Fragmentos cerámicos tras la limpieza. Contienen decoraciones por incisión, película vidriada de color verde manganeso y líneas negras. Fuente: CASTELLET, 2022.

5.4. Breve introducción a la cal usada en época medieval

La cal, es sin lugar a dudas, uno de los primeros conglomerantes utilizados por la humanidad, como demuestran los yacimientos con más de 10.000 años de antigüedad siendo, hasta principios del siglo XX, el principal conglomerante para uso en construcción⁶⁵. Se trata de un material que aporta prestaciones en los morteros como: elasticidad, no retracción, no produce sales nocivas, favorece la permeabilidad del vapor de agua, entre muchos otros, y esto va a hacer que no tenga sustituto en su uso como conglomerante en los morteros en infinidad de ocasiones, ya sea como mortero de unión, de colocación, de relleno en la construcción de fábricas, en revestimientos exteriores y un gran etcétera⁶⁶. Así pues, un mortero es el agregado de diversos elementos con fines constructivos independientemente de su uso estructural, o como método de revestir y unir varios materiales entre sí. Se puede decir, que el mortero se encuentra vinculado por el lugar y época, del mismo modo ocurre en la selección de los materiales para su fabricación, otorgándole distintas características y afinidad con otros elementos integrantes.

Más allá del uso del tapial, extendido para las construcciones de fortificaciones a partir del siglo VIII, se pueden diferenciar los morteros medievales según etapas. En la primera fase de la época medieval, no se comete ninguna mejora respecto a los morteros ya confeccionados por los romanos, de hecho, se podría decir que existe un cierto retroceso en cuanto a su manufactura⁶⁷, además, la realización de los morteros, varía dependiendo de la zona incluso entre las construcciones más cercanas y, en general, los materiales utilizados no eran de buena calidad (poco homogéneos) al igual que el método de aplicación (muros repletos de cavidades). En consecuencia, durante los siglos IX, X y XI, la calidad de los morteros sigue siendo pobre y, aunque se le añada restos de teja o puzolana, no mejora necesariamente la eficacia del mortero. Según algunos estudios, el declive de los morteros se debe a la pérdida de conocimiento y maestría de fabricación de la cal (propia de los romanos), que abarcaba desde la selección de los materiales, cocción, homogeneidad, proporciones, elaboración de mortero, y un gran etc. Es a raíz del siglo XII, cuando los morteros vuelven a recuperar calidad, siendo los morteros de cal los más utilizados y, además, empiezan a incorporarle aditivos orgánicos en función de ligantes como por ejemplo ceras, malta, etc. y también aditivos como el carbón para proporcionarles mejor calidad⁶⁸, conforme dice Ignacio Alvarez, J⁶⁹: “Visto el alto contenido en carbón, puede admitirse que no se trata de una impureza, sino que este material poroso juega el mismo papel que los trozos de tierra cocida”.

Como se ha mencionado, uno de los conglomerantes más utilizados era la cal y, de acuerdo a su composición química, se establecen los siguientes tipos⁷⁰:

CAL AÉREA: como es sabido, consiste en la **calcinación de rocas calizas y/o dolomías**⁷¹, compuestas por óxido o hidróxido de calcio y/o magnesio. Fraguan en contacto con el aire y no tiene propiedades hidráulicas. Se distribuyen entre: (Fig. 27)

Cales hidratadas: fruto de las calces vivas. Constituidas por hidróxidos de calcio y magnesio.

Cales vivas: formadas por óxidos de calcio y de magnesio. Extraídas por la calcinación de las calizas o dolomías.

65 USEDO VALLES, R; JUAN VIDAL, F; et. al. *Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico*. 2015. p.7.

66 Para más información, consultar: SEPULCRE AGUILAR, Alberto. *Op. cit. Pátina.*, 2003. Nº12, pp. 29-39.

67 Como bien dice: RODRÍGUEZ GORDILLO, José Manuel. *Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval*. 2006. p.6 y, ALVAREZ GALINDO, José Ignacio. et. al. *Historia de los morteros. PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. 1995. p. 11

68 ALVAREZ GALINDO, José Ignacio. *Op. cit. PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. 1995. p. 6

69 *Íbid.* p. 13

70 SEPULCRE AGUILAR, Alberto. *Op. cit. Pátina.*, 2003. Nº12, pp. 17-18.

71 USEDO VALLES, R; JUAN VIDAL, F; et. al., *Op. cit.*, 2015, pp. 16-18.

Las cales hidratadas y vivas se diferencian entre:

Cales cálcicas: por la calcinación de rocas calizas. Son de gran riqueza en calcio (> 95%), baja en magnesio (< 5%).

Cales dolomíticas: por la calcinación de rocas dolomíticas, ricas en magnesio (> 5%)



Figura. 27. Tipología de las cales. De izqda. a dcha.: Cal viva, cal hidratada, cal dolomítica calcinada. Fuente: USEDO, 2015.

Por otro lado, es imprescindible nombrar las cales hidráulicas, tienen la capacidad de fraguar en contacto con el agua, es decir, en medio húmedo e incluso bajo el agua, gracias a su contenido de diversos componentes como los silicatos y aluminatos cálcicos los cuales endurecen por hidratación. Así bien, la cal hidráulica está formada por hidróxido de calcio, aluminatos de calcio y silicatos. Se obtiene por la calcinación de rocas carbonatadas que contienen arcillas ricas en sílice, aluminio y hierro. De composición de óxido de calcio con silicatos y aluminatos cálcicos. Debido a su contenido en óxido, tiene propiedades como la cal aérea, siendo también proceso de su endurecimiento en reacción con el dióxido de carbono atmosférico, carbonatando, y este beneficioso para la resistencia progresiva de la cal hidráulica natural⁷². Se conocen varias formas de cal hidráulica:

Cales hidráulicas naturales (NHL): cales con cualidades hidráulicas, preparada a través de la calcinación de calizas con elementos arcillosos o silíceos reducidas a polvo mediante apagado con o sin molienda. Las propiedades hidráulicas son el resultado de la composición química especial de la materia prima natural. Hasta el 0,1% de molienda en los agentes. No contiene ninguna otra adición. El índice de hidraulicidad varía según la reacción de los elementos óxidos (se resumen en la Tabla 4), y Sepulcre afirma que: “Mientras que la cal aérea y el cemento Portland tienen una composición aérea e hidráulica pura respectivamente, la cal hidráulica tendrá una mayor o menor hidraulicidad dependiendo de que predomine más una u otra fase en su composición. Por ello se puede hablar de muchos tipos de cales hidráulicas”⁷³.

Cales hidráulicas formuladas: características hidráulicas por cal aérea y/o cal hidráulica natural (NHL) con material hidráulico y/o añadido.

Así pues, el grado de hidraulicidad de la cal está determinado por la proporción de componentes entre la fase aérea y las fases hidráulicas⁷⁴, situada la cal aérea en un extremo (compuesta solo de hidróxido de cálcico CH), opuesto al cemento (compuesto por aluminatos cálcicos y silicatos) y, en los niveles intermedios se encuentran las cales hidráulicas, las cuales contienen componentes de un extremo y del otro, y, dependiendo del lugar que ocupen, son clasificadas como cales hidráulicas débiles, medianas o

72 ZALBIDEA, A. Tratamientos en revestimientos ornamentales. Unidad didáctica 1, Apuntes de la asignatura de Máster en CRBC, UPV, 2021. pp. 21-22.

73 SEPULCRE AGUILAR, A. *Op. cit.*, *Pátina*, 2003, p. 12

74 La investigación fue realizada en el siglo XIX a mano del francés Louis Vicat, aportando una base firme sobre el análisis de la cal, distinguiendo entre cales aéreas e hidráulicas. *Ibid.* p. 10

fuerter⁷⁵ (Fig. 28). Por otro lado, el uso de puzolanas⁷⁶ (mayormente compuesta por ciertos tipos de sílice y alúmina, como chamotas de cerámica de baja temperatura de cocción o metacaolín puro y en menor cantidad de Fe₂O₃, MgO, CaO y álcalis⁷⁷), capaces de combinarse con los cristales de hidróxido de calcio, rebajando el nivel de formación de micro-fisuras en el fraguado, la resistencia a la cristalización de sales y al combinarse con cal en húmedo y a temperatura ambiente, produce resultados cementicios, conviviendo con la carbonatación en la fase aérea, generando un mortero fraguado en parte por modo aéreo y por modo hidráulico. La adición de puzolanas, además, otorga al mortero resistencia y estabilidad en el tiempo.

ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD DE LA CAL			
Cal	Índice de Hidraulicidad (NHL)	% de arcilla	Tiempo de fraguado (días)
Débilmente hidráulica	2	5-8	15-30
Media hidráulica	3,5	15-19	4-7
Alta hidráulica	5	19-24	1-7

Tabla 4. Niveles de hidraulicidad de la cal.

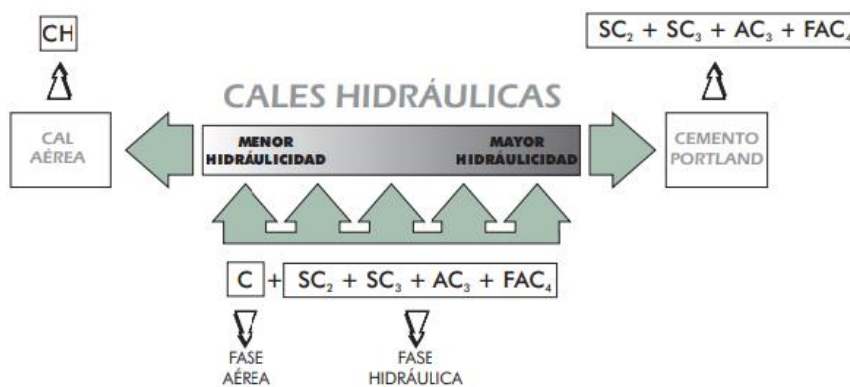


Figura. 28. Determinación del grado de hidraulicidad de la cal aérea y cal hidráulica, según estado de fase. Fuente: SEPULCRE, 2003.

Para realizar los morteros de restauración, se requiere el uso de una composición de características similares al original y que se adecuen al lugar. A pesar de que, los morteros originales estén realizados con una cal grasa, cal dolomítica o calcárea (Véase Anexo: analítico FESEM) procedente del terreno, se decidió actuar con cal hidráulica debido a que el estado de los morteros originales, tanto en superficie como en interior, se encontraban en un pésimo estado (Fig. 29-30). El uso de la cal hidráulica nos permitió el sellado de las fisuras presentes en superficie, así como la consolidación por inyección (Fig. 31), y, además, la reconstrucción en el basamento, zona sujeta directamente a la tierra y que, debido a este contacto, la humectación por capilaridad es acusada, por lo tanto, se trataba de una zona de riesgo que se ha evitado con la aplicación de morteros de cal hidráulica los cuales, aminoran este proceso de humectación y saturación del sustrato original. Además, se trata de un tipo de cal que, por las cualidades que presenta, es de uso extendido en el ámbito restaurativo, la facilidad de amasado y aplicación, su idoneidad en el fraguado en condiciones atmosféricas diversas y la rapidez del mismo, y por supuesto, por la adaptabilidad que presenta en diversos materiales y mejoramiento de sus resistencias mecánicas con el tiempo⁷⁸.

75 SEPULCRE AGUILAR, A. *Op. cit. Pátina.*, 2003., p. 4

76 El uso de puzolanas fue muy extendido por los romanos en las construcciones de obras de ingeniería hidráulica, como los puertos, acueductos, etc.

77 MORA, P. y L; PHILIPPOT, P., *La conservazione delle pitture murali*, 2001. p. 66. Dice, además: “L’attività di questi materiali è dovuta all’ presenza di silicato d’ alluminio idrato con cationi alcalini o di vetro vulcanico parzialmente zeolizzato”. [N. De T.] “La actividad de estos materiales se debe a la presencia de silicato de aluminio hidratado con cationes alcalinos o de vidrio volcánico parzialmente zeolizzato”.

78 Para más información consultar: SEPULCRE AGUILAR, Alberto. *Op. cit.*, 2003. p. 2



Figura. 29. Se aprecian numerosos faltantes interconectados y pérdida del revestimiento. Material en disgregación. Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Figura. 30. revestimiento del paramento Norte interior de la Torre. Pérdida del material en superficie. Fuente: CASTELLET, 2021.



Figura. 31. Aplicación de lechada de cal hidráulica como método de consolidación y rejunte de fisuras y oquedades (drcha.). Tras inyección (izqda.). Fuente: CASTELLET, 2021.

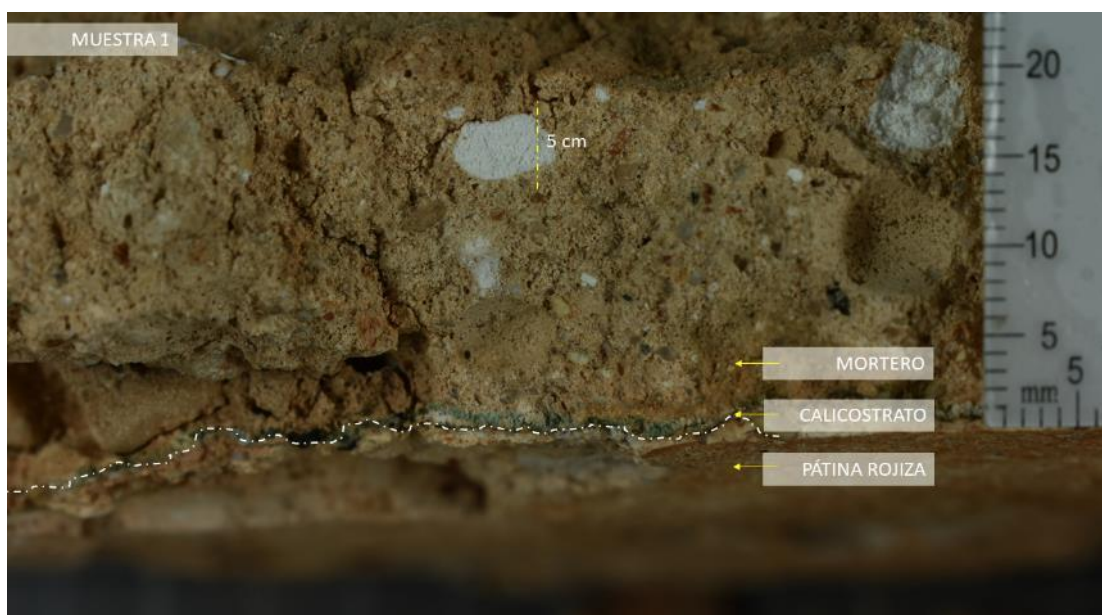


Figura. 32. M-1. Mortero en presencia de caliches y minicaliches. Fuente: CASTELLET, 2021.

6. TRATAMIENTOS CONSERVATIVOS EN LA TORRE DE L’HOMENATGE

Para estudiar los procesos de degradación que afectan a los de la Torre, se requiere un estudio científico mediante diversos análisis, los cuales permiten obtener datos relevantes sobre la caracterización de los materiales presentes. Para realizar el análisis de los morteros originales de la obra, se han extraído varias muestras de diferentes puntos, morteros de la *Torre de l’Homenatge* (Véase Anexo –*Cata Muraria y caracterización morteros*). La elección de la toma de muestras ha sido meditada y ejecutada en puntos estratégicos donde el mortero ya presentaba mal estado de conservación y era susceptible de posible desprendimiento, intentando de esta forma, limitar la acción destructiva que supone el método de extracción de muestra. Los análisis de los morteros de la *Torrassa*, se han basado en el estudio granulométrico, además de MO, SEM-EDX y FESEM, que proporcionan información significativa y necesaria para la identificación y caracterización de materiales.

El estudio de los materiales empleados para la restauración de la Torre, se ha realizado por medio de ensayos tecnológicos. Uno de los productos que se usó fue la resina EVA ART, copolímero etilvinilacetato (Eva) en dispersión acuosa, agregado en los morteros de la restauración de la *Torre de l’Homenatge*. Se tomó esta decisión para mejorar las cualidades de los morteros y alargar la vida de éstos teniendo en cuenta, el mejor método de preservación del patrimonio es la conservación preventiva⁷⁹. Siendo, en este caso, un procedimiento de protección de los materiales originales (por consolidación de estratos) y también, en los morteros restaurativos (Véase Anexo: Restauración de la Torre de l’Homenatge).

Los tratamientos preventivos han sido recurrentes y diversos en cuanto a materiales y técnicas desde antaño, las intervenciones que recurrían al uso de aditivos orgánicos grasos y proteicos, como la aplicación de ceras, para proporcionar una mayor durabilidad de los materiales pétreos⁸⁰. A mediados del siglo XIX se produce una expansión en el uso de resinas preparadas con materiales naturales, como por ejemplo los fluorosilicatos, siendo en el área de la construcción una de mayor auge, con el fin de proteger los materiales pétreos. Durante mitad del siglo XX se empezaron a utilizar las resinas termoplásticas, como las acrílicas y las vinílicas, también las resinas termoestables, por ejemplo, las epoxídicas, entre otras. La utilización de polímeros como método de consolidación e hidrofugación para piedra, ha de ser de acuerdo a las necesidades y características del sustrato, proporcionado al grado de deterioro que presente, y afín al lugar de ubicación, es decir, compatible con las condiciones medioambientales⁸¹. Valorar el grado de idoneidad, perpetuación y eficacia del procedimiento y material a emplear, es imprescindible. Así pues, el polímero se seleccionó con el fin de disminuir los procesos de deterioro a los que se expondrían los morteros de reposición, relleno y rejunte en la *Torre de l’Homenatge*. Conforme a la ficha técnica, el producto seleccionado (EVA ART) es una dispersión acuosa de resina etilvinilacetato, incolora, de reología pseudo-plástica y de extraordinarias propiedades resistentes frente al envejecimiento, sin agentes coalescentes (no formación de film) ni plastificantes. Además, posee cualidades que le favorecen en restauraciones de ámbito conservativo, con características aptas en alta flexibilidad, buen ligante, buena transparencia, alta resistencia al amarilleamiento y a los rayos ultravioleta (UV)⁸².

79 FORT GONZÁLEZ, Rafael. Valoración de tratamientos con polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos del patrimonio. *Revista de Plásticos Modernos.*, 2005. p. 83

80 Consultar: Ídem.

81 *Ibid.* p. 86, Ver: “La adición de polímeros crea un cambio en las propiedades intrínsecas del conjunto del mortero, afectando en propiedades de acabado de superficie y en la distribución o sistema de poros de forma notable o no, y también, puede acarrear efectos contrarios o no deseados como cambio de color, textura, brillo, etc.”

82 Para mayor información consultar Anexo: Fichas Técnicas

Los resultados obtenidos del tratamiento fueron satisfactorios tanto en aplicación como en el secado final de los morteros. No modificó aspecto final del sustrato en color, brillo y textura. Más aún, le aportó propiedades en el soporte que, bajo la realización de ensayos tecnológicos, se ha podido observar que ha actuado pues, como método conservativo⁸³ y afín a las condiciones climáticas del sitio (Fig. 33-37).



Figura. 33. De izqda. a drcha.: Inyección de EVA ART al 2% con agua desionizada. Consolidación de los estratos; Humectación previa de la zona a aplicar el mortero; Sellado de grietas con mortero hidráulico. Fuente: CASTELLET, 2021.



Figura. 34. De izqda. a drcha.: Aplicación de mortero en zonas donde se deposita el agua de lluvia; Mortero aplicado en sellado muro Este interior; Consolidación por colada/ inyección de cal hidráulica NHL-5 (lechada). Fuente: CASTELLET, 2021.

83 Los resultados de los ensayos normativos se muestran a partir del apartado 8. Fase experimental y resultados. Ensayos normativos de este documento



Figura. 35. Imagen sup.: Torre de l’Homenatge. Vista este. Puerta de medio punto. Antes de la restauración. Fuente: ZALBIDEA, 2021. Imagen inf.: Restauración de la Torre. Fuente: BALLESTEROS, 2022.



Figura. 36. Vista Sud. Puerta de medio punto. Imagen sup.: Antes de la restauración. La superficie del suelo, se observa un faltante de tamaño considerable. Fuente: ZALBIDEA, 2021 Imagen inf.: Después de la restauración. Sellado del faltante inferior. Fuente: BALLESTEROS, 2022.



Figura. 37. La Torre de l’Homenatge tras la restauración. Fuente: BALLESTEROS, 2022.

Otro dato que apuntó el uso de la resina como agregado para fortalecer el mortero de reposición y así que éste actúe como mecanismo de acción preventiva ayudando a la adecuada conservación de los morteros, fue la localización de la Torre, en lo alto de una colina rodeada de un valle húmedo. Se recogió pues, la información dada por los servicios meteorológicos como la ©AEMET⁸⁴ y *Climate.Data.org*⁸⁵. Los informes acerca de la temperatura y humedad del municipio de la *Vall d’igna* nos aportan información relevante para determinar y seleccionar los procesos de conservación y restauración que se aplican sobre el bien. Ya que estos datos son fundamentales, puesto que la temperatura ambiental⁸⁶, así como la humedad relativa, juegan un papel muy importante sobre el aporte de humedad en los morteros, así como la condensación del agua, la cual se origina sobre una superficie cuando la humedad relativa del aire en contacto con un área física, alcanza su pico máximo. De esta forma, si el muro experimenta una humedad alta, esto afectará de forma directa a la disgregación de los materiales que lo componen. Los materiales a utilizar serán siempre adecuados a la temperatura y humedad relativa del lugar, evitando daños innecesarios en la obra.

Los datos se han recogido en el periodo que comprende entre el año 1991 y 2021 (Tabla-5) en el municipio de *Benifairó de la Vall d’igna*.

84 Consultar la web para mayor información: Datos meteorológicos en vivo: AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA. *Predicción por municipios*. Benifairó de la Vall d’igna (València/Valencia). Disponible en: < <http://www.aemet.es/es/el tiempo/prediccion/municipios/horas/tabla/benifairo-de-la-vall d’igna-id46059> >

85 Para más información consultar el archivo meteorológico: CLIMATE-DATA.ORG. *Clima Benifairó de la Vall d’igna (España)*. Disponible en: < <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/benifairo-de-la-vall d’igna-721041/> >

86 FERRER MORALES, Ascensión. *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas*, 1998. pp. 69-70

Indistintamente de las características intrínsecas del material de la obra, ésta es susceptible a ser atacada biológicamente. Es por esto que, las obras que se encuentre en los municipios donde se registren precipitaciones y temperatura altas, lo cual implique un clima cálido, será más vulnerable frente a las zonas gélidas y frías. Por lo que se refiere al clima de *Benifairó de la Valldigna*, la humedad relativa⁸⁷ se registra más elevada en el mes de diciembre, con 71,50% y el mes más bajo se obtiene en junio con 59,19%. Estos datos revelan que, la humedad relativa promedio de la zona es alta, lo cual el aire contiene una mayor acumulación de partículas de agua en suspensión, siendo más fácil conseguir una humedad relativa alta (aire saturado) y llegar, de este modo, al punto de rocío en épocas del año gélidas. Por lo que respecta a las precipitaciones, septiembre es el mes promedio más lluvioso, en contraposición del mes de julio con solamente 11 mm. Finalmente, el clima se considera cálido y templado, con más precipitaciones en la estación de invierno. Según la clasificación del clima de *Köppen-Geiger* es Csa⁸⁸. La temperatura media del año es de 17,1 °C (con un promedio de 25,8 °C en el mes más caluroso y 9,6 °C en el más frío) y con una precipitación media de 604 mm.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	9.6	10.1	12.7	15.2	18.7	23.2	25.8	25.7	22.4	18.8	13.2	10.3
Temperatura mín. (°C)	5.8	6.1	8.2	10.8	14.1	18.4	21.4	21.6	18.6	15	9.8	6.8
Temperatura máx. (°C)	14.2	14.7	17.5	19.7	23.1	27.8	30.4	30	28.3	22.6	17.3	14.5
Precipitación (mm)	55	44	52	55	39	20	11	29	86	84	64	65
Humedad(%)	68%	64%	62%	61%	61%	59%	61%	65%	68%	71%	68%	72%
Días lluviosos (días)	5	4	4	4	4	3	2	4	6	6	5	5
Horas de sol (horas)	7.3	7.9	9.1	10.2	11.4	12.3	11.7	10.4	8.9	7.9	7.4	6.9

Tabla 5. Tabla climática con los datos históricos comprendidos entre los años 1991 y 2021 del municipio de Benifairó de la Valldigna. Fuente: CLIMATE-DATA.ORG. Disponible en: << <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/benifairo-de-la-valldigna-721041/> >>

En definitiva, estas características ambientales típicas mediterráneas, influyen en el estado de conservación del bien, así como de los materiales empleados en la restauración. Los ataques biológicos son producto del clima, ya que, los hongos y los líquenes no precisan de moléculas orgánicas para su sustentación, pues a raíz de sales minerales y compuestos inorgánicos son capaces de sintetizar sus propios nutrientes⁸⁹. Además, se debe tener en cuenta que la saturación del aire, puede provocar que un muro absorbe agua y en el momento de proceso de secado, se produzca un cambio químico entre los materiales intrínsecos y extrínsecos y se produzca la aparición de eflorescencias salinas. También es común que se produzcan escorrentías o chorreos cerca del suelo por la condensación

87 La humedad relativa (HR) es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener. Se expresa en %.

88 El clima de tipo C hace referencia a aquellos donde la precipitación es mayor que la evaporación, donde la temperatura del mes más frío se comprende entre 0 °C y 18 °C, y el mes más cálido superior a los 10 °C. El subtipo Cs concierne a los climas mediterráneos y Csa a los veranos donde la temperatura del mes más cálido (verano) supera los 22 °C. Información extraída de: METEO ILLES BALEARS. *Clasificación de Köppen en territorio español: Caracterización y cambios recientes*. Disponible en: < <http://www.meteoillesbalears.com/?p=272> >

89 MAS I BARBERÀ, X. *Op. cit.* p. 79

7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MORTEROS ORIGINALES

Para obtener una mejor caracterización de los morteros, se llevaron a cabo varios métodos de estudio: En primer lugar, se extrajeron 5 muestras⁹⁰. de varias zonas murarias de la Torre (Véase Anexo: Cata Muraria y caracterización morteros).

A través de las muestras, se ha estudiado la caracterización de los morteros por vía fotográfica, ensayo granulométrico, uso de microscopía óptica (MO) y dos tipos microscopía electrónica: FESEM y SEM-EDX. A raíz de las fotografías, se observan ya inicialmente que los morteros tienen abundantes caliches de diversos tamaños (Fig. 38-40), también se aprecian calicostrados, al igual que arena río (de gran tamaño) – probablemente del río Vaca – y también áridos de tamaño muy variable y de formas diversas (redondeadas, subredondeadas, subangulares y angulares), a su vez, se observa la presencia de agregados orgánicos de tipo biológico en algunas de las muestras (Fig. 41) en forma de líquenes, moho y/o musgo. Estas particularidades, se han confirmado a través de la fotografía y la microscopía óptica. El FESEM y el SEM-EDX, han aportado información de los elementos que lo componen las muestras, determinando la naturaleza química y mineralógica de los mismos. Por otro parte, el estudio granulométrico mediante ensayo normativo, aporta información de los morteros acerca de la distribución granulométrica de los áridos y también de la proporción o dosificación que se usó (conglomerante: árido).

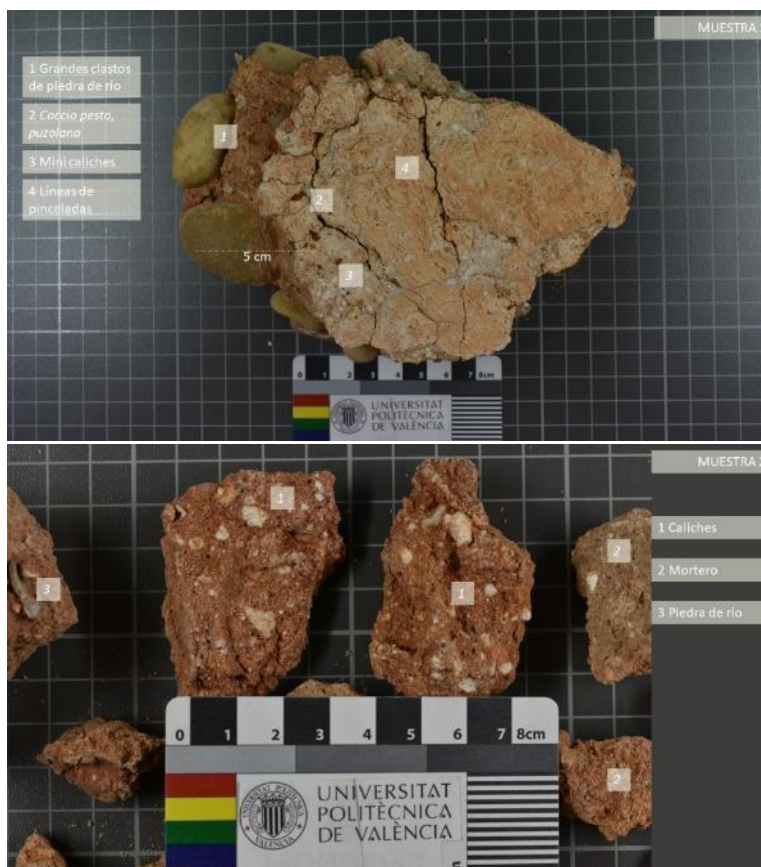


Figura. 38. Mortero perteneciente a la Muestra 1, muro norte interior de la Torre. Se aprecian clastos de río, calicostrado en superficie, minicaliches y puzolana. Fuente: CASTELLET, 2021.

Figura. 39. Mortero perteneciente a la Muestra 2, zona dintel del arco de medio punto, Torrassa. Se observan abundantes caliches y mortero compuesto por árido de tonalidad rojiza. Fuente: CASTELLET, 2021.

90 Para el análisis en MO; FESEM y SEM-EDX, se realizaron estratigrafías, por ello las muestras se englobaron fragmentos de tamaño pequeño de cada una de las muestras con Resina de poliéster transparente (Ferpol 1973) y el catalizador al 2%. Se colocaron cada una de las muestras según estrato a estudiar y se reservaron. Una vez endurecida, se extrajeron, se cortaron al tamaño deseado con la Dremel® y se lijó la cara a estudiar. Para más información consultar el *Anexo fotográfico – Proceso estratigráfico*. Las estratigrafías se realizaron en el Aula/taller C+R Laboratorio Físico-químico, E-1-10. Facultad de BBAA, (UPV).



Figura. 40. M-1. Mortero del paramento Norte interior. Se aprecian los clastos muy cerca de la superficie. Diversidad en cuanto a áridos y tamaño. Tono rojizo. Fuente: CASTELLET, 2021.

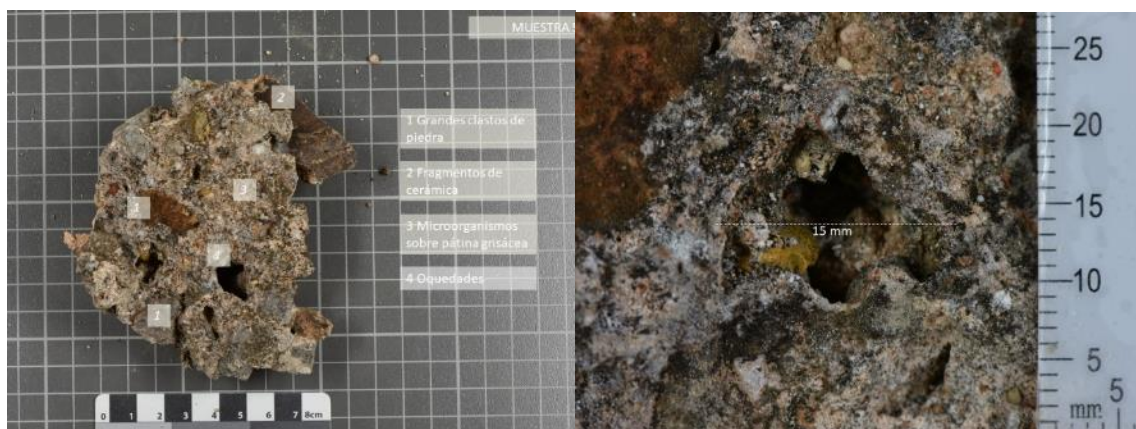


Figura. 41, Mortero de la Muestra 5, del muro norte exterior de la Torre. Drcha.: Pátina oscurecida por ataque de microorganismos, uso de cerámica y grava como árido. Izqda.: Oquedades visibles en superficie. Fuente: CASTELLET, 2021.

7.1. Microscopía óptica; Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM); Microscopía electrónica de barrido con dispersión de rayos x (SEM-EDX)

La microscopía óptica es fundamental en el diagnóstico y estudio de los materiales artísticos y arquitectónicos. Aporta datos que permiten estudiar diferentes aspectos formales, así como una aproximación hacia la identificación de materiales que no son perceptibles a simple vista; como tamaño, dispersión o distribución de las partículas tanto de los áridos, como de los conglomerantes y ciertos agregados. Analizar a pequeña escala la presencia de partículas, la homogeneidad o heterogeneidad de las mismas, tamaño o distribución es un factor importantísimo que ayuda a obtener resultados científicos cualitativos, cuantitativos y morfología de los materiales.

El uso del microscopio electrónico de barrido de emisión de campo⁹¹ permitió realizar un estudio de los morteros, analizando los componentes químicos y estructurales, ya que proporciona información a través del microanálisis la superficie de la muestra (o bien por *point* o bien por área *-mapping-*)⁹², como se muestra en la Fig. 43. De igual modo, el microscopio electrónico de barrido con dispersión de rayos X, permitió realizar un estudio de caracterización morfológica, composicional y estructural de los materiales. La información completa de cada una de las muestras se presenta en el Anexo analítico: MO; FESEM; SEM-EDX.

A través de la microscopía óptica, se observaron las estructuras de las estratigrafías a sección transversal de las Muestra 1 (M1) – aljibe – y – cerámica, pertenecientes a la Torre.

Por lo que respecta a la M1, predomina un mortero de tono beige-blanco, con agregados de tipo artificial (en la zona inferior) distribución homométrica de partículas de talla muy pequeña, y por estimación visual, los porcentajes de componentes de áridos, es entre 60 - 70% y moderadamente seleccionado (Fig. 42) en cuanto al entramado destaca la presencia de un material árido de textura esférica que se distribuye a lo largo de todo el espesor de la muestra llegando a la superficie, se considera flotante y puntual, de porosidad intergranular. El tamaño del árido es variable, entre grava (2 a 256 mm) y arcilla (< 0,004 mm)⁹³ se caracteriza por bordes redondeados y una gran parte identificable con aristas vivas (probablemente del triturado del mismo) de forma subangulosa y de esfericidad variable y, sobre este un estrato de acabado de tonalidad rosácea. En cuanto al conglomerante, se aprecia de color grisáceo / beige. Es decir, se trata de un material pétreo compuesto de conglomerante aéreo. Macroscópicamente se aprecia un árido muy irregular; clastos tipo grava de talla predominantemente grande y tonalidad uniforme (beige) y trazas de magnesio, aluminio, hierro y titanio (ya que el oro-paladio es del recubrimiento de la muestra).

91 Para consultar las prestaciones del SCIOS 2 consultar: OFERTA CIENTÍFICO TECNOLÓGICA. *Microscopio electrónico de barrido emisión de campo (FESEM) SCIOS 2 FIB-SEM*. Disponible en: < <https://www.uv.es/oferta-cientifico-tecnologica/es/recursos/mundo-digital-industria-espacio/materiales-avanzados-1286222587462/OCTRecurs.html?id=1286245588162> >

92 El funcionamiento del mismo se centra en barrer un haz de electrones sobre un área. Los rayos X se reciben a través del haz de electrones que barre la superficie o área. La información analítica es proporcionada por la energía de cada rayo X, ya que es distinta de cada elemento. Información extraída de: SERVICIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA. *Microscopía electrónica de barrido*. Disponible en: < <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753120normalc.html> >

93 KRÖNER, S; MAS I BARBERÀ, X; OSETE CORTINA, L; et. al. *Identificación y caracterización de materiales pétreos en patrimonio histórico-artístico*. Universitat Politècnica de València, 2010. p. 21

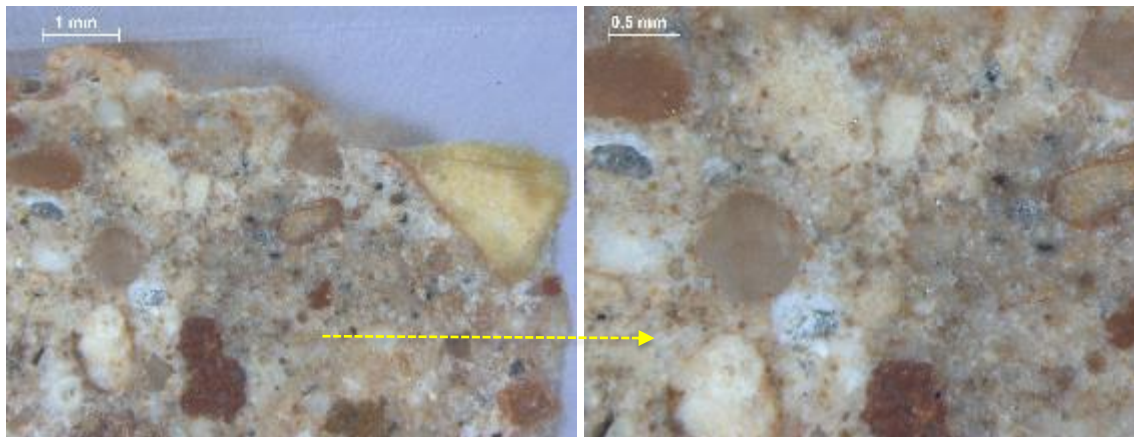


Figura. 42. Imágenes MO de la M1. Se puede observar la variedad de áridos de origen calcáreo y silíceo y también su esfericidad, además del tono beige del conglomerante. Fuente: CASTELLET, 2022.

La caracterización química de esta muestra mediante Microscopía Electrónica de Barrido Emisión de Campo (FESEM) ha permitido identificar la presencia de carbonato cálcico como material aglomerante del mortero (tanto en análisis de *spot* - como en el análisis de área -- los porcentajes son adecuados), el hecho de que el magnesio acompañe a este carbonato denota una cal poco rica en carbonatos y por lo tanto una cal marga (Ver: Anexo anlítico: MO; FESEM; SEM-EDX). Es evidente que el uso de la arena de cuarzo debido a la gran presencia de sílice, en este caso el aluminio y hierro se detectan pero se pueden considerar trazas (Fig. 43-44).

Se determina así, que el mortero está compuesto por una matriz carbonatada, que se aprecia ópticamente y se percibe a través de las imágenes realizadas con MO. El árido presenta una naturaleza mixta, carbonática (calcita) y silíceo (cuarzo y aluminosilicatos). Estos resultados se han corroborado tanto en las correspondientes distribuciones puntuales de elementos, como en los análisis puntuales realizados (Ver: Anexo anlítico: MO; FESEM; SEM-EDX)..

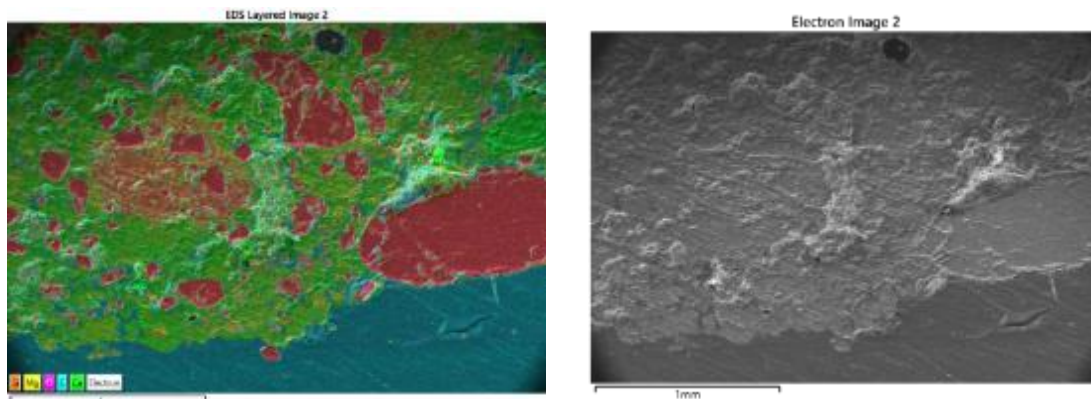


Figura. 43. Imagen por análisis FESEM de la M1. Drcha.: análisis por mapping; Izqda.: análisis por spot.

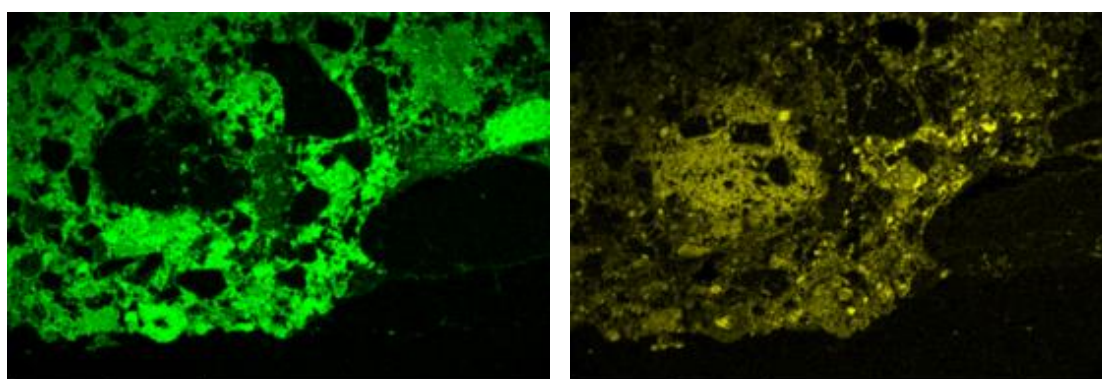


Figura. 44. Microscopía electrónica FESEM de la M1. Izqda.: En verde se muestran los elementos químicos correspondientes al calcio (Ca); Drcha.: amarillo, elementos correspondientes al magnesio (Mg). Fuente: CASTELLET, 2022.

Por lo que respecta al análisis por MO de la muestra correspondiente al aljibe, se aprecian dos fases constructivas bien diferenciadas en porcentaje de áridos, tamaño y selección, además de por el conglomerante (Fig. 45). La primera fase, de poca presencia de terrígenos y aloquímicos y mayor presencia de ortoquímicos, por lo que, predomina una distribución homométrica de partículas indiscernibles⁹⁴. El porcentaje de componentes, oscila entre 2 y 5% de entramado flotante. Se observa en zona cercana a la superficie, partículas de óxido de hierro de color negro (Fig. 46) y el color beige del conglomerante. La fase dos, con mayor presencia de terrígenos y aloquímicos respecto a los ortoquímicos. Las partículas de tamaño variable (arena gruesa hasta arcilla), de forma subangular y redondeada con un 50% de los componentes. Predomina el color variado de los áridos (blanco, beige, rojo, amarillo y negro) y el color blanquecino del conglomerante.

Finalmente, en cuando al fragmento cerámico, predomina el color naranja de la pasta cerámica, con un porcentaje de los componentes del 20% de tamaño entre arena fina y arcilla. Se aprecian cavidades que hacen ver la porosidad de la pasta cerámica (Fig. 47).

94 Ídem.

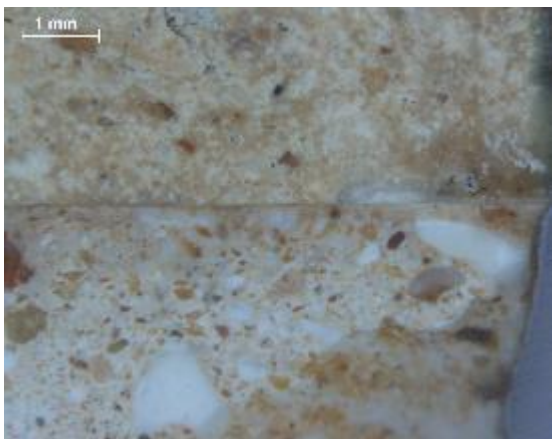


Figura. 45. Análisis por MO de la Muestra del aljibe. Se puede observar cómo existe una línea bien marcada que separa dos morteros diferentes en componentes. El mortero sup. con menos partículas de árido y conglomerante de tono más beige. El mortero inf. se observa una variedad de áridos de distinta granulometría, conglomerante más blanco. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 46. Análisis por Mo de la Muestra del aljibe. Contiene partículas de color negro con presencia de óxido alrededor de las mismas. En zona sup. drcha., se aprecia la pátina de almagra de la zona de superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.

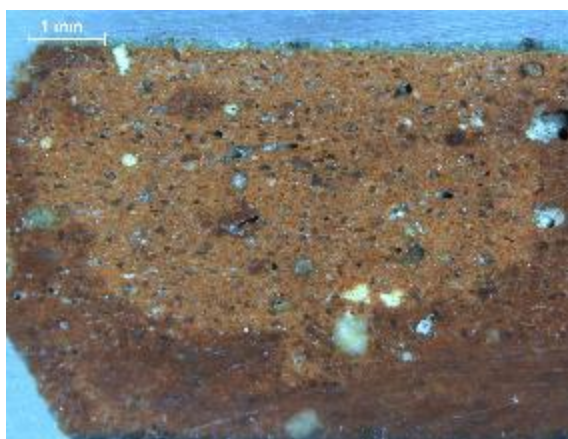


Figura. 47. Análisis por MO de la Muestra de cerámica. Se aprecia la distribución homogénea de los áridos y orificios de dimensiones no muy grandes. Las partículas blanquecinas pueden deberse al lijado de la estratigrafía para posterior análisis. Fuente: CASTELLET, 2022.

8. FASE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS. Ensayos normativos

El estudio científico de un monumento como la *Torre de l’Homenatge* precisa de la realización de un conjunto de análisis para la identificación de los materiales constituyentes de la obra para determinar de este modo los procesos de degradación que sufren y aplicar de esta forma los métodos apropiados en las intervenciones futuras. Las técnicas analíticas elegidas para conocer los procesos de degradación y nivel de resistencia de los morteros se resumen a continuación:

Sobre la realización de los morteros restaurativos para ensayo, véase *Anexo –Realización de los morteros restaurativos*.

8.1. Determinación de la granulometría de las partículas

El ensayoⁱ se realizó según las directrices de AEONOR de la norma UNE-EN 933-1: “*Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado*”, en las cinco muestras de los morteros originales a la *Torre de l’Homenatge*⁹⁵.

El fin de este estudio es poder determinar la proporción entre ligante y árido de los morteros originales además de la distribución granulométrica. Estos datos implican información relevante para la elaboración de futuros morteros tradicionales de en el *Castell de Marinyén*.

El procedimiento que se siguió fue, en un primer lugar, el disgregado de los morteros con un ligero machaqueo (con mortero de ágata) - morteros en un proceso avanzado de carbonatación -; seguidamente, se pesaron cada uno de los morteros en la báscula y se anotó el peso inicial de cada uno. Los tamices empleados al igual que el modelo de tamizador, se especifican en el apartado 4. *Instrumentación y Materiales*, de este documento. El orden de los tamices para el tamizado se realizó en disposición decreciente según tamaño de luz, el agitado fue mecánico en un tiempo comprendido entre 2’ y 5’ (dependiendo de las necesidades de cada mortero). Los resultados obtenidos por porcentaje de árido que pasa y que se va acumulando en los diferentes tamices, determinan las diferentes fracciones granulométricas de árido y conglomerante. De este modo, se considera ligante a toda partícula que queda atrapada hasta el tamiz de luz 0,250 mm, y árido a toda partícula que queda por encima. Además, las partículas de árido se pueden determinar⁹⁶ como se muestra en la Tabla 6. (Véase: Anexo fotográfico: Método del tamizado para ver proceso de ensayo) y (Anexo: Determinación Granulométrica) para consultar los datos obtenidos

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS	
Grava	60 mm – 2 mm
Arena	2 mm – 60 µm
Limo	60 µm – 2 µm
Arcilla	< 2 µm

Tabla 6. Caracterización de la granulometría de los áridos según su tamaño.

⁹⁵ El examen se realizó en el aula/taller C+R Escultura/Arqueología, E-0-24. Facultad de BBAA, (UPV

⁹⁶ Para mayor información consultar: CALABRIA SALVADOR, Irene. *Las pinturas murales de la ciudad Íbero-Romana de Cástulo, Linares (Jaén): Estudio técnico y propuesta de diferentes sistemas de anclaje para su musealización*. Trabajo Final de Máster, 2013. pp. 115-116: Disponible a: < <https://riunet.upv.es/browse?authority=467675&type=author> >

Tras el proceso de cribado y tamizado, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7., determinan que la proporción de conglomerado y árido más común es la de 1: 2, es decir, un volumen de cal por dos de árido, tratándose de esta forma un mortero de características más duras. Por el contrario, la Muestra – 2, tiene la dosificación más elevada en proporción ligante: árido (1: 6), esta muestra fue extraída de la zona superior del arco de medio punto y que, tras la caracterización visual *in situ* y fotográfica, se pudo apreciar que, el mortero estaba compuesto en su mayoría por abundancia de áridos, siendo pues, de estructura más débil frente al mortero de dosificación 1: 2. Finalmente, cabe señalar que estos resultados son sesgados, pues no determinan en magnitud la totalidad de los morteros constituyentes de los muros de la *Torrassa*.

PROPORCIONES RESULTANTES DE LOS MORTEROS ORIGINALES		
MUESTRAS	Proporción	
	Ligante	Árido
1	1	1,2
2	1	5,9
4	1	1
4D	1	1,8
5	1	2,7

Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos del ensayo granulométrico.

Según algunos autores, sobre la realización de los morteros de cal⁹⁷ especifican que:

“...Por lo que mira la proporción de la cal con la arena que se le ha de añadir, oiremos a Paladio, quien repite lo que ya tenían prevenido Vitruvio y Alberti: Para amasar la cal con arena [...] se ha de hacer de este modo: tomando arena de hoya, se echarán tres partes de ella, y una de cal. [...] Pero oigamos también a Fray Lorenzo: Prevenida la arena y la cal, irás mezclando en esta forma; si la arena es de río, se echarán dos de arena, una de cal; y si es arena de mina a cinco de arena dos de cal, echando una vez dos de arena y una de cal, y otra vez tres de arena y una de cal [...] más en esto sigue el consejo de los experimentos”. Por lo que, en virtud de lo leído, dependiendo de la granulometría a usar, ésta define el volumen de la cal por el de árido.

Por otra parte, la distribución granulométrica de los morteros se muestran los datos resumidos en las tablas del anexo (Véase: Anexo: Determinación granulométrica), demuestran que los áridos más utilizados son partículas de tamaños inferiores comprendidas a 2 mm, en su mayoría arcillas. Estos datos demuestran que se usaron áridos de partículas más finas en los morteros extraídos de la Torre (arena, limo y arcilla), y en menor medida, piedras, clastos y fragmentos cerámicos.

Podemos concluir con que, la dosificación de los morteros de la Torre varía según el lugar de aplicación y, uso de los materiales naturales de la zona. Este ensayo ha permitido recoger datos relativos en cuanto a la función y, según los estudios descritos anteriormente, los morteros precedentes a la época medieval contenían 1 parte de cal por 3 de arena de cantera, o también 1 de cal por 2 de arena de río y 1 de cal por 2 de puzolana. En cuanto al agregado del agua de amasado, según algunos estudios, solía ser entre el 15-20%⁹⁸ en los morteros de enlucido, en los morteros de relleno era inferior. Según otros estudios basados en morteros medievales, se constituían de ligante/ áridos/ agua y, en cuanto a las proporciones más habituales que utilizaban, eran de un 20% de cal frente a un 80% de árido⁹⁹, es decir, un mortero de 1: 5

97 ROSELL I AMIGÓ, J.R. En *Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros*. p. 10.

98 Para mayor información consultar: RODRÍGUEZ GORDILLO, José Manuel. *Op. cit.*, 2006. p. 4 “[...] aunque esta proporción dependía del clima y función del material [...]”

99 GARCÍA MARSILLA, J; IZQUIERO ARANDA, T. *Op. cit.*, 2013. p. 143

(1 volumen de cal por 5 de arena). De esta forma, en comparación de estos estudios y de los resultados obtenidos, se muestra una caracterización y dosificación característica de los morteros medievales como bien refleja la bibliografía consultada y nombrada.

8.2. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica

La absorción de agua a presión atmosférica esta intrínsecamente relacionada con la porosidad abierta de un material, es decir, la cantidad de agua absorbida de un material está determinada por la repartición y cantidad de poros del mismo. Por este motivo, la realización de este ensayo aporta información cualitativa de los morteros restaurativos, ya que, una absorción veloz, está sujeta a la forma, tamaño y vínculo de los poros. Por consiguiente, en material de escasa porosidad, presenta un bajo resultado de absorción de agua, aunque este resultado, también se pueda ver afectado por el volumen y tamaño de las oquedades, pues a mayor tamaño y volumen, menor absorción de agua, y, para finalizar, este factor también puede ser debido a una porosidad cerrada. Así pues, si el tamaño de los poros es mayor en distribución, será menor en tamaño, y, si además, están interconectados, la retención de agua aumenta. En gran parte, son estos orificios los que determinarán la cantidad de agua absorbida al final del ciclo, así como la duración del mismo. Si se produce una absorción de agua más prolongada en el tiempo, revela la existencia de microporos en el mortero. Cabe añadir que, los materiales con mayor presencia de oquedades, son aquellos con una mayor frecuencia de deterioros físicos, mecánicos, químicos y de ataque biológico¹⁰⁰.

El ensayo se aplicó apoyándose en la recomendación de AEONOR de la norma UNE-EN 13755: “*Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*”. Sobre tres réplicas de cada uno de los morteros: A, B y C; cada uno de ellos contenía: 1 probeta con polímero y 2 probetas sin polímero.

En un primer lugar, se realizaron de cada una de las probetas en forma de prisma de (50 ± 5) mm y se siguió a normativa de ensayo. El proceso consistió en el vertido de agua corriente sobre las muestras, y en el tiempo marcado por la normativa, extraerlas, secarlas con paño húmedo y anotar el peso. Este procedimiento se repite hasta que cada probeta de mortero alcance la masa constante¹⁰¹. Al finalizar los ciclos¹⁰², se aplica la fórmula matemática para obtener los resultados de absorción (*Véase: Anexo – Resultados absorción de agua a presión atmosférica*).

Los resultados extraídos muestran que, el mortero C con aditivo, presenta una absorción menor de agua, seguido de mortero B con aditivo y, por último, el mortero A sin aditivo. Por otra parte, el mortero que mayor duración ha requerido hasta alcanzar la absorción, ha sido el A (a las 264 h). En el transcurso de las primeras 48 h, las probetas han absorbido de forma rápida, y tras este tiempo, el cambio manifestado ha sido de un ascenso paulatino hasta alcanzar masa constante.

En general, los morteros presentan unos valores un poco por encima del 15%¹⁰³, por lo que puede que presente una red de poros de tamaño más pequeño, a excepción del mortero C con polímero, donde el

100 Para mayor información consultar: MAS I BARBERÀ, Xavier. Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis Doctoral, 2006. p. 233.

101 Ésta se logra cuando la variación entre dos pesadas consecutivas no es superior al 0,01%.

102 Para obtener información acerca de los resultados de absorción obtenidos en cada ciclo de los morteros A, B y C, consultar el Anexo: Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica

103 MAS I BARBERÀ, Xavier- *Op.cit.*, 2006. p. 245

valor final ha resultado por debajo del 15%. En consecuencia, se puede concluir óptimamente en la relación al uso de polímeros, ya que han resultado beneficioso para crear una porosidad más cerrada y, por ende, un coeficiente de saturación bajo. Finalmente, el mortero C es el que mejor resistencia presenta frente a este ensayo.

8.3. Ensayo de envejecimiento acelerado

Para realizar el ensayo de envejecimiento acelerado se siguieron las recomendaciones marcadas por ASTM Internacional en el ensayo D1183-03. Los requisitos en cuanto a las dimensiones de las probetas de eran de 1×1×1 mm. Las condiciones a las que se sometieron fueron dos ciclos de 168 h con radiación ultravioleta. Los dos ciclos se dividieron en las siguientes cuatro fases, se muestran en la Tabla 8.

CICLOS TÉRMICOS			
FASE	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
1	24 h	23 °C	85%
2	24 h	48,5 °C	20%
3	72 h	23 °C	85%
4	48 h	48,5 °C	20%

Tabla 8. Fases utilizadas en el ensayo de envejecimiento acelerado.

Al finalizar los ciclos, se evaluaron las alteraciones causadas con microscopía óptica MO. Los resultados mostraron una pequeña diferencia en cuanto al tono donde había acumulación de pigmento, los cambios producidos se mostraron con la saturación del tono, además de craqueladuras visibles en superficie¹⁰⁴. Los deterioros producidos tras ensayo, son sutiles pero visibles, y se aprecia como estos daños se atenúan en aquellas probetas sin polímero¹⁰⁵ (Fig. 48-52).

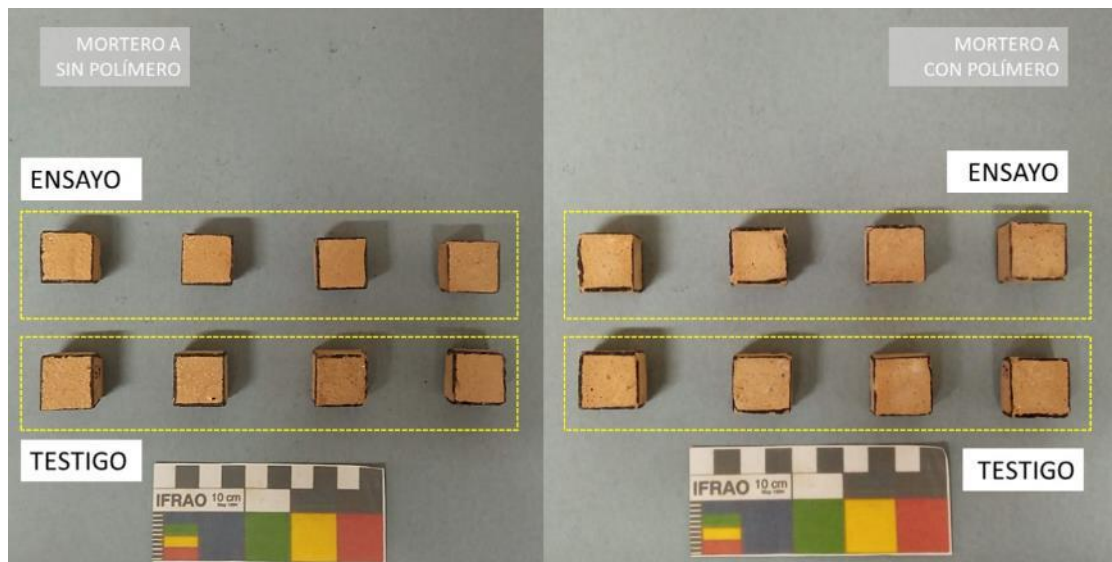


Figura. 48. Comparación tras ensayo con probetas testigo (drcha.). Fuente: CASTELLET, 2022.

104 El ejemplo de comparativa se ha establecido en este caso entre el mortero C con y sin consolidante.

105 Los cambios producidos en las muestras, se pueden consultar en el Anexo – Ensayo de envejecimiento acelerado

MORTERO A. Muestra sin polímero. ENSAYO.

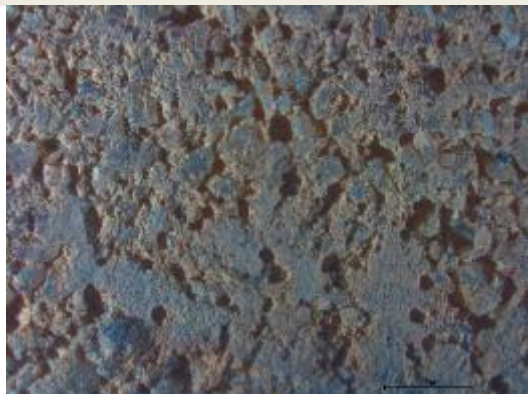


Figura. 49. Imagen vista por lupa binocular. Mortero A natural, se aprecian un mínimo desgaste en superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.

MORTERO A. Muestra con polímero. ENSAYO.

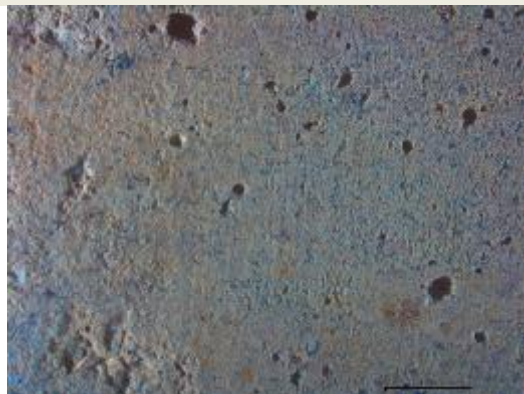


Figura. 50. Imagen vista por lupa binocular. Mortero A con polímero, no se aprecia desgaste en superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.

MORTERO A. Muestra testigo con polímero.

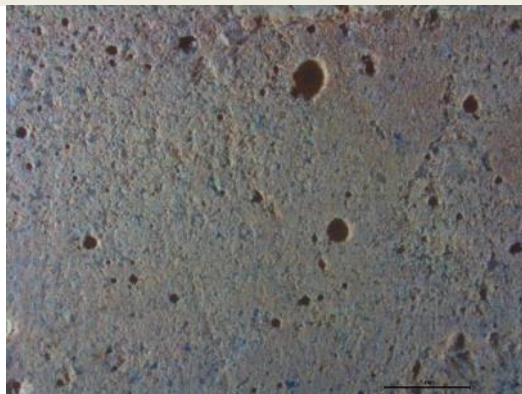
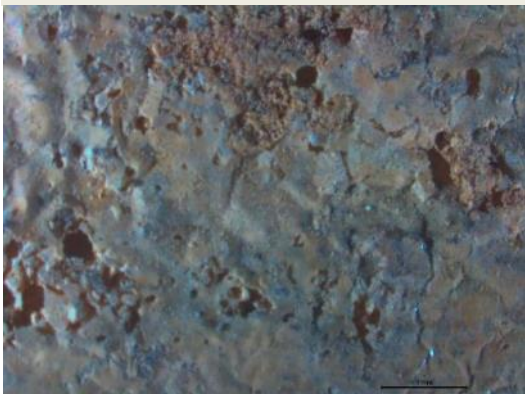


Figura. 51. Como se observar en las imágenes, se aprecian las probetas el aspecto que presentan con polímero. Fuente: CASTELLET, 2022

MORTERO A. Muestra con polímero. ENSAYO.

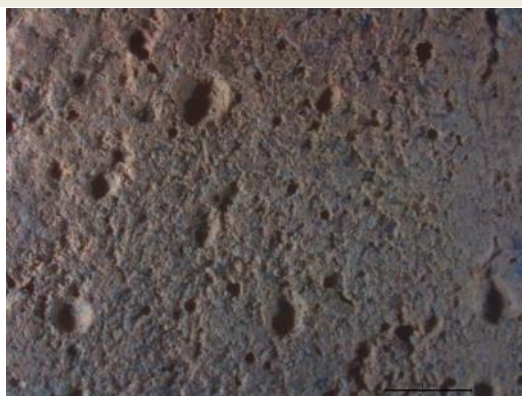
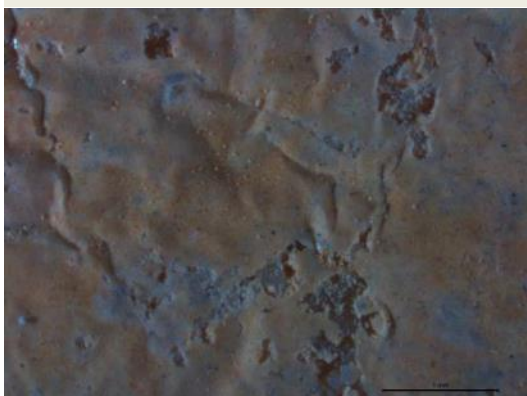


Figura. 52. Como se observar en las imágenes, se aprecian las probetas después de entrar a ensayo. Fuente: CASTELLET, 2022.

En conclusión, tras la observación a través del microscopio y estereoscópico, la observación y comparación con las muestras testigo, se aprecia un estado de carbonatación más avanzado en los

morteros sometidos a ensayo debido a la presencia de CO₂ presente en el interior de la cámara. Sabiendo esto, *a posteriori*, para las futuras investigaciones, se aumentará el número de ciclos provocando de esta forma, un mayor estrés en las probetas y obtener información ulterior. Por otra parte, resultan menos propensos a cambios (en superficie) los morteros con el agregado del aditivo polimérico. (Véase: Anexo: Ensayo de envejecimiento acelerado).

8.4. Determinación de la resistencia a la cristalización de sales

Debido a la facilidad de desarrollarse que tienen las eflorescencias salinas en ambientes que lo propicien (cambios continuos de humedad y por ende, desecación en el material) se consideró necesario la realización de este ensayo normativo con el fin de obtener una evaluación acerca de la durabilidad, resistencia y alteración causada por la presencia y cristalización de las sales en las probetas de mortero restaurativo.

La prueba se siguió conforme marcaba la norma española AEONOR UNE-EN 12370: 1999 “*Método de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*”. El estudio se ha realizado sobre las tres réplicas de morteros (A, B y C) y por un total de tres probetas de cada mortero, teniendo cada uno: 2 probetas sin polímero y 1 probeta con polímero. El procedimiento llevado a cabo para el muestreo se ha realizado según normativa. En primer lugar, la realización de las probetas cúbicas de mortero de (40 ± 1) mm de lado. Limpieza de las probetas con agua potable para la eliminación de material desprendido. Secado de las probetas en horno a temperatura (105 ± 5) °C hasta lograr masa constante. Las probetas se colocan en recipiente y se cubren solución de sulfato sódico decahidratado al 14% hasta sobrepasar las muestras durante 2 h. Después, se retiran las probetas de inmersión y se secan en horno como mínimo 16 h. A continuación, se extraen y se dejan enfriar durante 2 h para luego volver a sumergirlas en la solución de sulfato sódico. El ensayo consta de un total de 15 ciclos, pero por adaptabilidad de tiempo, se acortó a 10 ciclos.

Los datos obtenidos en el transcurso del ensayo se muestran en el *Anexo – Resistencia a la cristalización de sales*, donde se resumen los datos obtenidos en las Tablas además del total de las fotografías.

Tras la realización del ensayo, todos los morteros han experimentado de un aumento de la masa respecto al estado inicial, probablemente por la adición de partículas salinas a través de la porosidad del material, y, al tiempo que se engrandece el número de ciclos, el tamaño de dichas partículas crece y permite de este modo, una mayor cabida de cristales salinos en el interior de las muestras, y que cambia entonces, el aspecto del material, además, la retención de las sales genera una pérdida del material por efecto de la disolución salina por todas las interconexiones de poros del mortero.

De igual modo que el ensayo de absorción de agua, los resultados obtenidos sitúan al mortero C con polímero, como el más idóneo, registrando una menor diferencia de peso respecto al cálculo inicial (9,34%), además, el resto del mortero C, ha presentado una pérdida menor de la masa en comparación con los morteros A y B. Por detrás de éste, el mortero B sin polímero resulta más apropiado. Y finalmente, el mortero A, de cal hidráulica, ha obtenido un cambio muy notorio en la probeta con el aditivo (18,89%), los resultados se muestran en la *Tabla-9*.

RESISTENCIA A LA CRISTALIZACIÓN DE SALES		
MORTEROS		Diferencia relativa de masa antes y después de ensayo en %
A: Cal hidráulica (<i>Saint Astier</i>) NHL-5; polvo de mármol; arena de sílice	Con polímero	18,89
	Natural	10,49
	Natural	11,34
B: Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.); polvo de mármol; arena de sílice.	Con polímero	17,59
	Natural	7,40
	Natural	12,84
C: Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.); polvo de mármol; arena de sílice; 5% del mortero A.	Con polímero	9,34
	Natural	12,286
	Natural	12,28

Tabla 9. Resultados obtenidos de las probetas tras la realización del ensayo normativo. Diferencia de masa (antes y después).

Durante el ensayo, se han observado alteraciones de la morfologías en superficie, como pérdidas superficiales de material en zonas más expuestas como bordes y esquinas. Cabe mencionar que, al finalizar el ensayo y los procesos continuos que éste conllevaba, se produjo una proliferación desmedida de eflorescencias salinas, de aspecto blanquecino, alta densidad y de gran cantidad en las probetas. Como dato curioso, la proliferación de sales estuvo relacionada con los resultados obtenidos tras el ensayo, aunque, en las probetas con polímero, la eflorescencia fue más mínima, pudiendo ser por una parte, que se tratasen de sales de índole subeflorescencia¹⁰⁶ (Fig. 53), o por la alteración del polímero en el material ejerciendo una porosidad cerrada y que, de esta forma, no se depositen las sales en su interior además de en superficie. Paralelamente, esta cristalización de sales ha hecho que los morteros rompan desde el interior hacia el exterior en el caso de las probetas sin polímero, y en aquellas con polímero, la formación de grietas. Otro motivo de rotura, es como muestra la probeta (1) del mortero B, por la presencia de caliche en interior (Fig. 54).

¹⁰⁶ Existen dos tipos de cristalización, las que surgen en el interior del material (criptoflorescencia) y las que salen por debajo de la superficie y a la vez muy cerca de ella (subeflorescencia). Y están ligadas, en parte, con la porosidad del material, la facilidad de absorción y penetración de agua.



Figura. 53. Mortero A. Sup.: morteros testigos; Inf.: morteros a ensayo. De izqda. a drcha.: mortero natural (sin EVA ART), mortero natural (sin EVA ART) y mortero con EVA ART. Se observa como la probeta con polímero no ha sufrido rotura interna y una menor proliferación de sales. Fuente: CASTELLET, 2022.

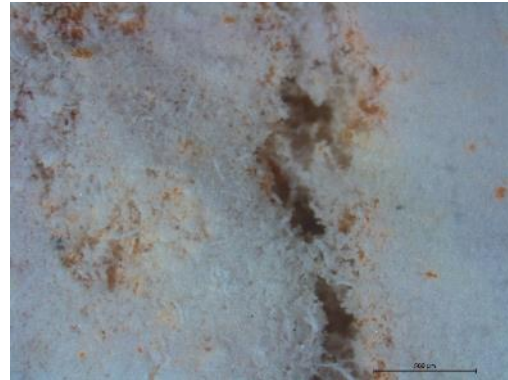


Figura. 54. Imagen por lupa binocular. A natural. Se observan os cristales salinos y la rotura que han producido en material. Fuente: CASTELLET, 2022.

8.5. Ensayo resistencia a las heladas

El ensayo se ha realizado conforme a la norma europea UNE-EN 12371, de marzo de 2010 y la *Essai n° V.3: Tenue au gel*, 1980, RILEM. Las probetas utilizadas para los ciclos de hielo-deshielo constituían un tamaño de 7×7×28 cm. Las fases de resistencia a la heladicidad se repitieron hasta alcanzar la descohesión y/o rotura de las probetas. Se realizó sobre los tres morteros (A, B y C) con un total de dos probetas por cada mortero teniendo cada uno de ellos una probeta con polímero y una sin polímero¹⁰⁷. Tras el secado de las probetas, éstas se introdujeron en un recipiente de plástico y para posterior inmersión con agua corriente, y según la normativa, se inició el ciclo. El ensayo se prolongó durante tres ciclos, ya que se detuvo por rotura de los morteros, a excepción de uno.

Con este ensayo se pretende estudiar la resistencia de los morteros frente a cambios de temperatura muy acusados, observando de esta forma la pérdida de masa a través de cálculos matemáticos posteriores y por la observación de los materiales durante el transcurso del ensayo. Véase el *Anexo – Resistencia a la helacidad*, donde se resumen los datos obtenidos en la Tabla además de comparación fotográfica.

Los morteros con polímero y conglomerante (cal aérea), es decir, morteros B y C, han sido los primeros en mostrar cambios en superficie y en consecuencia, en disgregarse, en contraposición del mortero A, de cal hidráulica, ya que las dos probetas del mortero, siguen intactas (Fig. 55-56). El mortero C con polímero, se fracturó en el primer ciclo de deshielo (Fig. 57-58). En cuanto al mortero B con polímero, la rotura del mismo se produjo en el segundo ciclo y el mortero C sin polímero en el tercero. Así pues, los morteros a base de cal hidráulica resultan más resistentes en zonas gélidas. Por otro lado, los morteros sin aditivo, rompieron un ciclo más tarde respecto a los que contienen aditivo, los resultados se resumen en la Tabla 10. Esto puede deberse a que, la temperatura mínima de filmación del EVA ARTA es a los 3° C, por lo que, no resulta beneficioso en temperaturas de -12° C, pudiendo ejercer una cierta presión entre los morteros, generando rotura interna hasta rotura final.

107 El número de probetas se ajustó al espacio que se disponía para la realización del ensayo.

RESISTENCIA A LA HELACIDAD		
MORTEROS		Variación del volumen aparente en %
A: Cal hidráulica (<i>Saint Astier</i>) NHL-5; polvo de mármol; arena de sílice	Con polímero	7,7
	Natural	10
B: Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.); polvo de mármol; arena de sílice	Con polímero	13
	Natural	5,3
C: Cal aérea en pasta especial para restauración (Cales Pascual, S.L.); polvo de mármol; arena de sílice; 5% del mortero A.	Con polímero	15,8
	Natural	11,76

Tabla 10. Resultados obtenidos en ciclos de resistencia a la helicidad de los morteros tras realización de ensayo.



Figura. 55. Probeta Mortero A con polímero. Antes del ciclo hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 56. Probeta Mortero A con polímero. Después del ciclo hielo-deshielo. No se aprecia cambio. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 57. Mortero C con polímero antes de ciclo de hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Figura. 58. Mortero C con polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el primer ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

Finalmente, se debe mencionar que, los morteros realizados a base de cal aérea, tienen una carbonatación más lenta con respecto a los morteros elaborados con cal hidráulica, además, recordamos (como es sabido) que, la cal hidráulica posee propiedades que la permiten seguir fraguando incluso bajo el agua.

Por otro lado, recordamos zona de *Benifairó de la Vall d’igna* pocas veces no alcanza niveles tan bajos de temperatura.

9. CONCLUSIONES

Mediante el presente trabajo se ha puesto en evidencia el grave estado de conservación que presenta el conjunto arquitectónico del Castell de Marinyén. En este estado de conservación intervienen muchos factores que marcan la dificultad de mantener una adecuada conservación de los paramentos de *La Torre de l’Homenatge* en el *Castell de Marinyén*, que ha sido el caso de estudio que nos ha ocupado.

En primer lugar, se ha logrado recoger, ordenar y aglutinar información valiosa sobre el momento histórico y la etimología del conjunto.

Se ha generado un estudio técnico en el que se ha desarrollado la investigación sobre la caracterización e identificación de los materiales originales usados para la realización de los morteros medievales de la Torre, como se especificaba en los objetivos. De igual modo se han evaluado la resistencia y el grado de deterioro de los morteros usados en la restauración a través de su comportamiento (hídrico y durabilidad).

Así pues, los objetivos propuestos en el inicio del estudio, - conocer y caracterizar los morteros extraídos de la Torrassa y además de las características de los morteros restaurativos -, han sido alcanzados.

Determinando, a través del análisis de las muestras (MO; FESEM; SEM_EDX) que, están constituidas por una matriz calcárea de cal aérea marga, posiblemente, por la calcinación de rocas calizas o dolomíticas (propias del terreno) las cuales poseen un alto contenido en magnesio, percibido en todas las muestras de análisis por área (FESEM) donde se detectan las coincidencias de calcio con el magnesio.

Además, tras el estudio granulométrico, ha sido posible identificar la dosificación de los morteros y también, de forma conjunta con el microscopía electrónica, la identificación de los materiales que lo componen. De esta forma, se ha identificado el empleo de los elementos minerales de la zona para la confección de los morteros; áridos diversos en naturaleza y talla (probablemente extraídos del río Vaca). Por otro lado, se ha estimado la dosificación de los morteros originales que, aunque se trate de un estudio sesgado por limitarse a extracciones de puntos específicos de los muros, cabe señalar que, tras el estudio y comparaciones de varios escritos acerca de morteros medievales, los resultados obtenidos se opinan verosímiles, tratándose pues de dosificaciones de conglomerante: árido apropiadas para la época, comprendidas entre 1: 1, 1: 2, 1: 3 y 1: 6. Se concluye que por estas características, los morteros estudiados son de características pobres típicas de la época del siglo XI.

En lo relativo a la resistencia y el grado de deterioro de los morteros restaurativos, en base a los resultados obtenidos mediante ensayos tecnológicos, se ha podido determinar que, en general, los morteros en presencia de polímero resultan más beneficiosos en niveles altos de humedad, ambientes salinos, al envejecimiento por radiación UV, cambios brusco de HR y temperatura, cumpliendo de esta forma, la función adhesiva y cohesiva del EVA ART (agregado en pequeñas cantidades), crea una red de porosidad cerrada entre el material constituyente del mortero, por consiguiente, ha generado unas características de impermeabilización de los morteros evitando, de esta manera, una mayor penetración (del agua) en el material constituyente y por ende, un menor deterioro.

Por otro lado, según los datos meteorológicos consultados, en el municipio de *Benifairó de la Vall d’igna*, no se dan parámetros térmicos muy gélidos, por lo que no debemos preocuparnos por los resultados extraídos del ensayo de resistencia a la helicidad.

Cabe añadir que, en relación al uso de los moldes para normativas de ensayo, queda realizar una revisión y adaptación de la misma. La tipología de las probetas no resulta la más idónea ya que los morteros constituidos a base de cal, endurecen, o fraguan lentamente y, en el uso de moldes con una abertura, hace que este factor se produzca más lentamente, sobre todo, en los morteros constituidos por cal aérea y con un grosor de más de 2 cm. Así pues, sería conveniente el uso de moldes de dos aperturas para los morteros de cal aérea, mejorando de esta forma la evacuación del sobrante de agua y la retracción producida por este motivo. Además, el uso de estos moldes hace que los morteros no carbonaten como es debido, ya que este proceso químico se da en contacto con el aire, y en este caso, solamente se produce por una cara de la probeta, resultando, una carbonatación irregular.

Finalmente, las características de las probetas no determinan en gran medida a los morteros aplicados en restauración, ya que, como se ha señalado, en este proceso intervienen un sinnúmero de factores que son fundamentales a tener en cuenta y prever enfoques resolutivos para obtener un buen resultado. Estos factores van desde el método de mezcla para la realización del mortero, la humedad intrínseca del material, la humedad y temperatura ambiental, la aplicación del mortero, el método de fratasado, si se le aporta humedad o no, entre muchos otros; estos agentes son determinantes para el empleo de unas metodologías apropiadas y, que se pierden en la confección de las probetas para normativas.

Gracias a las competencias adquiridas durante las prácticas de restauración y conservación realizadas en la Torre, se han podido conocer, aprender y poner en práctica los materiales y métodos de consolidación que existen para la salvaguarda de patrimonio arquitectónico, del mismo modo que, a través de todo este conjunto de experiencias, han favorecido, personalmente, en un notable desarrollo profesional en el campo de la conservación y restauración.

10. BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA. ©AEMET Predicción por municipios. Benifairó de la Vall d’igna (València/Valencia). [en línea]. Benifairó de la Vall d’igna: 2022. [consulta: 30 junio 2022]. Disponible en: < <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/horas/tabla/benifairo-de-la-vall-d-igna-id46059> >

ALVAREZ GALINDO, José Ignacio. *et. al.* Historia de los morteros. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. 1995, nº 3, Número 13, p. 52-59. ISSN: 1136-1867

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practices for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions. D1183-3. West Conshohocken: ASTM , 2011

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Tamices y tamizado de ensayo. Parte I: vocabulario*. UNE 7050-1.1997. Madrid : AEONOR, 1997.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Tamices y tamizado de ensayo. Parte III: Exigencias técnicas y verificaciones de los tamices de ensayo de la tela metálica*. UNE 7050-3: 1997. Madrid: AEONOR, 1997.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales*. UNE 12370. Madrid: AEONOR, 1999.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*. UNE 13755. Madrid: AEONOR, 2008.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte I: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado*. UNE 933-1. Madrid : AEONOR, 2012.

BOTTICELLI, Guido. *Metodologia di restauro delle pitture murali*. Centro Di, 1996. ISBN 88-703-822-80.

CALABRIA SALVADOR, Irene. *Las pinturas murales de la ciudad Íbero-Romana de Cástulo, Linares (Jaén)* [en línea]: Estudio técnico y propuesta de diferentes sistemas de anclaje para su musealización. ZALBIDEA MUÑOZ, María Antonia; SORIANO SANCHO, María Pilar, dir.. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València, Departamento de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales, València, 2013 [Consulta: 3 febero 2022] Disponible a: < <https://riunet.upv.es/browse?authority=467675&type=author> >

CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Madrid: Editorial Tecnos, 2009. ISBN: 978-84-309-4939-7.

CARRASCOSA MOLINER, Begoña; LASTRAS PÉREZ, Montserrat. *La conservación y restauración de la azulejería*. València: Editorial Universitat Politècnica de València, 2006. ISBN: 978-84-8363-019-8.

CERES. *Museo Arqueológico Nacional. Numismática*. [en línea]: *Colecciones e Red Ministerio de Cultura y Deporte. Gobierno de España*. [en línea]. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible a: < [CHANGE.ORG., 2019. *Salvemos el castillo de Marinyén \(Benifairó de la Vall digna\)* \[en línea\]. \[Consulta: 20 marzo 2022\] Disponible a: < <https://www.change.org/p/gobierno-de-espa%C3%B1a-rehabilitaci%C3%B3n-y-puesta-en-valor-del-castillo-de-alfandec-benifair%C3%B3-de-la-vall-digna> >](http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?txtSimpleSearch=Dinero%20de%20terno&simpleSearch=0&hipertextSearch=1&search=simpleSelection&MuseumsSearch=MAN%7C&MuseumsRolSearch=9&listaMuseos=[Museo%20Arqueol%F3gico%20Nacional]#:~:text=Al%20comienzo%20de%20su%20reinado,ley%2C%203%2F12). ></p></div><div data-bbox=)

CONSELLERIA D’EDUCACIÓ, CULTURA I ESPORT. *Castillo de Marinyén*. [en línea]. Generalitat Valenciana, 2002. [Consulta: 26 febrero 2022]. Disponible a: < <https://ceice.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics> >

CLIMATE-DATA.ORG. *Clima Benifairó de la Vall digna (España)*. [en línea] [consulta: 30 junio 2022]. Disponible en: < <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/benifairo-de-la-vall-digna-721041/> >

CTS ESPAÑA. *Productos y Equipos para la Restauración, S.L.* [en línea]: *Silical 120. Goma Silicona líquida colable*. Madrid, 2015. [Consulta: 26 marzo 2022]. Disponible a: < <https://shop-espana.ctseurope.com/408-silical-120-goma-silicona-liquida-de-colada-producto-bicomponente> >

CTS ESPAÑA. *Productos y Equipos para la Restauración, S.L.* [en línea]: EVA ART. Etilenvinilacetato en dispersión acuosa. Madrid, 2015. [Consulta: 26 marzo 2022]. Disponible a: < https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/1.1.4resinasvinilicas2016/evaartec_es.pdf >

España. Decreto de 22 de abril de 1949 sobre protección de los castillos españoles. *Boletín oficial del Estado*. Ministerio de Educación Nacional. Madrid: BOE, de 5 de mayo 1949, núm. 125, pp. 2058 a 2059.

España. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. *Boletín oficial del Estado*, Jefatura del Estado. Madrid: BOE, de 29 de junio de 1985, pp. 20342 a 20352. BOE-A-1985-12534.

FERRER MORALES, Ascensión. *La Pintura Mural: Su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1998. ISBN 84-472-0464-2.

FORT GONZÁLEZ, Rafael; ALVARED DE BUERGO, Mónica; VARAS MURIEL, María José; *et.al.* Valoración de tratamientos con polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos del patrimonio. *Revista de Plásticos Modernos*. Enero 2005, vol. 89, número 583.

GARCÍA MARSILLA, Juan Vicente; IZQUIERDO ARANDA, Teresa. *Abastecer la obra gótica: El mercado de materiales de construcción y la ordenación del territorio en la Valencia bajomedieval*. Demetrio Ribes. València: Universitat de València. Generalitat Valenciana, 2013. ISBN: 978-84-482-5881-8.

GÓMEZ SAHUQUILLO, Miguel, 2017. *Castellología Islámica de la Ribera del Xúquer (Valencia)*. [en línea]. CÁMARA MUÑOZ, Alicia, dir... Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia [Consulta: 20

marzo 2022]2017. Disponible a: < http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:GeoHis-Mgomezahuquillo/GOMEZ_SAHUQUILLO_Miguel_Tesis.pdf >

GONZÁLEZ PORTILLO, Antonio. *Comparativa de morteros de acabado para su uso en restauración: mortero tradicional y predosificado industrial*. [en línea] ZALBIDEA MUÑOZ, María Antonia; REGIDOR ROS, José Luis, dir.. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València, Departamento de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales, València, 2013 [Consulta: 13 febrero 2022] Disponible a: < <https://riunet.upv.es/handle/10251/43468> >

GRUPO ESPAÑOL DEL IIC. *Arqueometría y restauración de morteros históricos* [vídeo en línea]. *YouTube.es* [consulta: 8 junio 2022]. Disponible a: < <https://www.youtube.com/watch?v=Gyab3GqGHIE> >

JOAN, Miquel. *El castell de Marinyén*. Ajuntament de Benifairó de la Vall digna, 2009. ISBN-13: 978-84-606-4982-3. Universitat de València, 2010. ISBN: 978-84-8363-582-7.

KRÖNER, S; MAS I BARBERÀ, X; OSETE CORTINA, L. et. al. *Identificación y caracterización de materiales pétreos en patrimonio histórico-artístico*.

LABOQUIMIA. *Tamizadora analítica AS 300 control, RETSCH®* [en línea]. Logroño. [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible a: < http://www.laboquimia.es/catalogo/producto.php?codigo=20445100047&sub_amarillo=yes#enlace_catalogo >

LACOTORRA DE LA VALL. *El Pla Director d’actuacions en el castell de Marinyén*. [en línea] [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible a: < <https://lacotorradelavall.blogspot.com/2020/09/el-pla-director-dactuacions-en-el.html> >

LISTA ROJA DEL PATRIMONIO, 2020. *Castillo de Benifairó de la Vall digna* [en línea]: *PATRIMONIO MILITAR, Castillos y conjuntos arquitectónicos fortificados*. HISPANIA NOSTRA, 2020 [Consulta: 20 marzo 2022] Disponible a: < <https://listaroja.hispanianostra.org/ficha/castillo-benifairo-la-valldigna/> >

MARSILLA, Juan Vicente. La gran fábrica de Xàtiva. *Saitabi*. Revista de la Facultat de Geografia i Història, 2020, vol. 1, nº70, pp. 43-66.

MAS I BARBERÀ, Xavier. *Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamientos*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2010. ISBN: 978-84-8363-583-4.

MAS I BARBERÀ, Xavier. Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales [en línea]. DOMENECH CARBÓ, María Teresa; ROIG SALOM, José Luis, dir.. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València, Facultat de Belles Arts de Sant Carles, València, 2006 [Consulta: 17 mayo 2022] Disponible a: < <https://riunet.upv.es/handle/10251/1941?show=full> >

MASSCHELEIN-KLEINER, L. Los Solventes. Publicaciones Centro Nacional de Conservación y Restauración DIBAM: Santiago de Chile, 2004. ISBN: 956-244-166-0.

METEO ILLES BALEARS. *Clasificación de Köppen en territorio español: Caracterización y cambios recientes*. [en línea] [consulta: 30 junio 2022]. Disponible en: < <http://www.meteoillesbalears.com/?p=272> >

MÉTHODES D’AUSCULTATION SUR PRÉLÈVEMENTS. *Essai de gel interne d’un béton*. A1-7. IFSTTAR, 2015.

MILETO, Camilla; VEGAS, Fernando. *La Restauración de la Tapia en la Península Ibérica. Criterios, Técnicas, Resultados y Perspectivas*. Valencia : TC Cuadernos, 2014. ISBN: 978-84-942233-3-4.

MORA, Paolo y Laura; PHILIPPOT, Paul. *La Conservazione delle Pitture Murali*. II Edizione. Bologna: Editrice Compositori, 2001. ISBN 88-7794-279-7.

NUMISMÁTICA BILBAO. *Lituania 1 centas 1991 caballero mediaval km.85 moneda de aluminio SC Lietuva Lithuania*. [en línea] [Consulta: 1 marzo 2022]. Disponible a: < <https://www.numismaticabilbao.com/es/51384-lituania-1-centas-1991-caballero-medieval-km85-moneda-de-aluminio-sc-lietuva-lithuania.html> >

OFERTA CIENTÍFICO TECNOLÓGICA. *Microscopio electrónico de barrido emisión de campo (FESEM) SCIOS 2 FIB-SEM*. [en línea]. Universitat de València, 2022. [consulta: 06 julio 2022]. Disponible en: < <https://www.uv.es/oferta-cientifico-tecnologica/es/recursos/mundo-digital-industria-espacio/materiales-avanzados-1286222587462/OCTRecurs.html?id=1286245588162> >

PRICE, Monica; WALSH, Kevin. *Guías de Bolsillo. Rocas y Minerales*. Barcelona: Editoriales Omega, 2006. ISBN: 84-282-1244-9.

REUNIÓN INTERNATINALES DES LABORATOIRES D’ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATERIUX DE ET LES CONSTRUCCIONS. Comm. Pierres, Groupe 25 PEM. *Essais Recommandés Pour Mesurer L’altération Des Pierres Et Evaluer L’efficacité Des Méthodes De Traitement. Protection Et Erosion Des Monuments*. Essai nº V.3.: Teneu au gel. RILEM, 1980.

RODRÍGUEZ GORDILLO, José Manuel. *Morteros como de estudio e Arqueología-Arqueometría Medieval*. [en línea]. CARTA, Rafaella. Coord. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 2006. [consulta: 05 julio 2022]. Disponible en: < <http://www.biblioarqueologia.com/doc/080306RODRIGUEZ2005.pdf> >

SANZ LLOPIS, Roberto; et.al. *Pedra i Calç: Una història sobre els artesans de la pedra*. Obra Social: La Poble Llarga (València): Caixa Ontinyent, 2017. ISBN:978-84-95102-93-5.

SAÑUDO DIE, Pablo; ZALBIDEA MUÑOZ, Maria Antonia, et al. *Projecte de intervenció arqueològica i de restauració de la Torre del Homenatge al B.I.C. del Castell de Marinyén de Benifairó de la Valldigna (València)*. Ajuntament de Benifairó de la Valldigna, 2021.

SEPULCRE AGUILAR, Alberto. *Tópicos comunes en la fabricación y uso de los morteros de restauración de fábricas. Pátina*. Diciembre 2003. Época II. Nº 12, pp. 29-39. ISSN: 1133-2972.

SERRANO ARANDA, Claudia. *Propuesta de protocolo de consolidación para arte rupestre Levantino [en línea]: El abrigo de Los Toros del Prado del Navazo Albarraçín (Teruel)*. ZALBIDEA MUÑOZ, María Antonia; BEA MARTÍNEZ, Manuel, dir..Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València, Facultad de Bellas Artes, Valencia, 2021 [Consulta: 8 abril 2022] Disponible a: < <https://riunet.upv.es/browse?authority=611863&type=author> >

SERVICIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA. *Microscopia electrónica de barrido*. [en línea]. Universitat Politècnica de València, 2020. [consulta: 06 julio 2022]. Disponible en: < <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753120normalc.html> >

SORIANO SANCHO, María Pilar; ZALBIDEA MUÑOZ, María Antonia. Construcciones tradicionales; el tapial. *Ecohabitar*, 2014, nº 38, pp. 26-28.

USEO VALLES, Rafael. *Estudio y análisis de la utilización de la cal para el matrimonio arquitectónico* [en línea]. JUAN VIDAL, francisco; TORMO ESTEVE, Santiago, dir..Proyecto Final de Máster. Universitat Politècnica de València, Máster oficial en conservación del Patrimonio arq., València, 2015 [Consulta: 13 abril 2022] Disponible a: < <https://riunet.upv.es/handle/10251/60200> >

DOMÉNECH, Teresa. Microscopía óptica. Unidad didáctica 5, Apuntes de la asignatura de Máster en CRBC, UPV, 2020. P. 14

VERIFICACIÓ DE DOCUMNETS. *Unión Europea. Fondo Europep del desarrollo regional*. [en línea]. Generalitat Valenciana, 2021. [Consulta: 23 marzo 2022] Disponible a: < https://www.tramita.gva.es/csv-front/index.faces;jsessionid=pMu-vm59B7ge2bzMFNQnWQaFprosGcOaitJ_Yl0o.ade-ptt-front >

ZALBIDEA, A. Tratamientos en revestimientos ornamentales. Unidad didáctica 1, Apuntes de la asignatura de Máster en CRBC, UPV, 2021.

11. ANEXOS

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge

11.1. Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge

Como se ha comentado, las prácticas restaurativas se realizaron en la *Torre de l’Homenatge* donde se llevaron a cabo labores de consolidación de los morteros murarios, además de reintegración volumétrica y cromática. Para las tareas de colmado de lagunas, de sellado y rejunte de grietas, se empleó mortero de cal hidráulica de *Saint Astier* (NHL 5) con su respectiva dosificación de árido de polvo de mármol de 200 μm y arena de sílice de 0,2 μm . Estas intervenciones se aplican en el bien con el fin de rellenar y nivelar las áreas con disminución de material notable y limitar la acumulación de partículas dañinas, además de la entrada y tránsito de agua hacia el interior del monumento, con el resultante debilitamiento de la estructura que ello conlleva. Dicho mortero se pigmentó de acuerdo al tono del mortero original¹⁰⁸ con el fin de conseguir una armonía cromática. Al mismo tiempo, también se actuó sobre la base de la Torre, zona que está en contacto con la tierra y que presentaba faltantes de tamaño considerable. En este caso también se utilizó mortero a base de cal hidráulica con el añadido de piedras naturales (recogidas *in situ*) para aportar más fuerza y adhesión al conjunto del mortero, al margen de las dosificaciones de conglomerante/árido mostradas en la Tabla 1. El mortero también fue pigmentado de acuerdo a la gama cromática de su entorno. El mortero de cal aérea en pasta de Cales Pascual S.L., se aplicó como método de sellado en zonas de la superficie de la Torre con grandes faltantes y en un estado avanzado de rotura, se pigmentó de acuerdo al original. Para finalizar, se realizaron tareas de consolidación por inyección con lechada de cal hidráulica (NHL 5)¹⁰⁹. También se realizaron consolidaciones por inyección con polímero¹¹⁰.



Torre de l’Homenatge. Vista este. Puerta de medio punto. Antes de la restauración. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

108 Para más información, consultar las Tablas 1-3 correspondientes a los morteros utilizados para la reintegración cromática y volumétrica de la *Torre de l’Homenatge*.

109 El uso de la cal aérea para inyección queda descartado por su imposibilidad de ventilación o aireación, y, por ende, de carbonatación y fraguado, además de por su insuficiencia mecánica.

110 Del producto EVA ART®, proporcionado por la casa CTS®. Se trata de una resina etilvinilacetato en dispersión acuosa con alta resistencia al envejecimiento y empleada como método conservativo. Para mayor información consultar:

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge



Torre de l’Homenatge. Vista este. Puerta de medio punto. Después de la restauración. Fuente: BALLESTEROS, 2022.



Torre de l’Homenatge. Vista este-sud. Puerta de medio punto. Antes de la restauración. La superficie del suelo, se observa un faltante de tamaño considerable. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge



Torre de l’Homenatge. Vista sud. Puerta de medio punto. Después de la restauración. Sellado del faltante en contacto con el suelo y de todos los demás con mortero. Fuente: BALLESTEROS, 2022.

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge



La Torre de l’Homenatge tras la restauración. Fuente: BALLESTEROS, 2022.



Muro este exterior y la puerta de medio punto de la Torre de l’Homenatge. Izqda.: Antes de la restauración. Fuente: ZALBIDEA, 2021; Drcha.: Después de la restauración. Fuente: BALLESTEROS, 2022.

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge



Se pueden observar los faltantes en el muro antes de la restauración (izqda.), entrada de agua y diversos microorganismos. Tras la restauración (drcha.) los faltantes quedan sellados por vertido de cal hidráulica (consolidación) y sellado con mortero hidráulico. Fuente: (izqda.) ZALBIDEA, 2021; (drcha.) BALLESTEROS, 2022.



Imagen de la Torrassa restaurada. Fuente: ZALBIDEA, 2022.

Anexo fotográfico: Restauración de la Torre de l’Homenatge



Procesos de restauración.

Izqda.: aplicación de morteros de cal hidráulica en faltantes y zonas donde se deposita el agua de lluvia (muro este); Centro.: consolidación de estratos en superficie por inyección de lechada de cal hidráulica (NHL 5); Drcha.: consolidación de estratos por inyección de EVA ART 2-5% con agua desionizada. Fuente: CASTELLET, 2021.

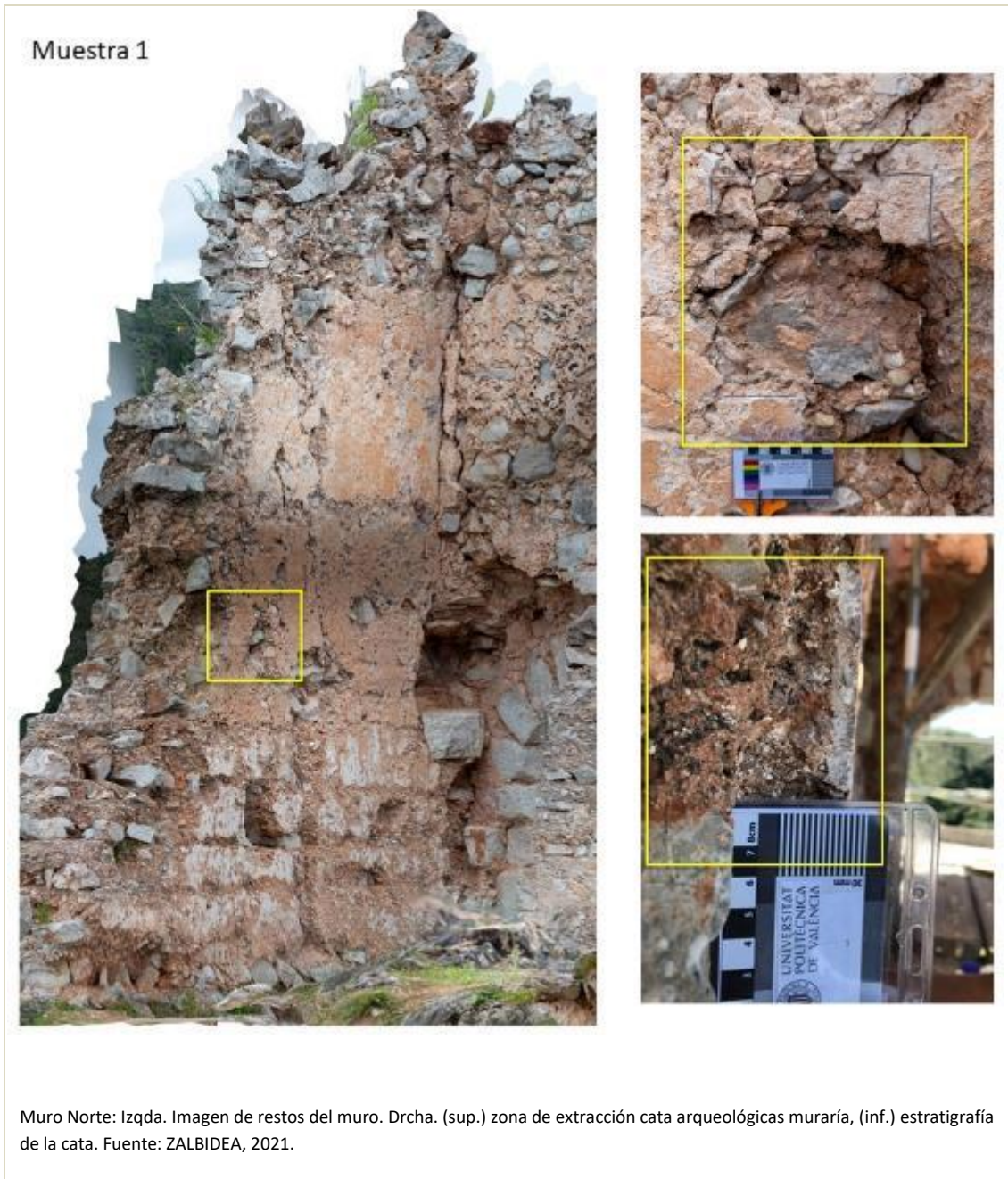


Torre de l’Homenatge con el andamio. Fuente: CASTELLET, 2021.



Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 1

11.2. Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros



En la Muestra 1 se aprecian la diversidad de áridos en tamaño y composición. Encontramos desde clastos de origen natural (arena de río) de tamaño muy desigual y de composición básicamente silíceo/calcáreo. Además, en superficie se aprecian partículas de *coccio pesto* o polvo de ladrillo junto a pequeñas concreciones de pequeños caliches. El aspecto general de la muestra es de tonalidad de un intenso rojizo en el interior que se pierde en el exterior debido a que, en este estrato, la cantidad de otros elementos como la cal y los diferentes particulados y arenas aumenta de forma considerable.

Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 1



Muestra 1. Anverso. Imagen general de la muestra. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 1. Anverso. Imagen representativa de la diversidad de áridos presentes en la muestra. En superficie se aprecian tanto microcaliches como áridos de partículas pequeñas y *coccio pesto*. En Mortero, se hayan clastos de río de dimensiones considerables. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros MUESTRA - 1



Muestra 1. Imagen transversal del mortero. Se puede observar como para la ejecución de la base del mortero, se utilizaron diversidad de partículas de árido, así como arcillas, limo, arena, grava y clastos. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 1. Detalle de los elementos presentes en la muestra. Mortero con espesor de 2,5 cm en el cual encontramos caliches de 0,5 cm, pero también microcaliches como se aprecian en la imagen. Respecto al calicostrato, se percibe un sutil y ligero sobre el cual se ha aplicado la pátina rojiza Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 1



Muestra 1. Detalle de los elementos presentes en la muestra (de arriba abajo): Pátina rojiza, calicostrado, mortero con caliches y microcaliches. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 1. Imagen de detalle del anverso del mortero. Pátina rojiza del estuco y en la que aún se observan la huella generada por la herramienta al aplicar el estrato. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 1



Muestra 1. Reverso del mortero en el que se observan varios restos de óxido de cal (CaO) de hasta 1,5 cm. Fuente: Castellet, 2021.



Muestra 1. Reverso del mortero en el que se observan varios restos de óxido de cal (CaO) de hasta 1,5 cm. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo: Cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 1



Muestra 1. Reverso del mortero de tonalidad rojiza en la que se aprecia una acumulación en el guarnecido de áridos de partículas superiores en zona de más próxima al enlucido. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 2



En la Muestra 2 recogida de la zona superior del arco de medio punto, se aprecia una utilización elevada de áridos de tamaño y composición similares, comprendidos mayormente entre limo ($60 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m}$) y arcillas ($< 2 \mu\text{m}$). Entre el mortero, se contemplan concreciones de caliches comprendidos entre $\pm 1 \text{ cm}$ de diámetro. El aspecto general de la muestra es de tonalidad rojiza.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 2

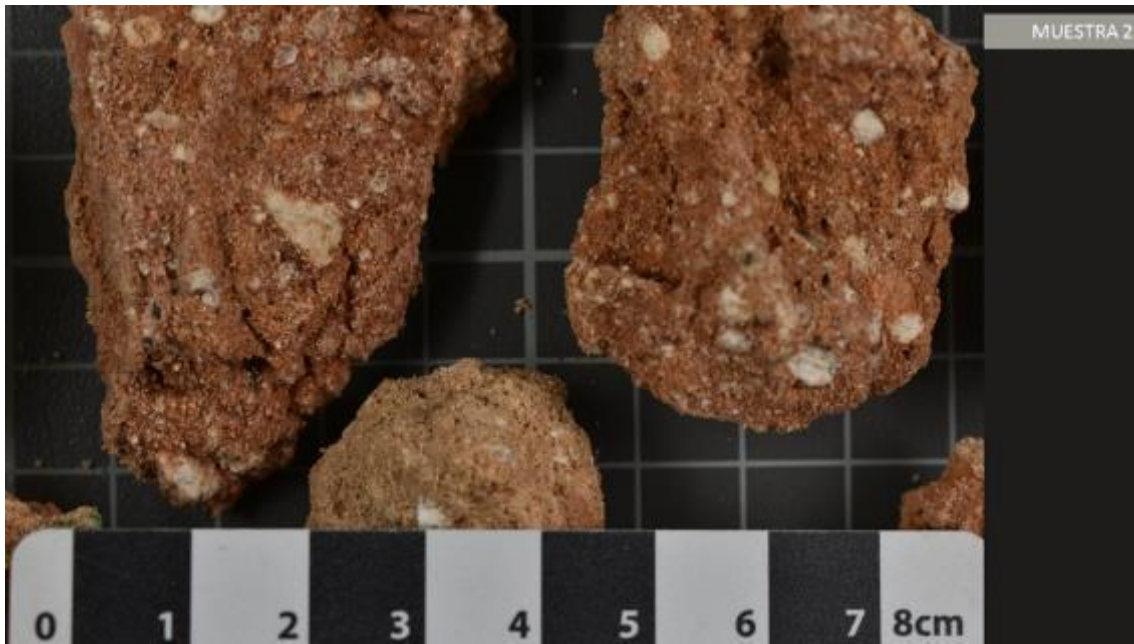


Muestra 2. Imagen general del total de la muestra de mortero. Los fragmentos de tamaño superior presentan más óxidos de cal (CaO) respecto a los fragmentos de tamaño inferior. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 2. Imagen informativa de los elementos presentes en el mortero. Se aprecia, en menor medida, la utilización de piedras de árido de $\pm 0,5$ cm como árido de particulado mayor. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 2

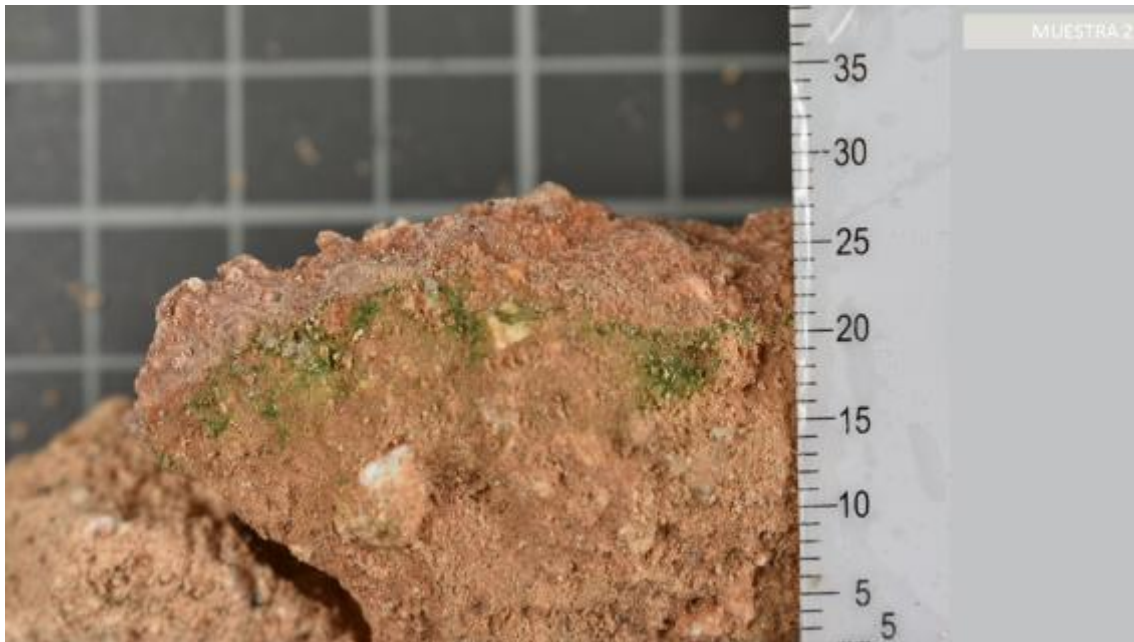


Muestra 2. Detalle de algunos fragmentos del mortero donde se puede observar la gran presencia de caliches y microcaliches, además de árido de pequeñas partículas de cuarzo. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 2. Imagen macro de uno de los fragmentos. Se puede observar la diferencia entre los áridos utilizados en cuanto al tamaño y material (piedras calizas, cuarzo, arcillas). Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 2



Muestra 2. Imagen macro del reverso del mortero. Presencia de ataque biológico, posiblemente moho por el exceso de humedad, gran absorción del soporte arcilloso y poca ventilación de la zona. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 3



Muro Este: Izqda. Imagen de restos del muro. Drcha. (sup.) momento de extracción cata arqueológicas muraría, (inf.) total de la muestra recogida. Fuente: ZALBIDEA 2021.

En la Muestra 3, muestra testigo, se trata de una muestra de enlucido donde aprecian la diversidad de áridos, pero de tamaño similar de composición básicamente silícico/calcáreo. Además, en superficie se aprecian partículas de *coccio pesto* o polvo de ladrillo. El aspecto general de la muestra es de tonalidad blanquecina rosada, tanto en interior del enlucido como en el exterior.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 3



Muestra 3. Imagen general de la muestra. Se pueden observar los áridos dispuestos entre los fragmentos de enlucido, al igual que la presencia de microorganismos. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra3. Fragmento representativo de los elementos presentes en mortero donde se aprecia *coccio pesto* y áridos diversos de composición calcárea y silíceas, la pátina por calicostrado y presencia de microorganismos. Fuente: CASTELLET 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 4



Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 4



En la Muestra 4, la cual se dividió para la realización del ensayo tecnológico entre muestra 4 y muestra 4D (por tratarse la primera de una muestra extraída de forma natural y la segunda por ser extraída con la herramienta Dremel©). Se aprecian la diversidad de áridos en el enlucido de tamaño comprendido y también de fragmentos cerámicos. Encontramos particulado irregular de composición básicamente silíceo/caláceo. Además, en mortero se aprecian pequeñas concreciones de óxido de cal (CaO). La pátina de calicostrado es de aspecto rosado y de acabado liso y uniforme.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 4



Muestra 4. Anverso. Imagen general de la muestra. Fragmentos de mortero, de mortero más enlucido y cerámicos Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 4. Reverso. Imagen general de la muestra fragmentada. Se aprecia la presencia de caliches en la mayoría de los guarnecidos. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 4



Muestra 4. Fotografía macro del anverso de uno de los fragmentos. Estuco calicestrado de pátina rosada. Visibles las partículas de áridos al igual que la presencia de minicaliches y, en menor medida, *coccio pesto*. Fuente: CASTELLET, 2021.

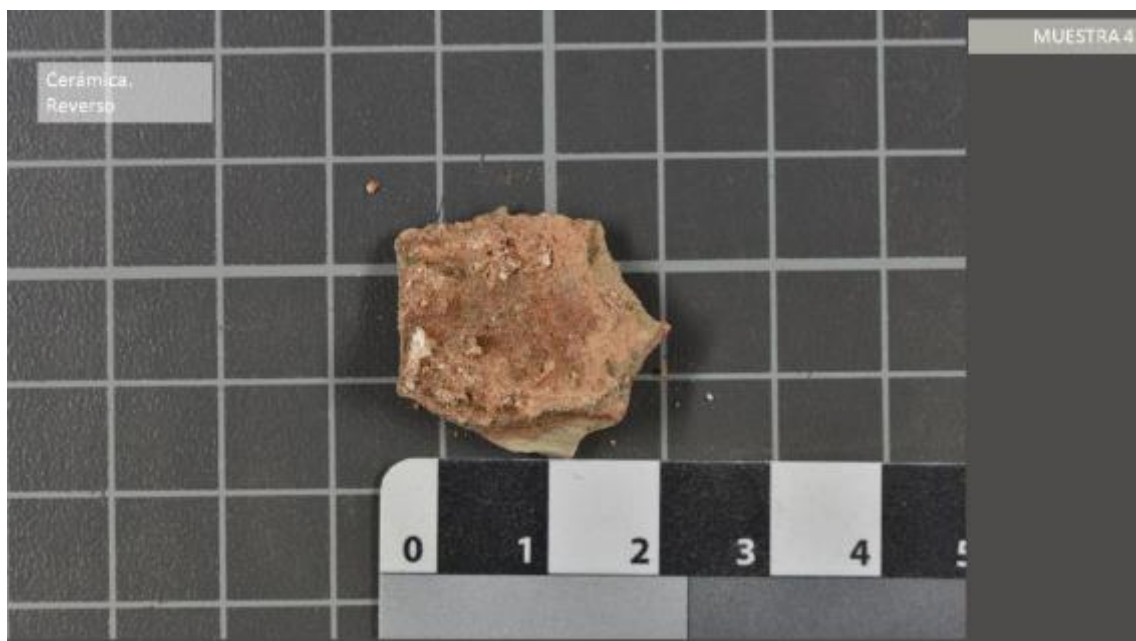


Muestra 4. Fotografía macro del reverso de uno de los fragmentos de 2,5 cm de alto. Mortero de tonalidad rojiza debido a las arcillas del terreno y en el que se aprecian caliches y minicaliches. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 4



Muestra 4. Fragmento descriptivo de las partes del mortero. Pátina de tonalidad blanquecina en la que se observan áridos de composición calcárea (sedimentaria) y silícea (cuarzo) Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 4. Fragmento cerámico perteneciente a la muestra. Reverso. Coneciones de origen terroso y calcáreo y/o silíceo. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Murarí y caracterización morteros
MUESTRA - 4



Muestra 4. Fragmento cerámico. Anverso. Se aprecian concreciones en superficie del fragmento. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 5



En la Muestra 5 se aprecian la diversidad de áridos en tamaño y composición. Encontramos desde clastos de origen natural (arena de río) de tamaño muy desigual y de composición básicamente silíceo/calcáreo hasta fragmentos cerámicos medievales. Además, en superficie también se aprecia partículas diversas de áridos, además de una fuerte presencia por ataque de microorganismos debido a la posición del paramento (Norte). El enlucido, mucho más tosco que los demás, posee orificios de tamaños diversos repartidos a lo largo y ancho del muro. El aspecto es de una tonalidad grisácea.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 5



Muestra 5. Imagen general del mortero. Anverso. Se observa la diversidad de áridos en enlucido y guarnecido, además de agujeros de tamaños considerables y la presencia de microorganismos repartida por toda la superficie. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 5. Imagen general del mortero. Reverso. Presencia de áridos arcillosos, así como de clastos de dimensiones de hasta 5 cm y fragmentos cerámicos. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 5

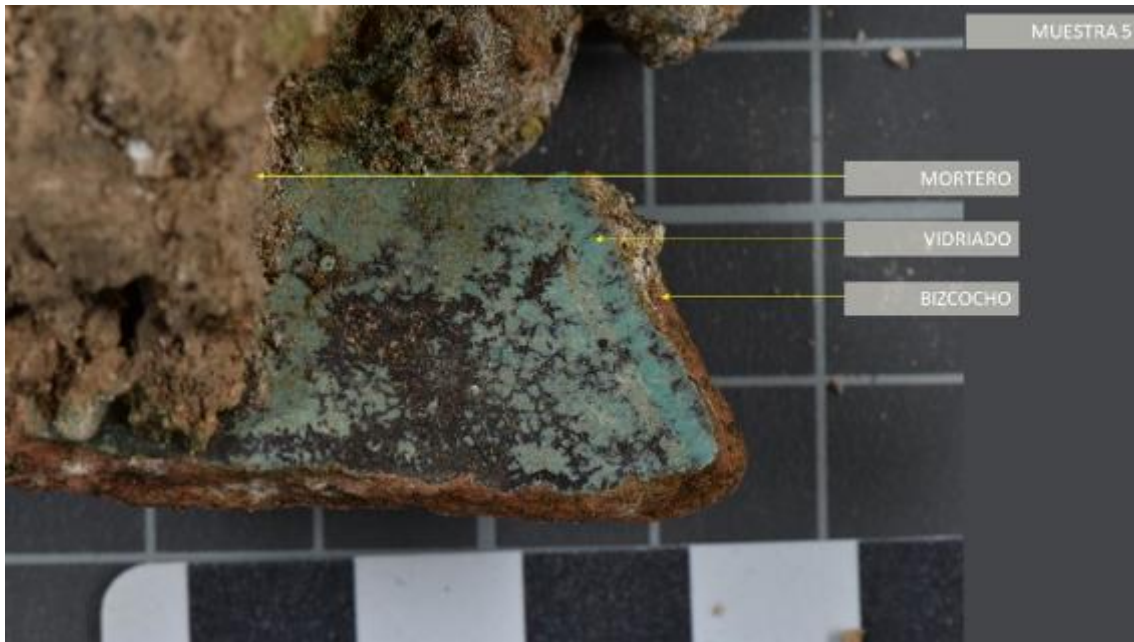


Muestra 5. Fotografía macro del anverso. Imagen representativa de los orificios de 1,5 cm de diámetro presentes en la superficie del mortero. También se observa la presencia de líquenes, y hongos, así como grava (árido de cuarzo). Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra 5. Fotografía macro del reverso del mortero. Presencia de clastos de río de ± 2 cm de diámetro, así como grava de diversa granulometría y *coccio pesto*. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - 5



Muestra 5. Fotografía macro del reverso del mortero. Fragmento cerámico vidriado de ± 3 cm de largaría utilizado como árido en guarnecido de mortero. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - Aljibe



Muestra Aljibe hallada en camino enfrente de aljibe noreste. Se localizan dos fragmentos. Fuente: ZALBIDEAT, 2021.



Muestra Aljibe. Fotografía general del anverso. Restos de pátina de color almagra y enlucido calicostrado de alta concentración de cal. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - Aljibe



Muestra Aljibe. Fotografía general del reverso. Presencia de suciedad superficial mayormente de origen terroso arcilloso. Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros
MUESTRA - Aljibe



Muestra Aljibe. Fotografía general del anverso. Pátina de color rojo almagra, seguida de calicostrato y mortero con fuerte presencia de cal. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra Aljibe. Fotografía general del reverso. Mortero de con alta dosificación de cal (calidades más impermeables de mejor idoneidad en estructura donde se almacena agua). Fuente: CASTELLET, 2021.

Anexo – cata Muraría y caracterización morteros MUESTRA - Aljibe



Muestra Aljibe. Fotografía macro del reverso. Suciedad en mortero de origen diverso. Fuente: CASTELLET, 2021.

En ambas Muestras de Aljibe, se aprecia en superficie la tonalidad rojiza almagra de típica producto de la calcinación de los óxidos de hierro. Como guarnecido, se aprecia en mayor uso de cal, resultando una mayor cantidad de carbonatos, de aspecto blanquecino. Por lo que respecta al reverso, las muestras presentan suciedad diversa de índole terrosa y la presencia de plantas inferiores como algas.

Anexo fotográfico: Moneda

11.3. Anexo fotográfico: Moneda



Muestra Moneda. Localización en muro este interior superior, dentro de una oquedad del revestimiento de la Torre de l’Homenatge. Fuente: ZALBIDEA, 2021.



Muestra Moneda. Momento de la extracción de la moneda. Fuente: ZALBIDEA, 2021.

Anexo fotográfico: Moneda



Muestra Moneda. Anverso. Se puede leer “CENTAS”, el numero “1” y un motivo figurativo. Fuente: CASTELLET, 2021.



Muestra Moneda. Reverso. Un jinete medieval con escudo y espada en alza, debajo “LIETUVA 1991”. Fuente: CASTELLET, 2021.

Moneda de aluminio encontrada en el muro de la *Torre de l’Homenatge*. La moneda fue acuñada en 1991, en Lituania y representa 1 “CENTAS”. En el anverso se muestra escrito el número 1, un escudo y la palabra “CENTAS”. En el reverso, un caballero medieval con escudo y espada en alza y debajo de este, escrito “LIETUVA 1991”. Para mayor información consultar la Web: < <https://www.numismaticabilbao.com/es/51384-lituania-1-centas-1991-caballero-medieval-km85-monedas-de-aluminio-sc-lietuva-lithuania.html> >

Anexo fotográfico: Proceso estratigráfico

11.4. Anexo fotográfico: Proceso estratigráfico

Las estatigrafías de los morteros se realizó en 5 muestras la muestra 1, 2, 4 y 5, además de las muestras pertenecientes al aljibe y un fragmento de cerámica medieval perteneciente a la muestra 5. Se decidió dejar una muestra como testigo (muestra 3). De esta forma, se generaron estratigrafías que posteriormente fueron visualizadas y observadas al microscopio óptico (MO) y analizadas con el Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) y Microscopio electrónico de barrido con dispersión de rayos X (SEM-EDX). Para la realización de cada una de la estratigrafía se englobaron fragmentos de tamaño pequeño de cada una de las muestras con Resina de poliéster transparente (Ferpól 1973) y el catalizador al 2%. Se colocaron cada una de las muestras según estrato el estrato a estudiar y se reservaron. Una vez endurecida, se extrajeron, se cortaron al tamaño deseado con la Dremel® y se lijó la cara a estudiar.



Las estratigrafías se realizaron en el Aula/taller C+R Laboratorio Físico-químico, E-1-10. Facultad de BBAA, (UPV).

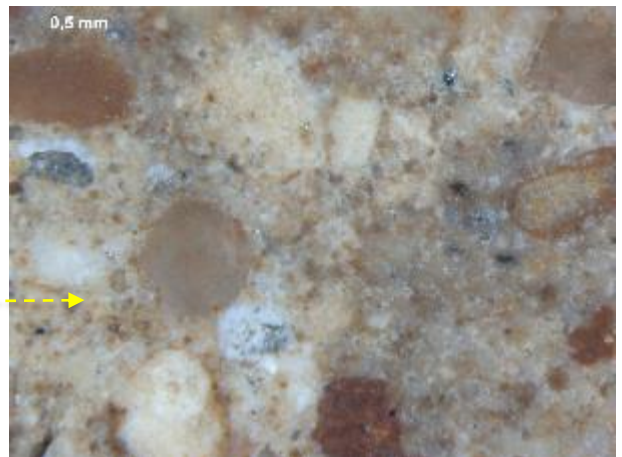
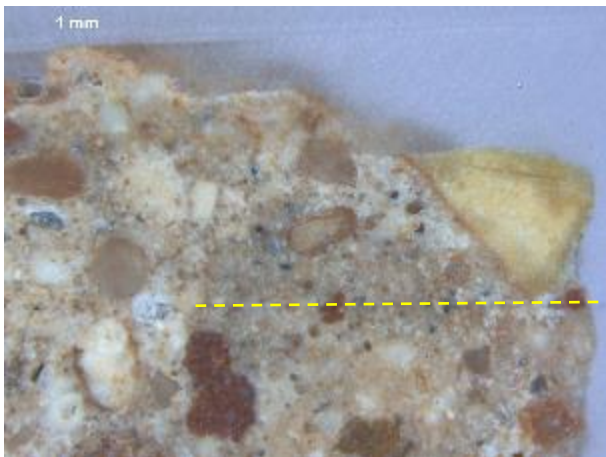
Anexo analítico: MO
MUESTRA - 1

11.5. Anexo analítico: MO

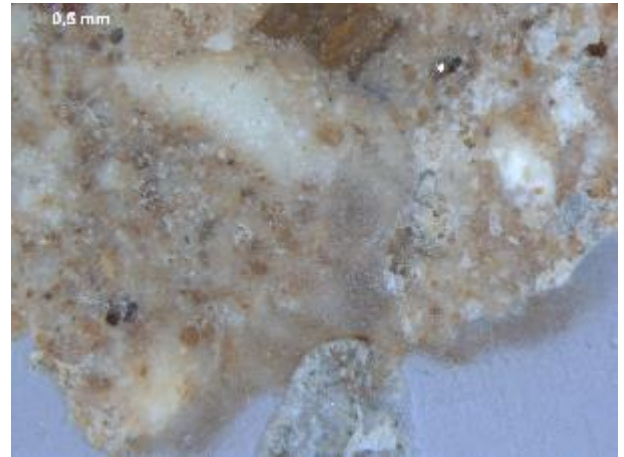
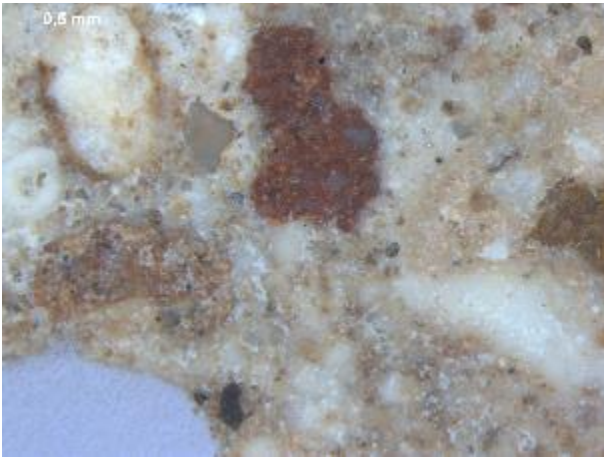
La microscopía óptica es fundamental en el diagnóstico y estudio de los materiales artísticos y arquitectónicos. Aporta datos que permiten estudiar diferentes aspectos formales, así como una aproximación hacia la identificación de materiales que no son perceptibles a simple vista; como tamaño, dispersión o distribución de las partículas tanto de los áridos, como de los conglomerantes y ciertos agregados. Analizar a pequeña escala la presencia de partículas, la homogeneidad o heterogeneidad de las mismas, tamaño o distribución es un factor importantísimo que ayuda a obtener resultados científicos cualitativos, cuantitativos y morfología de los materiales.

MUESTRA – 1

Fuente: Castellet, 2022



Anexo analítico: MO
MUESTRA - 1



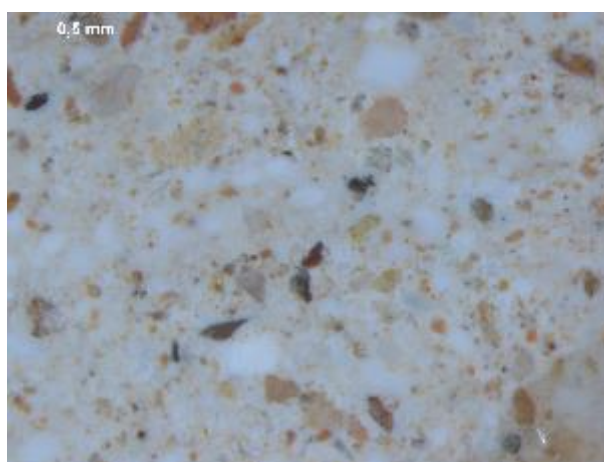
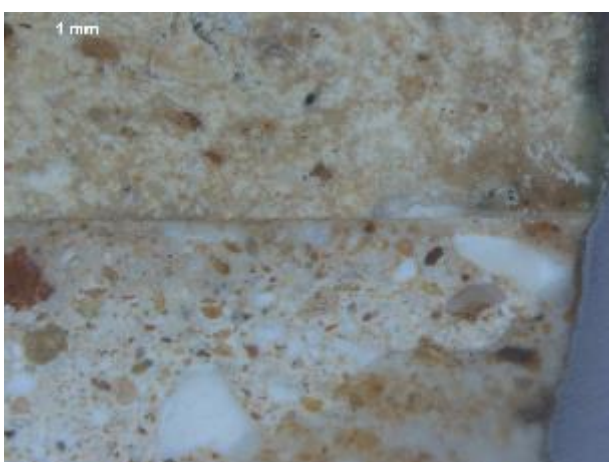
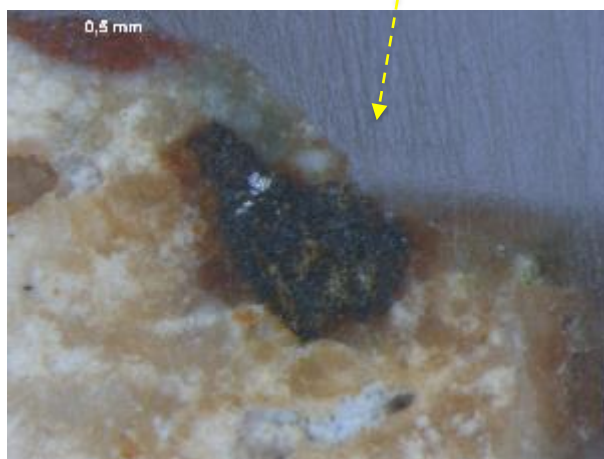
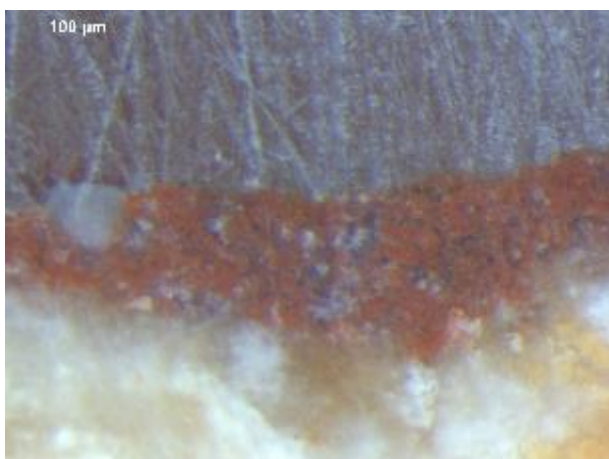
Se aprecia mortero de tono beige-blanco, con agregados de tipo artificial (en la zona inferior) distribución homométrica de partículas de talla muy pequeña, y por estimación visual, los porcentajes de componentes de áridos, es entre 60 - 70% y moderadamente seleccionado. En cuanto al entramado destaca la presencia de un material árido de textura esférica que se distribuye a lo largo de todo el espesor de la muestra llegando a la superficie, se considera flotante y puntual, de porosidad intergranular. El tamaño del árido es variable, entre grava (2 a 256 mm) y arcilla (< 0,004 mm)¹¹¹ se caracteriza por bordes redondeados y una gran parte identificable con aristas vivas (probablemente del triturado del mismo) de forma subangulosa y de esfericidad variable y, sobre este un estrato de acabado de tonalidad rosácea. En cuanto al conglomerante, se aprecia de color grisáceo / beige. Es decir, se trata de un material pétreo compuesto de conglomerante aéreo. Macroscópicamente se aprecia un árido muy irregular.

111 DOMÉNECH, Teresa. Microscopía óptica. Unidad didáctica 5, Apuntes de la asignatura de Máster en CRBC, UPV, 2020. p. 14

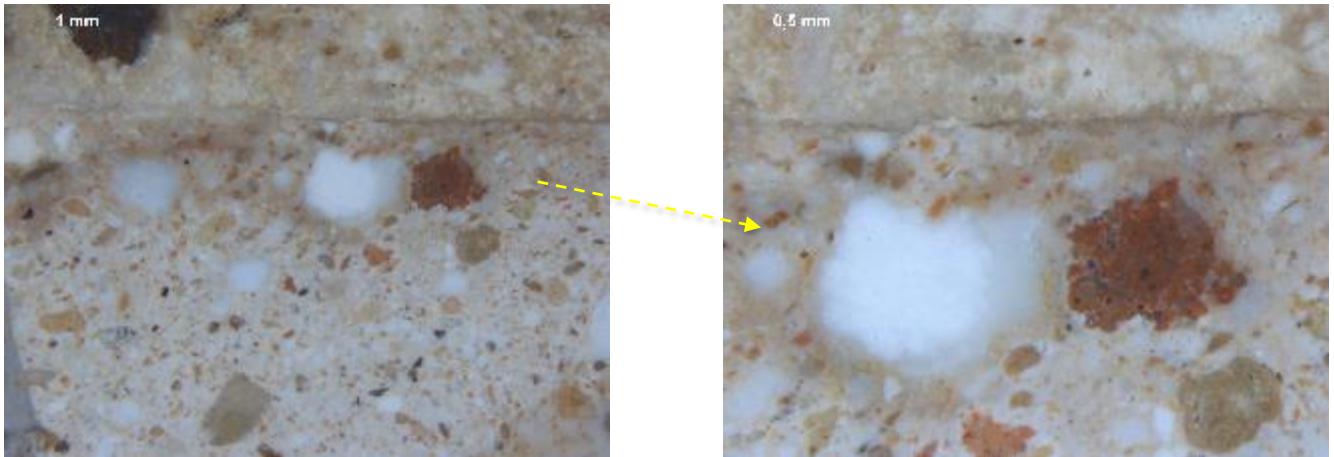
Anexo analítico: MO
MUESTRA - Aljibe

MUESTRA – Aljibe

Fuente: Castellet, 2022



Anexo analítico: MO
MUESTRA - Aljibe

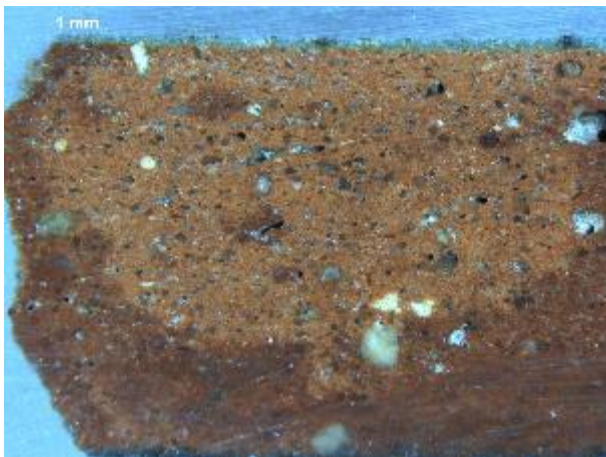
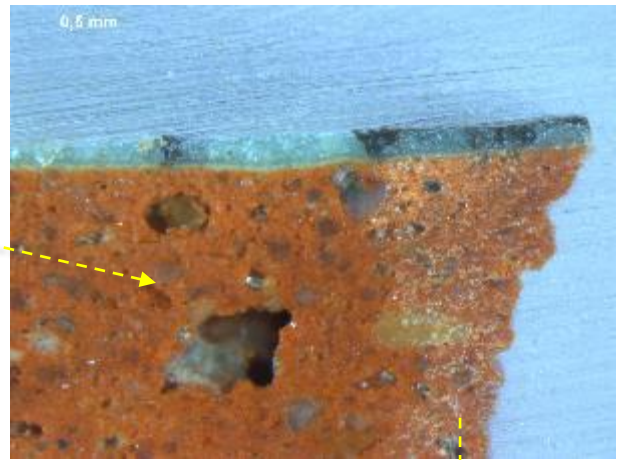
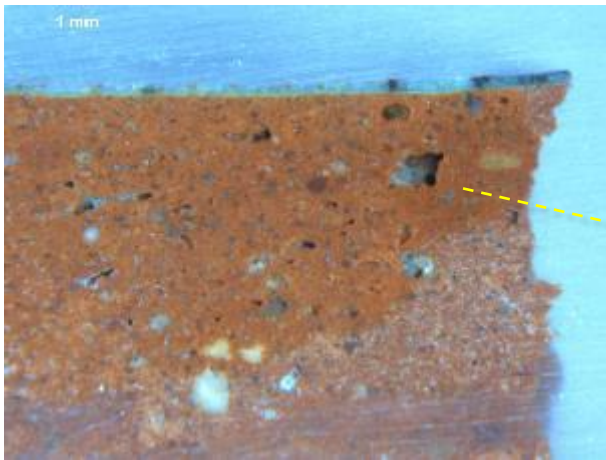


En la muestra del aljibe, se aprecian dos fases constructivas bien diferenciadas en porcentaje de áridos, tamaño y selección, además de por el conglomerante. La primera fase, de poca presencia de terrígenos y aloquímicos y mayor presencia de ortoquímicos, por lo que, predomina una distribución homométrica de partículas indiscernibles. El porcentaje de componentes, oscila entre 2 y 5% de entramado flotante. Se observa en zona cercana a la superficie, partículas de óxido de hierro de color negro. Color beige del conglomerante. La fase dos, con mayor presencia de terrígenos y aloquímicos respecto a los ortoquímicos. Las partículas de tamaño variable (arena gruesa hasta arcilla), de forma subangular y redondeada con un 50% de los componentes. Predomina el color variado de los áridos (blanco, beige, rojo, amarillo y negro) y el color blanquecino del conglomerante.

Anexo analítico: MO
MUESTRA -Cerámica

MUESTRA – Cerámica

Fuente: Castellet, 2022



Predomina el color naranja de la pasta cerámica, con un porcentaje de los componentes del 20% de tamaño entre arena fina y arcilla. Se aprecian cavidades

Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

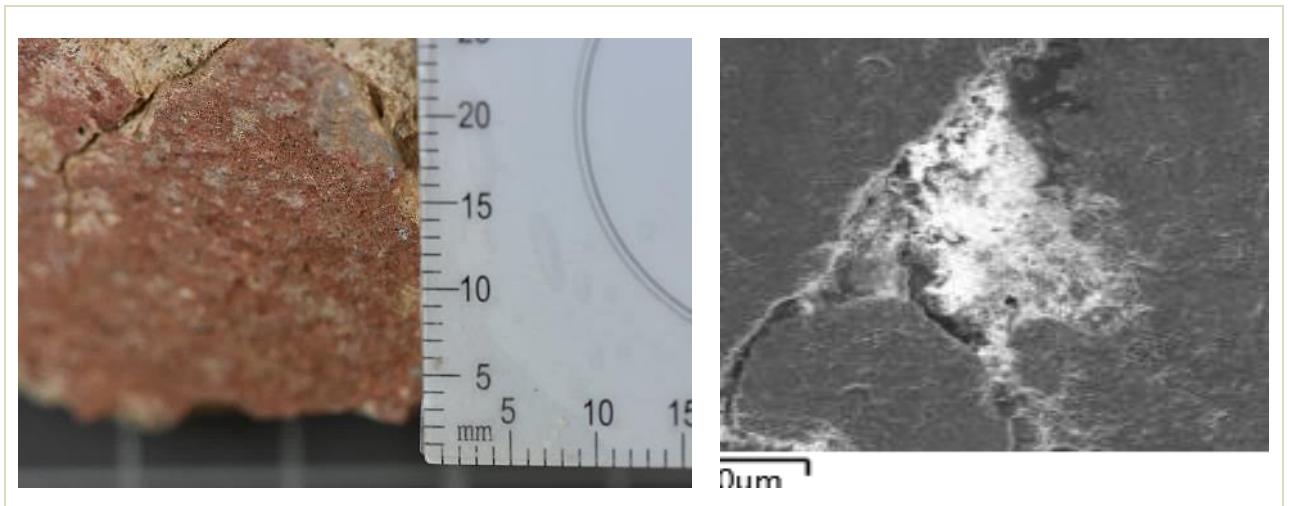
11.6. Anexo analítico: SEM-EDX

MUESTRA - Aljibe

Se aprecia en la cara exterior de la muestra un mortero uniforme y relativamente pulido de tonalidad preminente rojiza. Como se aprecia en los análisis realizados al SEM-EDX, la intensidad tonal que se aprecia no depende tanto de la cantidad de hierro presente en el estrato superficial, sino del efecto de percepción del color a través de la observación global de la zona y no del microanálisis como es el caso. Ya que, como se aprecia la cantidad de óxidos de hierro presentes oscila entre un 0,00153-29,13.

Como se aprecia en el análisis y espectro 8, el óxido de hierro se concentra en el exterior (estrato superficial), se estima así que es un estrato de acabado sobre un estrato de mortero de cal preminentemente área. El microscopio propone la Wollastonita como mineral analizado, pero esta opción es bastante improbable debido a que los yacimientos de este mineral se encuentran muy lejanos al caso de estudio (consultar: <https://www.mindat.org/locentries.php?m=4323&p=5536>). Como se ha comentado anteriormente estamos frente a un mortero “hidraulificado” con mezcla de cuarzo en su composición que aporta dureza a la estructura y resistencia al agua.

Texto en trabajo- (arriba) leer algo sobre los óxidos de hierro- refere. Tona uso de óxidos de hierro en pintura.



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

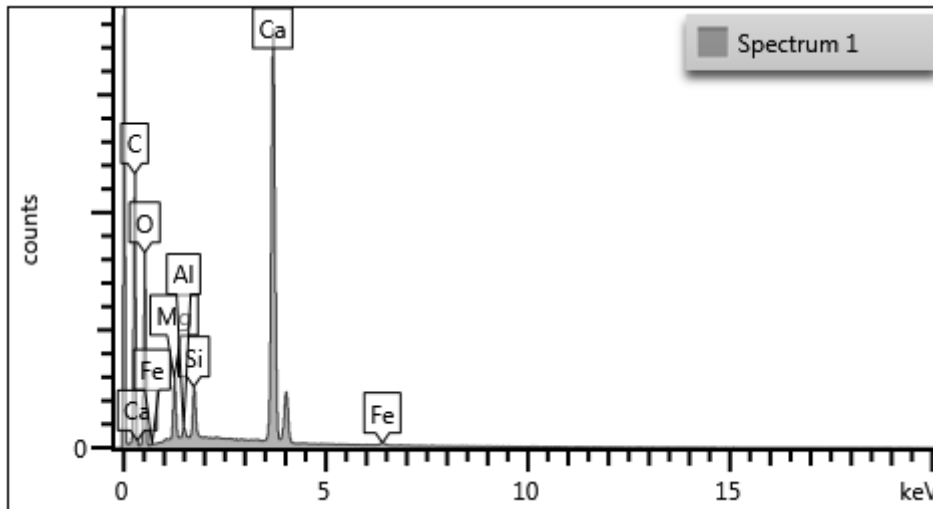
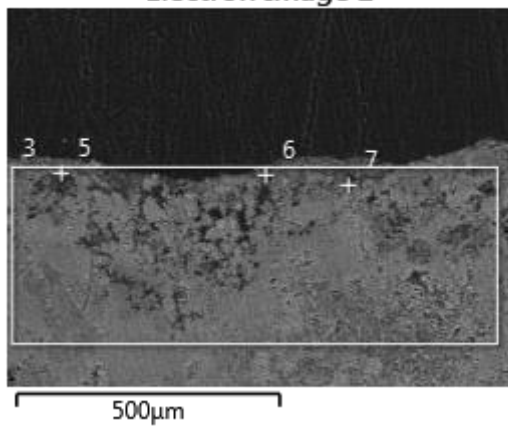


Tabla correspondiente al *spectrum 1*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	13,27	0,04465	54,96	0,28	SiO ₂
Mg	K series	1,5	0,00998	4,15	0,08	MgO
Al	K series	0,23	0,00165	0,57	0,05	Al ₂ O ₃
Si	K series	1,25	0,00987	2,7	0,06	SiO ₂
Ca	K series	20,96	0,18731	37,03	0,24	Wollastonite
Fe	K series	0,26	0,00264	0,6	0,08	Fe

Total: 100

Electron Image 2



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

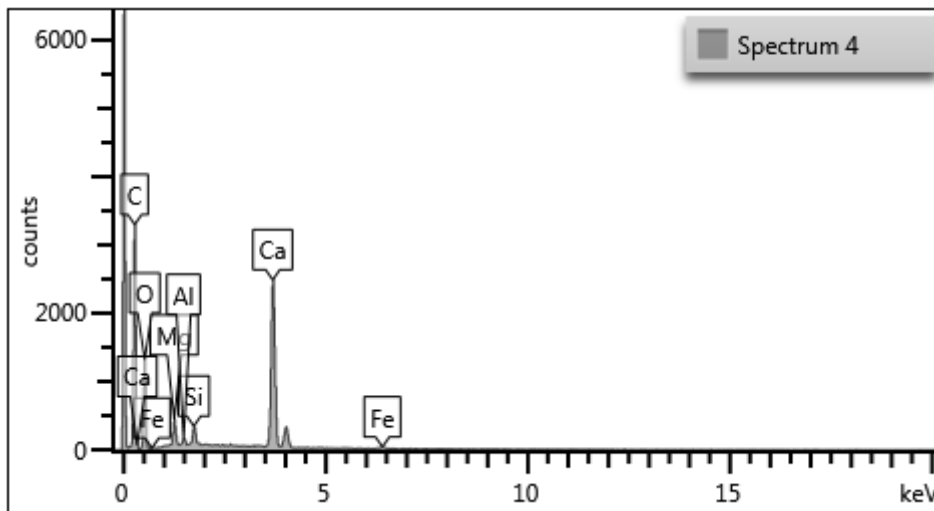


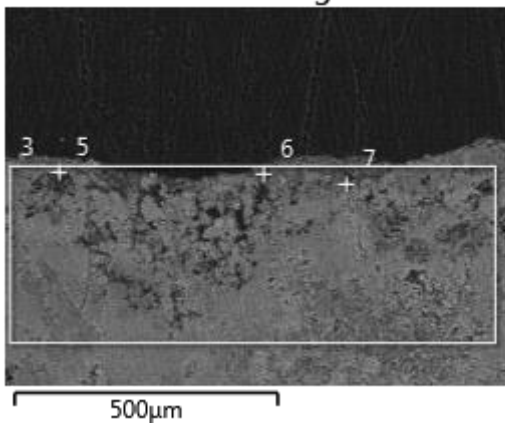
Tabla correspondiente al *spectrum 4*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	5,88	0,0198	56,31	0,72	SiO2
Mg	K series	0,62	0,00411	4,13	0,23	MgO
Al	K series	0,16	0,00117	0,97	0,14	Al2O3
Si	K series	0,43	0,00342	2,27	0,16	SiO2
Ca	K series	8,34	0,07448	35,49	0,61	Wollastonite
Fe	K series	0,15	0,00153	0,83	0,23	Fe

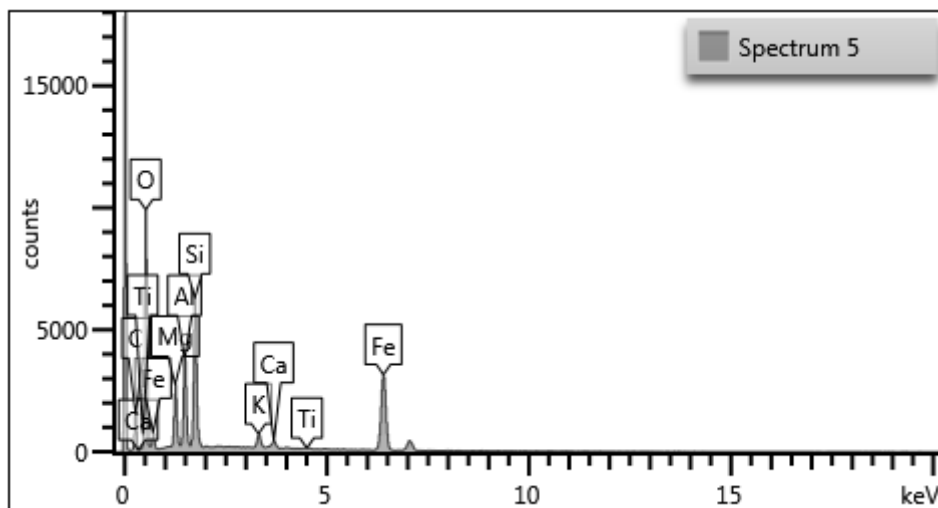
Total:

100

Electron Image 2



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

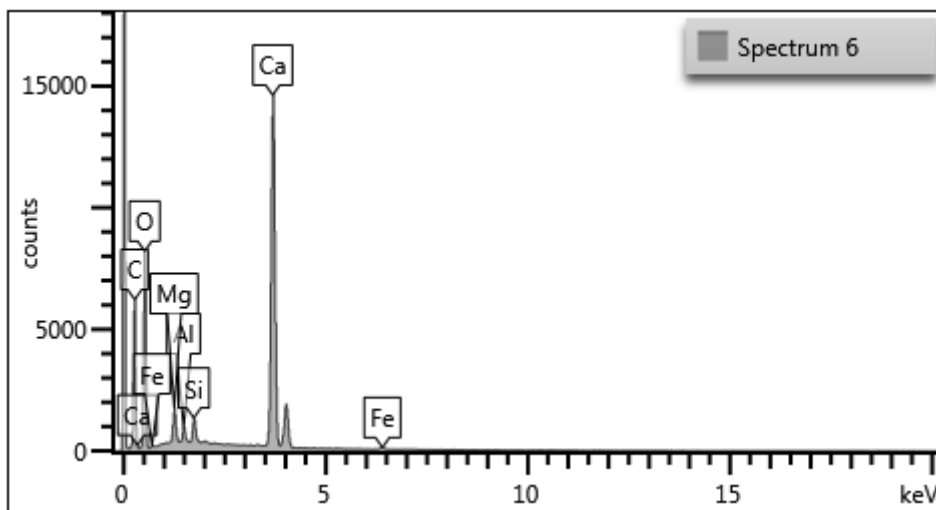
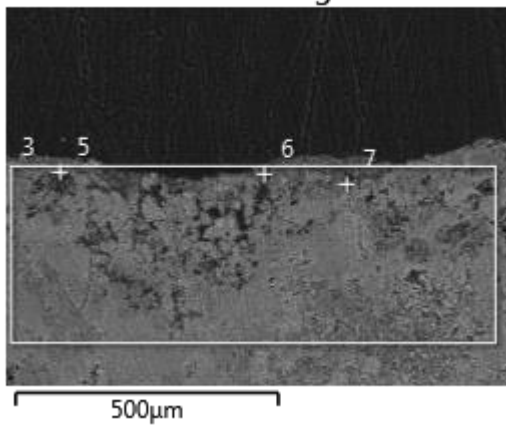


Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

Tabla correspondiente al *spectrum 5*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	16,09	0,05416	39,04	0,28	SiO2
Mg	K series	1,46	0,00965	6,63	0,13	MgO
Al	K series	2,1	0,01506	8,68	0,13	Al2O3
Si	K series	3,48	0,02758	13,64	0,15	SiO2
K	K series	0,6	0,00507	1,66	0,07	KBr
Ca	K series	0,35	0,00313	0,97	0,06	Wollastonite
Ti	K series	0,08	0,00078	0,25	0,06	Ti
Fe	K series	9,08	0,09078	29,13	0,25	Fe
Total:				100		

Electron Image 2

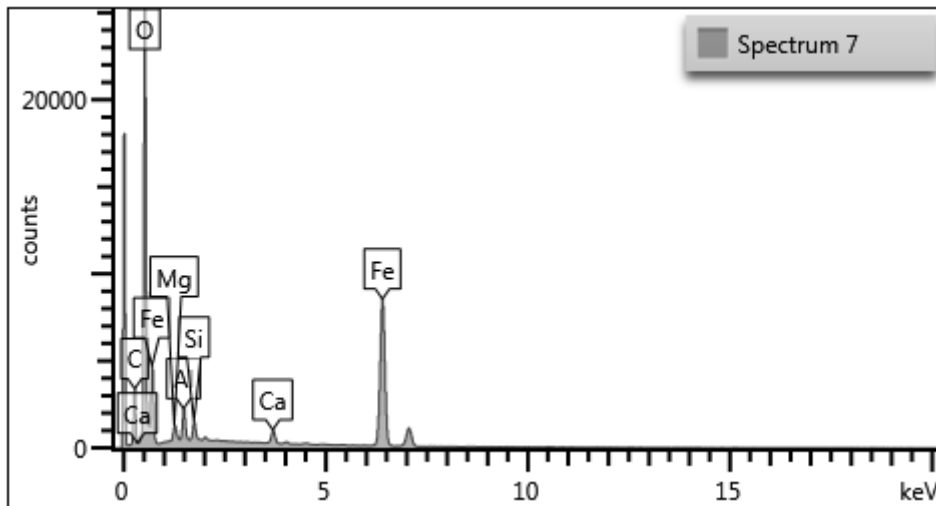
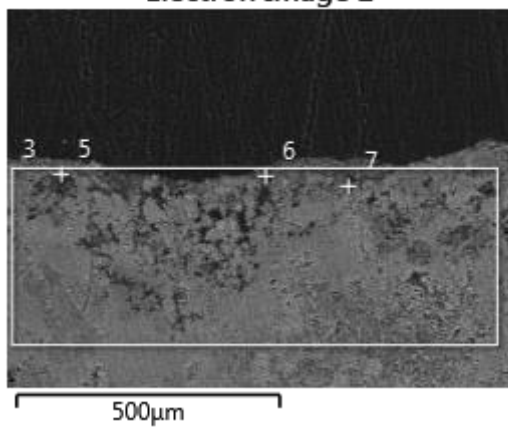


Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

Tabla correspondiente al *spectrum 6*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	13,24	0,04455	59,29	0,28	SiO2
Mg	K series	0,8	0,00529	2,57	0,08	MgO
Al	K series	0,35	0,0025	0,98	0,06	Al2O3
Si	K series	0,57	0,00454	1,43	0,05	SiO2
Ca	K series	17,4	0,1555	35,25	0,25	Wollastonite
Fe	K series	0,19	0,00188	0,49	0,07	Fe

Electron Image 2



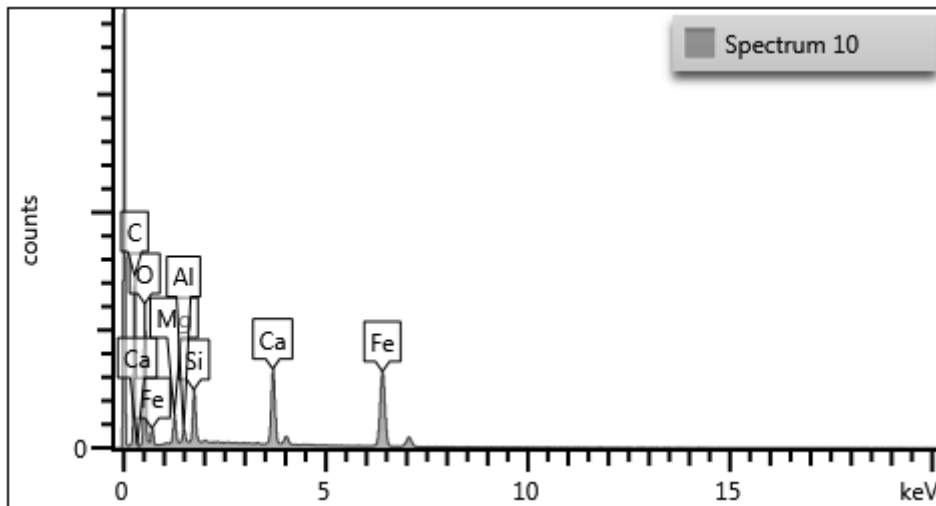
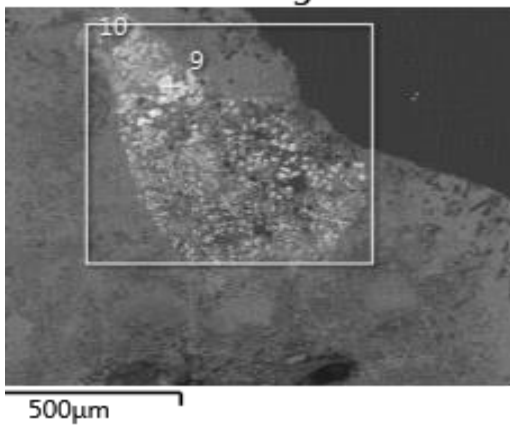
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

Tabla correspondiente al *spectrum 7*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	40,51	0,13631	44,21	0,21	SiO2
Mg	K series	0,48	0,00315	1,73	0,09	MgO
Al	K series	1,07	0,00768	3,16	0,08	Al2O3
Si	K series	0,61	0,00487	1,55	0,06	SiO2
Ca	K series	0,91	0,0081	1,48	0,05	Wollastonite
Fe	K series	24,42	0,24416	47,87	0,21	Fe

Total: 100

Electron Image 4



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

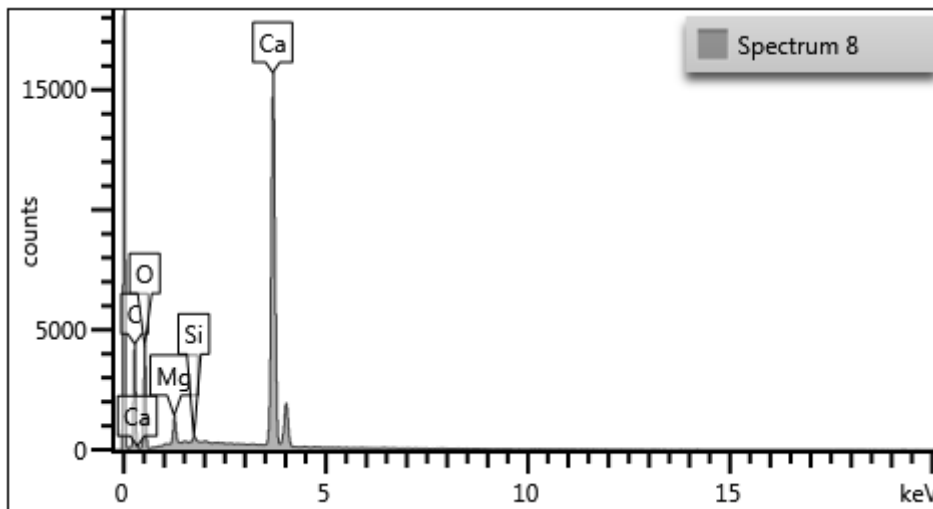
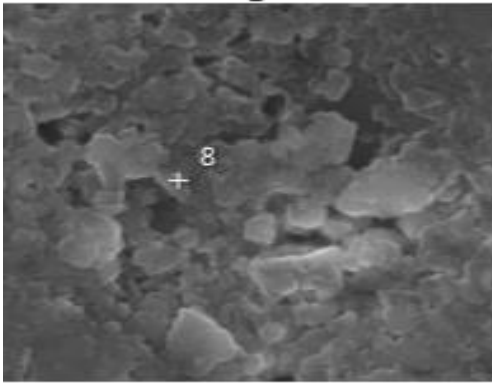
Tabla correspondiente al spectrum 10.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	9,69	0,03261	38,24	0,34	SiO2
Mg	K series	0,7	0,00466	4,64	0,14	MgO
Al	K series	0,3	0,00216	1,7	0,09	Al2O3
Si	K series	1,28	0,01014	6,16	0,12	SiO2
Ca	K series	3,73	0,03328	12,39	0,15	Wollastonite
Fe	K series	9,15	0,09152	36,87	0,31	Fe

Total:

100

Electron Image 3



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Aljibe

Tabla correspondiente al *spectrum 8*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	6,94	0,02335	50,28	0,37	SiO ₂
Mg	K series	0,66	0,0044	2,68	0,09	MgO
Si	K series	0,13	0,00105	0,41	0,05	SiO ₂
Ca	K series	18,53	0,16556	46,63	0,35	Wollastonite

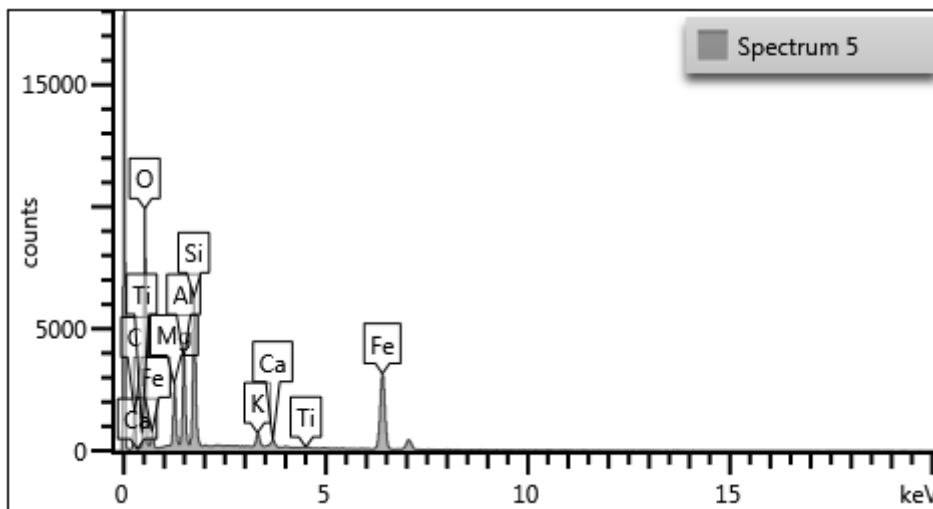
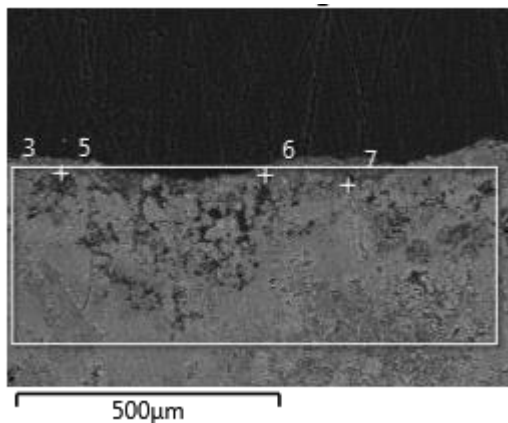
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Cerámica

MUESTRA - Cerámica

En el corte transversal de la muestra se observan abundantes clastos detríticos de todos los tamaños, incluso aparecen fragmentos de roca (sílicea) y chamotas de granos diferentes. Se aprecian distintos clastos; Finos: partículas entre 60 μm - 2mm, Arenilla: partículas entre 2 μm - 60 μm , y Arcillas de partículas inferiores a 2 μm . Al realizar el corte para la preparación de la estratigrafía, la superficie ha quedado lisa, aún así se perciben abundantes clastos de tamaño muy fino, de cuarzo y feldespato (esta información se confirmará en el SEM-EDX; que además detecta elementos como aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), titanio (Ti) y manganeso (Mn), que son integrantes mayoritarios y minoritarios de las pastas arcillosas). Aunque el porcentaje de calcio es muy variable en análisis por spot, se puede confirmar que nos encontramos con un tipo de pasta muy calcárea con esmaltado o vidriado, que ayuda a su datación. Como ha sucedido con la muestra de mortero (1). El microscopio propone la Wollastonita como mineral analizado, pero esta opción es bastante improbable debido a que los yacimientos de este mineral se encuentran muy lejanos al caso de estudio (consultar: <https://www.mindat.org/locentries.php?m=4323&p=5536>).

Aparentemente, a simple vista, la muestra presenta un buen estado de conservación; no se observan grietas ni fisuras y la estructura parece densa y compacta.

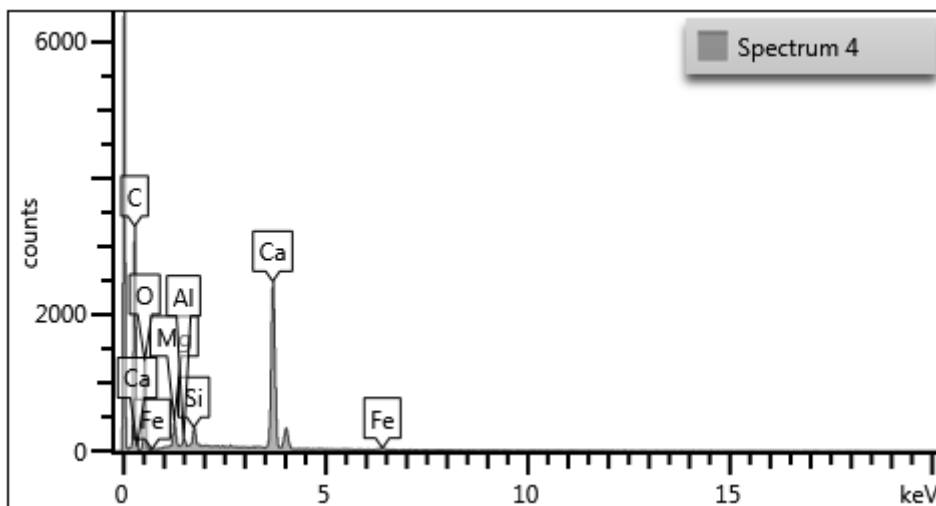
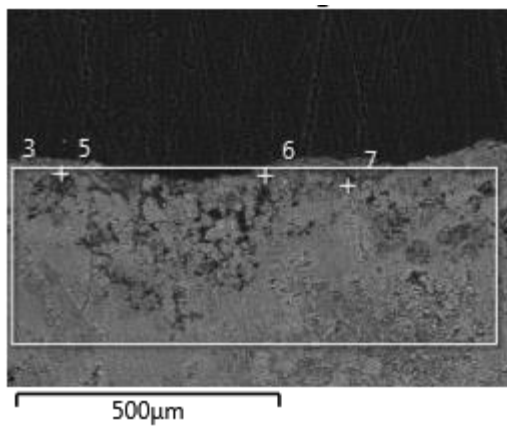
Se aprecian pocas oquedades con aspecto cavernoso, debido a descarbonatación de la calcita durante la cocción. Debido al pulido, éstas han quedado con aspecto blanquecino; aspecto muy habitual debido al proceso de trabajo de la muestra (al lijado de la misma).



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Cerámica

Tabla correspondiente al *spectrum 5*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	16,09	0,05416	39,04	0,28	SiO2
Mg	K series	1,46	0,00965	6,63	0,13	MgO
Al	K series	2,1	0,01506	8,68	0,13	Al2O3
Si	K series	3,48	0,02758	13,64	0,15	SiO2
K	K series	0,6	0,00507	1,66	0,07	KBr
Ca	K series	0,35	0,00313	0,97	0,06	Wollastonite
Ti	K series	0,08	0,00078	0,25	0,06	Ti
Fe	K series	9,08	0,09078	29,13	0,25	Fe
Total:				100		



Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -Cerámica

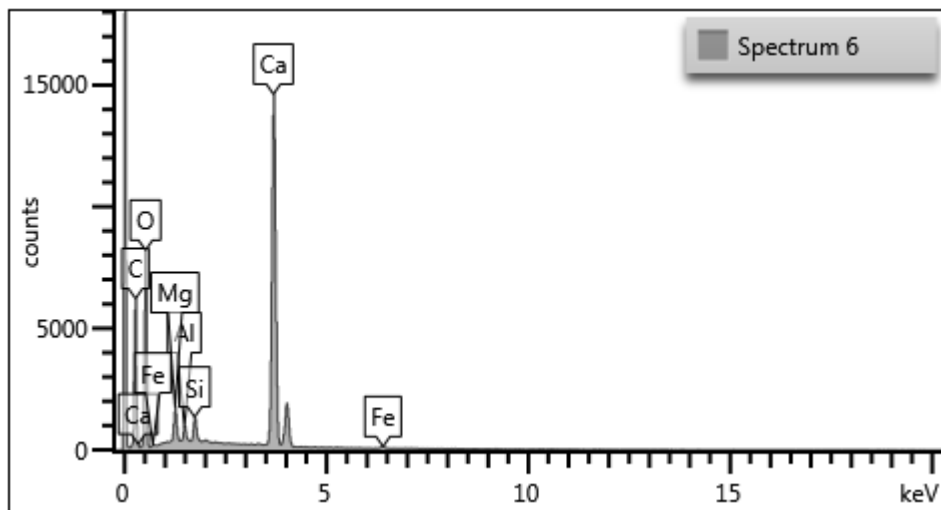
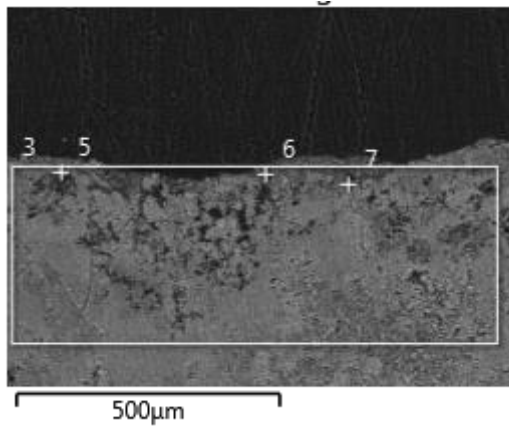


Tabla correspondiente al *spectrum 6*.

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	13,24	0,04455	59,29	0,28	SiO ₂
Mg	K series	0,8	0,00529	2,57	0,08	MgO
Al	K series	0,35	0,0025	0,98	0,06	Al ₂ O ₃
Si	K series	0,57	0,00454	1,43	0,05	SiO ₂
Ca	K series	17,4	0,1555	35,25	0,25	Wollastonite
Fe	K series	0,19	0,00188	0,49	0,07	Fe

Total:

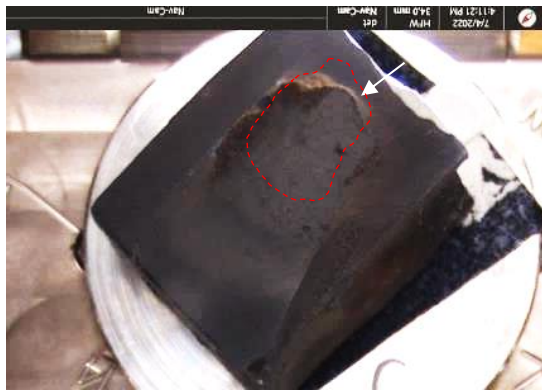
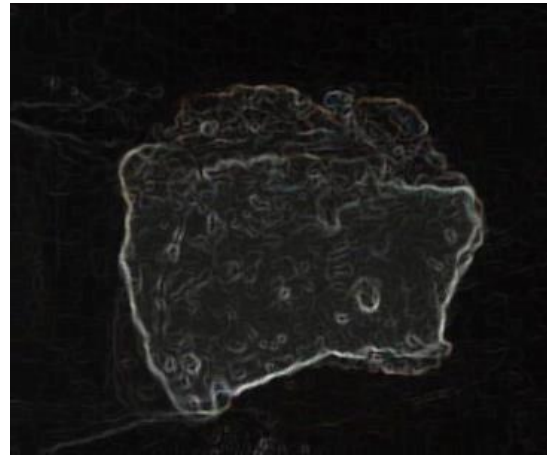
100

Anexo analítico: FESEM
MUESTRA -M-1

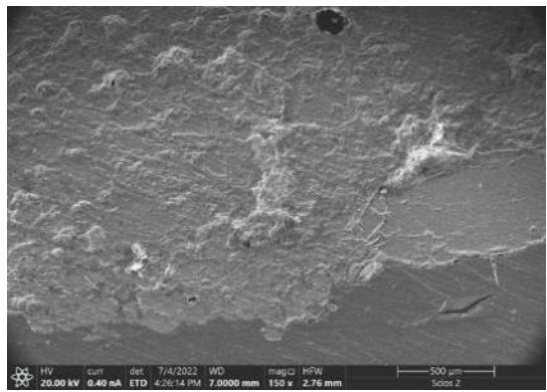
11.7. Anexo analítico: FESEM



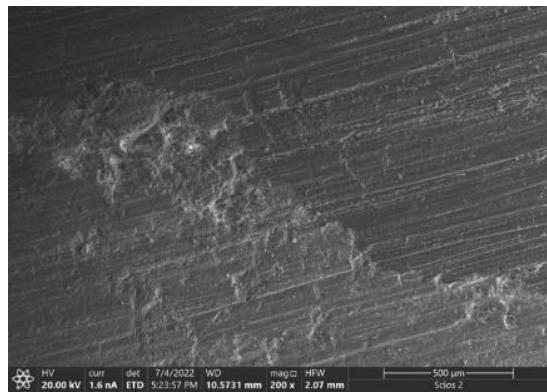
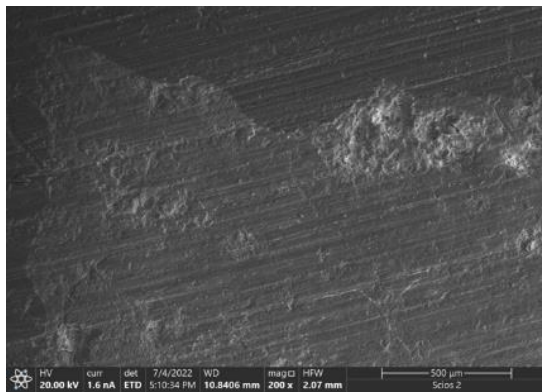
ESTRATIGRAFÍA M. 1



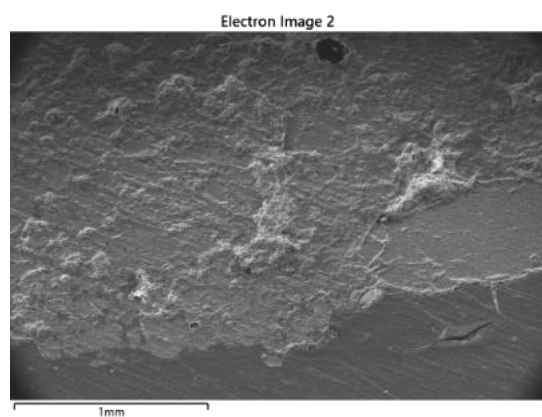
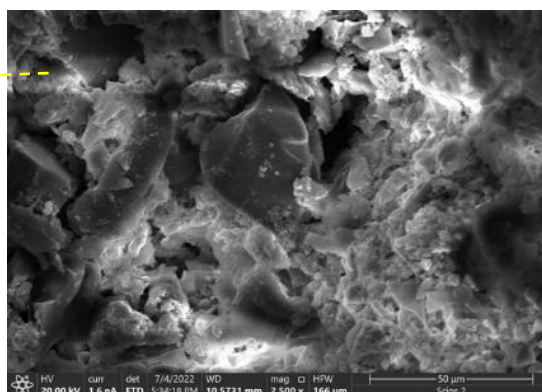
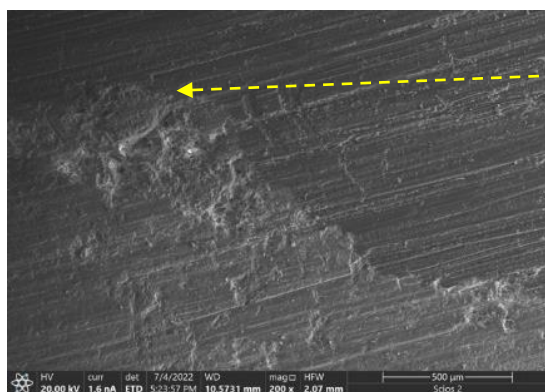
Gran Caliche



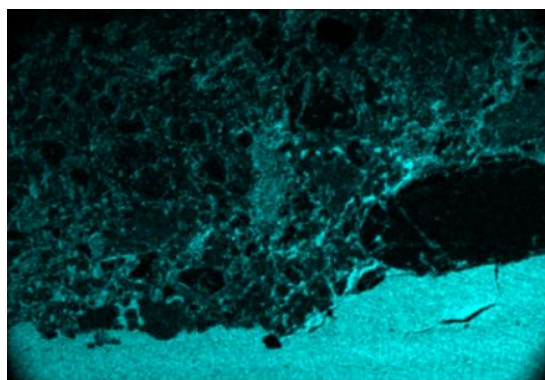
ANÁLISIS M1. (M.1)



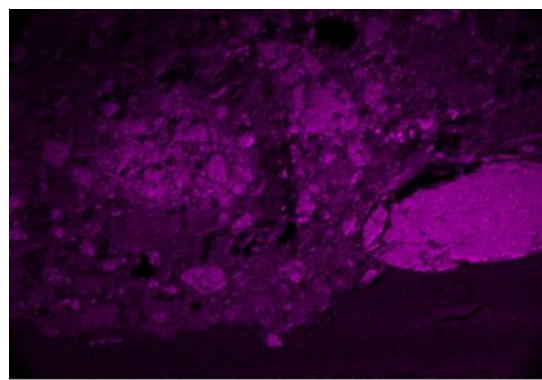
Anexo analítico: FESEM
MUESTRA -M-1



ANALISIS 1

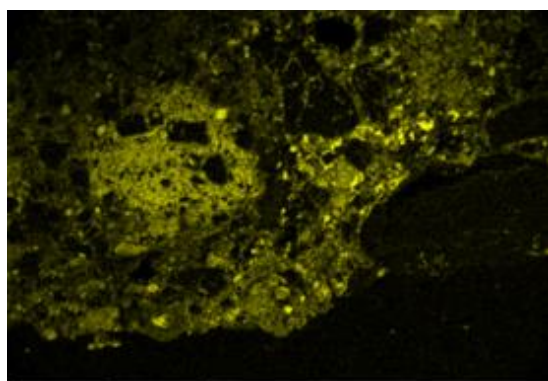


C

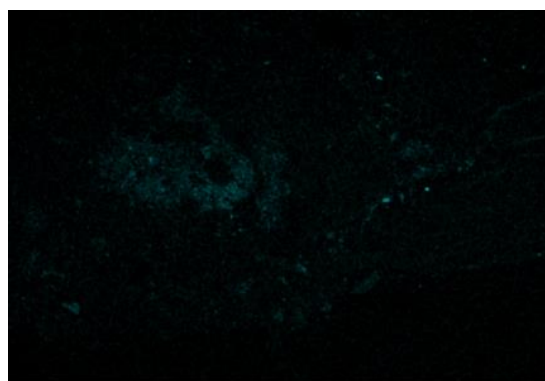


O

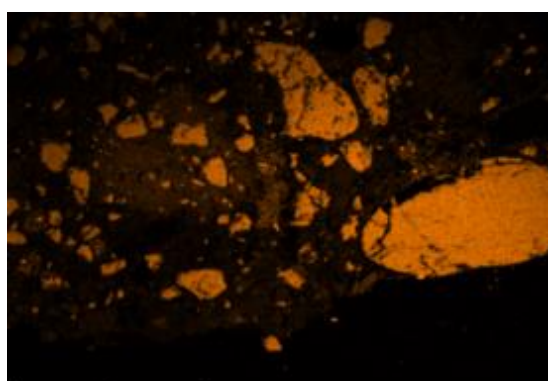
Anexo analítico: FESEM
MUESTRA -M-1



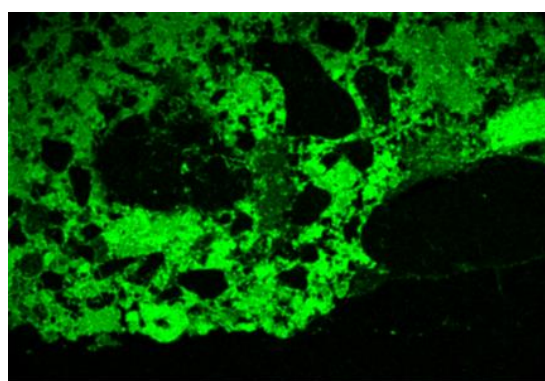
Mg



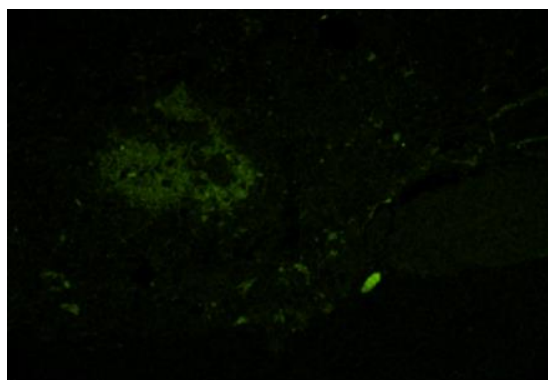
Fe



Si

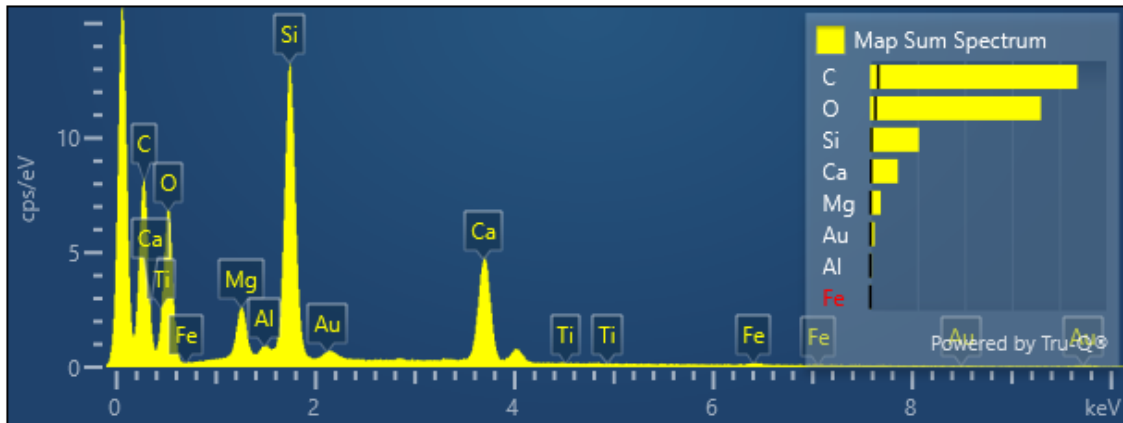


Ca



Al

Anexo analítico: FESEM
MUESTRA -M-1



Las imágenes de la sección transversal de las muestras de mortero mediante MO ya revelaban la presencia de un mortero de tonalidad beige-blanco que se constituye de agregados de tipo artificial (en la zona inferior) y sobre este un estrato de acabado de tonalidad rosácea. Este dato es confirmado por los análisis realizados al microscopio electrónico; es decir, se trata de un material pétreo compuesto de conglomerante aéreo. Macroscópicamente se aprecia un árido muy irregular; clastos tipo grava de talla predominantemente grande y tonalidad uniforme (beige) y trazas de magnesio, aluminio, hierro y titanio (ya que el oro-paladio es del recubrimiento de la muestra). Destaca la presencia de un material árido de textura esférica que se distribuye a lo largo de todo el espesor de la muestra llegando a la superficie. La morfología de los áridos se caracteriza por bordes redondeados (arenas de río -probablemente el Vaca-) y una gran parte identificable con aristas vivas (probablemente del triturado del mismo; ver imágenes superiores de la Muestra 1).

Son visibles caliches que aparecen a modo de terrones de color blanco incrustados en todas las muestras, en este caso de grandes dimensiones (imagen superior indicado con línea discontinua rojas).

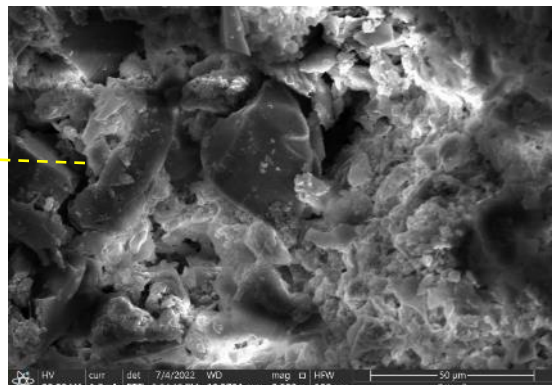
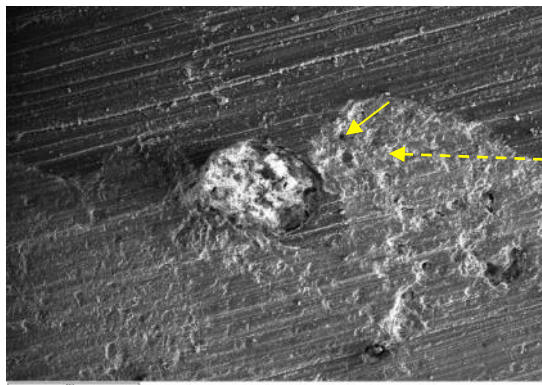
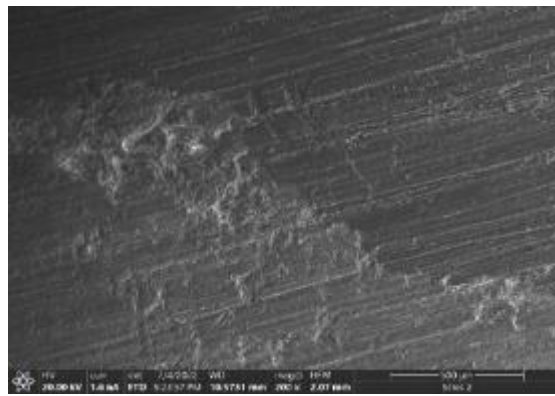
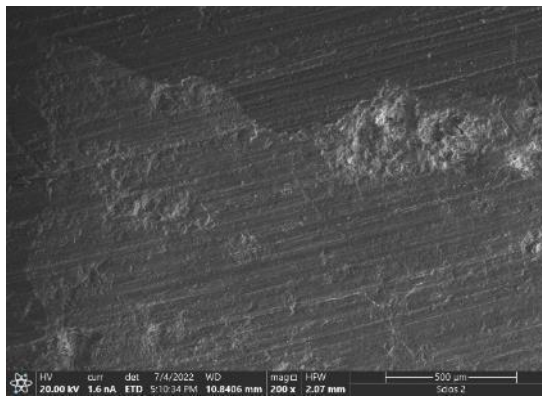
La caracterización química elemental de esta muestra mediante Microscopía Electrónica de Barrido Emisión de Campo (FESEM) ha permitido identificar la presencia de carbonato cálcico como material aglomerante del mortero (tanto en análisis de spot - como en el análisis de área - los porcentajes son adecuados), el hecho de que el magnesio acompañe a este carbonato denota una cal poco rica en carbonatos de calcio y por lo tanto una cal marga. El árido presenta una naturaleza mixta, silícea (cuarzo y aluminosilicatos). Es evidente que el uso de la arena de cuarzo debido a la gran presencia de Sílice. En algunos casos el aluminio y hierro se detectan, pero se pueden considerar trazas. Estos resultados se han corroborado tanto en las correspondientes distribuciones puntuales de elementos, como en los análisis puntuales realizados.

La tonalidad marrón (de los áridos) e incluso casi negra viene dada por la concentración en la zona de los aluminosilicatos. La combinación de la sílice con los materiales traza (titanio, hierro y en mayor medida aluminio y magnesio) genera cristales de tonalidades varias, como se aprecia en la sección estratigráfica (ver imágenes superiores). Este efecto es apreciable en todas las muestras, en la M-1 se concentran estos elementos en superficie, pero en las demás muestras; M-1-1; M-2; M-4 y M-5, en la que detecta también trazas de potasio se generando áridos feldespatoideos (de la muestra 1 hay dos estratigrafías, nombradas como: M-1 y M-1-1).

Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1

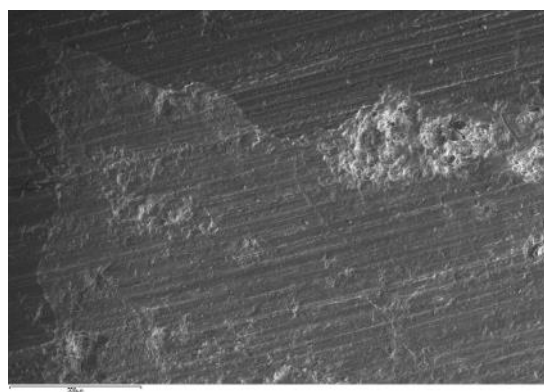
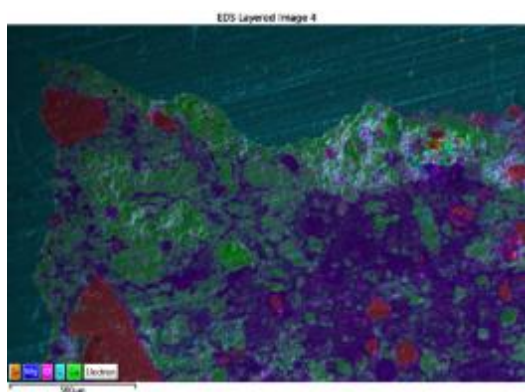


ESTRATIGRAFÍA M1-1

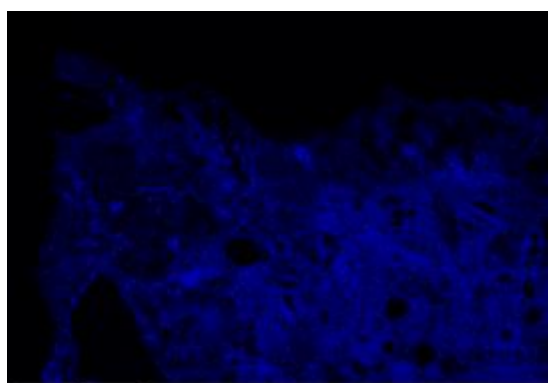


Gran Caliche

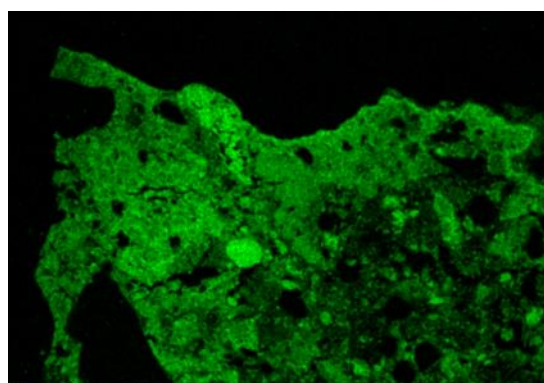
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1



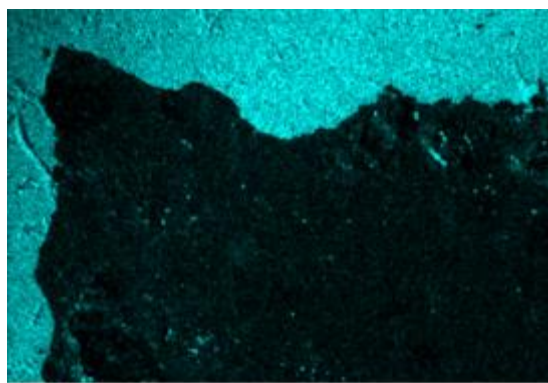
ANALISIS 1 (M.1-1)



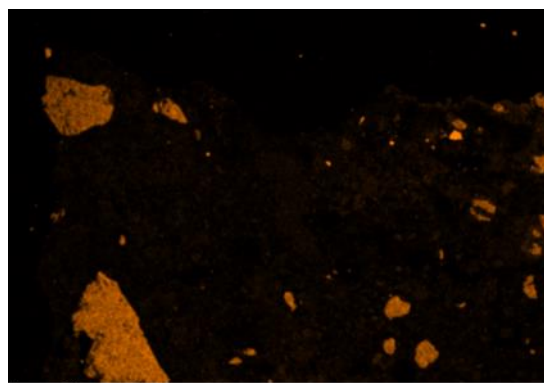
Mg



Ca

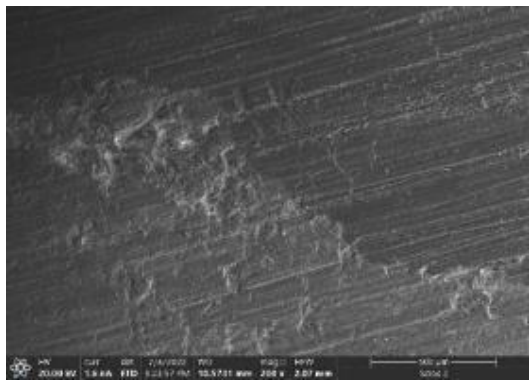
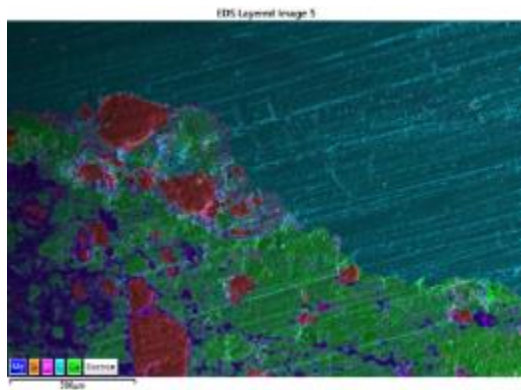
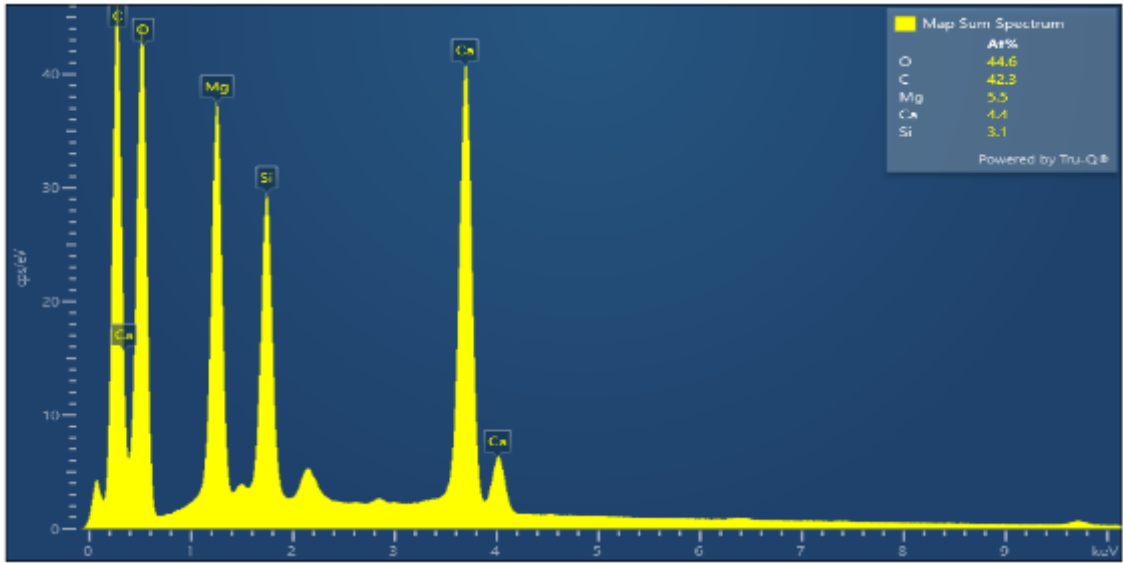


C



Si

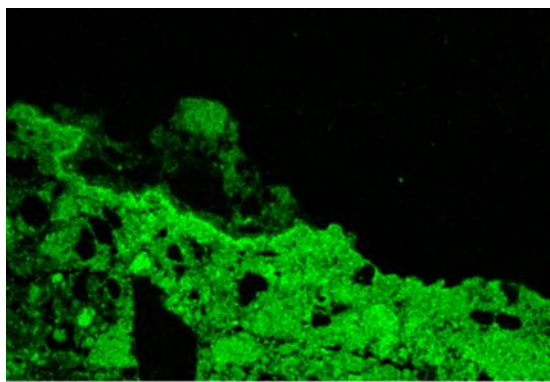
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1



ANALISIS 2 (M.1-1)

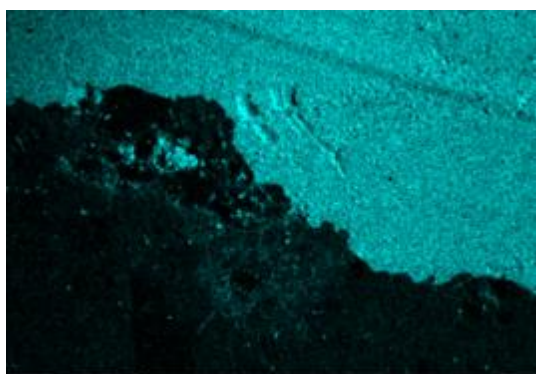


Mg

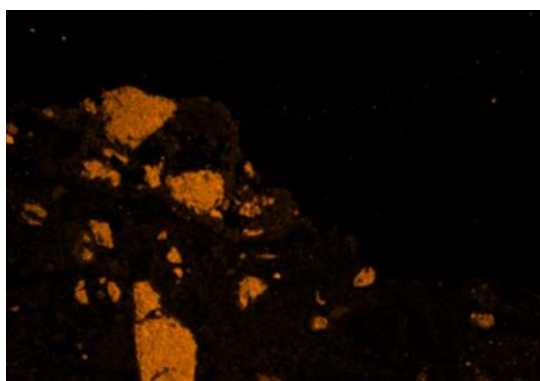


Ca

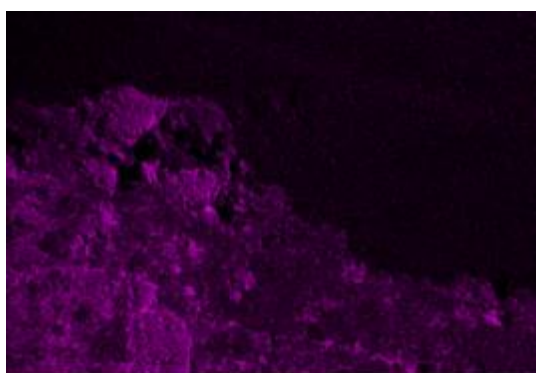
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1



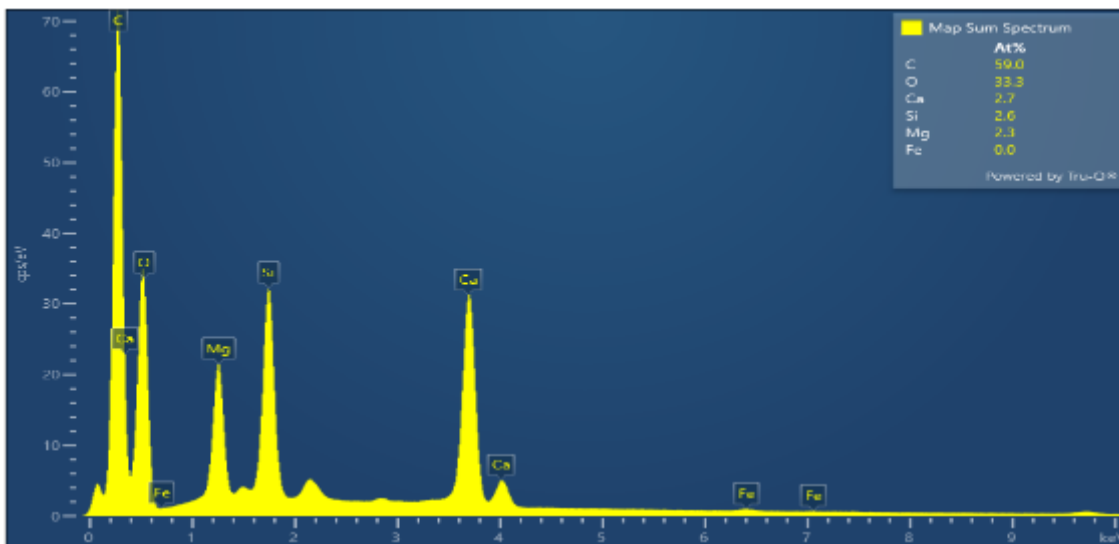
C



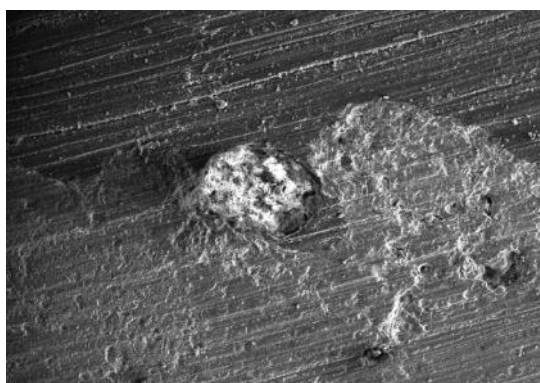
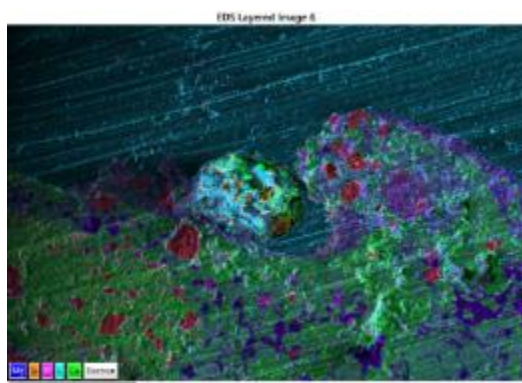
Si



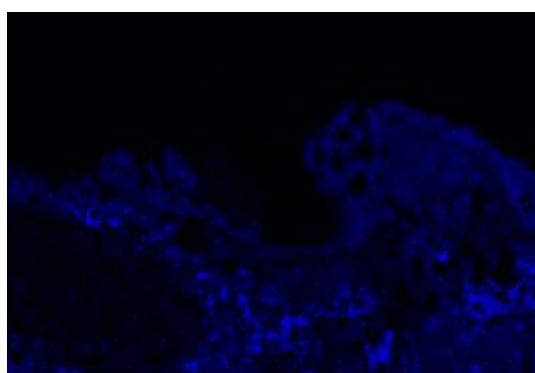
O



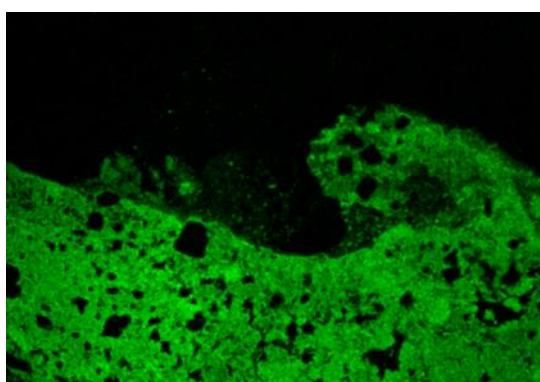
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1



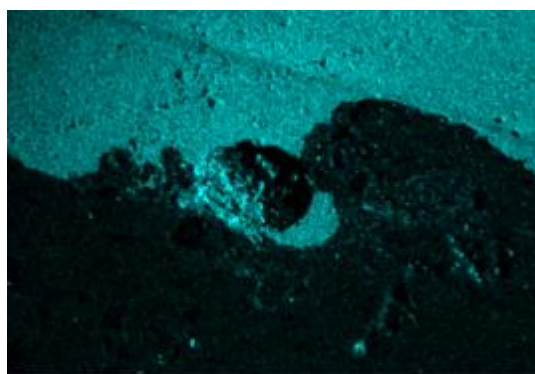
ANALISIS 3 (M.1-1)



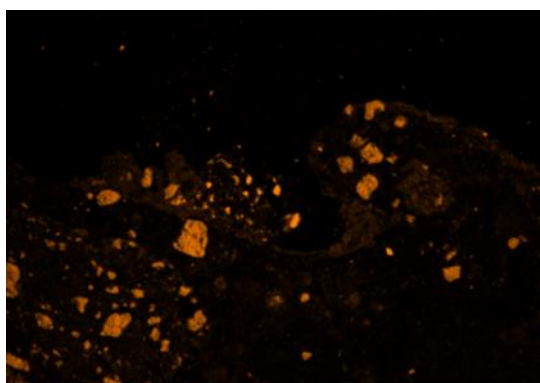
Mg



Ca

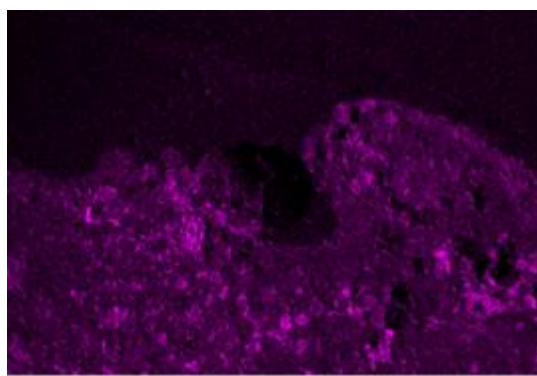


C

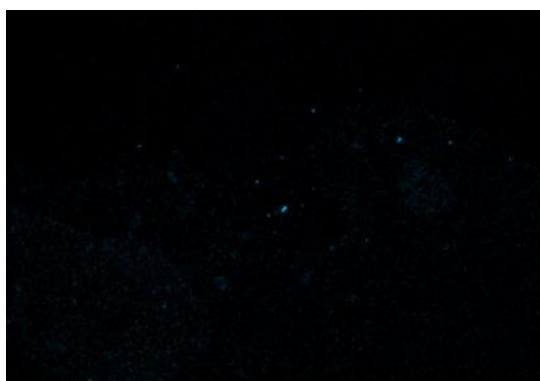


Si

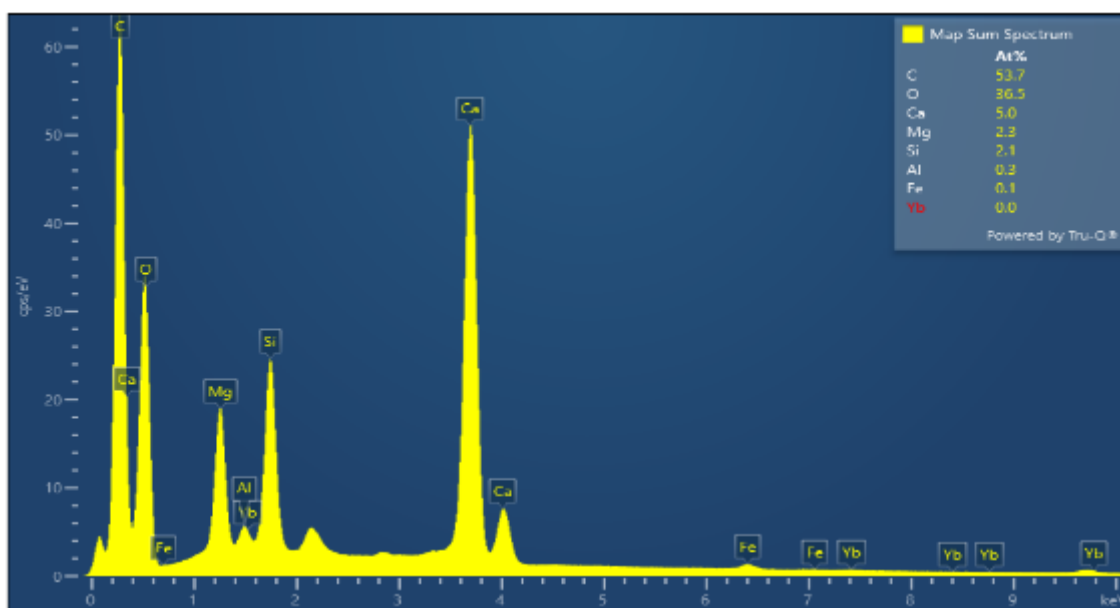
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-1-1



O



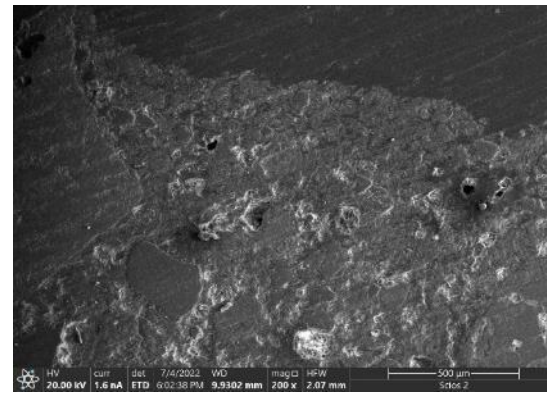
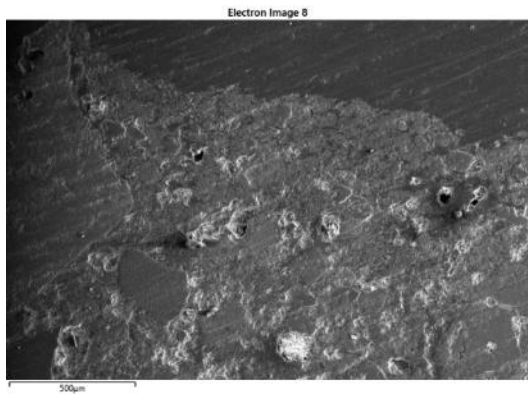
Fe



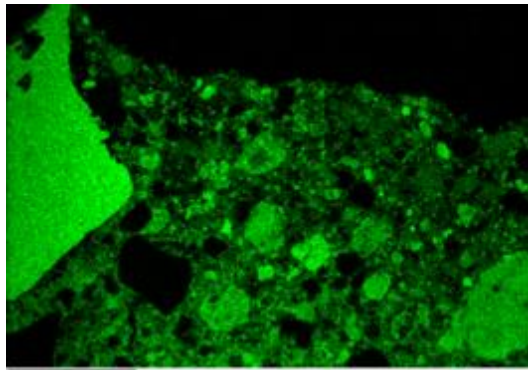
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-2



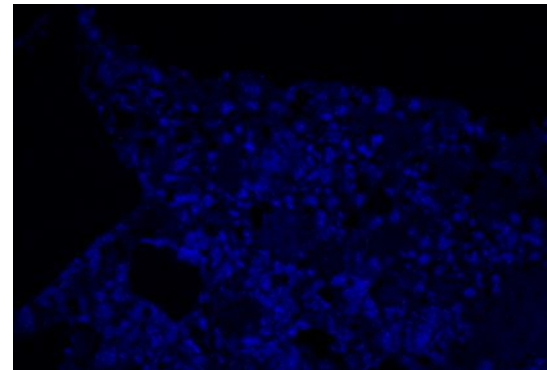
ESTATIGRAFIA M.2



ANALISIS 1

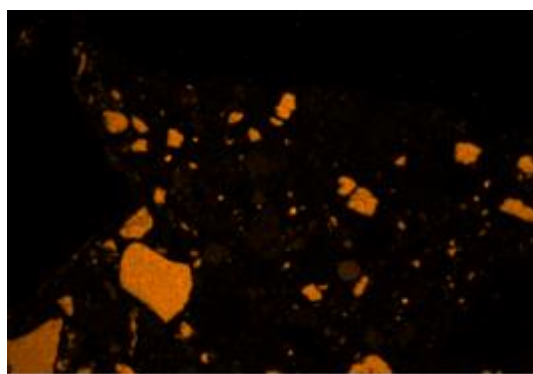


Ca

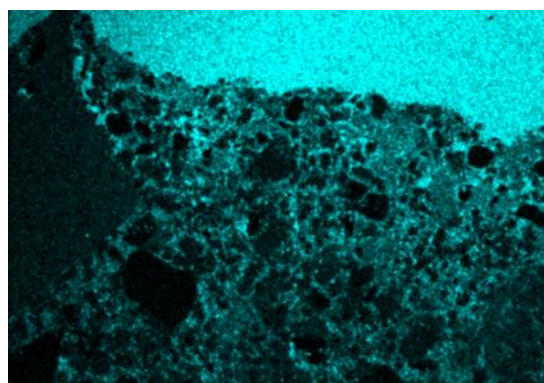


Mg

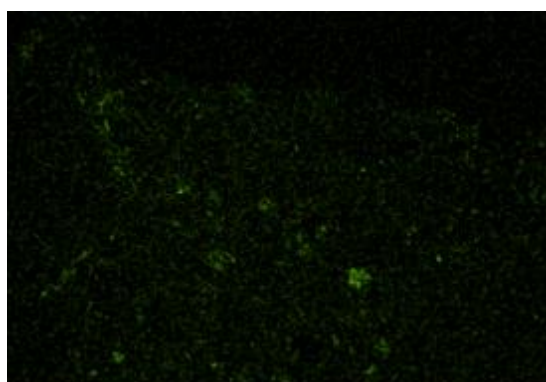
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-2



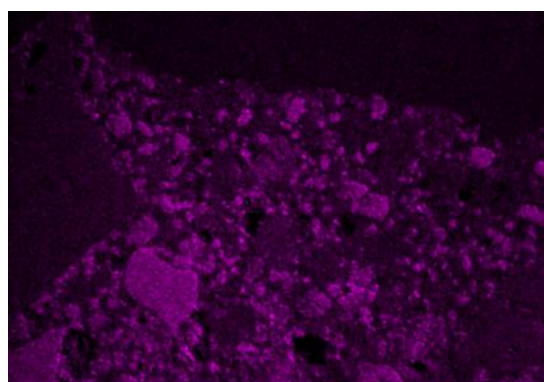
Si



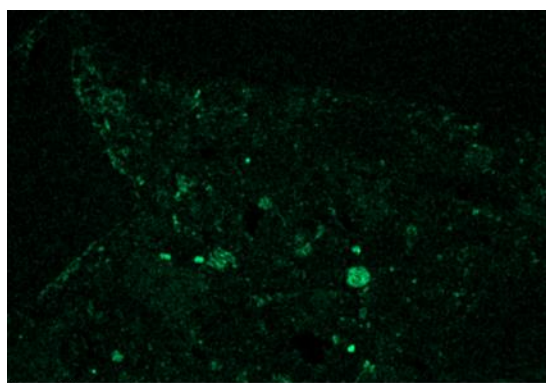
C



Fe

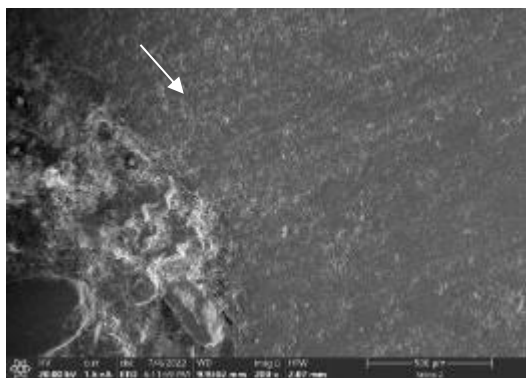
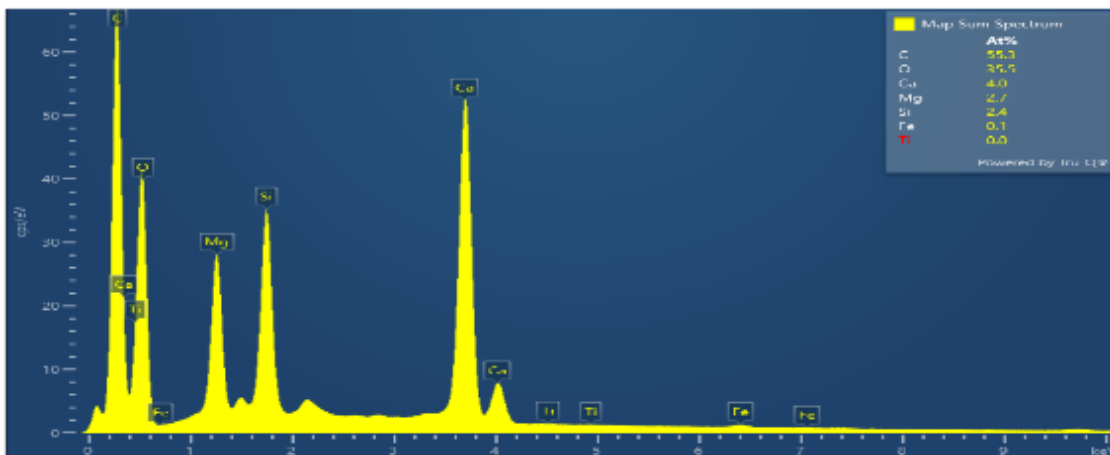


O

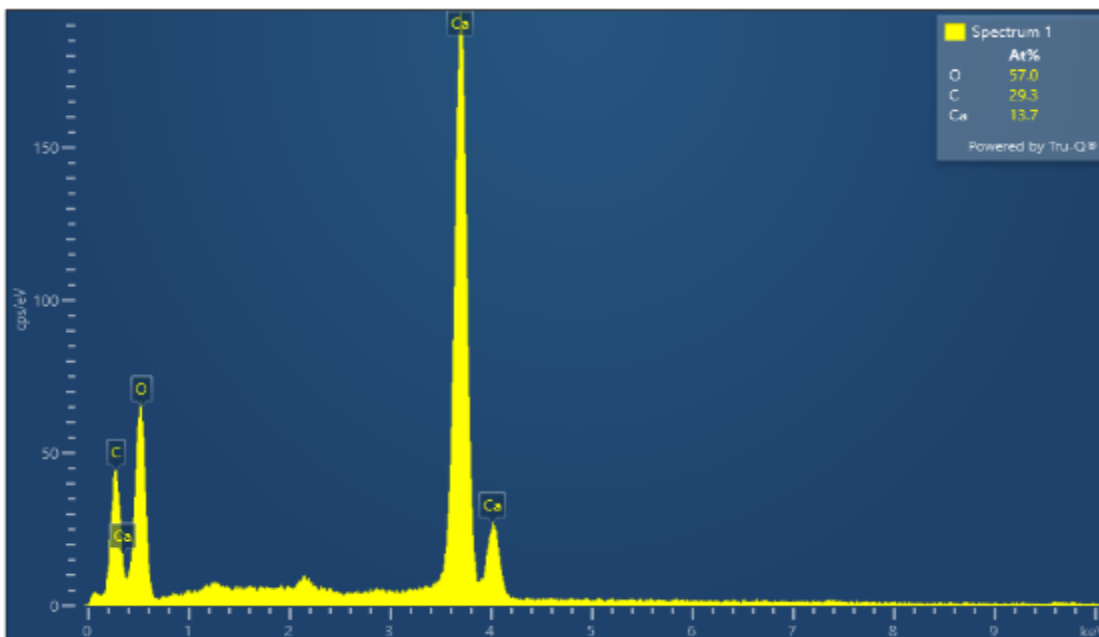


Al

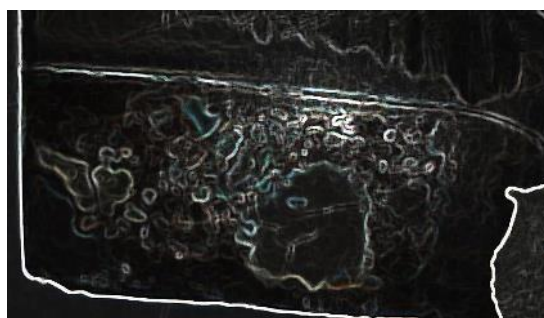
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-2



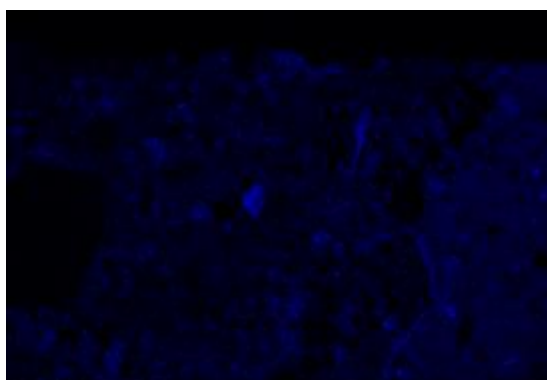
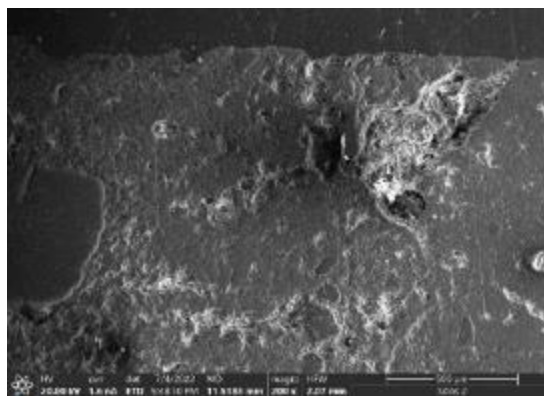
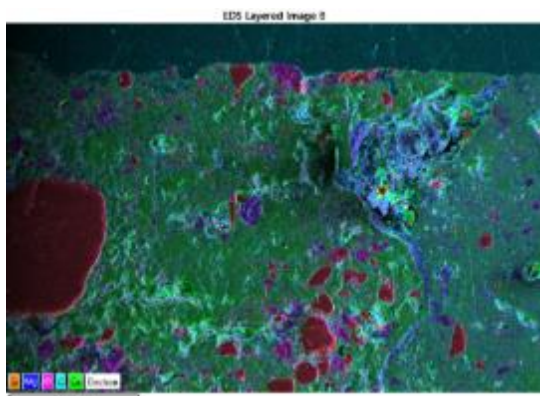
ANALISIS 2. PIEDRA CALCÁREA (M.2)



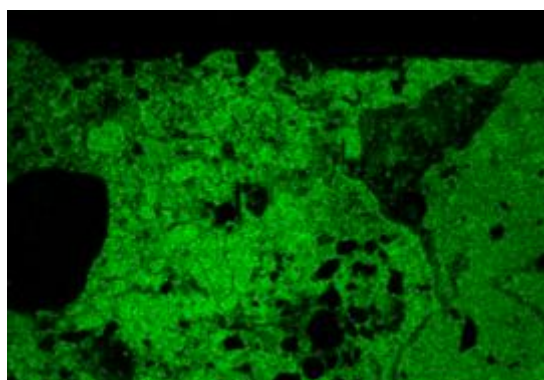
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-4



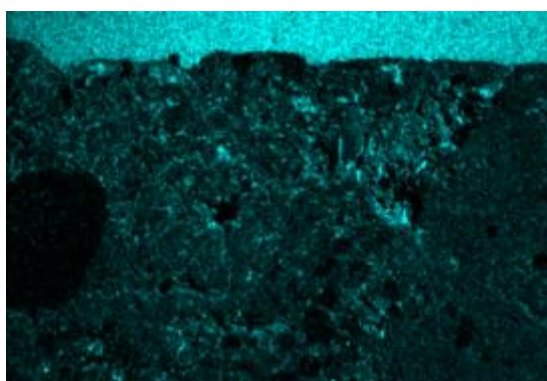
ESTATIGRAFIA M.4



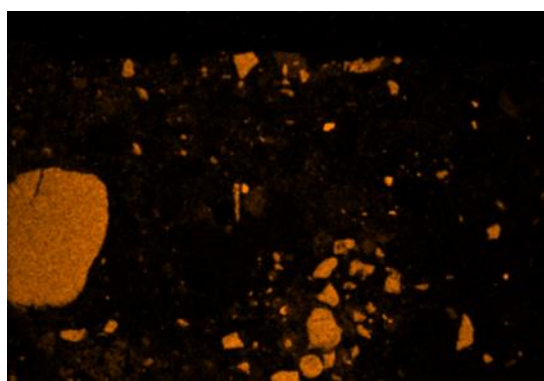
Mg



Ca

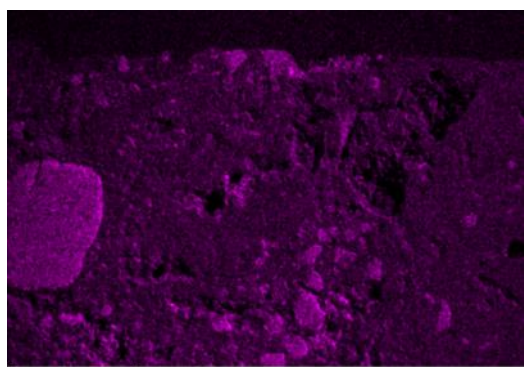


C

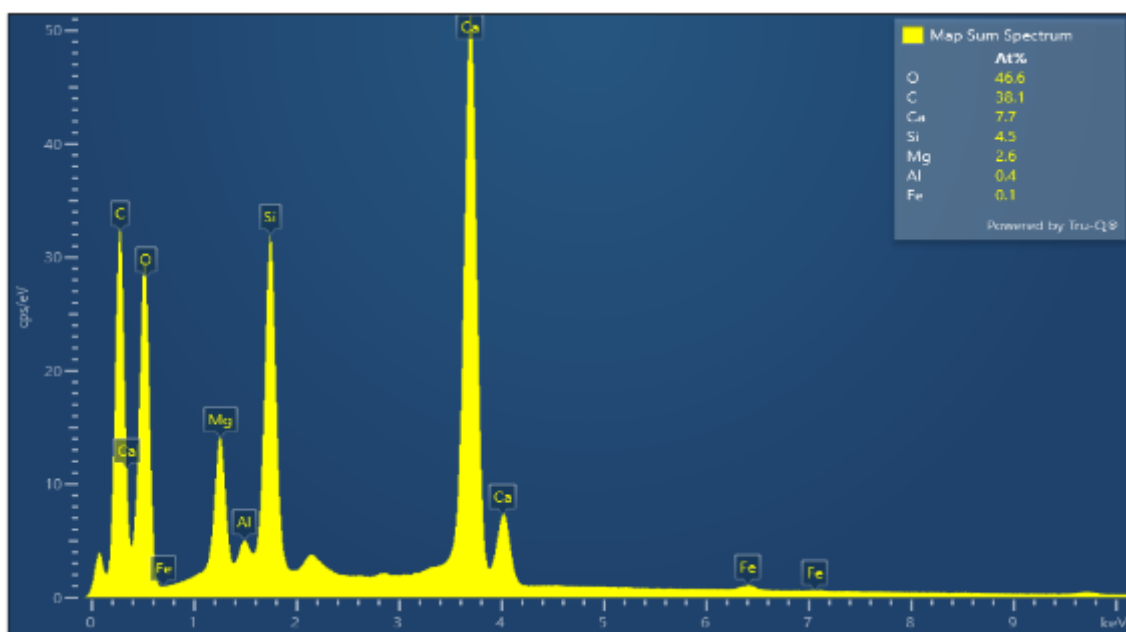


Si

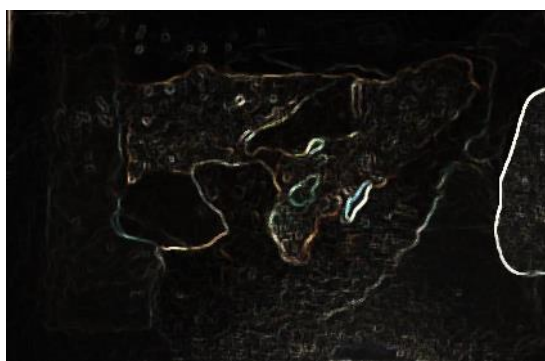
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-4



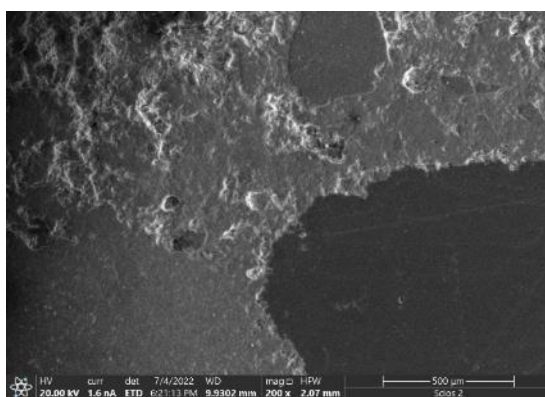
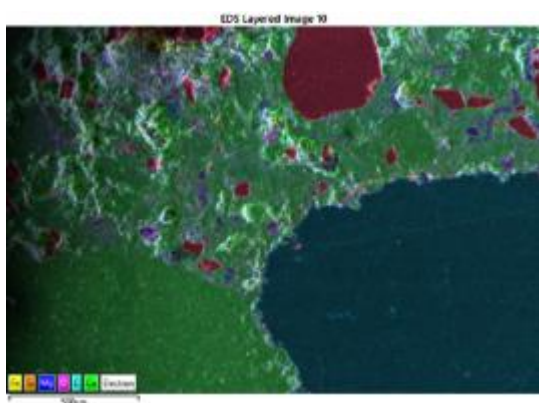
0



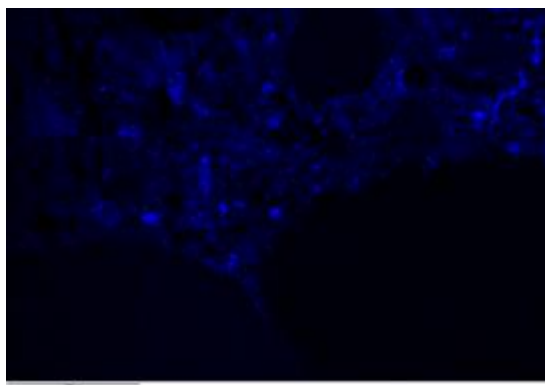
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-5



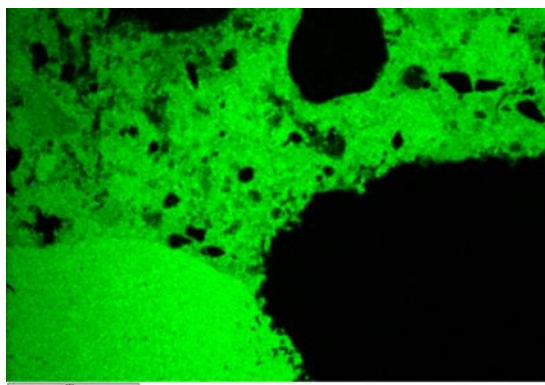
ESTATIGRAFIA M.5



ANALISIS 1

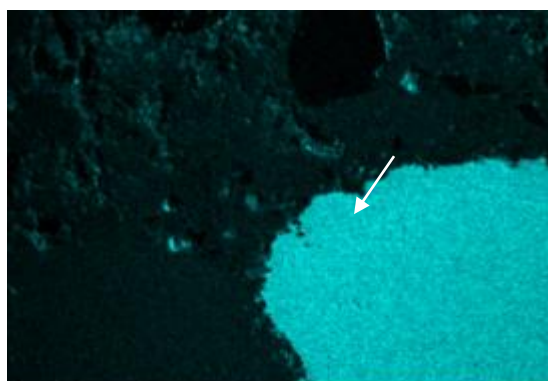


Mg

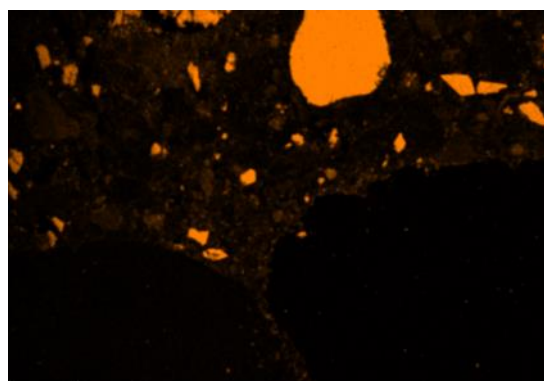


Ca

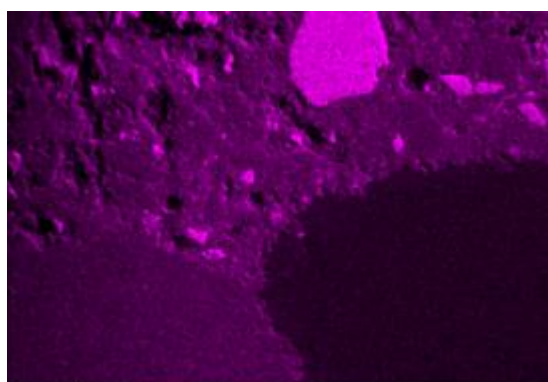
Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-5



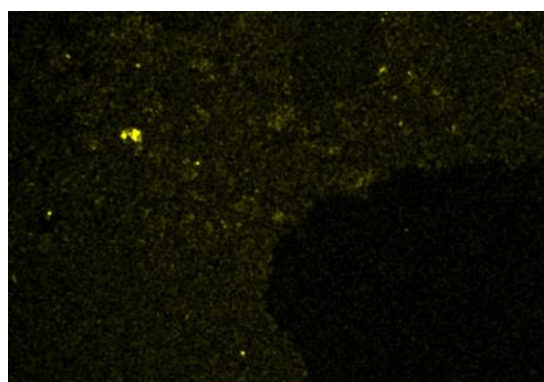
C



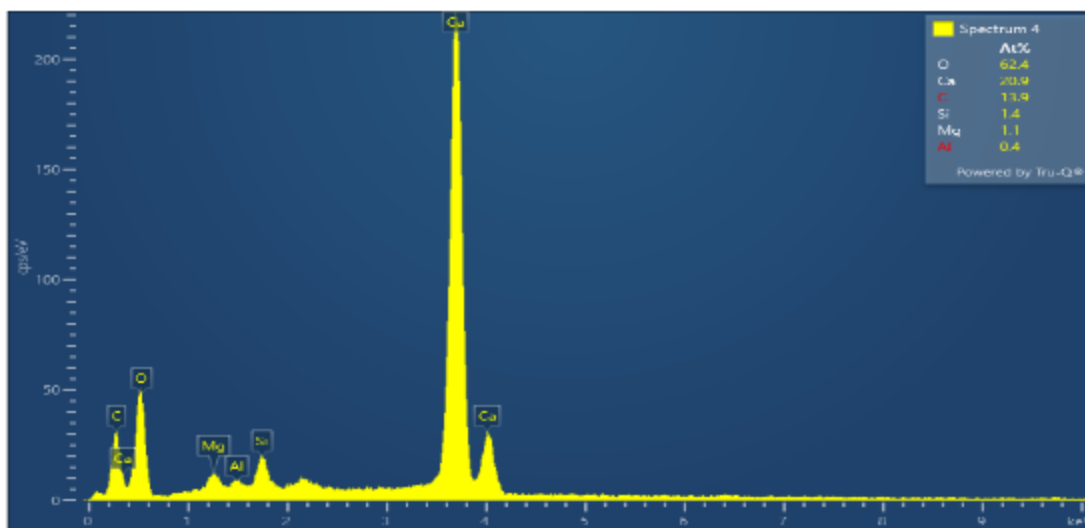
Si



O

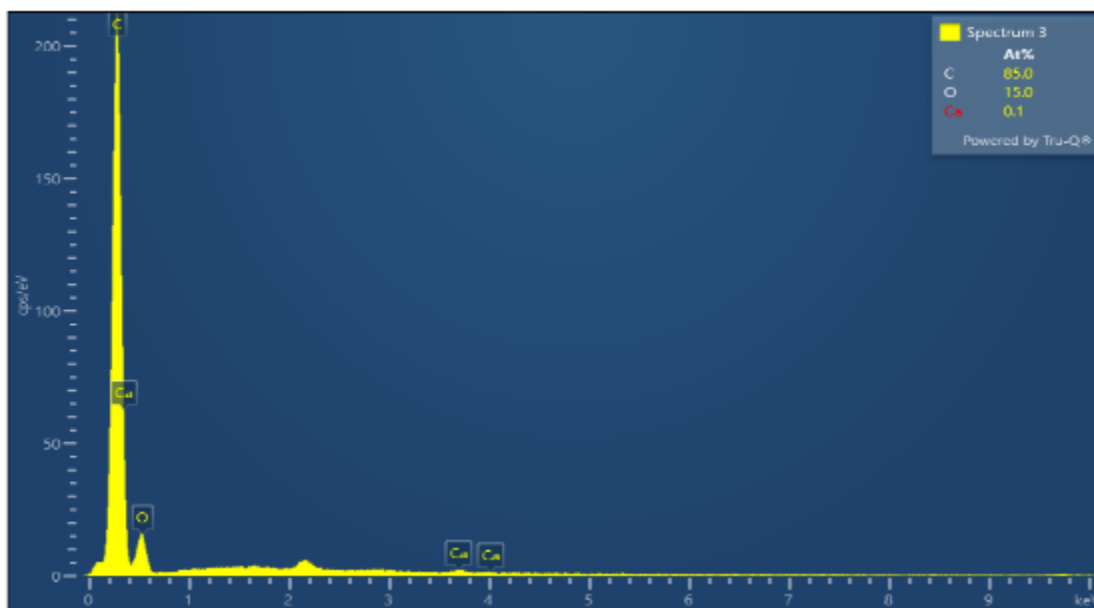


Fe



Microanálisis por área

Anexo analítico: SEM-EDX
MUESTRA -M-5



Microanálisis por spot (ver imagen superior -elemento C-).

Anexo fotográfico: Realización morteros restaurativos

11.8. Anexo fotográfico: Realización morteros restaurativos

Ejemplo del proceso para la confección de los morteros restaurativos para realización posterior de los ensayos normativos se hizo como se muestran en las siguientes imágenes. En este caso, corresponden a las probetas de ensayo tecnológico UNE-EN12371 Determinación de la resistencia a la helicidad. Cada probeta de mortero requería de las medidas establecidas por la normativa de ensayo.



Mezcla de los materiales según especificación especificada en las Tablas 1-3.



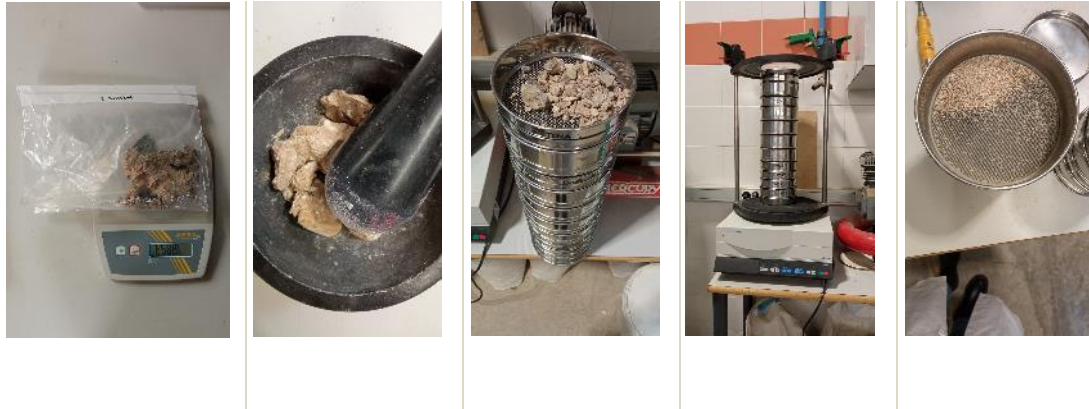
Aplicación del mortero en molde de silicona. Fuente: CASTELLET, 2022.



Anexo fotográfico: Método del tamizado

11.9. Anexo fotográfico: Método del tamizado

El procedimiento que se siguió fue, en un primer lugar, el disgregado de los morteros con un ligero machaqueo (con mortero de ágata) - morteros en un proceso avanzado de carbonatación -; seguidamente, se pesaron cada uno de los morteros en la báscula y se anotó el peso inicial de cada uno. Los tamices empleados eran de 100/150/200/203/305/315 mm de diámetro. El orden de los tamices para el tamizado se realizó en disposición decreciente según tamaño de luz, la agitación fue mecánica en un tiempo comprendido entre 2’ y 5’ (dependiendo de las necesidades de cada mortero



Ejemplo de proceso del tamizado de las muestras de mortero extraídas de la Torre de l’Homenatge, para posterior determinación y caracterización granulométrica con normativa tecnológica. Fuente: CASTELLET, 2022.

Anexo: Determinación granulométrica

11.10. Anexo: Determinación granulométrica

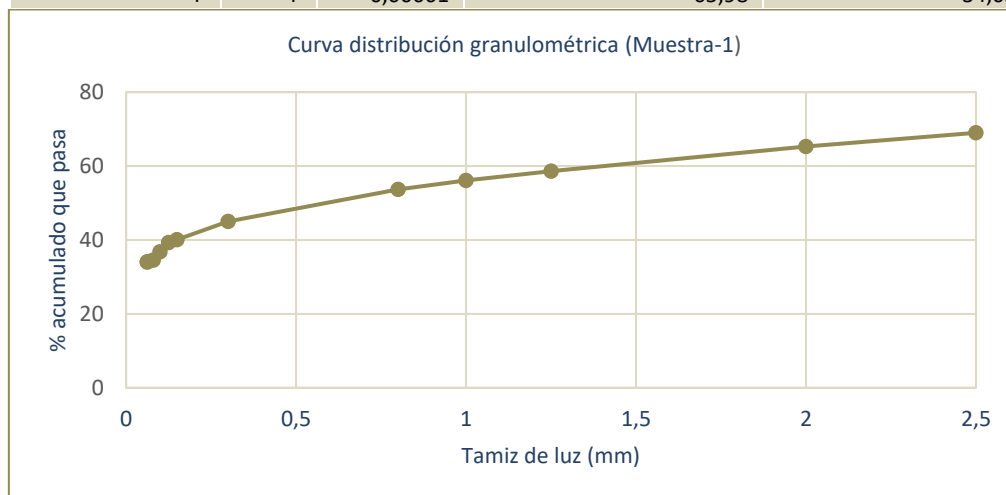
Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado. Norma Española UNE-EN 13755:2008.

Los resultados obtenidos por porcentaje de árido que pasa y que se va acumulando en los diferentes tamices, determinan las diferentes fracciones granulométricas de árido y conglomerante. De este modo, se considera ligante a toda partícula que queda atrapada hasta el tamiz de luz 0,250 mm, y árido a toda partícula que queda por encima, en este caso, es a partir del tamiz de luz de 0,300 mm.

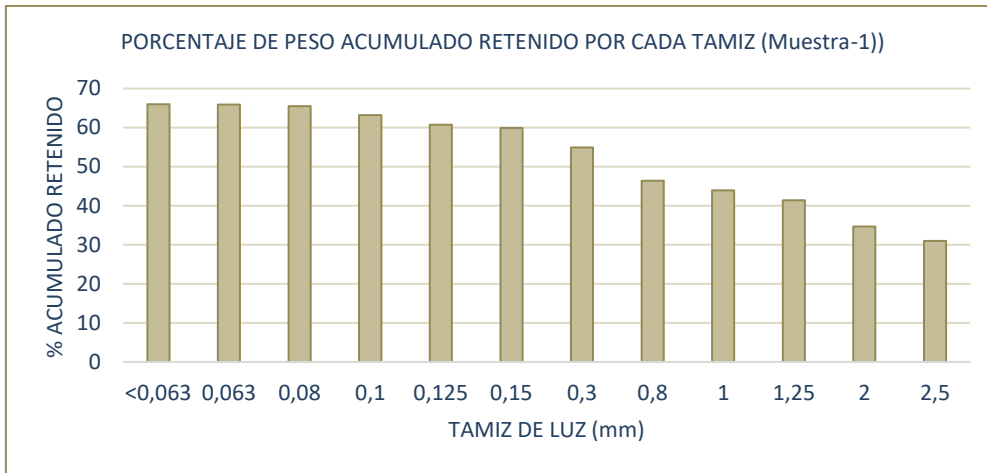
Todas las muestras se realizaron en seco y en el Aula/taller C+R Escultura/Arqueología, E-0-24. Facultad de BBAA, (UPV).

MUESTRA -1.

M1. MUESTRA 1 MURO NORESTE INTERIOR				
Peso Masa seca de la muestra: 794.48 g.				
Tamiz de luz (mm)	Peso retenido (kg)		Porcentaje de material retenido (%en masa)	Porcentaje de acumulados (%en masa)
2,5	R ₁	0,2468	31	69
2	R ₂	0,02957	34,7	65,3
1.25	R ₃	0,05316	41,4	58,6
1	R ₄	0,01956	43,9	56,1
0.800	R ₅	0,01994	46,35	53,65
0.300	R ₆	0,06851	54,95	45,05
0.150	R ₇	0,03656	59,95	40,05
0.125	R ₈	0,00906	60,7	39,3
0.100	R ₉	0,01963	63,2	36,8
0.080	R ₁₀	0,018	65,5	34,5
0.063	R ₁₁	0,00322	65,9	34,1
P	P	0,00061	65,98	34,02



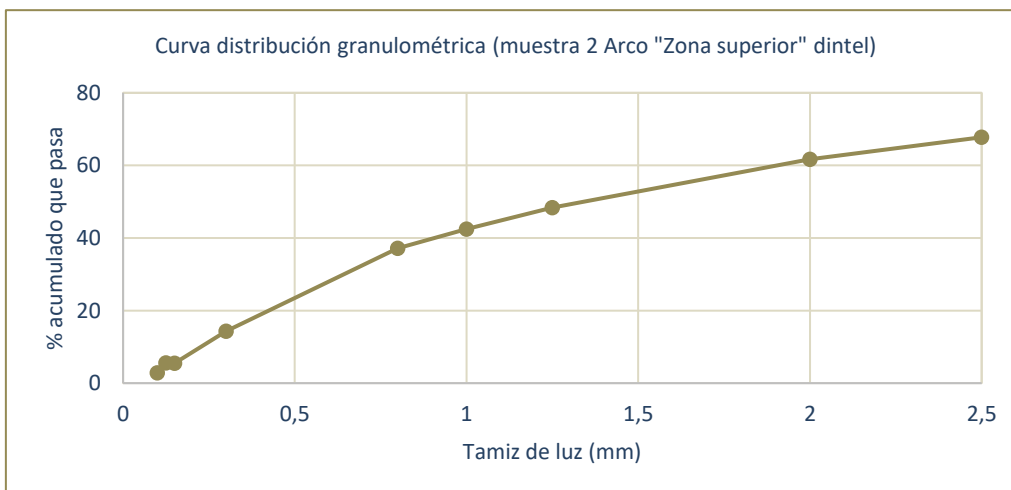
Anexo: Determinación granulométrica



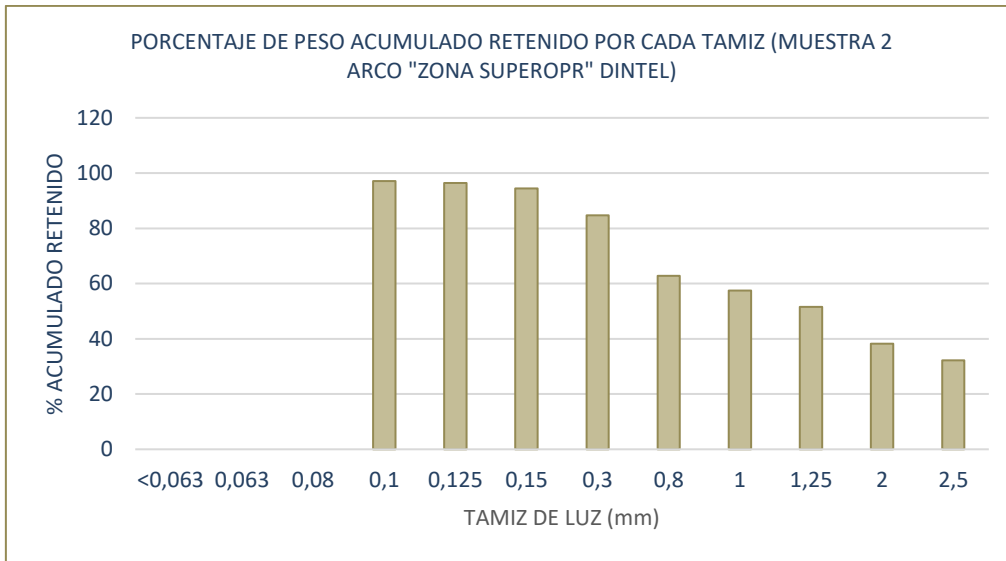
Acumulación de árido en el tamiz de <0,063 mm de luz.

MUESTRA-2.

M2. MUESTRA 2 ARCO "ZONA SUPERIOR" DINTEL				
Peso Masa seca de la muestra: 436,93 g.				
Tamiz de luz (mm)	Peso retenido (kg)	Porcentaje de material retenido (%en masa)	Porcentaje de acumulados (%en masa)	
2,5	R ₁	0,14087	32,24	67,76
2	R ₂	0,02645	38,29	61,71
1.25	R ₃	0,05807	51,59	48,41
1	R ₄	0,02592	57,52	42,48
0.800	R ₅	0,02336	62,86	37,14
0.300	R ₆	0,09532	84,66	14,34
0.150	R ₇	0,04289	94,46	5,54
0.125	R ₈	0,00868	96,45	5,55
0.100	R ₉	0,003	97,14	2,86
0.080	R ₁₀			
0.063	R ₁₁			
P	P			



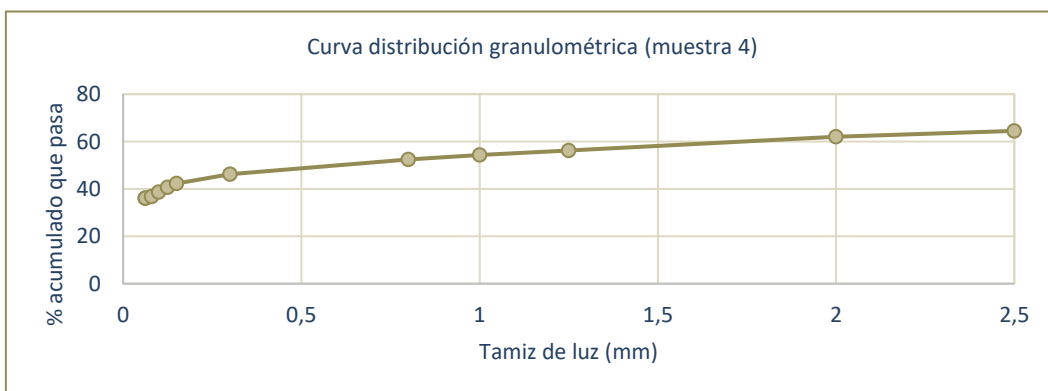
Anexo: Determinación granulométrica



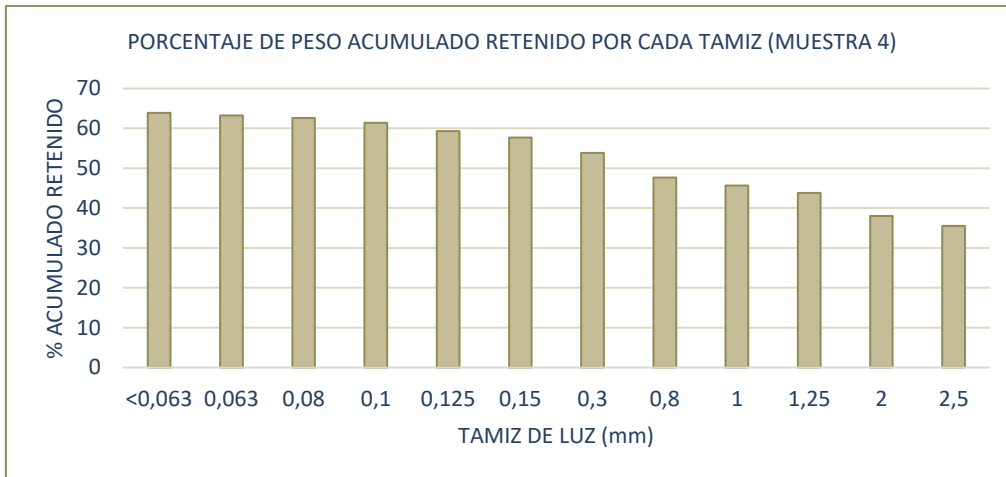
Acumulación de árido en el tamiz de 0,1 mm de luz.

MUESTRA-4.

M2. MUESTRA 4				
Peso Masa seca de la muestra: 593,44 g.				
Tamiz de luz (mm)	Peso retenido (kg)		Porcentaje de material retenido (%en masa)	Porcentaje de acumulados (%en masa)
2,5	R ₁	210,92	35,5	64,5
2	R ₂	15,05	38,04	58,6
1.25	R ₃	34,45	43,84	50,1
1	R ₄	10,86	45,64	47,1
0.800	R ₅	11,15	47,64	44,4
0.300	R ₆	36,59	53,84	35,7
0.150	R ₇	23,05	57,72	31,6
0.125	R ₈	9,37	59,29	30,9
0.100	R ₉	12,45	61,39	29,7
0.080	R ₁₀	7,43	62,64	28,5
0.063	R ₁₁	3,79	63,28	27,44
P	P	3,80	63,92	26,11



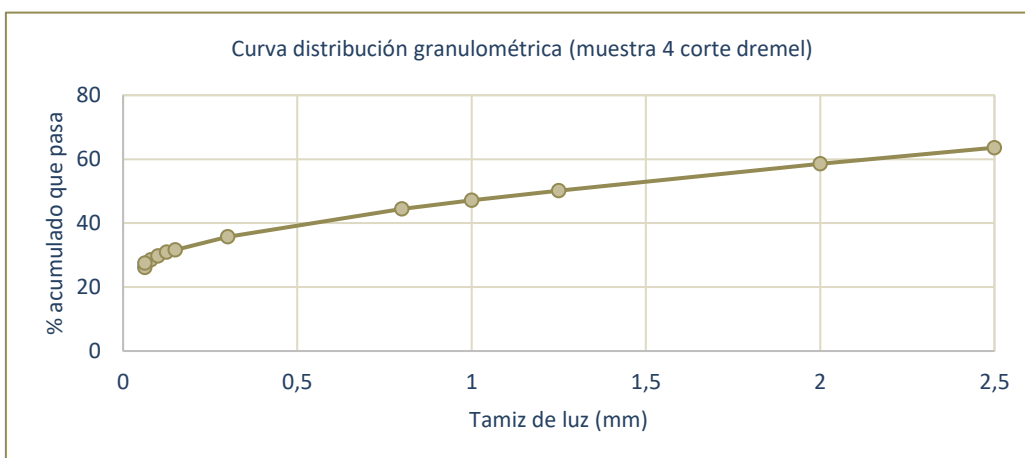
Anexo: Determinación granulométrica



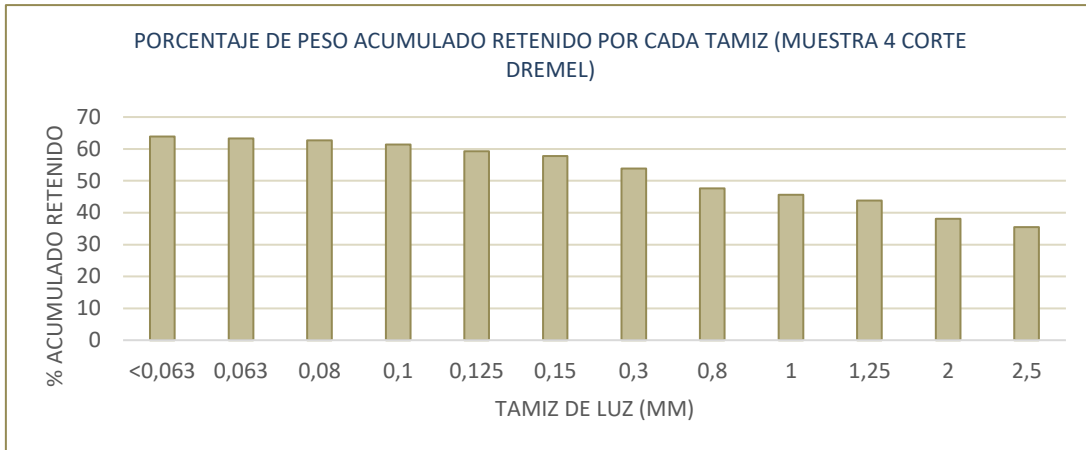
Acumulación de árido en el tamiz de <0,063 mm de luz.

MUESTRA-4D

M4D. MUESTRA 4 “CORTE DREMEL”				
Peso Masa seca de la muestra: 78,35 g.				
Tamiz de luz (mm)	Peso retenido (kg)		Porcentaje de material retenido (%en masa)	Porcentaje de acumulados (%en masa)
2,5	R ₁	0,02855	36,4	63,6
2	R ₂	0,00399	41,4	58,6
1.25	R ₃	0,00666	49,9	50,1
1	R ₄	0,00235	52,9	47,1
0.800	R ₅	0,00211	55,6	44,4
0.300	R ₆	0,00679	64,3	35,7
0.150	R ₇	0,00323	68,4	31,6
0.125	R ₈	0,00056	69,1	30,9
0.100	R ₉	0,00097	70,3	29,7
0.080	R ₁₀	0,00097	71,5	28,5
0.063	R ₁₁	0,00083	72,56	27,44
P	P	0,00104	73,89	26,11



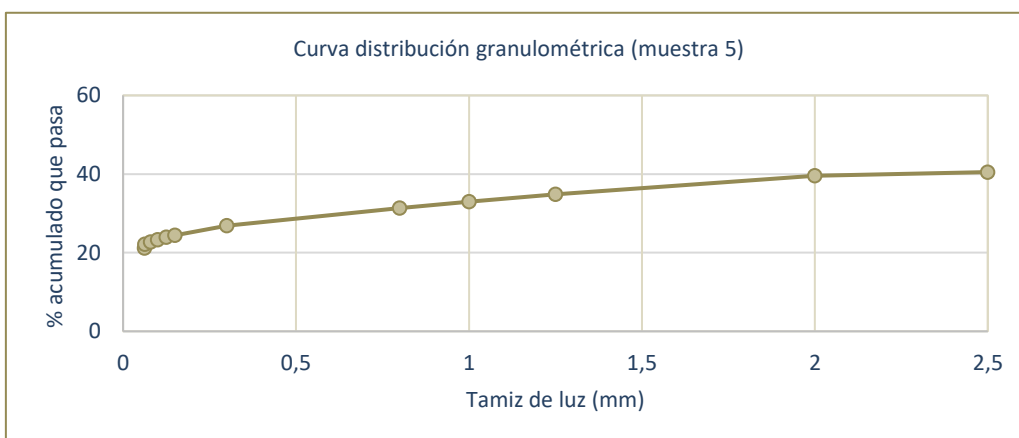
Anexo: Determinación granulométrica



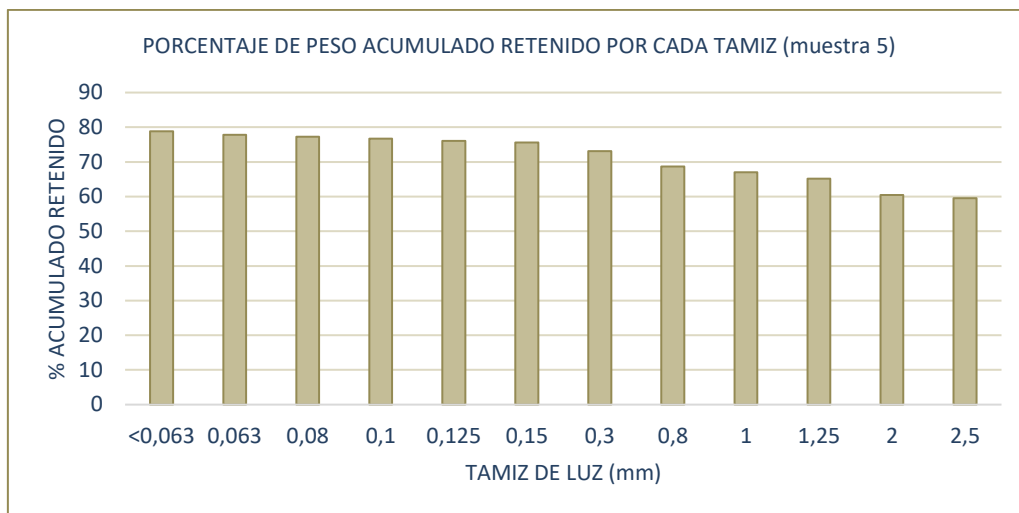
Acumulación de árido en el tamiz de <0,063 mm de luz

MUESTRA-5.

M5. MUESTRA 5ç				
Peso Masa seca de la muestra: 188,26 g.				
Tamiz de luz (mm)	Peso retenido (kg)		Porcentaje de material retenido (%en masa)	Porcentaje de acumulados (%en masa)
2,5	R ₁	0,11194	59,5	40,5
2	R ₂	0,00181	60,47	39,53
1.25	R ₃	0,00882	65,17	34,83
1	R ₄	0,00350	67,03	32,97
0.800	R ₅	0,00304	68,63	31,37
0.300	R ₆	0,00845	73,12	26,88
0.150	R ₇	0,00323	75,58	24,42
0.125	R ₈	0,00056	76,03	23,97
0.100	R ₉	0,00097	76,68	23,32
0.080	R ₁₀	0,00097	77,29	22,71
0.063	R ₁₁	0,00083	77,84	22,16
P	P	0,00104	78,84	21,16



Anexo: Determinación granulométrica



Acumulación de árido en el tamiz de <0,063 mm de luz

Anexo: Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica

11.11. Anexo: Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica

Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica. Norma Española UNE-EN 13755:2008. Seguidamente se muestran los tiempos que han requerido cada una de las probetas para alcanzar la saturación del material.

MORTERO A	Probetas	1ª. Pesada inicial	2ª. Pesada a las (48h)	3ª. Pesada a las (24h)	4ª. Pesada a las (24h)	5ª. Pesada a las (24h)	6ª. Pesada a las (24h)	7ª. Pesada a las (24h)	8ª. Pesada a las (24h)	9ª. Pesada a las (24h)
	Con polímero	187,51 g.	221,17 g.	221,48 g.	221,58 g.	221,70 g.	221,71 g.	221,76 g.	221,92 g.	221,93 g.
	Sin polímero (1)	200, 11 g.	231,37 g.	231,55 g.	231,82 g.	231,92 g.	232,04 g.	231,92g.	231,99 g.	231,99 g.
	Sin polímero (2)	194,20 g.	227,67 g.	227,85 g.	228,07 g.	228,25 g.	228,29 g.	228,36 g.	228,45 g.	228,45 g.

MORTERO B	Probetas	1ª. Pesada inicial	2ª. Pesada a las (48h)	3ª. Pesada a las (24h)	4ª. Pesada a las (24h)	5ª. Pesada a las (24h)	6ª. Pesada a las (24h)	7ª. Pesada a las (24h)
	Con polímero	151,85 g.	175,98 g.	176,17 g.	176,28 g.	176,34 g.	176,42 g.	176,42 g.
	Sin polímero (1)	170,84 g.	198,51 g.	198,64 g.	198,91 g.	199,12 g.	199,13 g.	199,13 g.
	Sin polímero (2)	171,69 g.	199,63 g.	199,81 g.	199,99 g.	200,19 g.	200,31 g.	200,32g.

MORTERO C	Probetas	1ª. Pesada inicial	2ª. Pesada a las (48h)	3ª. Pesada a las (24h)	4ª. Pesada a las (24h)	5ª. Pesada a las (24h)	6ª. Pesada a las (24h)	7ª. Pesada a las (24h)
	Con polímero	196,56 g.	220,74 g.	220,95 g.	221,03 g.	221,22 g.	221,25 g.	221,26 g.
	Sin polímero (1)	178,69 g.	209,69 g.	209,70 g.	209,88 g.	210,14 g.	210,23 g.	210,23 g.
	Sin polímero (2)	178,79 g.	208,41 g.	208,43 g.	208,51 g.	208,74 g.	208,78 g.	208,79 g.

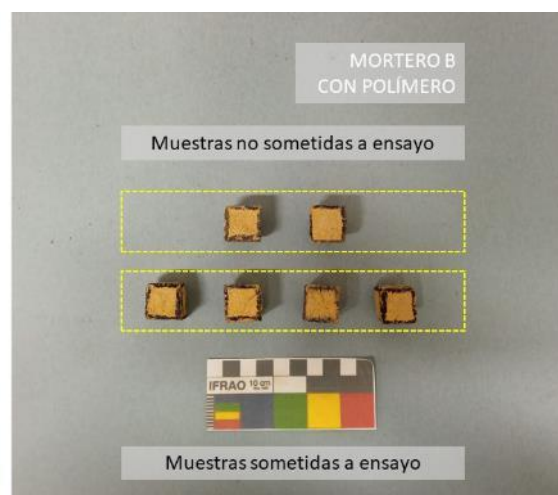
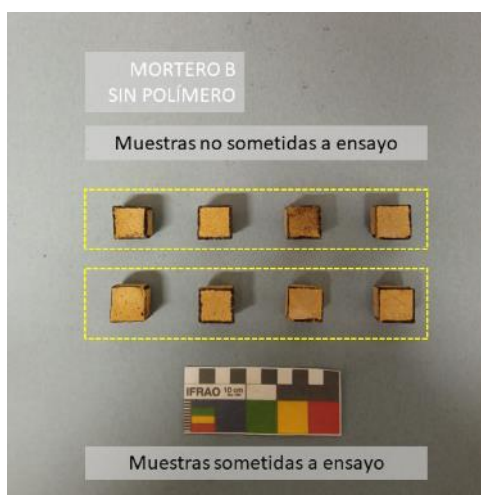
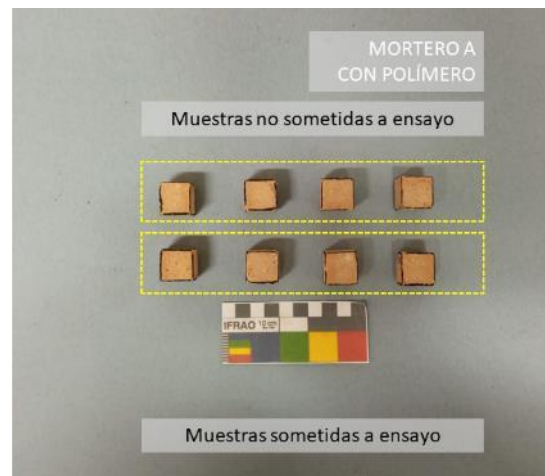
Anexo: Ensayo de envejecimiento acelerado

11.12. Anexo: Ensayo de envejecimiento acelerado.

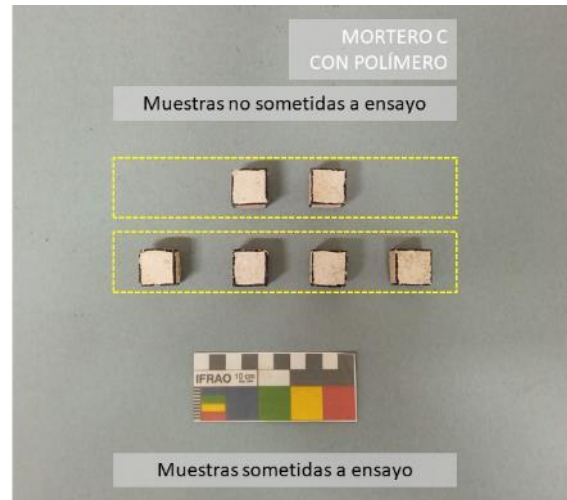
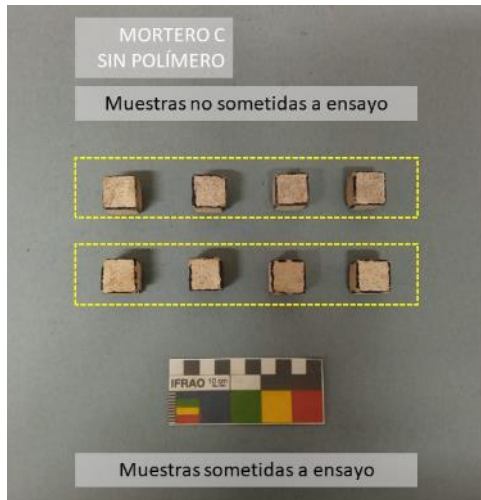
Las probetas fueron expuestas a cambios continuos de ciclos térmicos, humedad relativa y UV. Los datos se muestran a continuación en la tabla.

CICLOS TÉRMICOS			
FASE	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
1	24 h	23 °C	85%
2	24 h	48,5 °C	20%
3	72 h	23 °C	85%
4	48 h	48,5 °C	20%

Seguidamente, se exponen los resultados fotográficos y por microscopio Leica. Fuente de todas las imágenes: CASTELLET, 2022.



Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado



MORTERO A. Muestra testigo sin polímero.

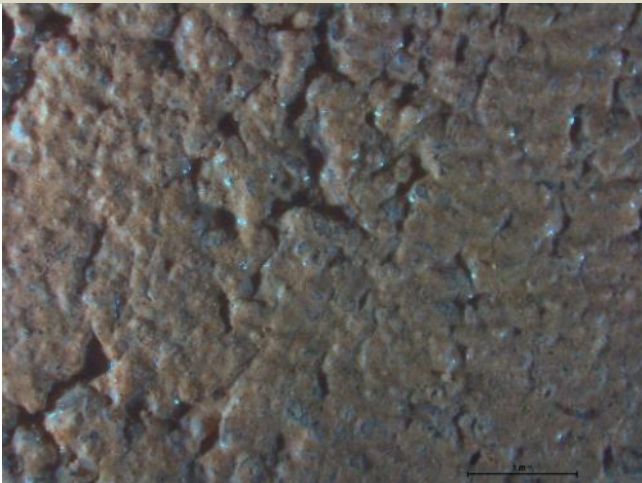


Imagen a lupa binocular LEICA. Escala: 1mm. Capa de probeta en contacto con O en fraguado de mortero en molde normativo.



Imagen a lupa binocular LEICA. Escala: 1mm. Se aprecia la disposición de los áridos de polvo de mármol de 200 μm y arena de sílice de 0,2μm.

Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

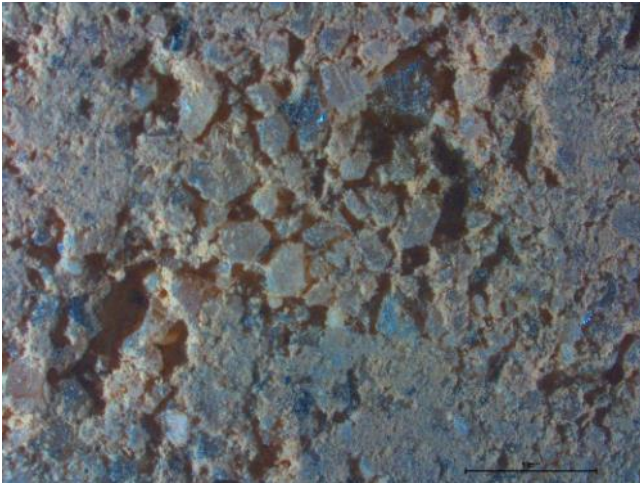
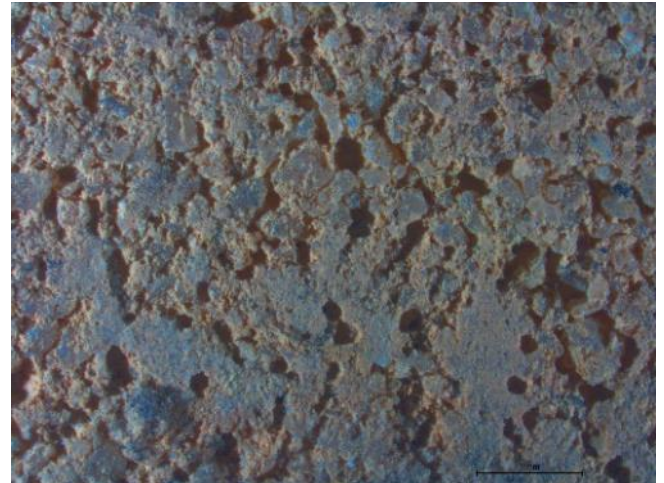
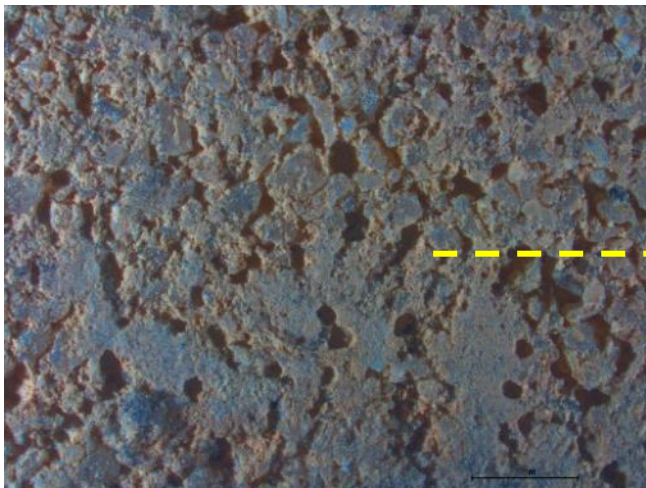


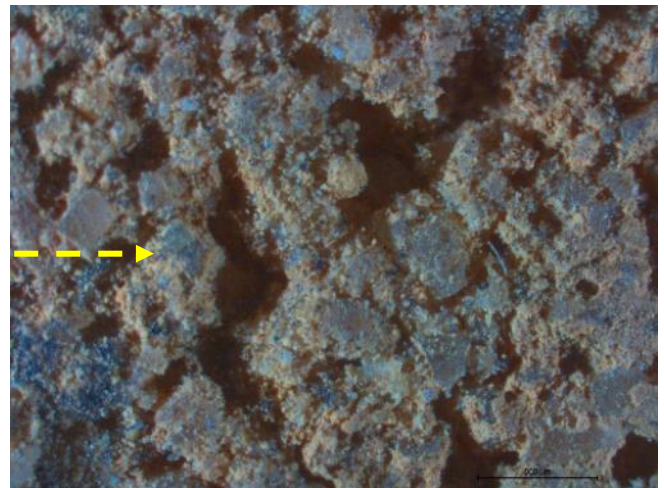
Imagen a upa binocular LEICA. Escala: 1mm. Se aprecia la disposición de los áridos de polvo de mármol de 200 μm y arena de sílice de 0,2 μm .



Escala: 1mm.



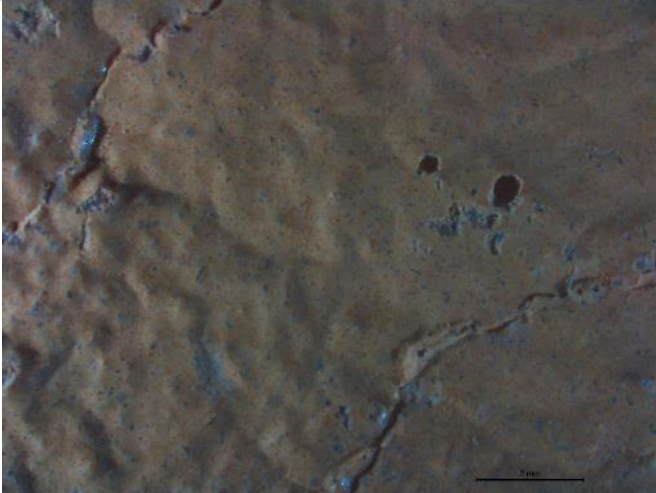
Escala: 1mm



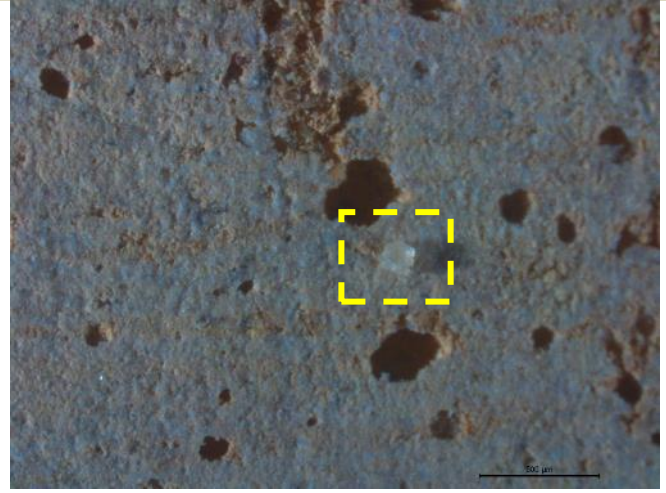
Escala: 600 μm . Se aprecia oquedades en superficie y disgregación del árido.

Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

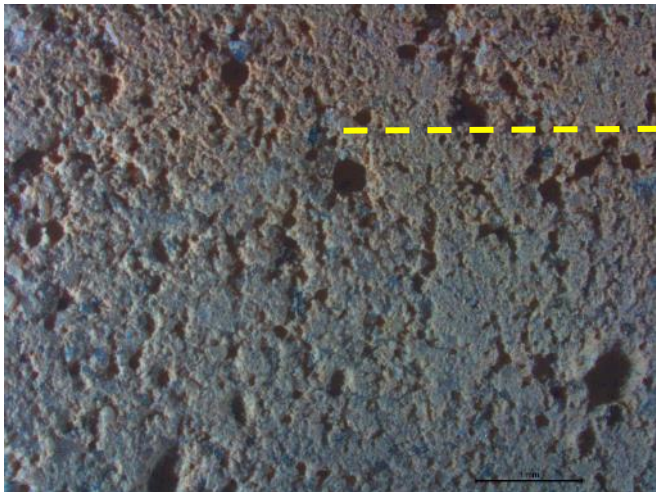
MORTERO A. Muestra sin polímero. Ensayo..



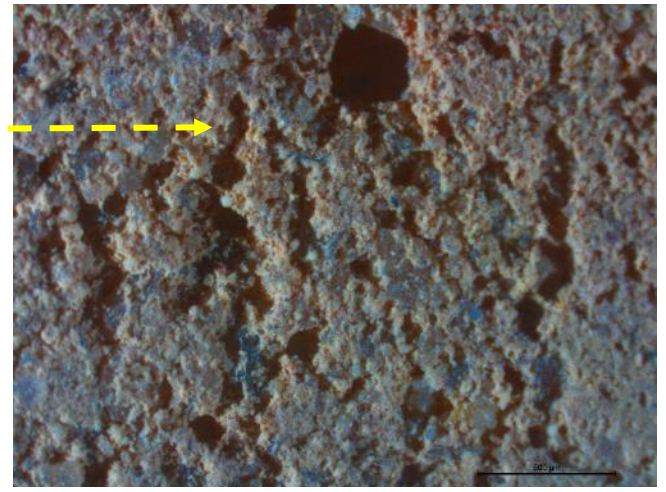
Escala: 1mm.



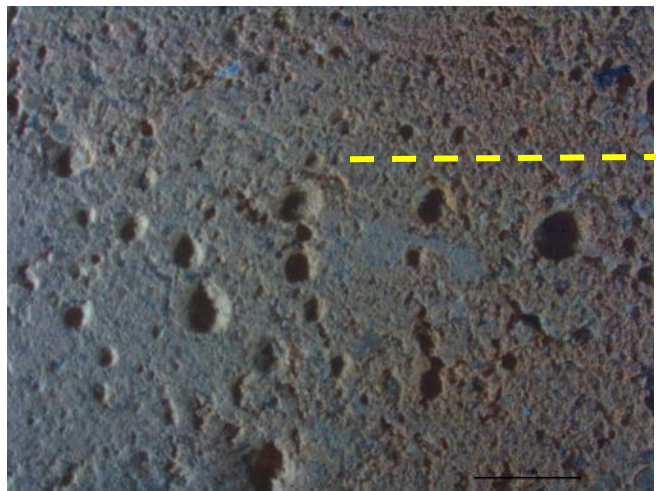
Escala: 500 µm. Cristal de polvo de mármol.



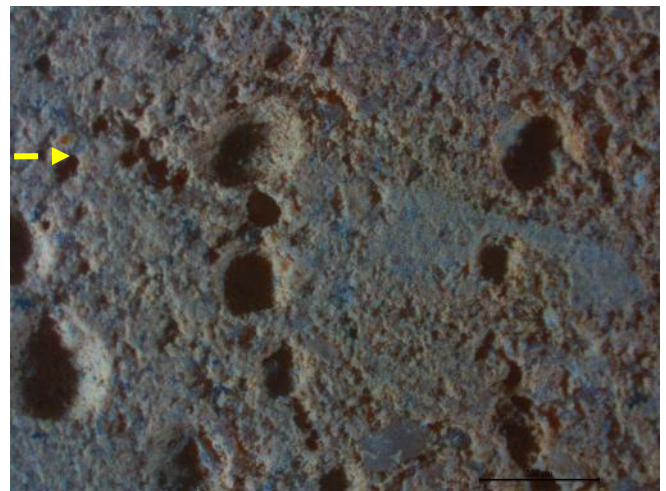
Escala 1 mm.



Escala: 500 µm.



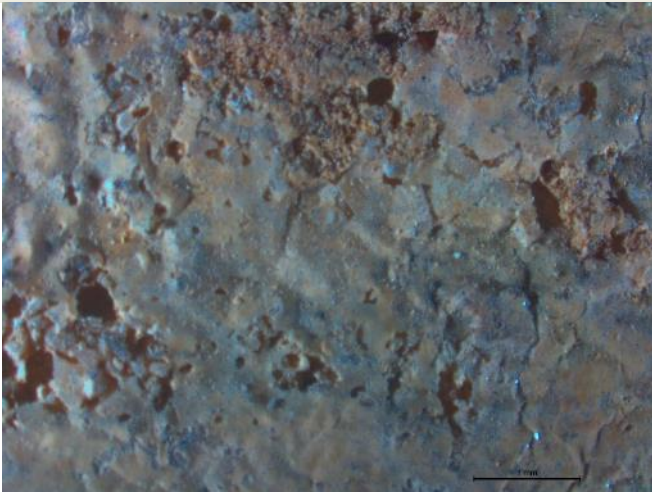
Escala: 1 mm.



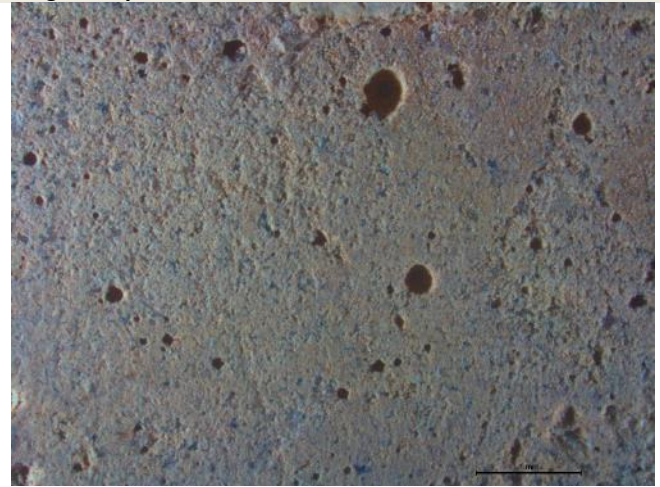
Escala: 500 µm.

Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

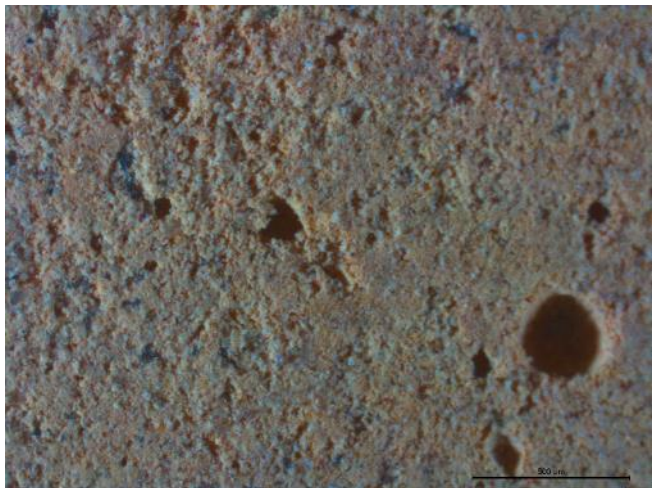
MORTERO A. Muestra testigo con polímero.



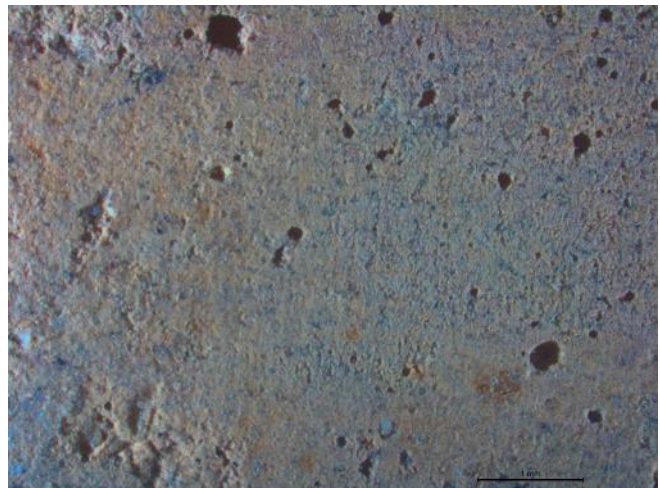
Escala 1 mm.



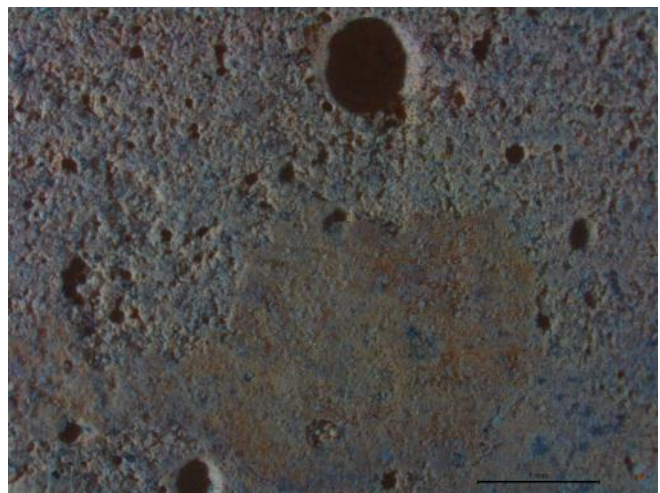
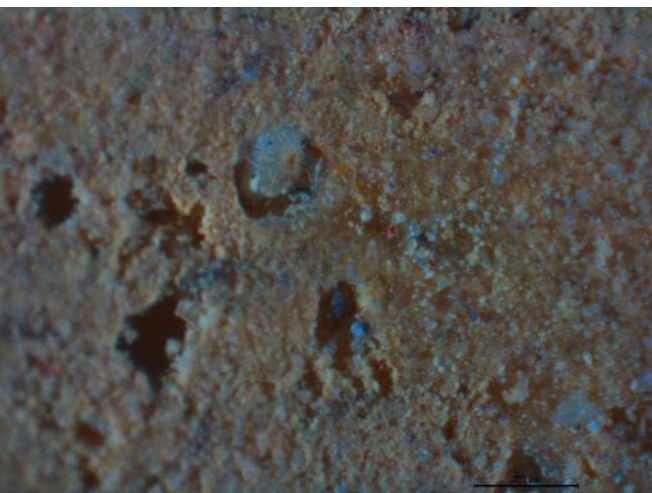
Escala: 1 mm.



Escala: imagen sup.: 500 μm, inf.: 200 μm.

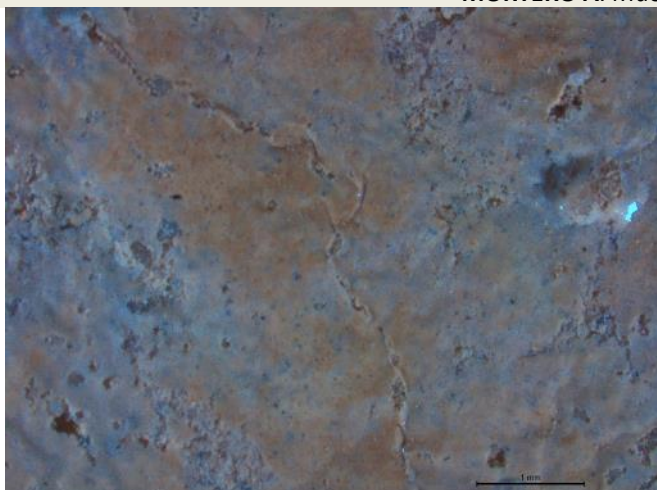


Escala: imagen sup., 1 mm, inf., 1 mm.

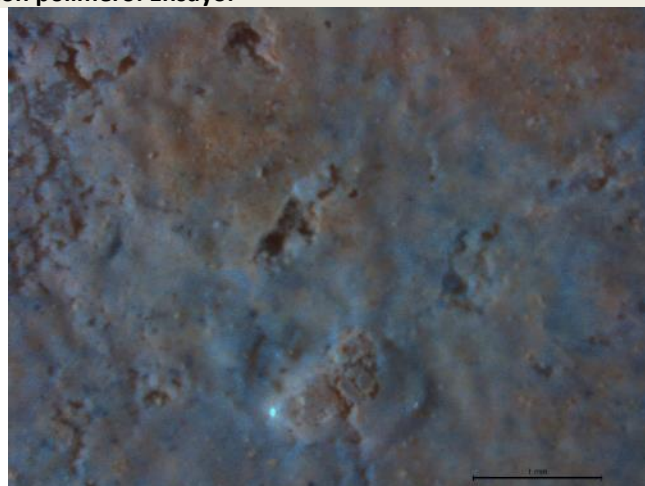


Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

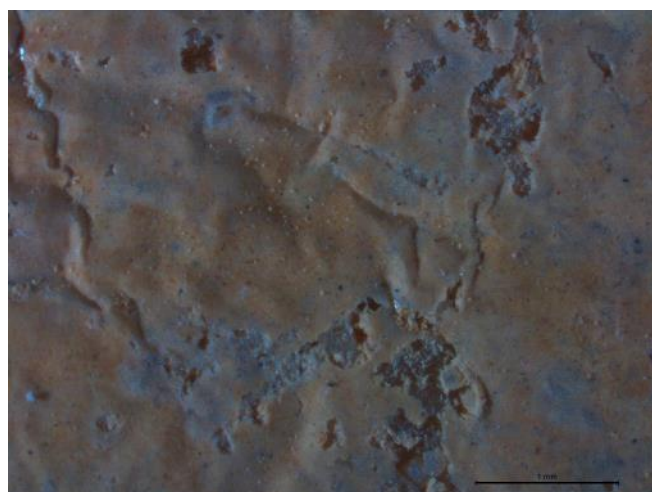
MORTERO A. Muestra con polímero. Ensayo.



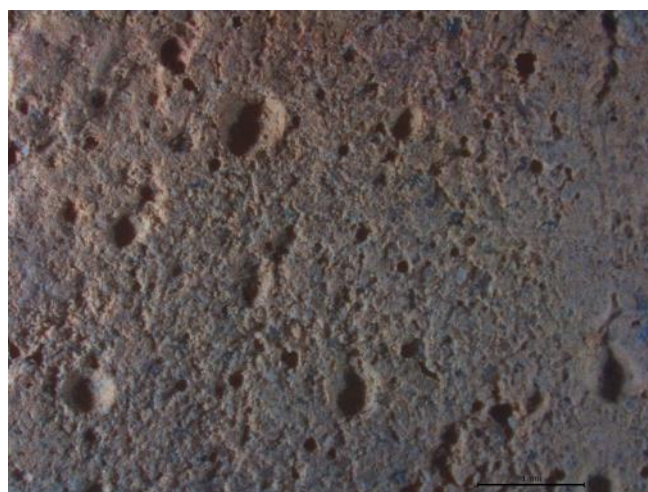
Escala 1 mm.



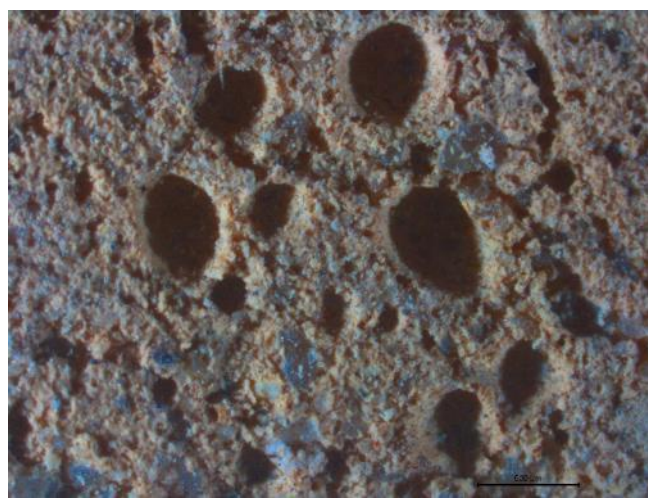
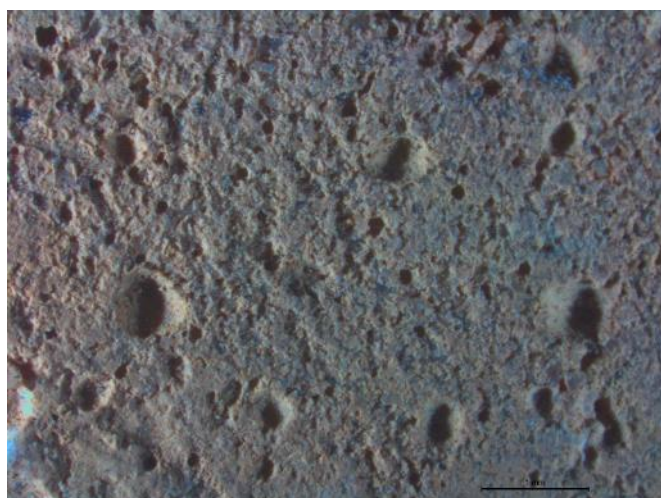
Escala 1 mm.



Escala: imagen sup.: 1 mm., inf., 1 mm.

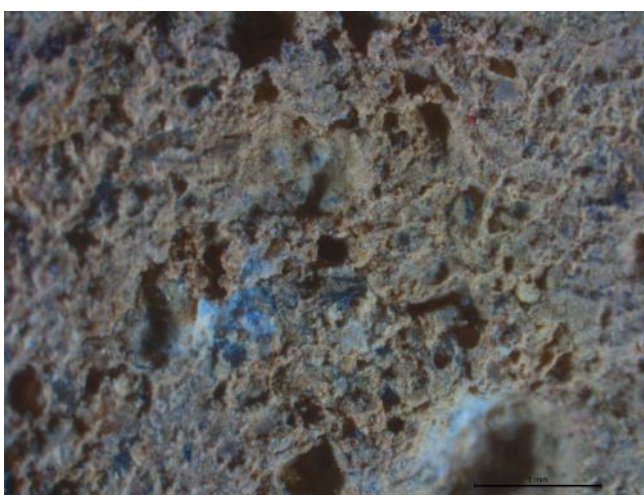
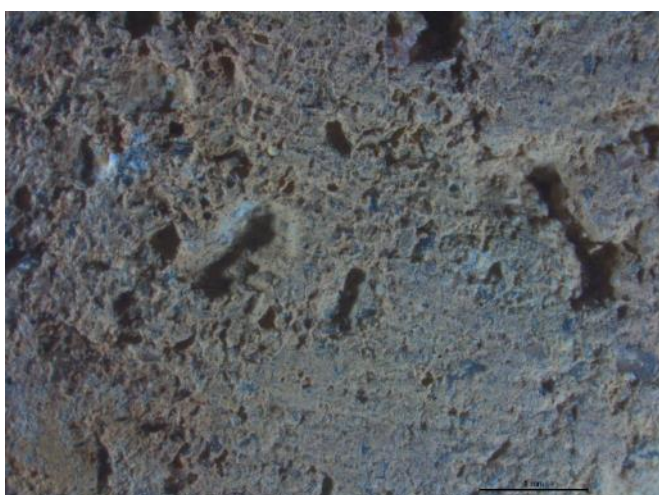
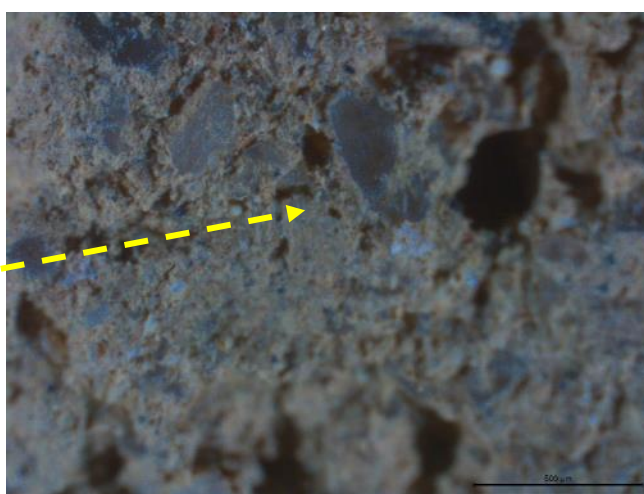
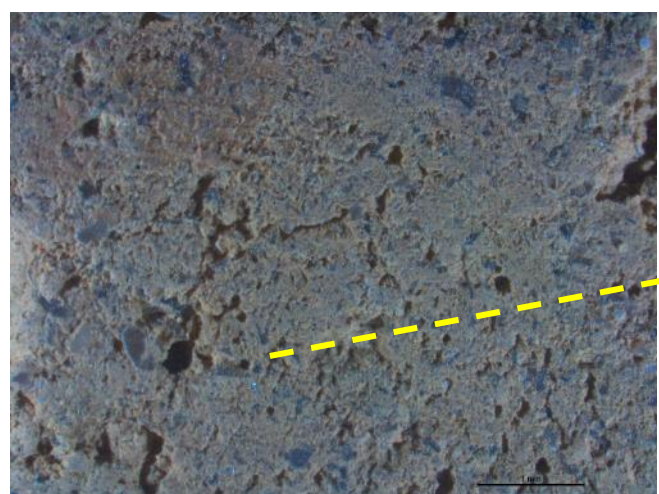
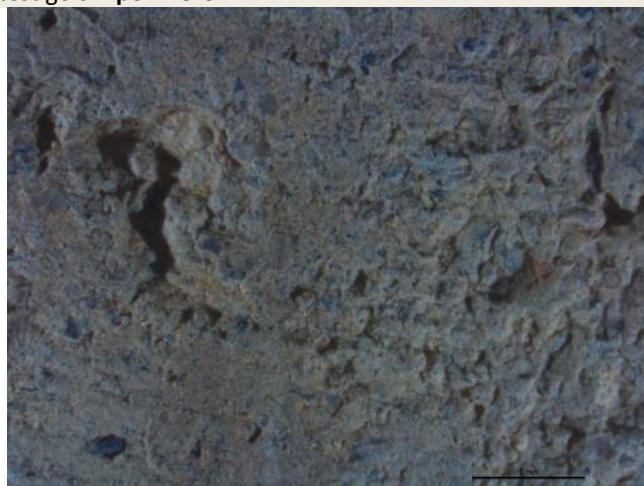
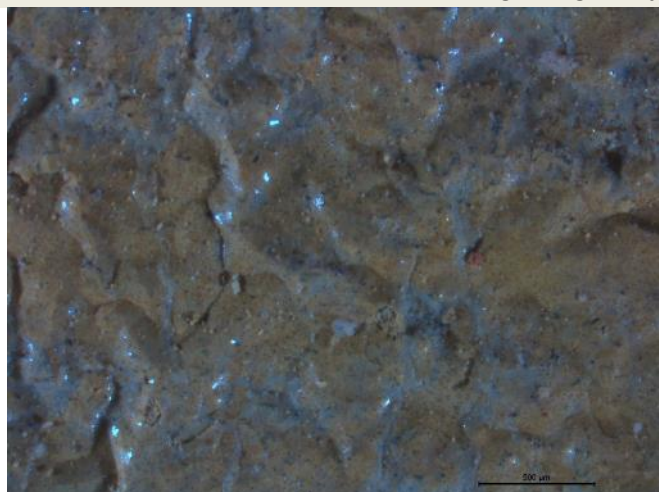


Escala: imagen sup., 1 mm. inf., 500 µm



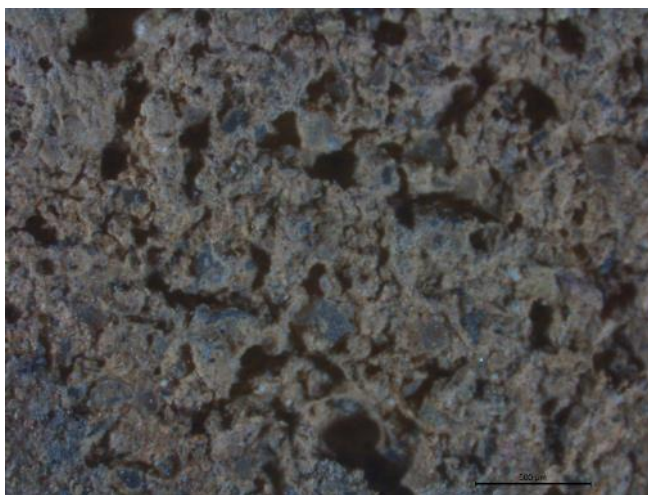
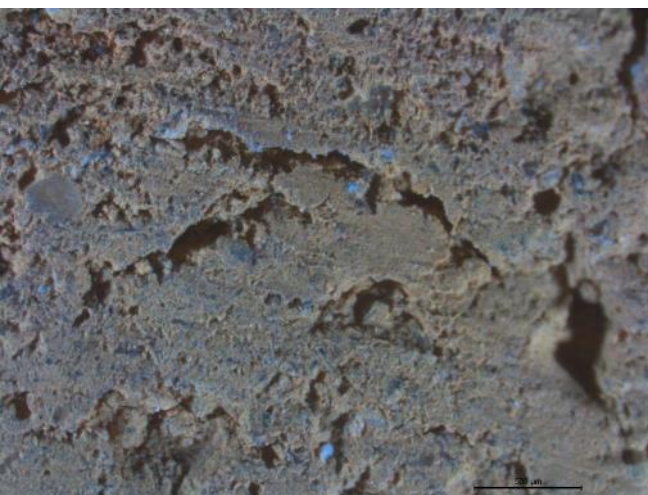
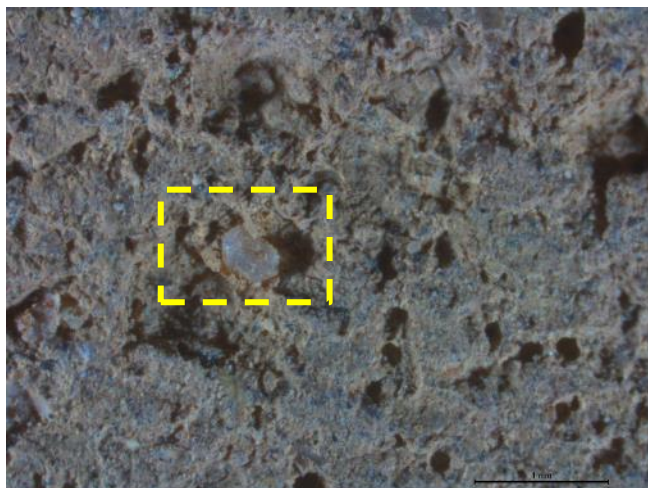
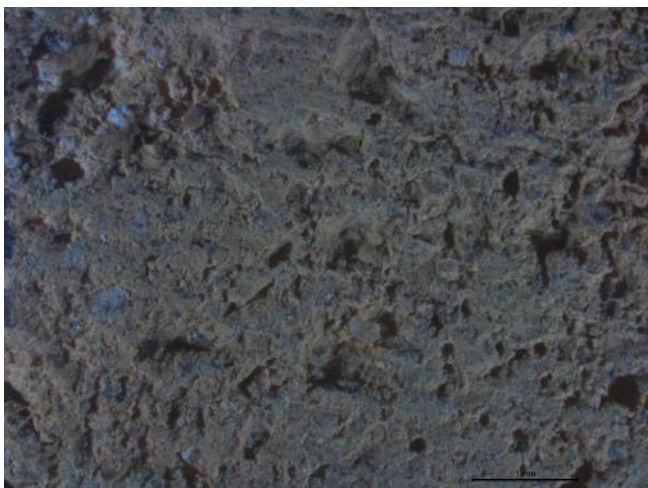
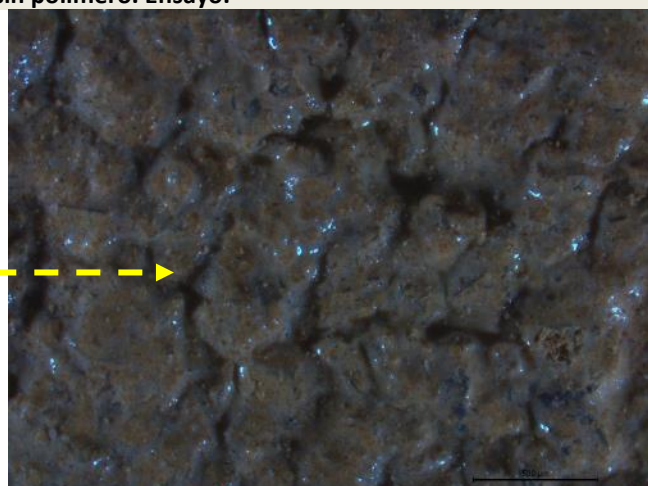
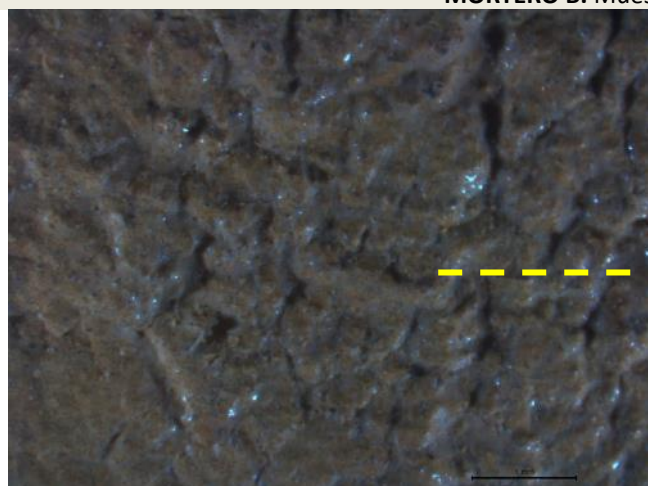
Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO B. Muestra testigo sin polímero.



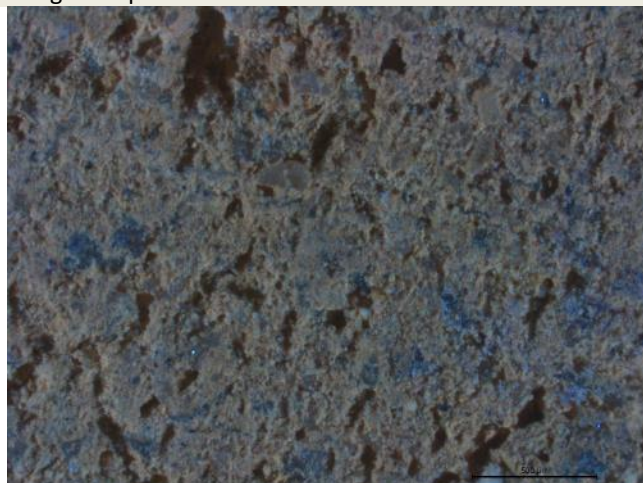
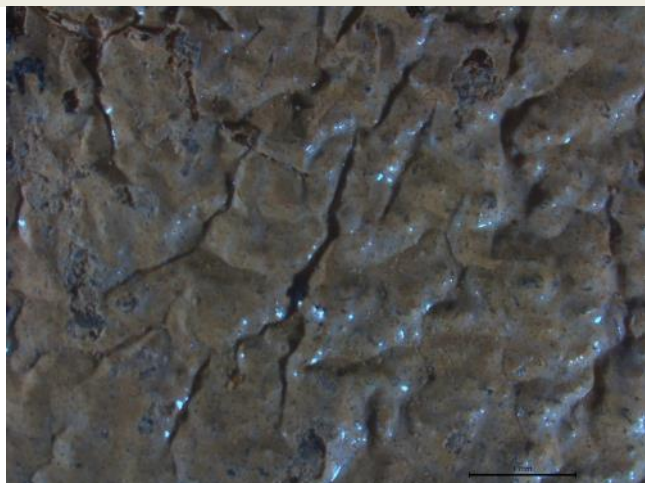
Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO B. Muestra sin polímero. Ensayo.

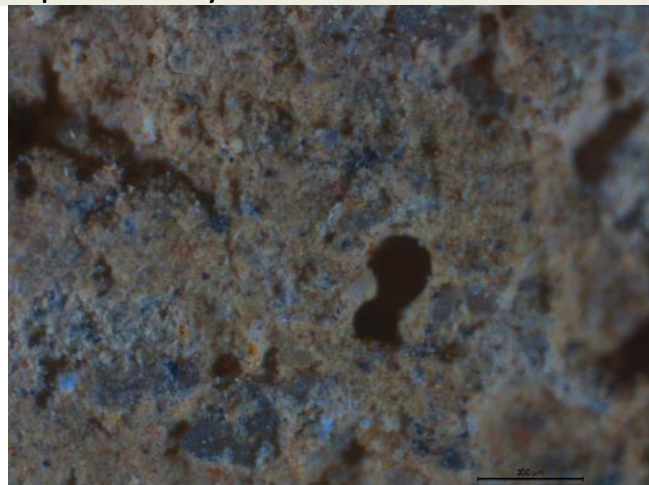
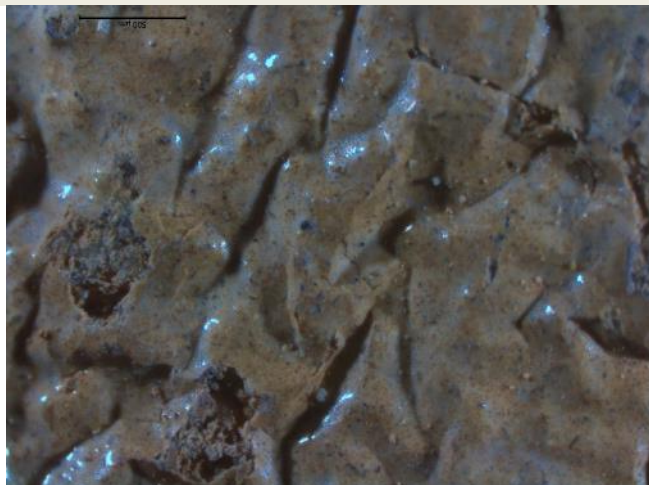


Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO B. Muestra testigo con polímero.

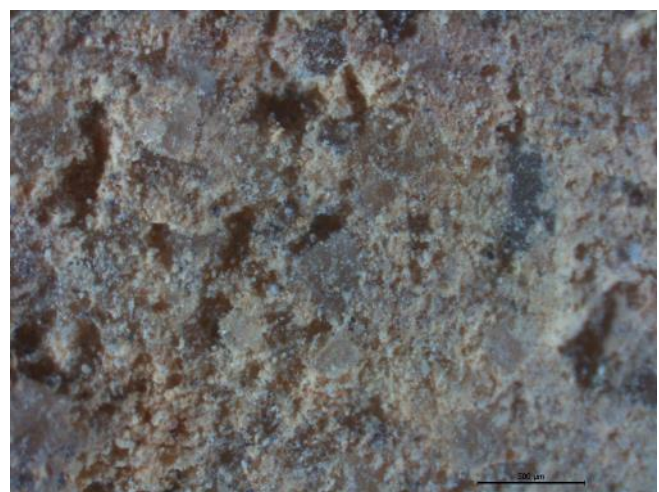
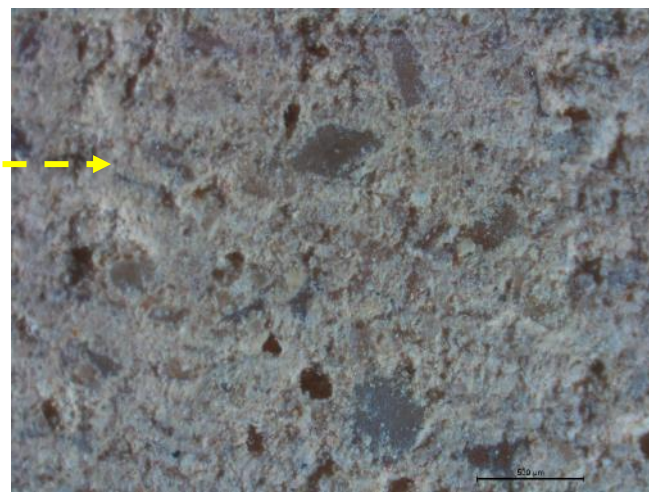
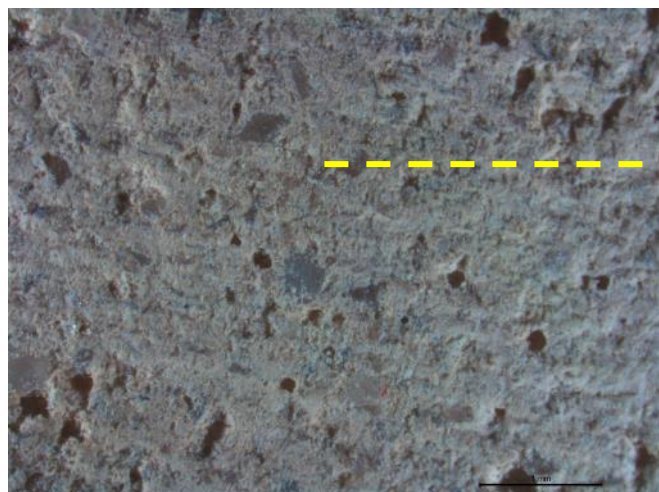
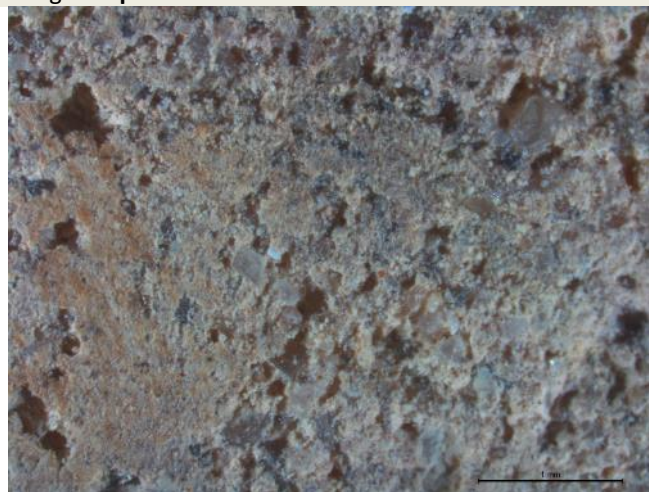
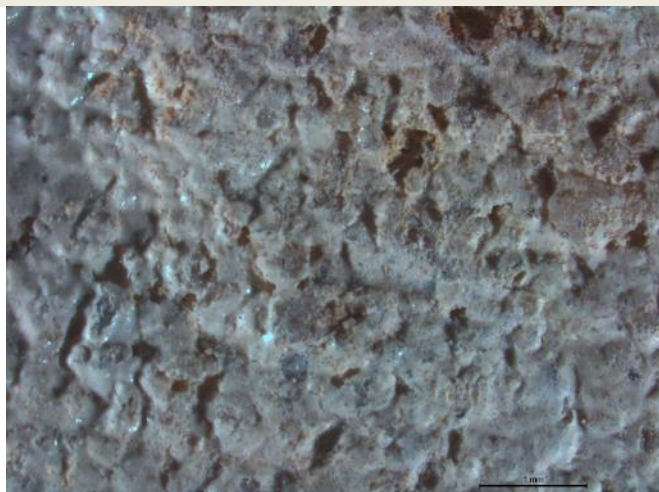


MORTERO B. Muestra con polímero. Ensayo.



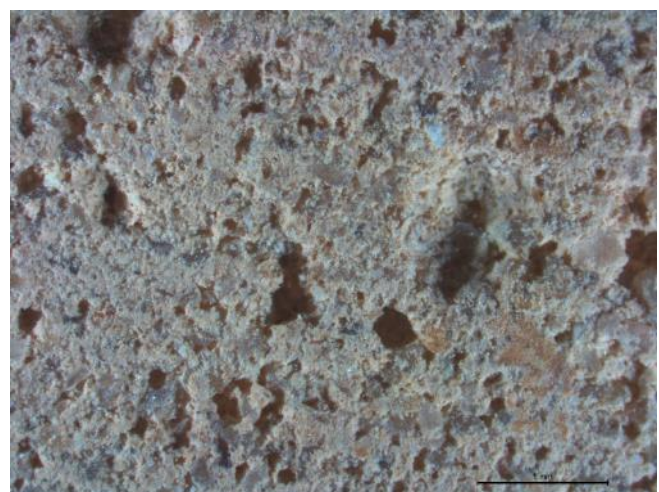
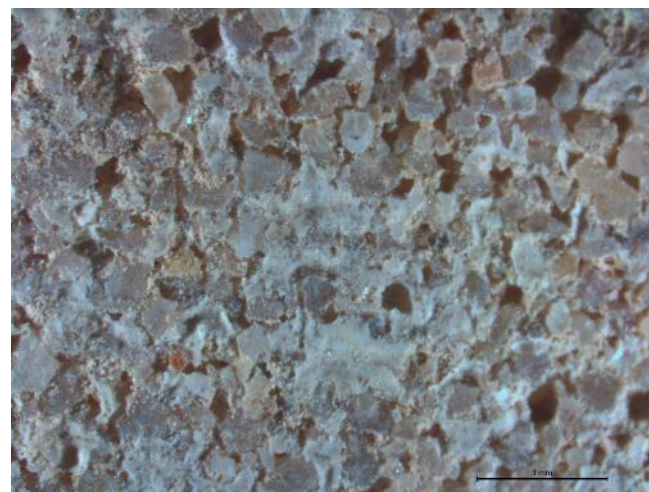
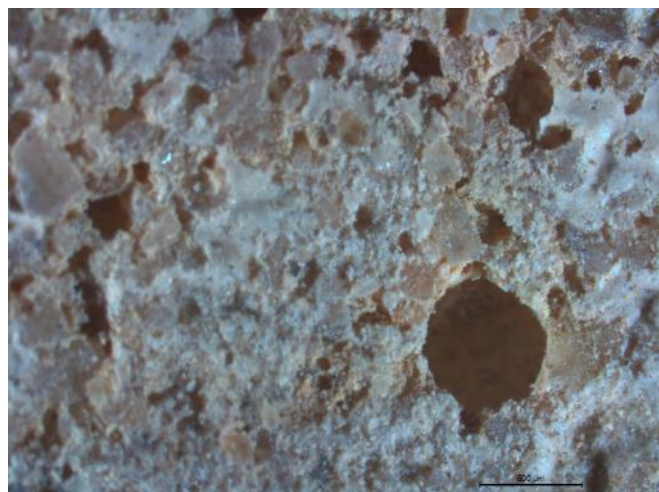
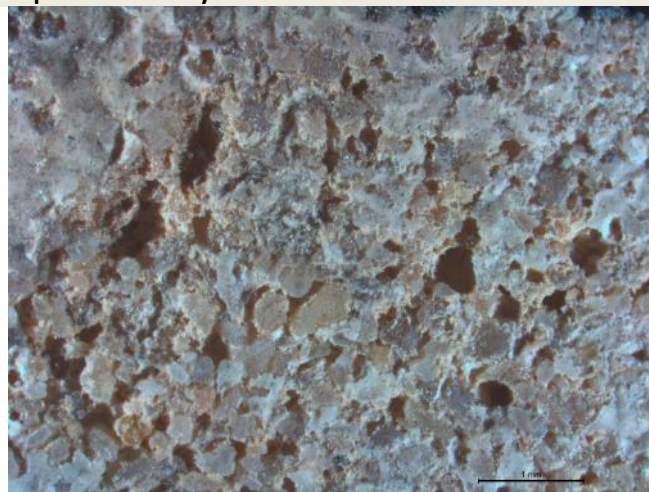
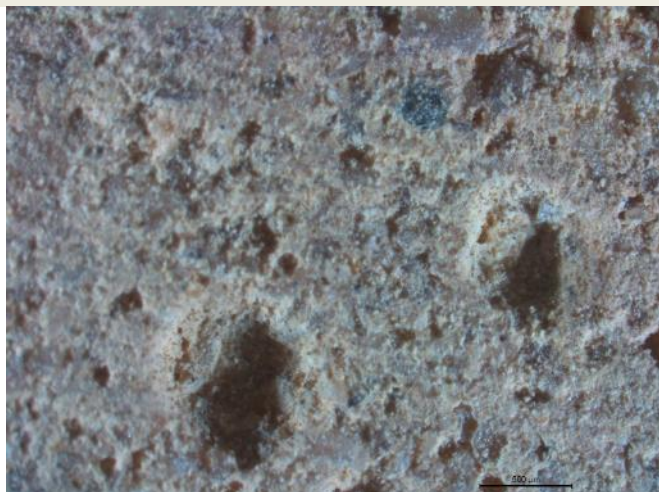
Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO C. Muestra testigo sin polímero.



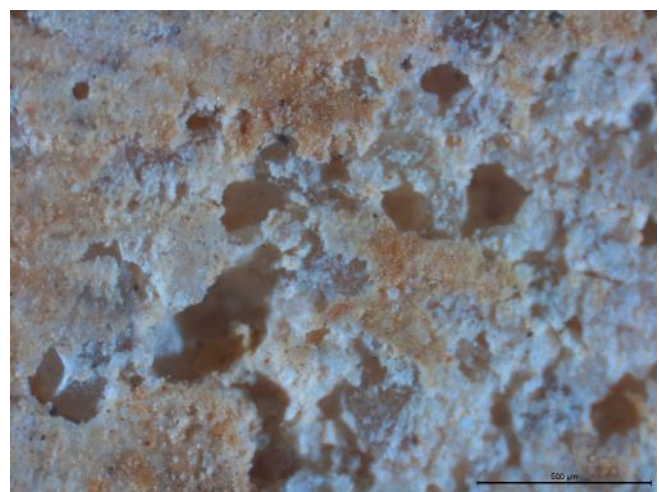
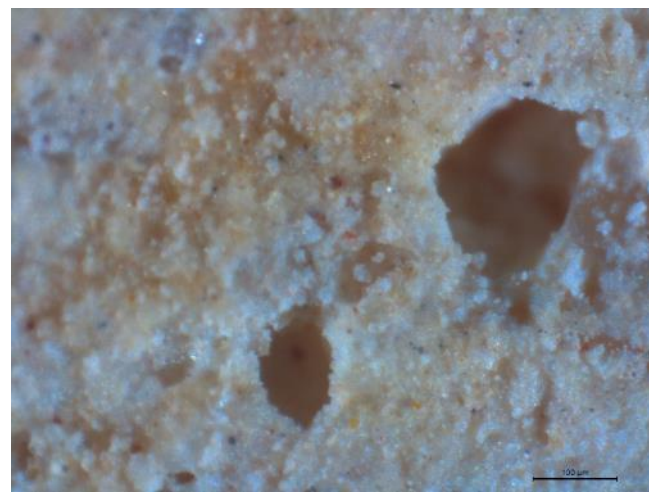
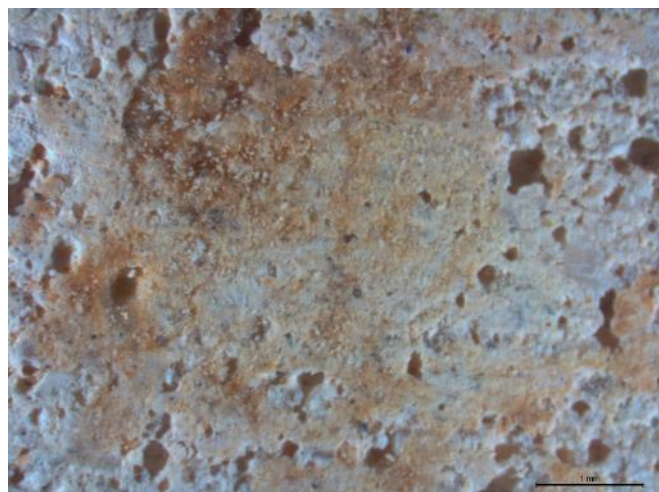
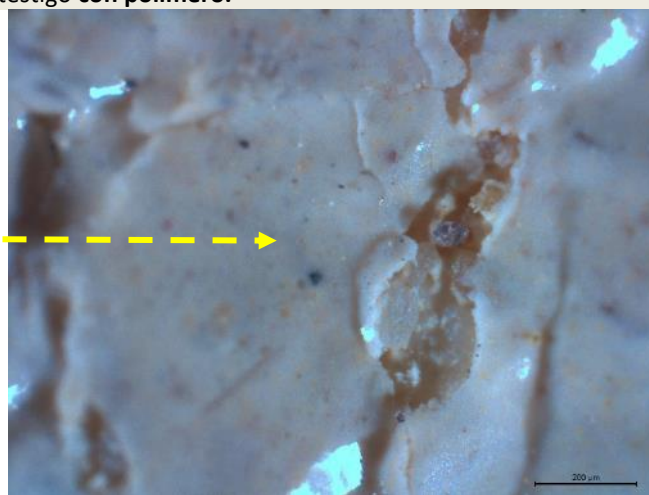
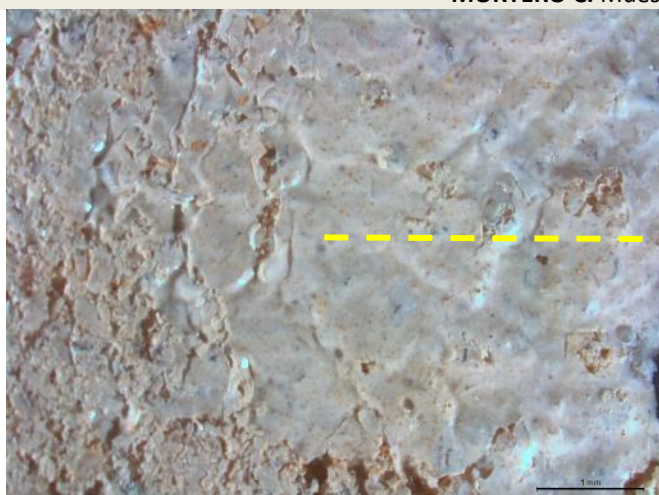
Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO C. Muestra sin polímero. Ensayo.



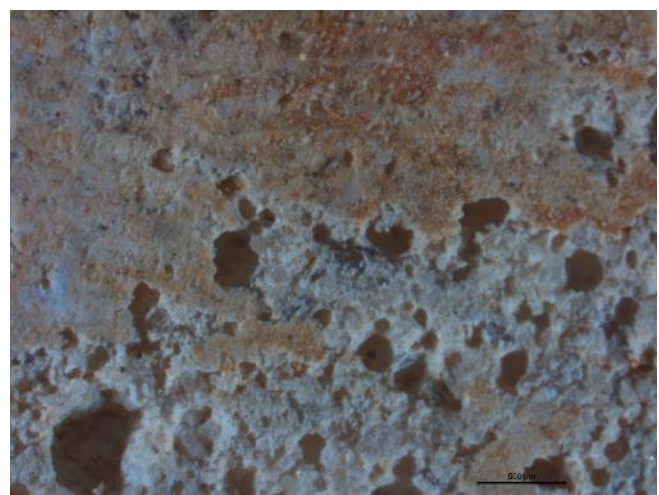
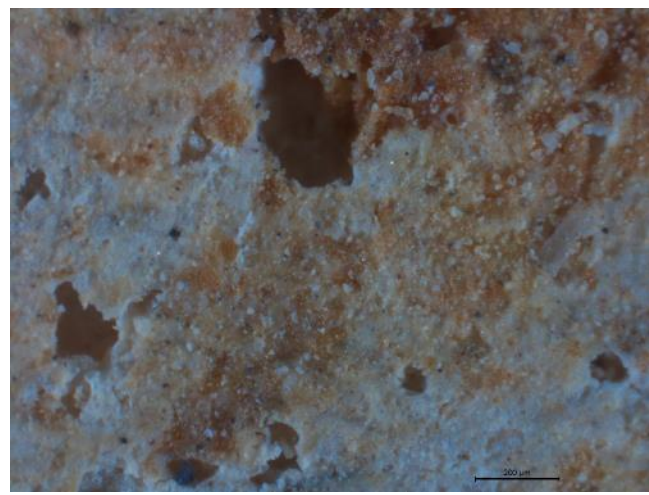
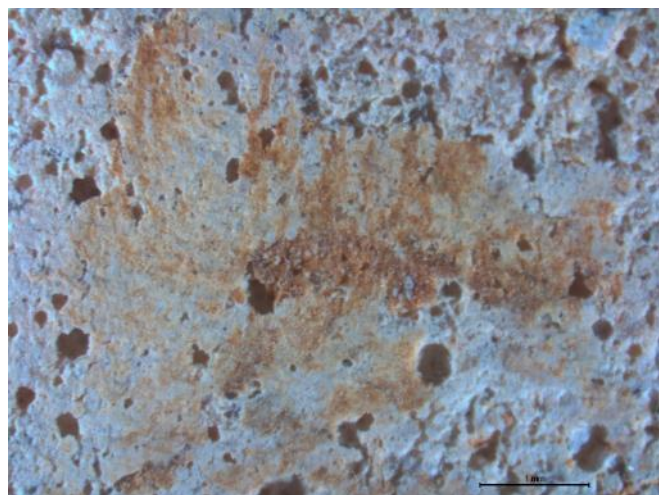
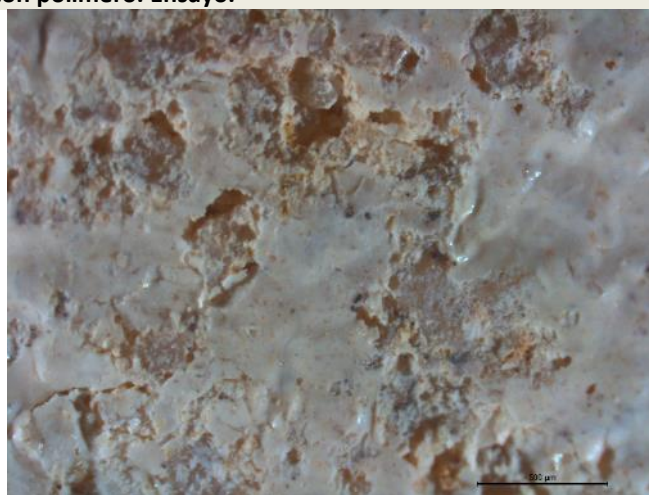
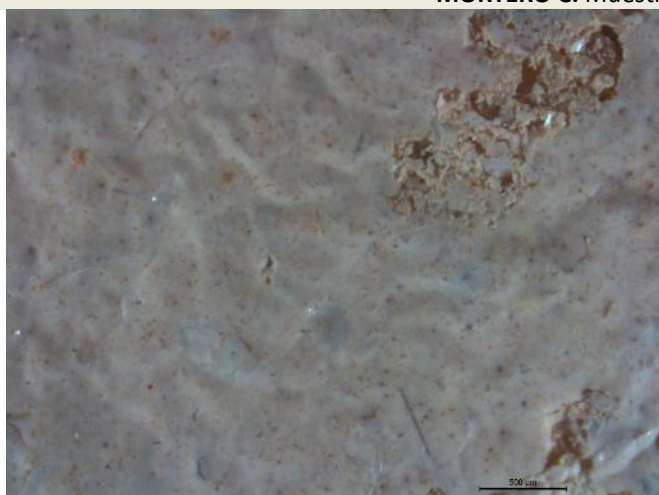
Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO C. Muestra testigo con polímero.



Anexo: Ensayo envejecimiento acelerado

MORTERO C. Muestra con polímero. Ensayo.

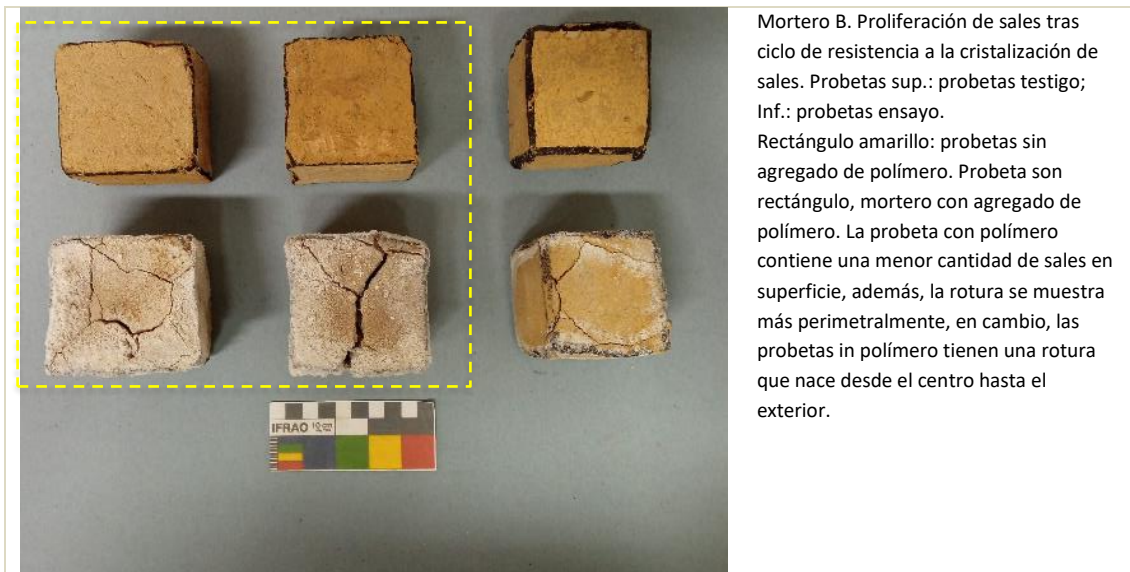
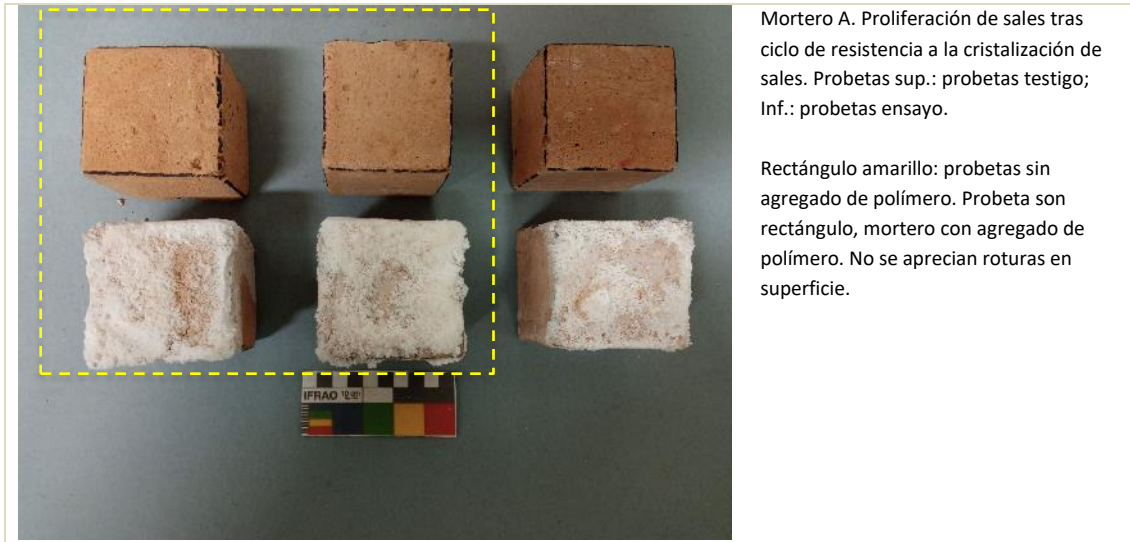


Anexo: Resistencia a la cristalización de sales

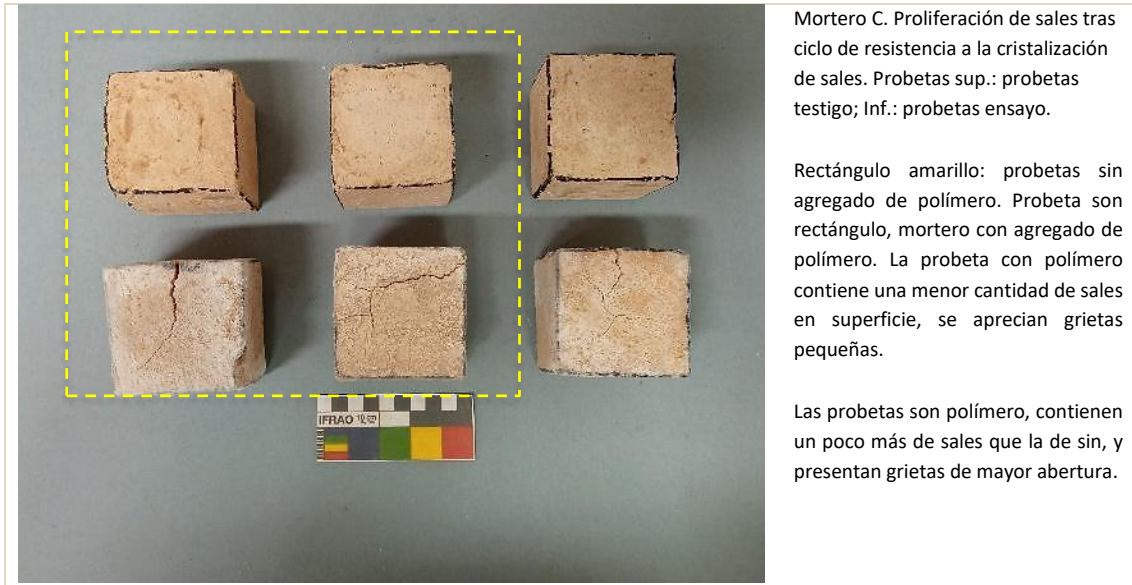
11.13. Anexo: Resistencia a la cristalización de sales

UNE-EN 12370. Método de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.

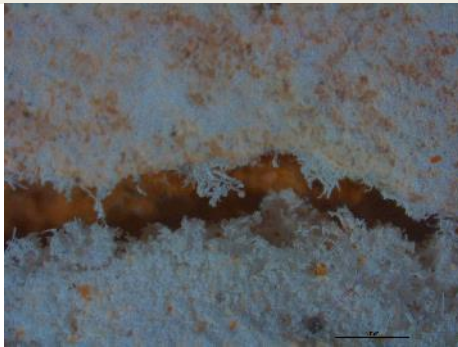
A continuación se exponen las fotografías tomadas tras los resultados del ensayo normativo. Fuente de todas las imágenes: CASTELLET, 2022.



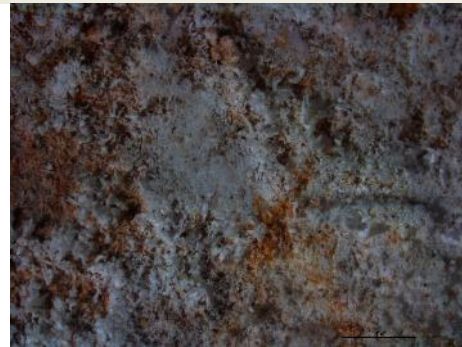
Anexo: Resistencia a la cristalización de sales



MORTERO A.



Sin polímero.

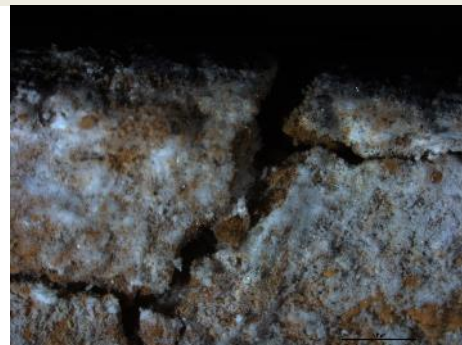


Con polímero.

MORTERO B.



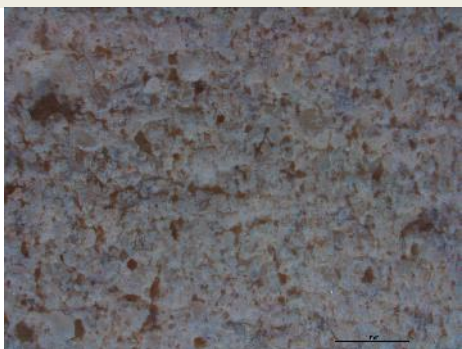
Sin polímero



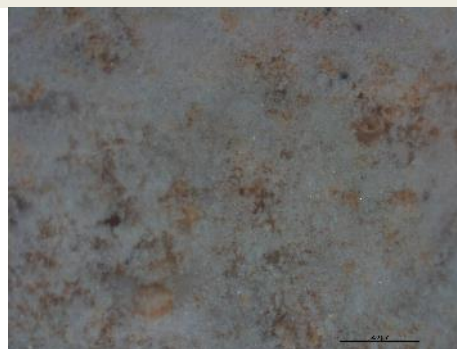
Con polímero.

Anexo: Resistencia a la cristalización de sales

MORTERO C.



Sin polímero



Con polímero.

Anexo: Resistencia a la helacidad

11.14. Anexo: Resistencia a la helacidad

UNE-EN 12371, de marzo de 2010 y la *Essai n° V.3: Tenue au gel*, 1980, RILEM. Las probetas utilizadas para los ciclos de hielo-deshielo constituían un tamaño de 7×7×28 cm.

Se decidió usar los dos tipos de normativa al ver que los cálculos finales eran los mismos en ambas y por facilidad en la creación y manufacture del molde de silicona. A continuación, se exponen los resultados fotográficos.

MORTERO A.



Probe con polímero. Antes del ciclo hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta con polímero. Antes del ciclo hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.

MORTERO A.



Probeta sin polímero antes de ciclo de hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta sin polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el primer ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

Anexo: Resistencia a la helacidad

MORTERO B.



Probeta con polímero antes de ciclo de hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta con polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el segundo ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

MORTERO B.



Probeta sin polímero antes de ciclo hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta sin polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el tercer ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

Anexo: Resistencia a la helicidad

MORTERO C.



Probeta con polímero antes de ciclo hielo-deshielo.
Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta con polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el segundo ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

MORTERO C.



Probeta con polímero antes de ciclo hielo-deshielo.
Fuente: CASTELLET, 2022.



Probeta con polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el tercer ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.

Anexo fotográfico: Molde normativo

11.15. Anexo fotográfico: Molde normativo

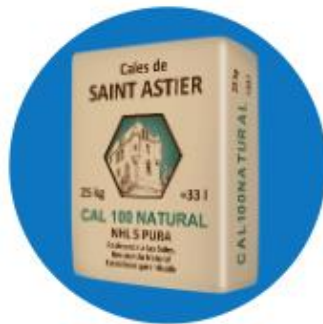
Seguidamente se van a exponer las fotografías que muestran cómo se ha realizado el molde de silicona (Silical 120 + catalizador silical 125 al 5% en peso) para el ensayo normativo de Resistencia a la helicidad. se utilizaron tres bloques de madera prismáticos con las dimensiones requeridas las cuales fueron impermeabilizadas con goma laca para evitar el agarre de la silicona, ya que se trata de un material poroso. Como recipiente se utilizó una cubeta de 30×30 cm, y, de aislante de superficie, se aplicó jabón de pH básico. Se preparó la silicona según recomendaciones de la ficha técnica (Véase Anexo – Fichas Técnicas) y se vertió sobre la cubeta con los tabloncillos de madera bien dispuestos. Se proporcionó peso y un tope para evitar el exceso de flote de los listones.

Fuente: CASTELLET, 2022.



Anexo: Fichas Técnicas

11.16. Anexo: Fichas Técnicas



CAL NHL 5 de SAINT ASTIER®

FICHA TÉCNICA DE LA CAL NHL5®



CAL HIDRAULICA NATURAL NHL5



www.calhidraulica.es

Producto distribuido por **CESA** La Jarthe - 24110 Saint-Astier - FRANCIA
Téno : +33 553 541 125 - Fax : +33 553 046 791
OFICINA CESA EN ESPAÑA Téno : +34 843 630 887 - mail : oficina@e-s-a.fr



CAL HIDRÁULICA NHL5®

CAL HIDRÁULICA NHL5®

FICHA TÉCNICA NHL5 SAINT ASTIER NHL5®

NHL5®, ES UNA VERDADERA CAL NATURAL PURA, MENOS CLARA QUE LA CAL NHL 3,5. DA AL MORTERO CUALIDADES ESPECÍFICAS (PLASTICIDAD, RENDIMIENTO, MANEJABILIDAD, TRANSPIRABILIDAD, ETC.). SU PUREZA GARANTIZA LA CONSTANCIA, Y SU RESISTENCIA (100 BARS) PERMITA UTILIZACIONES MÚLTIPLES Y FRECUENTEMENTE, SIN AÑADIR CEMENTO.

PRESENTACIÓN

Sacos de 25 Kg. palet de 1000 Kg (40 sacos)

CONSERVACIÓN Y GARANTÍA

Un año a resguardo de la humedad en el embalaje original
Responsabilidad civil del fabricante

SOPORTES ADMITIDOS

Cerramientos de ladrillo, bloque de hormigón, Termoarcilla, Mampostería, Sillería. El mortero NO se debe aplicar sobre adobe o tapial. Para soportes lisos y no absorbentes añadir una resina de agarre (0,5l por saco de 25Kg)

PRECAUCIONES CLIMÁTICAS

Temperatura de utilización entre 5 y 30 °C. Con fuertes calores, humedecer los soportes y mantener húmedo el revoco con pulverizaciones moderadas durante 48 horas.

PREPARACIÓN Y CONSUMO

PREPARACIÓN: Mezclar en hormigonera o máquina de proyectar de 3 a 5 minutos máximo, añadiendo 14 litros de agua por saco. LA CAL ES UN LIGANTE Y SE TENDRÁ QUE MEZCLAR CON ARENA EN LAS PROPORCIONES ADECUADAS DEPENDIENDO DEL TRABAJO A REALIZAR.

CONSUMO: 8kg/m² por 20mm de espesor.

www.calhidraulica.es

Producto distribuido por **CESA** La Jarthe - 24110 Saint-Astier - FRANCIA
Tfno : +33 553 541 125 - Fax : +33 553 046 791
OFICINA CESA EN ESPAÑA Tfno : +34 843 630 887 - mail : oficina@c-e-s-a.fr



CAL HIDRÁULICA NHL5®

ESPEORES Y APLICACIÓN

Aplicar el mortero efectuado con cal NHL5 y arena, a mano o a máquina. Rellenar las juntas de albañilería en pases sucesivos, hasta cubrir la alineación de las piedras de 5 mm. de mortero. Reglear el mortero, dejando su superficie suficientemente rugosa para favorecer la adherencia del mortero. Después de 24/ 72h. de secado, aplicar el raseo con el mortero deseado, teniendo un espesor mínimo de 10/20 mm y reglearlo. En caso de recubrir con una capa de terminación, raspar la superficie de la capa anterior para favorecer la adherencia. Se podrá realizar con el mortero « CAL COLOR ARENA» y cales de SAINT ASTIER, después de un secado mínimo de 7 días.

ACABADOS/TERMINACIÓN

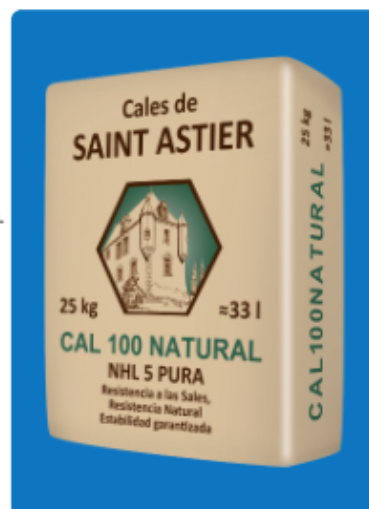
Esperar 7 días el secado completo y en caso de un espesor superior a 20 mm aumentar el tiempo de secado en 7 días por cm suplementario. Humedecer la víspera de la aplicación del producto de terminación elegido.

TIPOS DE ACABADO CON MORTEROS

Acabado raspado:

(7 días mínimo después del secado de la capa de raseo previa)
Aplicar una capa de 10 mm., reglear y dejar fraguar de 2 a 4 horas, dependiendo de las condiciones climáticas. Seguidamente raspar. En caso necesario, quitar las partículas de arena restantes con ayuda de un cepillo suave.

(*) Morteros: Cal Color arena, NHL3,5/NHL2/ Decorchaux y arena, Cal Coloreada.



www.calhidraulica.es

Producto distribuido por **CESA** La Jarthe - 24110 Saint-Astier - FRANCIA
Tfno : +33 553 541 125 - Fax : +33 553 046 791
OFICINA CESA EN ESPAÑA Tfno : +34 843 630 887 - mail : oficina@c-e-s-a.fr

Anexo – Fichas Técnicas



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
DATOS TÉCNICOS / CARACTERISTICAS GENERALES
Producto servido en saco de 25 kg. - 40 sacos por palet.

► Características medidas con la mezcla de un saco de 25 kg de Cal NHL y Arena para 14l de agua

- Tiempo de comienzo fraguado: 2 a 3 horas
- Resistencia media a la compresión a 7 días: 4 Mpa = 40 Kg/cm2
- Resistencia media a la compresión a 28 días: 9 Mpa = 90 Kg/cm2
- Masa volumínica aparente (MVA): 0,77 kg/l
- Tasa de cal libre: 22% Ca(OH)2



Características Esenciales	Prestaciones	Especificaciones técnicas armonizadas
Cal Hidráulica Natural	NHL5	EN 459.1 : 2010
Resistencia a la compresión 7 días	≥2 MPa	
Resistencia a la compresión 28 días	De 5 a 15 MPa	
SO3	≤2%	
Cal Libre	≥15	
Agua libre	≤2%	
Estabilidad	≤2mm	
Tiempo de Fraguado	2 a 3 horas	
Finura de Blaine	7.500 a 8.500 cm ² /g	

www.calhidraulica.es

Producto distribuido por **CESA** La Jarthe - 24110 Saint-Astier - FRANCIA
 Tfno : +33 553 541 125 - Fax : +33 553 046 791
 OFICINA CESA EN ESPAÑA Tfno : +34 843 630 887 - mail : oficina@c-e-s-a.fr

Anexo – Fichas Técnicas



CALES PASCUAL, S.L.
CAL E HIDRATOS CALCÍCOS

Compendiada:
C/els Rau, 76
48112 MASARROCHOS (Múrcia) España
www.pascualcal.com

Fábrica - Oficina:
C/els Rau, 76
48112 MASARROCHOS (Múrcia) España
Tel: 96 922 12 73 Fax: 96 922 40 68
48880 PATERNA (Valencia) España
INTERNACIONAL Fax: 34 961 324 350
Tel: 34 961 321 270

FICHA TÉCNICA

CAL EN PASTA especial restauración

El proceso de producción de cal en pasta se hace apagando la cal viva con un exceso de agua, para así producir una lechada de cal que se deja reposar en unas balsas donde decanta el agua sobrante y sigue su proceso de envejecimiento.

La cal en pasta, con el tiempo, va transformando su estructura cristalina de las moléculas de hidróxido, en cristales más pequeños, que le añaden plasticidad, aumento de superficie específica y facilidad de carbonatación, que significa más rapidez en tener resistencia.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Producto	Antigüedad	Granulometría micras	Cal libre (%)	Humedad (%)	Densidad (Kg/m ³)
Cal Pasta	1 mes	200	80	62	1270
Cal Pasta	6 meses	200	88	63	1250
Cal Pasta	24 meses	80	93	63	1260

Producto homogéneo de aspecto denso y viscoso. Color: blanco. No se encuentran impurezas, debido a que está sometido a un proceso de filtrado.

ANÁLISIS QUÍMICO

Químicamente es Hidróxido de Cal Ca(OH)₂:

- Peso molecular: 1.1
- Blancura: L>95
- Alcalinidad total: 95.2 %
- CO₂: 1.2 %
- MgO: 0.1 %
- SiO₂: 0.4 %
- PH: 9 %
- H₂O: 5 %

APLICACIONES DEL PRODUCTO :

Restauración de edificios, estucos, enfosados, morteros de cal, depuración de aguas residuales.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD:

El producto irrita la piel, por lo que se aconseja utilizar guantes a la hora de aplicarlo. Evitar el contacto con los ojos. Si se produce este contacto, limpiar con agua abundante. Mantener el producto fuera del alcance de los niños.

Rev. 05
Agosto 2019

Anexo – Fichas Técnicas

SILICES CARRION MARTINEZ, S. L.
S I L I C A M

Ficha de Datos de Seguridad
de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/830, que modifica el Reglamento (CE) 1907/2006

Fecha Revisión: Julio de 2020

Versión: 01

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO, MEZCLA Y DE LA COMPAÑÍA/PROVEEDOR

1.1. Identificación del producto

Nombre: CUARZO (fracción respirable)< 1%]]

Nº Registro REACH: Está exento de registro REACH de conformidad con el anexo V.7.

Sinónimos: *Arena de cuarzo, Cuarcita*

Nombres comerciales: *Silíce seca, Arena de Silíce* (ver sección 17)

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia/de la mezcla, y usos desaconsejados:

Principales aplicaciones (lista no exhaustiva): pinturas, cerámicos, fibra de vidrio, adhesivos, plásticos, selladores de goma, hormigones especiales, producción de silicio, granulos ferrosilíceos y de óxido de hierro, etc. Aditivo en la fabricación de cemento y hormigón. Material fundente.

1.3. Detalles del proveedor de la Ficha de Datos de Seguridad:

Nombre de la compañía: **SÍLCES CARRIÓN MARTÍNEZ, S.L.**

Dirección: Ctra. Llíria-Pedraiba, Km.1
46160 Llíria (Valencia) ESPAÑA

Nº de teléfono: +34 96 278 06 07

Nº de fax: +34 96 278 33 03

E-mail responsable de la información contenida en esta Ficha técnica de seguridad:

silicam@silicamsi.com

Anexo – Fichas Técnicas

SILICES CARRION MARTINEZ, S. L.
SILICAM

Ficha de Datos de Seguridad
de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/830, que modifica el Reglamento (CE) 1907/2006

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Principal Componente: CUARZO

Cantidad: SiO₂ > 90%

EINECS: 238-878-4

CAS: 14808-80-7

Impurezas:

No.

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Contacto con los ojos

Enjuáguelos con abundante agua y acude al médico si persiste la irritación.

Inhalación

Se recomienda que el individuo expuesto salga de la zona para respirar aire fresco.

Ingestión

No es necesaria ninguna medida de primeros auxilios.

Contacto con la piel

No es necesaria ninguna medida específica de primeros auxilios.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

No se han observado síntomas ni efectos agudos o retardados.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse de inmediato

No se requieren acciones específicas.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medidas de extinción

No se necesita ningún agente extintor específico.

Anexo – Fichas Técnicas

SILICES CARRION MARTINEZ, S. L.
SILICAM

Ficha de Datos de Seguridad
de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/830, que modifica el Reglamento (CE)
1907/2006

17. ANEXO

LISTADO DE DENOMINACIONES COMERCIALES
DE SILICES CARRION MARTINEZ, S.L.

SÍLICE SECA 0,2
SÍLICE SECA 0,4
SÍLICE SECA 0,6
SÍLICE SECA 0,8
SÍLICE SECA 1,5
SÍLICE SECA 2,5

Anexo – Fichas Técnicas



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

EVA ART

ETILENVINILACETATO EN DISPERSIÓN ACUOSA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Resina base:	copolímero etilenvinilacetato (EVA)
Aspecto:	líquido lechoso blanco
Residuo seco:	50%
Viscosidad a 20°C.:	1500-2500 mPa.s
pH:	6,0
Densidad	1,1 Kg/dm ³
Diámetro medio partículas:	0,3-1,8 micras
Temperatura de transición vítrea (tg):	14°C
Temperatura mínima de filmación (mft):	3°C
Alargamiento a la rotura (ISO 527 – UNI 8422)	750%
Carga de ruptura (ISO 527- UNI 8422)	7 N/mm ²

DESCRIPCIÓN

Dispersión acuosa de resina etilenvinilacetato (EVA), con excelentes características de resistencia al envejecimiento. No contiene plastificantes y agentes coalescentes.

Aconsejamos, de todas formas, llevar a cabo unas pruebas preliminares para comprobar su compatibilidad y eficacia. La propiedades de las películas se pueden resumir, por lo tanto, de la siguiente forma:

- alta resistencia al amarilleo y a los rayos UV;
- alta flexibilidad;
- buena transparencia;
- excelente poder ligante;
- gran compatibilidad con pigmentos y cargas;
- baja pegajosidad;
- gran resistencia a los álcalis.

SECTORES DE UTILIZACIÓN

EVA ART se puede utilizar en todos los sectores de la restauración conservativa como:

- adhesivo para documentos de papel.
- consolidante y fijador de las capas pictóricas;
- ligante para pigmentos naturales y sintéticos;
- ligante para veladuras y blanqueos;

ENVASES

EVA ART está disponible en envases de 1 y 5 kg.

PROPIEDADES

La cantidad de etileno dentro del copolímero etileno-vinil acetato, se ha calculado para garantizar simultáneamente un valor bajo de la temperatura mínima de filmación (TMF) y, al mismo tiempo, una elevada tenacidad y baja pegajosidad de la película.

La dispersión EVA ART presenta una reología de tipo pseudoplástico; esta característica le otorga a las mezclas pigmento-EVA ART unas buenas características de aplicación.

ALMACENAJE

EVA ART tiene una duración prácticamente ilimitada. Conservar el producto en sus contenedores originales cerrados herméticamente a una temperatura aproximada de 20°C.

EVA ART NO SOPORTA LAS HELADAS; puede coagularse a una temperatura inferior a los 5° grados.

La información que aparece en esta ficha se basa en nuestros conocimientos y pruebas de laboratorio en la fecha de la última versión. El usuario tiene que comprobar que el producto es adecuado para su uso específico mediante pruebas preliminares, y tiene que cumplir con las leyes y disposiciones vigentes en materia de higiene y seguridad.

C.T.S. S.r.l. garantiza la calidad constante del producto pero no asume ninguna responsabilidad por eventuales daños ocasionados por un uso incorrecto del material. Producto destinado exclusivamente a un uso profesional. Además, los componentes y las envases podrán variar en cualquier momento sin que exista obligación de comunicación alguna.

FERPOL 1973

Resina de Poliéster para oclusiones

Resina de poliéster insaturado, ortoftálica, tipo rígido, de baja reactividad, con acelerador incorporado especialmente preparada para la obtención de coladas transparentes.

1. Datos técnicos:

	Método de ensayo	Unidad de medida	Valor típico
Densidad	ISO-1675/75	gr/ml	1.24
Viscosidad Brookfield a 25 °C	ISO-2555/74	M Pa.s	400
Acidez	RS02C	Mg KOH/g	30
Contenido en estireno	RS06C	%	37
Estabilidad a 20 °C en lugar oscuro	RS07G	meses	2

2. Endurecimiento en frío:

	Método de ensayo	Unidad de medida	Valor típico
Condiciones del ensayo – 20 °C	1,5% MEKP	-- --	-- --
Tiempo de gel	RS08G	minutos	35
Tiempo de transformación	RS08G	minutos	100
Pico exotérmico	RS08G	°C	78

1. Características de la resina curada:

	Método de ensayo	Unidad de medida	Valor típico
Temperatura de distorsión	ISO 75/A	°C	63
Resistencia a la tracción	ASTM D-638-72	Kgf/cm ²	530
Módulo elástico a la tracción	ISO 527/1993	-- --	-- --
Alargamiento a la rotura	ASTM D-638-72	%	2
Resistencia a la flexión	ASTM D-790-71	Kgf/cm ²	950
Módulo elástico a la flexión	ASTM D-790-71	Kgf/cm ²	44.700

La presente información corresponde a experiencias y se suministra únicamente a título informativo.

Anexo – Fichas Técnicas



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

SILICAL 120

GOMA SILICONA LÍQUIDA COLABLE

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Catalizador:	SILICAL 125 rapor en peso al 5 %
Aspecto del SILICAL 120:	líquido viscoso de color blanco
Aspecto del vulcanizado:	pasta de color blanco
Tiempo de trabajo:	aprox. 120 minutos, a 23° C,
Tiempo de desmolde:	20 - 24 horas (a 23° C)
Viscosidad de la masa catalizada:	40.000 cP
Retiro linear (después de 5 días a 23° C):	0,7 % max, (ISO 4823)
Peso específico:	1,24 kg/lt (ASTM D 792)
Dureza (después 24 horas a 23° C):	13 ± 1 Shore A. (ASTM D 2240-68)
Dureza (después 48 horas a 23° C):	15 ± 3 Shore A. (ASTM D 2240-68)
Resistencia a la tracción:	2,4 ± 0,3 N/mm ² (ASTM D 412)
Alargamiento a rotura:	420 ± 50 % (ASTM D 412)
Resistencia a la laceración:	12,7 ± 1 N/mm (ASTM D 624/B)

DESCRIPCIÓN

SILICAL 120 es una goma silicona con reticulación por condensación, de tipo RTV (Room Temperature Vulcanization) vulcanizable a temperatura ambiente mediante el añadido de un oportuno catalizador (**SILICAL 125**).

SECTORES DE EMPLEO

SILICAL 120 es una goma silicona apta a todas las técnicas de estampado dónde se requieran características de trabajo (largo tiempo de trabajo y óptima fluidez) y de características mecánicas (resistencia a la laceración y a la tracción, bajo retiro). **SILICAL 120** se aconseja para la realización de moldes por colada de todos los objetos y obras de arte que el restaurador necesite reproducir.

VENTAJAS

- **SILICAL 120** presenta la particularidad de ser fácilmente carteable después del desmolde, para permitir al operador un perfecto acabado.
- Facilidad de aplicación.
- Fidelidad de reproducción de los detalles.
- Mínimo retiro.
- Óptimo desmolde.

MODALIDAD DE EMPLEO

No obstante las notables capacidades de desmolde y anti adherencia de **SILICAL 120**, en el caso de materiales particularmente porosos se aconseja un tratamiento preventivo con el destacante SILICAL 100.

Una vez preparado el objeto a reproducir, se mezcla la cantidad de **SILICAL 120** establecida con el respectivo endurecedor **SILICAL 125** en la proporción arriba indicada hasta obtener un empaste homogéneo; se puede proceder entonces a la aplicación del empaste por colada sobre el material. Para una óptima reticulación es aconsejable obrar con temperatura ambiente de 20 – 25 °C.

CONFECCIONES

SILICAL 120 está disponible en confecciones de 1 - 5 - 20 kg.

SILICAL 125 está disponible en confecciones de 50 y 250 ml.

ESTOCAJE

12 meses en los recipientes originales herméticamente cerrados a temperatura de aproximadamente 20°C.

Las indicaciones y los datos referidos en el presente folleto se basan en nuestras experiencias actuales, sobre pruebas de laboratorio y sobre su correcta aplicación. Estas informaciones no deben sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para asegurarse de la idoneidad del producto en cualquier caso determinado.

C.T.S. S.r.l. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso no correcto del material. Producto destinado a uso profesional. Además, pueden cambiar en cualquier momento los componentes y confecciones sin obligación de comunicación alguna.

Anexo – Fichas Técnicas

A continuación les reportamos algunas **referencias** recogidas sobre la línea “SILICAL”:

Nombre del Monumento / Obra	Localidad – Provincia (País)
Basilica di S. Paolo ed Accademia delle Belle Arti	Roma (I)
Villa Olmo	Como (I)
Palazzo Reale	Milano (I)
Statua di Settimio Severo	Musei Capitolini – Roma (I)
Ayuntamiento de Adeje	Santa Cruz de Tenerife (E)
Palacio Real – Patrimonio Nacional	Madrid (E)
Iglesia de San Felipe Neri	Málaga (E)
Iglesia de San Pablo	Palencia (E)
Museo Arqueológico de Cordoba	Cordoba (E)
Tumba de Djehuty	Luxor – Egipto (ET)
Teatro María Guerrero	Madrid (E)
Monasterio de Rueda	Sastago – Zaragoza (E)
Stemmi e iscrizioni del Ponte de Palmas	Badajoz (E)
Bassorilievo del cornicione della Caserma Savoia	Roma (I)
Ricostruzioni parti del David del Verrocchio	Firenze (I)
Reperti del Convento della Riforma	Bisignano – CS (I)
Stemmi del Castello de Priego	Cordoba (E)
Statua del Cimitero	Città di Castello – PG (I)
Chiosstro della Chiesa de los Geronimos	Madrid (E)
Stucchi di Palazzo Anguissola Carafava	Piacenza (I)
Ospedale Principessa Jolanda	Milano (I)
Palazzo Accorretti	Filottrano – AN (I)
Altare maggiore della Chiesa di San Lorenzo	Segovia (E)
Statua lignea di San Diego de Alcalà	Granada (E)
Chiesa di Santo Stefano	Cuellar – Segovia (E)
Lampade processionali della Chiesa di San Fernando	Burgos (E)
Scavi a Cerro de las Balsas	Alicante (E)
David del Verrocchio	Firenze (I)
Villa Angerer	Imperia (I)
Palazzo Civran	Venecia (I)
Maneggio Caprilli	Pinerolo – Torino (I)
Reggia di Venaria Reale	Torino (I)
Ospedale di Santa Maria Nuova	Firenze (I)
Esculturas Ayuntamiento de Baena	Baena – Córdoba (E)
Convento de Santo Domingo	Jerez de la Frontera –Cádiz (E)
Chiesa S.F. di Borgia	Catania (I)
Castello di Trabia	Trabia – PA (I)
Palazzo Serristori	Firenze (I)
Ricostruzione di elementi del campanile della chiesa	Borgo di Terzo (I)
Terrecotte architettoniche romane di Sovana	Sorano – GR (I)
Alabastro “Cristo resuscitato”, Santa María del Manzano	Hondarribia (E)
Villa Romana de Fuente de Alamo	Puente Genil – Córdoba (E)

Asimismo Silical 120 se ha utilizado para hacer grandes moldes en el proceso de reconstrucción del retablo Petrobelli de Paolo Veronese, la restauración realizada en la Galería Nacional de Canadá. Véanse los artículos de Tomas Markevicius Kermes sobre el No. 74 y No. 76 (2009).

**CTS ESPAÑA PRODUCTOS Y EQUIPOS PARA LA RESTAURACION S.L.,
C/ MONTURIOL, 9 , POLIG. IND. SAN MARCOS, 28906 GETAFE (MADRID).**

TEL: +34-91-6011640 FAX: +34-91-6010333

web www.ctseurope.com

E-mail: cts.espana@ctseurope.com

Vídeo 1. Vídeo expositivo del conjunto arquitectónico del Castell de Marinyén. @CUERDAS Y DRONES. El castillo de Marinyén también conocido como Castillo de la Reina Mora, Castillo de Benifairó. [vídeo en línea]. YouTube.com.: 2021. [consulta: 10 de julio 2022]. Disponible en: < <https://www.youtube.com/watch?v=rO-Tor8wols> > 2

Tabla 1. Proporción de aglomerante/ árido (1: 2) del mortero.....	7
Tabla 2. Proporción de aglomerante/ árido (1: 1,5) del mortero.....	7
Tabla 3. Proporción de aglomerante/ árido (1: 3) del mortero.....	7
Tabla 4. Niveles de hidraulicidad de la cal.....	28
Tabla 5. Tabla climática con los datos históricos comprendidos entre los años 1991 y 2021 del municipio de Benifairó de la Vall d'Alfara. Fuente: CLIMATE-DATA.ORG. Disponible en: < < https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/benifairo-de-la-valldigna-721041/ >	36
Tabla 6. Caracterización de la granulometría de los áridos según su tamaño.	43
Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos del ensayo granulométrico.	44
Tabla 8. Fases utilizadas en el ensayo de envejecimiento acelerado.	46
Tabla 9. Resultados obtenidos de las probetas tras la realización del ensayo normativo. Diferencia de masa (antes y después).....	49
Tabla 10. Resultados obtenidos en ciclos de resistencia a la helicidad de los morteros tras realización de ensayo.	51

Figura. 1. Mapa político de las comarcas de la provincia de València. Disponible en: < https://farm2.staticflickr.com/1847/42370474140_71bca3fbfb_o.jpg >.....	8
Figura. 2. Comarca de la Safor. Localización de Benifairó de la Vall d'Alfara Disponible en: < https://www.ermitascomunidadvalenciana.com/logos/MapaSafor_01.gif >	8
Figura. 3. Materiales usados en la comarca la Safor en época medieval. Fuente: GARCÍ, J.; IZQUIERDO, T, 2013. p. 133.....	9
Figura. 4. Vista este del Castell de Marinyén. Disponible en:< https://i.pinimg.com/736x/ca/ce/a7/cacea7da7e2434a0ddbba1ba9df57a7e--mediterranean-sea-castle.jpg >.....	9
Figura. 5. Vista aérea del Castell. Disponible en: < https://gentedelasfor.es/upload/images/02_2021/1293_mora31.jpg >	10
Figura. 6. Ubicación y entorno del Castell de Marinyén. En rojo, zona protegida de hábitat por la GVA. Fuente: Conselleria de Educación, Cultura y Deporte de la GVA. Disponible en: < https://ceice.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics >	10
Figura. 7. Arco de medio punto del Albacar. Fuente: CASTELLET, 2021.....	15
Figura. 8. Restos arquitectónicos de la capilla cristiana en el Castell. Fuente: CASTELLET, 2021.	16
Figura. 9. Incisiones de motivos figurativos en el muro de enfrente de la capilla. Se aprecia de izq. a drcha.: proa o popa de un barco y debajo de éste, una estrella; pez; cruz. Fuente: CASTELLET, 2021.	16
Figura. 10. Muro a sillares tras la capilla cristiana. Fuente: CASTELLET, 2021.	17
Figura. 11. Muro de construcción a tapial situado en frente de la capilla cristiana. Aún conserva revestimiento en zonas concretas. Se observan los agujeros por aguja de tapial. Fuente: CASTELLET, 2022.	17
Figura. 12. Aljibe principal situado al noroeste, al fondo, <i>Benifairó de la Vall d'Alfara</i> . Fuente: CASTELLET, 2021.....	18
Figura. 13. Torre de l'Homenatge, muro este. De izq. a drcha.: antes de la restauración, después de la restauración. Fuente: (Izqda.) ZALBIDEA, 2021; (drcha.) BALLESTEROS, 2022.	18
Figura. 14. Vista este de la Torrassa. Se aprecian los numerosos faltantes y la falta de pavimento. Fuente: Izqda. VALENCIABONITA®, 2021; Drcha.: ZALBIDEA, 2021.....	20

Figura. 15. Análisis in situ con Dinolite, se aprecia material de origen sedimentario. Fuente: ZALBIDEA, 2021.....	20
Figura. 16. Marcas del hacha y restos de enlucido rojizo debajo del arco de medio punto de la Torre. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	20
Figura. 17. Gran concentración de caliches en muro Este de la Torre. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	20
Figura. 18. Imagen sup.: Restos de enjalbegado de color rojizo en el arco de medio punto de la Torre. Inf.: En la imagen se aprecian distintos momentos constructivos y calicostrado. Uno más antiguo (sup.) y otro más reciente (inf.). Fuente: ZALBIDEA, 2021.	21
Figura. 19. Zona del arco de medio punto. Se aprecian caliches entre mortero de color rojizo. Sobre piedra caliza, se observa un grafismo por acto vandálico. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	22
Figura. 20. Numerosas faltantes y oquedades en muro este interno de la Torre. Zonas donde se deposita el agua de lluvia. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	22
Figura. 21. Muro este norte interior. Se aprecia el grosor del mismo. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	22
Figura. 22. Fragmentos cerámicos medieval perteneciente al muro del arco de medio punto, vista este, de la Torre. Estado inicial. Se pueden observar las grandes concreciones de carbonatos adheridos en los fragmentos. Fuente: CASTELLET, 2022.	23
Figura. 23. Fragmentos cerámicos de época medieval pertenecientes al muro noreste de la Torre. Estado inicial. Se aprecian las concreciones de índole terrosa y carbonatos adheridos en los fragmentos. Fuente: CASTELLET, 2022.....	23
Figura. 24. Fragmentos cerámicos tras la limpieza. Fuente: CASTELLET, 2022.	25
Figura. 25. Fragmentos cerámicos muro NE tras restauración. Fuente: CASTELLET, 2022.	25
Figura. 26. Fragmentos cerámicos tras la limpieza. Contienen decoraciones por incisión, película vidriada de color verde manganeso y líneas negras. Fuente: CASTELLET, 2022.	25
Figura. 27. Tipología de las cales. De izqda. a drcha.: Cal viva, cal hidratada, cal dolomítica calcinada. Fuente: USEDÓ, 2015.	27
Figura. 28. Determinación del grado de hidraulicidad de la cal aérea y cal hidráulica, según estado de fase. Fuente: SEPULCRE, 2003.	28
Figura. 29. Se aprecian numerosos faltantes interconectados y pérdida del revestimiento. Material en disgregación. Fuente: ZALBIDEA, 2021.	29
Figura. 30. revestimiento del paramento Norte interior de la Torre. Pérdida del material en superficie. Fuente: CASTELLET, 2021.	29
Figura. 31. Aplicación de lechada de cal hidráulica como método de consolidación y rejunte de fisuras y oquedades (drcha.). Tras inyección (izqda.). Fuente: CASTELLET, 2021.	30
Figura. 32. M-1. Mortero en presencia de caliches y minicaliches. Fuente: CASTELLET, 2021.	30
Figura. 33. De izqda. a drcha.: Inyección de EVA ART al 2% con agua desionizada. Consolidación de los estratos; Humectación previa de la zona a aplicar el mortero; Sellado de grietas con mortero hidráulico. Fuente: CASTELLET, 2021.	32
Figura. 34. De izqda. a drcha.: Aplicación de mortero en zonas donde se deposita el agua de lluvia; Mortero aplicado en sellado muro Este interior; Consolidación por colada/ inyección de cal hidráulica NHL-5 (lechada). Fuente: CASTELLET, 2021.....	32
Figura. 35. Imagen sup.: Torre de l’Homenatge. Vista este. Puerta de medio punto. Antes de la restauración. Fuente: ZALBIDEA, 2021. Imagen inf.: Restauración de la Torre. Fuente: BALLESTEROS, 2022.	33
Figura. 36. Vista Sud. Puerta de medio punto. Imagen sup.: Antes de la restauración. La superficie del suelo, se observa un faltante de tamaño considerable. Fuente: ZALBIDEA, 2021 Imagen inf.: Después de la restauración. Sellado del faltante inferior. Fuente: BALLESTEROS, 2022.	34
Figura. 37. La Torre de l’Homenatge tras la restauración. Fuente: BALLESTEROS, 2022.	35

Figura. 38. Mortero perteneciente a la Muestra 1, muro norte interior de la Torre. Se aprecian clastos de río, calicostrado en superficie, minicaliches y puzzolana. Fuente: CASTELLET, 2021.....	37
Figura. 39. Mortero perteneciente a la Muestra 2, zona dintel del arco de medio punto, Torrassa. Se observan abundantes caliches y mortero compuesto por árido de tonalidad rojiza. Fuente: CASTELLET, 2021.....	37
Figura. 40. M-1. Mortero del paramento Norte interior. Se aprecian los clastos muy cerca de la superficie. Diversidad en cuanto a áridos y tamaño. Tono rojizo. Fuente: CASTELLET, 2021.....	38
Figura. 41. Mortero de la Muestra 5, del muro norte exterior de la Torre. Drcha.: Pátina oscurecida por ataque de microorganismos, uso de cerámica y grava como árido. Izqda.: Oquedades visibles en superficie. Fuente: CASTELLET, 2021.	38
Figura. 42. Imágenes MO de la M1. Se puede observar la variedad de áridos de origen calcáreo y silíceo y también su esfericidad, además del tono beige del conglomerante. Fuente: CASTELLET, 2022.	40
Figura. 43. Imagen por análisis FESEM de la M1. Drcha.: análisis por mapping; Izqda.: análisis por spot.	41
Figura. 44. Microscopía electrónica FESEM de la M1. Izqda.: En verde se muestran los elementos químicos correspondientes al calcio (Ca); Drcha.: amarillo, elementos correspondientes al magnesio (Mg). Fuente: CASTELLET, 2022.....	41
Figura. 45. Análisis por MO de la Muestra del aljibe. Se puede observar cómo existe una línea bien marcada que separa dos morteros diferentes en componentes. El mortero sup. con menos partículas de árido y conglomerante de tono más beige. El mortero inf. se observa una variedad de áridos de distinta granulometría, conglomerante más blanco. Fuente: CASTELLET, 2022.	42
Figura. 46. Análisis por Mo de la Muestra del aljibe. Contiene partículas de color negro con presencia de óxido alrededor de las mismas. En zona sup. drcha., se aprecia la pátina de almagra de la zona de superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.....	42
Figura. 47. Análisis por MO de la Muestra de cerámica. Se aprecia la distribución homogénea de los áridos y orificios de dimensiones no muy grandes. Las partículas blanquecinas pueden deberse al lijado de la estratigrafía para posterior análisis. Fuente: CASTELLET, 2022.	42
Figura. 48. Comparación tras ensayo con probetas testigo (drcha.). Fuente: CASTELLET, 2022.	46
Figura. 49. Imagen vista por lupa binocular. Mortero A natural, se aprecian un mínimo desgaste en superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.....	47
Figura. 50. Imagen vista por lupa binocular. Mortero A con polímero, no se aprecia desgaste en superficie. Fuente: CASTELLET, 2022.	47
Figura. 51. Como se puede observar, no se percibe un gran cambio en las probetas sin llevar a ensayo y las que sí. Fuente: CASTELLET, 2022.....	47
Figura. 52. Mortero A. Sup.: morteros testigos; Inf.: morteros a ensayo. De izqda. a drcha.: mortero natural (sin EVA ART), mortero natural (sin EVA ART) y mortero con EVA ART. Se observa como la probeta con polímero no ha sufrido rotura interna y una menor proliferación de sales. Fuente: CASTELLET, 2022.	50
Figura. 53. Imagen por lupa binocular. A natural. Se observan os cristales salinos y la rotura que han producido en material. Fuente: CASTELLET, 2022.....	50
Figura. 54. Probeta Mortero A con polímero. Antes del ciclo hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.	51
Figura. 55. Probeta Mortero A con polímero. Después del ciclo hielo-deshielo. No se aprecia cambio. Fuente: CASTELLET, 2022.	51
Figura. 56. Mortero C con polímero antes de ciclo de hielo-deshielo. Fuente: CASTELLET, 2022.	51
Figura. 57. Mortero C con polímero después de ciclo hielo-deshielo. La rotura y disgregado del material se produjo tras el primer ciclo. Fuente: CASTELLET, 2022.	51

ESTUDIO DE LOS MORTEROS DE LA TORRE DE
L'HOMENATGE DEL CASTELL DE MARINYÉN
EN BENIFAIRO DE LA VALLDIGNA

Trabajo Final de Máster
Máster en Conservación y Restauración de los Bienes Culturales
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Presentado por: Catia Castellet Vidal

Directores T.F.M.:

M.^a Antonia Zalbidea Muñoz

Pablo Sañudo Die