

Estudi experimental: elaboració i caracterització petrofísica de vuit patrons de morter de calç per a la realització del suport d'una pintura mural

El següent article recull l'estudi realitzat dins del marc del treball final de la Titulació Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Béns Arqueològics, realitzat a l'ESCRBCC i presentat en el mes de juny de l'any 2016.

L'objectiu principal era, a partir de vuit patrons diferents de morter de calç, determinar el morter més adequat per realitzar el suport d'una pintura mural romana del jaciment arqueològic d'Empúries, tenint en compte una sèrie de característiques estudiades a partir dels assaigs realitzats sobre aquells patrons.

Experimental Study: Petrophysical Processing and Characterisation of Eight Lime Mortar Mixes to Create a Support Medium for a Mural Painting

The following article incorporates the research carried out for the final project in the Conservation and Restoration of Cultural Heritage Degree course, speciality Archaeological Artefacts, undertaken at the ESCRBCC and presented in June 2016.

The main objective was, using eight different mixes of lime mortar, to determine the most appropriate mortar to create the support medium for a Roman mural painting from the archaeological site at Ampurias, taking into consideration a number of characteristics studied during the tests carried out on those mixes.

Eduarne Fernández Lara. Titulada Superior en Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Béns Arqueològics per l'ESCRBCC. Post Graduate Degree in Conservation and Restoration of Cultural Heritage specialising in Archaeological Artefacts from the ESCRBCC.
edurneferla@gmail.com

Paraules clau: morter de calç, pintura mural, caracterització petrofísica, tinció amb fenolftaleïna, succió capil·lar, desorció, cristallització, absorció lliure.

Keywords: lime mortar, mural painting, petrophysical characterisation, staining with phenolphthalein, capillary suction, desorption, crystallisation, free absorption.

Data de recepció: 01-9-2016 > **Data d'acceptació:** 16-9-2016 / **Date received:** 01-09-2016 > **Date accepted:** 16-09-2016.



INTRODUCCIÓ¹

Un dels processos de conservació-restauració que es realitza sobre les pintures murals és l'arrencament d'aquestes i la seva posterior col·locació sobre un nou suport (sempre que no hi hagi cap altra opció), això es deuria, principalment, al fet que no es pogués mantenir in situ per la gravetat de les alteracions del seu emplaçament original o perquè s'hagi excavat ja caiguda en el jaciment, que seria el cas del nostre objecte d'investigació.

Perquè els nous suports siguin adequats han de tenir una sèrie de característiques favorables que no afectin negativament a la pintura mural:²

- han de ser reversibles,
- han de ser lleugers i que no sobrepassin el gruix de la pintura original,
- han de ser estables davant els canvis de temperatura i humitat relativa,
- han de ser immunes als microorganismes,
- han de protegir la pintura en els trasllats,
- han de resistir l'envelliment provocat pels rajos ultraviolats,
- han de permetre conservar la forma exacta de la pintura,
- han de permetre la neteja de la capa pictòrica sense riscs que es despregui del suport.

Els suports fets a base de morter aconsegueixen totes aquestes característiques; amb aquest treball es volia

aprofundir i arribar a trobar un morter que no s'alterés fàcilment i que fos similar al morter original.

DISSENY I ELABORACIÓ DELS PATRONS DE MORTERS DE CALÇ PER ALS ASSAIGS DE LABORATORI

Per portar a terme els assaigs ha sigut necessari realitzar diferents patrons de morters. Aquests patrons s'han elaborat tenint en compte una de les poques fonts clàssiques conservades de la civilització grecoromana que parla sobre els tipus de morters utilitzats durant aquella època: *De Architectura* de Marc Vitruvi Pol·lió.³

Segons Vitruvi, els romans realitzaven morters que tenien proporcions de tres parts de sorra per una de calç o dues parts de sorra per una de calç:

“Quan la calç queda apagada, es mescla amb sorra de pedrera, en proporció de tres parts de sorra per una de calç; si es tracta de sorra de riu o de mar es mesclaran dues parts de sorra per una de calç; així es farà una exacta i justa proporció de la mescla” (Llibre II, Capítol V).

També parla d'aquells morters que es mesclaven amb altres materials com, per exemple, la pols volcànica o putzolana, per així proporcionar-li unes característiques especials:

¹ Aquest article ha estat traduït de l'original en castellà per Laia Queralt Solvas, alumna de tercer curs de l'especialitat de Conservació-Restauració de Béns Arqueològics de l'ESCRBCC.

² FERRER, A. *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y técnicas modernas*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Secretariado de publicaciones, 1995, p. 125.

³ Traduït al català de: VITRUVIO POLIÓ, M. *Los diez libros de Arquitectura*. Madrid: Alianza Editorial, 2016. ISBN9788420671338.

“Trobem també una classe de pols que amaga vertaderes meravelles [...] situats a prop del volcà Vesuvi. Barrejat amb calç i pedra tosca, ofereix una gran solidesa als edificis i fins i tot en les construccions que es fan a sota el mar, ja que es consolida a sota el mar” (Llibre II, Capítol VI).

Tenint en compte tots aquests aspectes i que un morter és una massa que sol estar constituïda per un àrid, un conglomerant, aigua i, en ocasions, un additiu, s’ha decidit treballar amb morters de calç similars als que es van utilitzar en època romana; per això s’ha utilitzat calç àeria, tant en pasta com en pols, i calç putzolànica. En total s’han realitzat vuit patrons diferents,⁴ els quals tenen, al seu torn, tres provetes; cada patró té un número de registre format per MARQ, que correspon a les inicials de **M**orter i **A**rqueologia, i un número que indica l’ordre en el qual es van fer.

Tipus de patró de morter:

- MARQ-01: les proporcions d’aquest morter són 3:1, això vol dir que està realitzat amb tres parts d’àrid, en aquest cas fi, i una part de calç àeria en pasta. No conté cap additiu.
- MARQ-02: les proporcions d’aquest morter són 2:1, és un morter compost per dues parts d’àrid, en aquest cas extrafí, i una part de calç àeria en pasta. No se li ha afegit cap additiu.
- MARQ-04: les proporcions d’aquest morter són 3:1, es tracta d’un morter realitzat amb tres parts d’àrid fi i una part de calç àeria en pols. No se li ha afegit cap additiu.
- MARQ-05A: les proporcions d’aquest morter són 2:1, que significa que el morter està realitzat amb dues parts d’àrid extrafí i una part de calç àeria en pols. En aquest cas s’han afegit 100 grams de ceràmica triturada que s’inclouen en el volum de l’àrid.
- MARQ-05B: les proporcions d’aquest morter són 2:1, que significa que el morter està realitzat amb dues parts d’àrid extrafí i una part de la calç àeria en pols. En aquest cas s’han afegit 50 g de ceràmica triturada que s’inclouen en el volum de l’àrid.
- MARQ-06: les proporcions d’aquest morter són 2:1, dues parts d’àrid extrafí i una part de calç àeria en pols. No conté additius.
- MARQ-07: les proporcions d’aquest morter són 2:1, es tracta d’un morter format per dues parts d’àrid fi i una part de calç àeria en pols. En aquest cas s’ha afegit un additiu, putzolana, que està inclosa en el volum de l’àrid.
- MARQ-08: les proporcions d’aquest morter són 3:1, es tracta d’un morter realitzat amb tres parts d’àrid extrafí i

una part de calç àeria en pols. En aquest cas s’ha afegit un additiu, putzolana, que està inclosa en el volum de l’àrid.

ESTUDI EXPERIMENTAL: ELABORACIÓ I CARACTERITZACIÓ PETROFÍSICA DELS PATRONS DE MORTER DE CALÇ

Per a la caracterització d’un morter es realitzen dos tipus d’assaigs, amb els quals s’obté informació sobre la seva composició i alterabilitat; aquests són:

- Assaigs de morter en fresc.
- Assaigs de morter endurit.

Per a la descripció de cada un d’aquests assaigs s’han seguit les normes següents:

- UNE: EN – 1015 – 3.⁵
- Rilem: *Materiaux et constructions/ Materials and structures. Essais et recherches / research and testing.*⁶
- Tesis doctoral de J. Antón.⁷

1. ASSAIGS SOBRE MORTER FRESC

Serveixen per conèixer la idoneïtat d’aplicació del morter. Es fan utilitzant la taula de sacsejades, que ens indica la consistència del morter.

- Taula de sacsejades

Amb aquest assaig s’han elaborat els diferents patrons, explicats amb anterioritat, i s’ha pogut determinar la consistència de cada patró i la seva treballabilitat.

La mida i la forma de la mostra estan normalitzades; en aquest cas es tracta de tres cubs de 4 x 4 x 4 cm i un prisma quadrangular de 16 x 4 x 4 cm, és a dir, s’han preparat quatre provetes per cada patró.

Procediment de l’assaig: Es pesen la calç i l’àrid per separat i es barregen a la gaveta, **1** posteriorment se li afegeix l’aigua necessària. Es mescla bé tota la massa fins a obtenir un morter homogeni.⁸ Es fa suficient morter per poder repetir el procés tres vegades per cada patró.

Una vegada tenim pastat el morter, es passa una baïeta humida per la taula de sacsejades, ja que les pròximes vegades que es realitzi l’assaig la taula estarà mullada de netejar les restes de morter i, d’aquesta forma, es tenen els mateixos paràmetres des d’un inici.

Posteriorment, es col·loca un motlle troncocònic, s’omple amb el morter fins a la meitat sense pressionar, **2** es deixa caure el pistó sobre la superfície fins a deu vegades, per així eliminar les bombolles que s’hagin pogut generar. **3** S’acaba d’omplir el motlle, de la mateixa manera que abans, i en aquest cas s’afegeix més morter del que hi cap per poder enrasar bé i que s’ompli tot el volum; es repeteixen els deu cops i s’enrasa.

⁴ Aquests patrons i les seves respectives provetes s’han elaborat segons els resultats obtinguts experimentalment sobre morter fresc amb la taula de sacsejades (UNE-EN-1015-3). D’aquesta manera cada proveta de cada patró de morter seleccionat té uns dimensions de 4x4 cm, tal com indica la norma.

⁵ Norma per la realització de mètodes d’assaig per morters de maçoneria. Part 3: Determinació de la consistència del morter fresc (per la taula de sacsejades).

⁶ RILEM: *Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages / International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures.*

⁷ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas de Cataluña como materiales de construcción.* Barcelona: Escola Universitària Politècnica de Barcelona, 2000.

⁸ Sempre ha de ser la mateixa persona la que faci la barreja, perquè la velocitat i la força siguin sempre les mateixes.



Un cop enrasat, es retira el motlle amb cura i es procedeix a fer quinze sacsejades amb la palanca que té la taula. **4** **5** Es mesura el diàmetre del morter amb un regle per obtenir el valor d'escorriment, que ens proporciona la consistència del morter. **6**

Per últim, es col·loca el morter en un motlle de sílicona, en aquest cas també s'omple fins a la meitat sense pressionar i es deixa caure el pistó deu vegades; s'acaba de reomplir, es deixa caure el pistó deu vegades més i s'enrasa.

[1] Mescla del material en una gaveta amb una paleta catalana.

[2] Ompliment del motlle troncocònic fins a la meitat.

[3] Caiguda del pistó sobre el morter per eliminar les possibles bombolles d'aire.

[4] Retirada del motlle.

[5] Realització de les 15 sacsejades.

[6] Mesura de l'escorriment amb un regle (Fotografies Marina Ramisa).

⁹ Compost químic orgànic que s'obté per reacció del fenol i l'anhidrid ftàlic en presència de l'àcid sulfúric, la seva fórmula és $C_{20}H_{14}O_4$.

¹⁰ Mineral que sorgeix al apagar la calç.

¹¹ ALEJANDRE, F.J. *Historia, caracterización y restauración de morteros*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones, 2002, p. 59-60. ISBN: 84-472-0773-0.

¹² Són les zones d'un material que no tenen material dens i que estan interconnectades, és a dir, els porus.

Els morters es deixen reposar com a mínim set dies dins el motlle; treure'ls abans provocaria danys sobre ells.

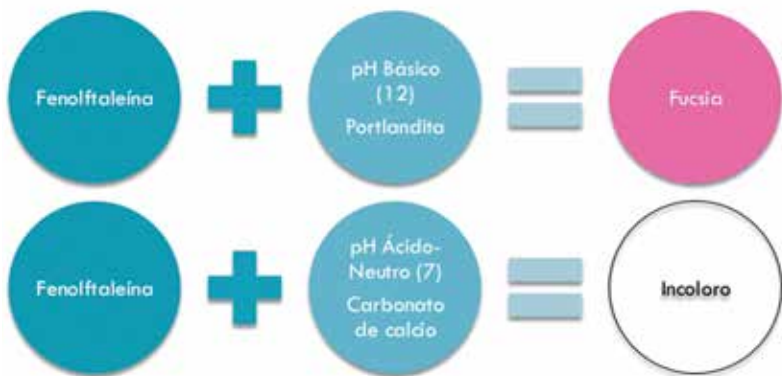
2. ASSAIGS SOBRE MORTERS ENDURITS

Primer es determina el grau de carbonatació mitjançant una tinció selectiva amb fenolftaleïna. Posteriorment, es realitzen els assaigs per determinar les propietats hídriques del morter i, finalment, mitjançant cicles de cristallització de sals, la seva alterabilitat.

- Determinació del grau de carbonatació de les provetes: tinció selectiva amb fenolftaleïna

La fenolftaleïna⁹ és un indicador del pH que reacciona amb solucions bàsiques virant a fúcsia o magenta i, en canvi, en solucions neutres o àcides roman transparent. En aquest cas es mesura el grau de carbonatació de l'hidròxid de calci/portlandita,¹⁰ procés pel qual la portlandita es transforma en carbonat de calci a causa de l'acció del CO_2 atmosfèric en contacte amb les mostres de morter. La portlandita, en tenir un pH 12 (bàsic), reacciona amb la fenolftaleïna tornant-la rosa, en canvi el carbonat de calci que apareix en carbonatar el morter té un pH 7 (neutre) i per això es manté transparent.¹¹ **7**

7



¹³ És el volum de porus comunicats entre si, i també amb l'exterior, per unitat de volum del material porós. La porositat accessible es divideix en porositat lliure (el líquid pot circular) i la porositat atrapant (el líquid té dificultats en sortir).

¹⁴ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas...*, p. 20.

Amb aquest assaig es determina el nivell de carbonatació de cada mostra, indicant-nos quin morter té més possibilitat de disgregar-se davant l'acció de l'aigua.

Procediment de l'assaig

Per realitzar aquest assaig, la superfície del morter ha d'estar fresca, per això es realitza un tall net amb la radial sobre les provetes amb forma prismàtica que no s'utilitzaran en cap altre assaig. Les mostres obtingudes es col·loquen sobre una superfície plana, es deixen caure quatre gotes de fenolftaleïna sobre la mostra i es documenta gràficament la reacció. **8**

- Assaig hídric d'absorció lliure

Aquest assaig ens permet observar la quantitat d'aigua que poden absorbir les provetes en submergir-les completament, és a dir, el grau de saturació del material. A més a més, ens permet obtenir la densitat aparent, que és la relació entre la massa i el volum tenint en compte la porositat efectiva¹² del material, i la densitat real impermeable, que és la relació entre la massa i el volum sense comptar amb la porositat accessible del material ni la porositat accessible¹³ de l'aigua, i és la que condiciona la capacitat de circulació i emmagatzematge de l'aigua.

Aquests valors s'obtenen a partir d'una sèrie de càlculs:

- Densitat aparent:
Dap = Mo / Ms - Mh
- Densitat real:
Dre = Mo / Mo - Mh
- Porositat accessible:
Ne% = (Ms - Mo) / (Mo - Mh) x 100
- Contingut màxim d'aigua que pot absorbir un material:
Ws = ((Ms-Mo)/Mo) x 100

- Mo** Pesada en sec.
- Ms** Pesada saturada.
- Mh** Pesada hidrostàtica.



Aquest assaig es realitza perquè cada material té una resposta diferent davant l'aigua, principalment a causa de la xarxa porosa; depenent de la composició mineralògica, el sistema porós té unes característiques específiques que fan variar el comportament hídric de cada material.¹⁴

[7] Possibles reaccions de la fenolftaleïna en contacte amb el morter (Esquema: Edurne Fernández)

[8] Resultat d'una mostra que s'ha tenyit de rosa, cosa que ens indica que el morter no està carbonatat (Fotografia: Edurne Fernández).

Procediment de l'assaig

Segons la norma, aquest assaig s'ha de realitzar al buit però, com que no es compta amb la maquinària necessària, es realitza d'una forma més senzilla. S'introdueixen les provetes al forn a 60 °C durant 24 hores per dessecar-les totalment i, una vegada tretes del forn, es realitza una pesada en sec.¹⁵ Posteriorment, se submergeixen les provetes en aigua desionitzada durant 72 hores perquè se saturin. Passat aquest temps, es treuen i es realitza la pesada saturada a l'aire,¹⁶ és a dir, es pesen just en el moment en què es treuen de l'aigua. Per últim, es realitza la pesada hidrostàtica;¹⁷ en aquest cas es col·loca un cub ple d'aigua fins a la meitat a sota de la bàscula de la qual penja una cistella metàl·lica que queda penjada dins del cub sense que l'aigua arribi a cobrir-la, es col·loca la mostra dins de la cistella i es pesa.⁹ Una vegada acabat l'assaig, s'introdueixen les mostres en el forn a 60 °C durant 24 hores.



[9] Introducció de la mostra en la cistella metàl·lica que penja de la bàscula de precisió per efectuar la pesada hidrostàtica (Fotografia Marina Ramisa).

- Assaig hídric de desorció

La desorció és el fenomen pel qual un material totalment saturat perd aigua per evaporació.¹⁸

Amb aquest assaig s'obté la retenció d'aigua final de les mostres i el contingut d'aigua crític, que és el moment en què la roca deixa d'evaporar aigua de la superfície i comença a evaporar-la des de l'interior, a més de la gràfica d'assecatge.

Aquests valors s'obtenen a partir d'una sèrie de càlculs:

- Gràfica d'assecatge:

$$We = (Mi - Mo / Mo) \times 100$$

- Retenció d'aigua final (%):

$$Se = [(Mf - Mo) / (Ms - Mo)] \times 100$$

Mi	Pes de la mostra en cada interval de temps.
Mo	Pes de la mostra en sec.
Mf	Pes final de la mostra en acabar la desorció.
Ms	Pes de la mostra saturada.

Procediment de l'assaig

Després d'efectuar l'absorció lliure, on les mostres se saturen, es realitza la desorció. Es treuen les mostres saturades de l'aigua i es van pesant seguint uns intervals de temps establerts per la norma. Un cop acabat l'assaig s'introdueixen les mostres al forn a 60 °C durant 24 hores.

- Assaig hídric de succió capil·lar

Aquest assaig ens permet observar la capacitat que té el material per absorbir aigua a través dels conductes capil·lars de manera vertical; aquest procés se sol donar a les zones baixes dels edificis, on l'aigua ascendeix des del terra. Aquest fenomen depèn de la composició del material i dels porus que tingui el material, a més de la qualitat de l'aigua.¹⁹

Amb aquest assaig obtenim l'increment de la massa respecte a la superfície d'absorció, que és la quantitat d'aigua per unitat de superfície que la proveta va absorbint durant l'assaig,²⁰ el contingut d'aigua final absorbit per la mostra, que ens indica el percentatge d'aigua absorbida al final de l'assaig²¹, el grau de saturació, que és la relació entre el contingut d'aigua que la mostra va absorbir respecte al contingut màxim d'aigua que pot absorbir²² i, per últim, el coeficient d'absorció capil·lar (C.A.C.), que és el moment en què la mostra ja no absorbeix més aigua.

Aquests valors s'obtenen a partir d'una sèrie de càlculs:

- Increment de massa respecte a la superfície de succió (Kg/m²)²³

$$Mw = (Mi - Mo) / (S/10)$$

-Contingut d'aigua final absorbit per la mostra (%):

$$St = (Mf - Mo / MO) \times 100$$

- El grau de saturació (%):

$$Si = (St / Ws) \times 100$$

On:

Mi	Pes de cada interval de temps.
Mo	Pes inicial de la mostra en sec.
Mf	Pes final de la mostra.
St	Grau d'aigua final absorbit.
Ws	Contingut màxim d'aigua que pot absorbir la mostra.

Procediment de l'assaig

Abans de realitzar l'assaig es tapen cinc de les cares de cada una de les mostres amb silicona, deixant una sense tapar.¹⁰ Una vegada catalitzada la silicona, ja es pot procedir a la realització de l'assaig; per a tal fi es col·loca una reixeta dins una safata, la qual s'omple d'aigua desio-

¹⁵ Pesada en sec (Mo): pes de la mostra totalment dessecada.

¹⁶ Pesada saturada (Ms): pes de la mostra totalment saturada d'aigua.

¹⁷ Pesada hidrostàtica (Mh): pes de la mostra submergida en aigua amb el porus saturat.

¹⁸ En l'assecatge intervenen diferents factors tant ambientals com intrínsecs de la mostra.

¹⁹ BADIA, M. *Estudis i assaig de tractaments de conservació dels jaciments d'icnites de dinosaures de Fumanya i Carretera de Doll*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Geologia, 2008.

²⁰ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas...*, p. 25.

²¹ BADIA, M. *Estudis i assaig de tractaments...*

²² ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas...*, p. 25.

²³ Es divideix entre 10 per passar-ho a Kg/m², ja que la unitat de mesura de les provetes inicialment s'ha expressat en g/cm².



10

[10] Aplicació de la silicona sobre cinc de les sis cares de les provetes

[11] Mostres col·locades sobre una reixeta dins les safates amb aigua desionitzada, que les cobreix fins als 2 mm (Fotografies: Eburne Fernández).

Un cop sec el material, és a dir, quan ha evaporat tota l'aigua que ha transportat sals, es produeix la cristallització d'aquestes formant-se eflorescències, que són els cristalls de sal en la superfície del material.

Amb aquest assaig es comprova la resistència de cada una de les mostres de morter davant l'atac de les sals, en concret, del sulfat sòdic anhidre. Els resultats obtinguts amb aquest assaig variaran segons el tipus de sal, les característiques d'immersió (temps, tipus i temperatura) i les característiques d'assecatge (temperatura, temps i humitat de l'ambient). S'ha realitzat en últim lloc, ja que és un assaig destructiu.

Procediment de l'assaig

Es prepara una dissolució de sulfat sòdic anhidre al 14%. Abans de submergir les mostres en la dissolució es marquen, amb un retolador, les vores de cada mostra, per així tenir un control visual de les alteracions produïdes durant l'assaig; es col·loquen en la safata i s'aboca la dissolució fins a tapar les mostres. [12] Es deixen les mostres durant tres hores submergides en la dissolució i, passat aquest temps, es treuen i s'introdueixen dins del forn a 60 °C durant 17 hores; per últim, es treuen del forn, es pesen i es deixen tres hores a l'aire lliure perquè es refredin. Aquest procés es repeteix fins a setze vegades; al final de cada cicle s'han de pesar les mostres i documentar gràficament el resultat.

RESULTATS

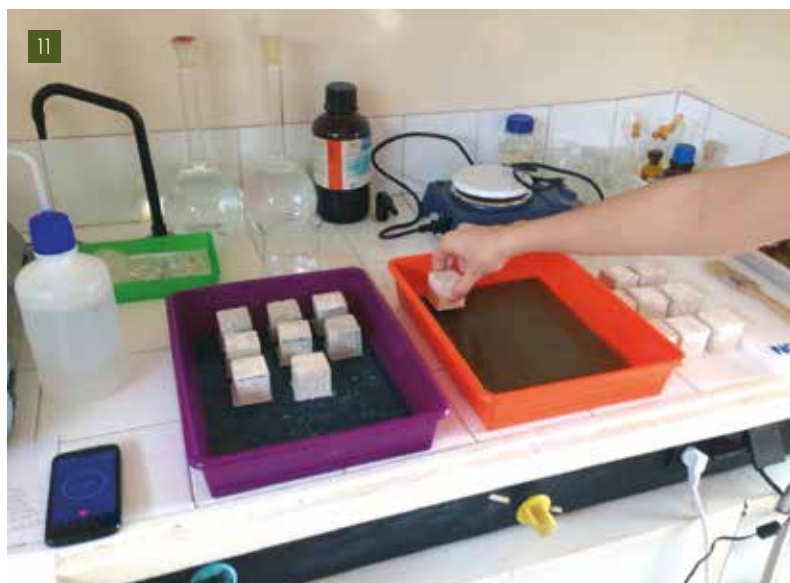
1. TAULA DE SACSEJADES

Tots els morters han resultat ser plàstics, ja que tots es troben entre els 140 i els 200 mm, excepte el MARQ-01, que era l'objectiu que buscàvem.

2. DETERMINACIÓ DEL GRAU DE CARBONATACIÓ DE LES PROVETES: TINCIÓ SELECTIVA AMB FENOLFTALEÏNA

Amb aquest assaig es determina el nivell de carbonatació de cada mostra, indicant-nos quin morter té més possibilitats de disgregar-se davant l'acció de l'aigua.

En general podem observar que, encara que ja hagin passat deu mesos des de la seva creació, molt més temps de l'establert perquè un morter es carbonati (uns sis mesos), totes les mostres han reaccionat tenyint-se de rosa per la fenolftaleïna; això ens indica que cap de les mostres està totalment carbonatada. [8] Podem observar com la carbonatació està succeint de l'exterior cap a l'interior, és a dir, les vores s'han carbonatat però l'interior encara no.



11

nitzada de forma que tapi la reixeta i 2 mm de les mostres. Posteriorment, s'introdueixen les mostres, amb la cara destapada tocant l'aigua, dins de les safates, [11] es posa en marxa el cronòmetre i, seguint els intervals de temps establerts per la norma, es van pesant les mostres; cada vegada que es pesa una de les mostres, es torna a deixar a la safata amb aigua. Una vegada acabat l'assaig, es retira la silicona i s'introdueixen totes les mostres al forn a 60 °C durant 24 hores.

Els resultats es reflecteixen en una taula i una gràfica on s'expressa la quantitat d'aigua que va absorbint la mostra (Kg/m^2) en funció del temps (vt).

- Assaig de durabilitat: cicles de cristallització amb sulfat sòdic

Les sals són un dels principals factors d'alteració en materials porosos, ja que, quan estan diluïdes, són transportades per l'aigua a través del material. Aquestes poden aparèixer a causa de la composició del material, ascendint per capillaritat, procedents del terra o aportades per l'atmosfera i dipositades sobre els materials.

3. ASSAIG HÍDRIC D'ABSORCIÓ LLIURE

Els resultats obtinguts amb aquest assaig es presenten en una taula [13] en la qual s'indica el pes en sec, el pes saturat, el pes hidrostàtic, el contingut màxim d'aigua que pot absorbir la proveta, la porositat accessible i la densitat aparent i real. Es presenten els resultats de cada patró, amb el resultat per a cada proveta que s'indiquen amb els nombres 01, 02 i 03.

Totes les provetes de cada patró tenen un pes similar entre elles, aquelles en què la diferència de pes és més gran són el patró MARQ-1, el patró MARQ-05B i el patró MARQ-07.

Els patrons MARQ-01 i MARQ-02 són els que tenen el pes més alt en les tres pesades. [13] En canvi els patrons menys pesats són el MARQ-07 en el seu pes en sec i el MARQ-04, en el seu pes saturat i hidrostàtic.

El patró que pot absorbir més aigua és el MARQ-07, en canvi, el patró MARQ-02 és el que menys aigua aconseguix absorbir. Aquestes dades es repeteixen en el cas de la porositat accessible: el patró MARQ-07 té la porositat accessible més elevada i el MARQ-02 la més baixa.

Quant a les densitats, tan relativa com aparent, són molt similars en tots els patrons, això és a causa del fet que el volum de tots és el mateix.

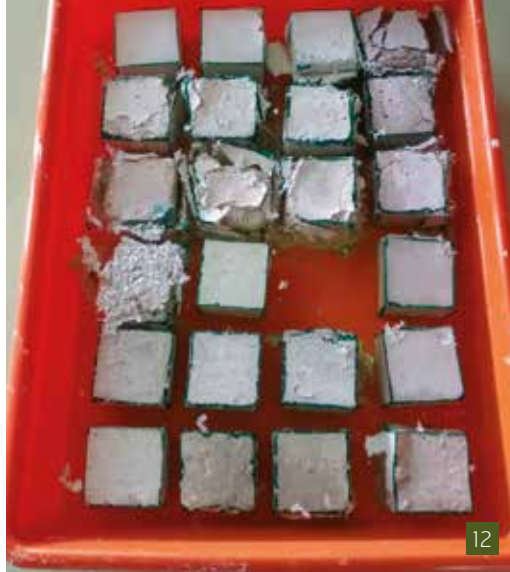
4. ASSAIG HÍDRIC DE DESORCIÓ

Els resultats obtinguts es representen en dues taules, en la primera taula es representa l'assecatge (%) de cada proveta en el temps (min.) estipulat per la norma i en la segona taula s'ha anotat el contingut màxim d'aigua que havia retingut la mostra (Ws %) i la retenció d'aigua final de les mostres (Se %). Les provetes es representen amb els nombres 01, 02 i 03. Finalment, també s'ha creat una gràfica on s'expressa la quantitat d'aigua retinguda (%) en funció del temps. [14]

En la imatge [14], que representa la gràfica de desorció del patró MARQ-02, podem observar que la quantitat d'aigua absorbida és baixa i que, en el procés, s'aconsegueix eliminar-la pràcticament tota i que la retenció d'aigua també és molt baixa, un 3'2 % de mitjana de les tres provetes. Fins a les sis hores l'evaporació és molt lenta però, a partir d'aquest moment, s'incrementa la quantitat d'aigua evaporada fins a la seva totalitat.

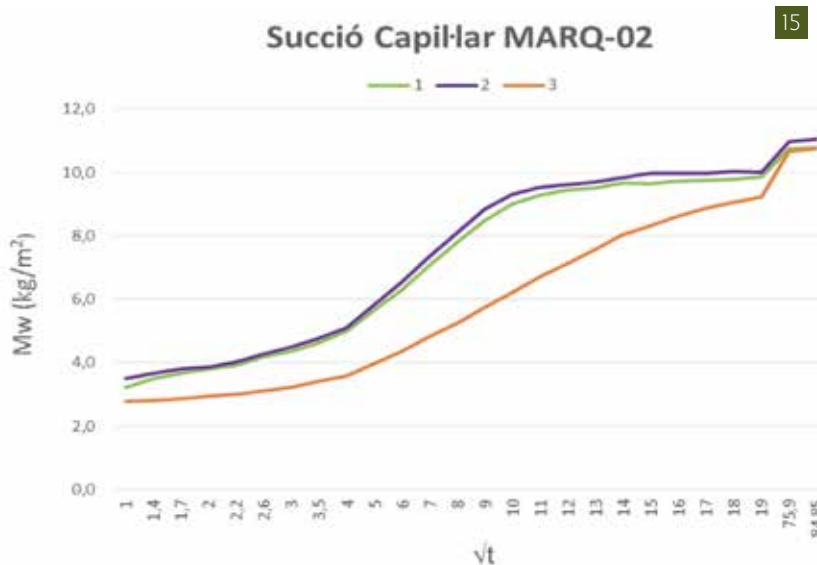
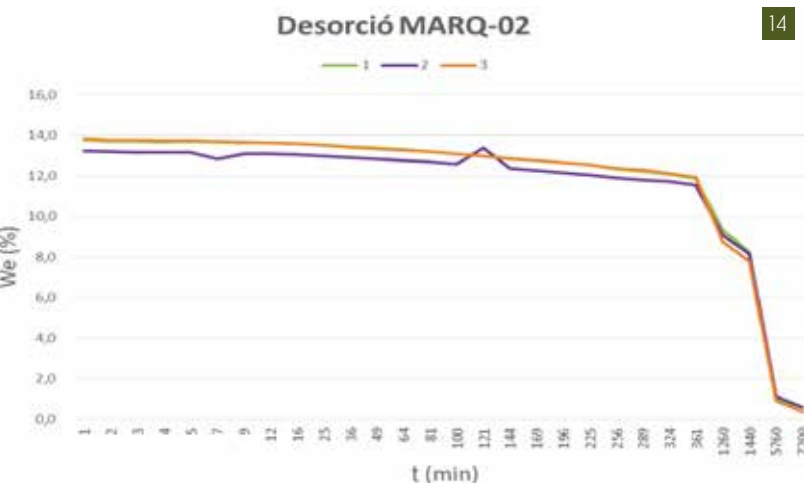
En general, hem pogut observar que els patrons MARQ-01 i MARQ-02 arriben a perdre tota l'aigua que són capaços de retenir i no retenen una quantitat molt elevada d'aigua en comparació a la resta.

També s'ha vist que els patrons MARQ-05B i MARQ-07, que contenen major quantitat d'additiu, acaben retenint més aigua al final i no arriben a evaporar tanta aigua com els que tenen menys quantitat d'additiu.



[12] Mostres submergides en la dissolució de sulfat sòdic anhidre al 14%.
 [13] Taula de resultats de l'assaig d'absorció lliure.
 [14] Gràfica d'evaporació del patró MARQ-02.
 [15] Gràfica de succió del patró MARQ-02 (Fotografies: Eurne Fernández).

	MARQ-01			MARQ-02		
	01	02	03	01	02	03
Pes en sec (g)	111,49	108,90	112,33	108,81	109,35	107,31
Pes saturat (g)	127,50	124,76	128,70	124,09	123,83	122,05
Pes hidrostàtic (g)	64,24	63,03	65,07	60,57	60,76	59,47
Ws (%)	14,3600	14,5638	14,5731	14,0428	13,2419	13,7359
Nc (%)	33,8836	34,5760	34,6382	31,6750	29,8004	30,8110
Dap (g)	1,7624	1,7641	1,7654	1,7130	1,7338	1,7148
Dre (g)	2,3596	2,3741	2,3769	2,2556	2,2505	2,2431



5. ASSAIG HÍDRIC DE SUCCIÓ CAPIL·LAR

Els resultats es reflecteixen en una taula, en la qual es representa la superfície de les provetes, la quantitat d'aigua màxima que pot absorbir (Ws), el contingut d'aigua que ha absorbit al final (St) i el grau de saturació (Si), i amb una gràfica on s'expressa la quantitat d'aigua que va absorbint la mostra (Kg/m2) en funció del temps (vt).^[15]

La gràfica de succió capil·lar^[15] representa els resultats del patró MARQ-02; en ella podem observar que la quantitat màxima d'aigua que pot absorbir és del 13,7% de mitjana i que no ha arribat a absorbir tota aquesta quantitat, sinó que absorbeix un 10,8% de mitjana. El grau de saturació d'aquest patró és d'un 79,3% de mitjana. Fins a vt10 absorbeix ràpidament l'aigua, a partir d'aquest punt l'absorbeix lentament.

El patró MARQ-02 és el que menys quantitat d'aigua ha absorbit en finalitzar l'assaig i, a més a més, el seu grau de saturació és el més baix de tots. El MARQ-04 és el morter que més lentament ha succionat l'aigua. El MARQ-07 és el patró que més aigua ha absorbit, molt ràpidament, i a més a més el seu grau de saturació és el més elevat.

6. ASSAIG DE DURABILITAT: CICLES DE CRISTAL·LITZACIÓ AMB SULFAT SÒDIC

D'aquest assaig s'extreuen els resultats a partir de dos paràmetres: la pèrdua de pes de les provetes i l'observació visual de la superfície.

- Pèrdua de pes:

$$M = ((Pc - Pi) / Pi) \times 100$$

- Pi** Pes inicial.
- Pc** Pes dels cicles.

Les provetes que més han perdut pes són les dels patrons MARQ-01, MARQ-05B i MARQ-07.

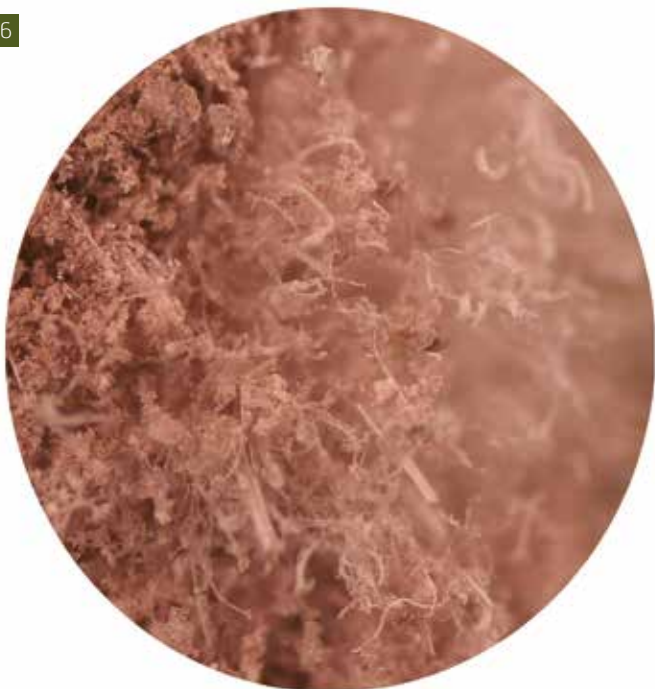
Les sals han sorgit per tota la superfície de les restes de les provetes i tenen forma de fines agulles.^[16] ^[17] Les sals s'han introduït a l'interior dels morters que encara no han carbonatat i s'ha produït l'eflorescència cap a l'exterior, cosa que ha provocat que es destrueixi la part carbonatada.

Els patrons més sensibles han estat el MARQ-04, el MARQ-05A i el MARQ-08. En aquest cas, el patró que sembla tenir més resistència a l'atac de les sals és el MARQ-06, que gairebé no ha perdut pes i, com hem pogut observar en les imatges, s'ha disgregat menys que la resta. El MARQ-02 seria el següent, encara que ha perdut molt més pes que el MARQ-06; hem pogut veure que ha resistit bastant bé, ja que l'alteració més greu ha estat la desplaçació de la zona carbonatada.

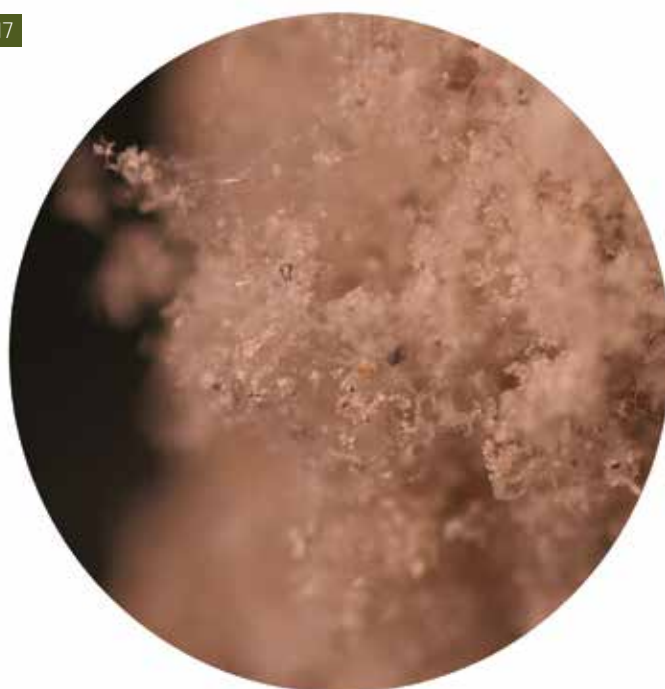
CONCLUSIONS

Amb aquests assajos es pretenia trobar un morter adequat per realitzar el trasllat d'una pintura mural a un nou suport.

[16]



[17]



[16] Resultat de les sals que s'han manifestat sobre la mostra MARQ7-01.

[17] Resultat de les sals que s'han manifestat sobre la mostra MARQ8-01 (Fotografies Edurne Fernández).

Els resultats obtinguts amb l'assaig de tinció amb fenoltaleïna no han estat conclouents, ja que tots els morters han resultat no estar carbonatats; perquè aquest assaig fos representatiu a l'hora d'escollir un patró caldria realitzar-lo novament passats uns mesos.

A l'assaig d'absorció lliure s'ha pogut observar que els patrons MARQ-01 i MARQ-02 són els més pesats.²⁴ Per contra el patró MARQ-07 és el que té un pes menor en sec i el patró MARQ-04 pesa menys en estar totalment saturat durant la pesada hidrostàtica. D'altra banda, podem veure que el MARQ-07 és el que té una porositat accessible més elevada i, per tant, el que més aigua absorbeix, en contraposició al MARQ-02 que és el que menys absorbeix.

Amb l'assaig de la desorció hem pogut observar que els patrons MARQ-01 i MARQ-02 poden arribar a retenir molt poca aigua i, a més a més, en el temps establert han arribat a evaporar tota l'aigua absorbida durant l'assaig d'absorció lliure. Els patrons MARQ-05B i MARQ-07 són els que més aigua han retingut durant l'assaig d'absorció lliure; la seva evaporació ha estat molt lenta i no han estat capaços d'eliminar tota l'aigua en el temps establert.

L'últim assaig hídic que s'ha realitzat ha estat el de la succió capil·lar; aquest assaig ens ha donat com a resultat que els patrons MARQ-02 i MARQ-04 són morters que absorbeixen poca quantitat d'aigua, per tant el seu grau de saturació és més baix que els altres i, a més a més, l'han absorbit lentament. El patró MARQ-07 ha estat el que més aigua ha absorbit, amb molta rapidesa, la qual cosa fa que el seu grau de saturació sigui molt elevat.

Quant a l'assaig de cicles de cristallització hem pogut observar que els patrons MARQ-04, MARQ-05A i MARQ-08 no han superat els quatre cicles que s'han realitzat i s'han disgregat i han arribat a perdre la seva forma original. Els patrons MARQ-02 i MARQ-06 han suportat quatre cicles i són els que millor han conservat la seva forma. En diversos patrons la disgregació de les provetes no ha estat igual, és a dir, no totes han reaccionat de la mateixa forma però, al final, totes han acabat disgregant-se igual, a excepció del patró MARQ-07 on trobem dues provetes molt disgregades i una en molt bon estat.

Cal destacar que els morters amb additius (MARQ-07 i MARQ-05B) han estat els que pitjors resultats ens han ofert.

Després d'anitzar conjuntament tots els resultats obtinguts amb els diferents assajos, s'ha pogut concloure que el morter més adequat per realitzar el suport per a la pintura mural seria el patró MARQ-02; es tracta d'un morter de proporcions 2:1, realitzat amb calç aèria en pasta i un àrid extrafí sense cap tipus d'additiu. Com ja hem esmentat, és un morter que absorbeix poca aigua i que la poca que arriba a absorbir l'evapora ràpidament, a més de ser un als quals les sals més han trigat a fer-li efecte. Té un petit inconvenient, i és que és el més pesat de tots.

²⁴ En aquest assaig hem pogut observar com es va crear una fina capa blanca d'aspecte cristal·lí sobre l'aigua que cobria els morters. Aquesta capa pot ser calcita, cosa que ens indica que alguns d'aquests es van realitzar amb calç apagada en pasta.

BIBLIOGRAFIA

ARGANO, S.; GUIXERAS, M. *Cal aérea en pasta, apuntes para un buen uso*. Barcelona: Joystuc, 2009. ISBN: 978-84-6/3-5595-2

BARBERO, J.C. *Técnicas de consolidación en pintura mural. Actas del seminario Internacional sobre consolidación de pinturas murales celebrado en Aguilar de Campoo (Palencia) del 19 al 21 de agosto de 1998*. Madrid: Ediciones Polifemo, 1998. ISBN: 84-89483-07-8

DOMÉNECH, M^a T.; YUSÁ, D. *Aspectos fisicoquímicos de la pintura mural y su limpieza*. València: Universitat Politècnica de València, 2006.

GARATE, I. *Artes de la cal*. Madrid: Munillalera, 2002.

MAS, X. *Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales* (tesis doctoral). València: Universitat Politècnica de València, 2006.

MORA, P.; MORA, L.; PHILLIPOT, P. *La conservación de las pinturas murales*. Colòmbia: Universidad Externado de Colombia, 2003.

ONTIVEROS, E.; VILLEGAS, R. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Propiedades Hídricas. I Parte". *PH Boletín*. Vol. 22 (1998), núm. 6, p. 45-49.