

Arqueología //**Estudio experimental: elaboración y caracterización petrofísica de ocho patrones de mortero de cal para la realización del soporte de una pintura mural**

El siguiente artículo recoge el estudio realizado dentro del marco del trabajo final de la Titulación Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Bienes Arqueológicos, realizado en la ESCRBC y presentado en el mes de junio de 2016.

El objetivo principal era, a partir de ocho patrones diferentes de mortero de cal, determinar el mortero más adecuado para realizar el soporte de una pintura mural romana del yacimiento arqueológico de Ampurias, teniendo en cuenta una serie de características estudiadas a partir de los ensayos realizados sobre esos patrones.

Eduarne Fernández Lara. Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Bienes Arqueológicos por la ESCRBC.
edurneferla@gmail.com

Palabras Clave: mortero de cal, pintura mural, caracterización petrofísica, tinción con fenolftaleína, succión capilar, desorción, cristalización, absorción libre.

Fecha de recepción: 01-9-2016 > **Fecha de aceptación:** 06-10-2016

INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos de conservación-restauración que se realiza sobre las pinturas murales es el arranque de éstas y su posterior colocación sobre un nuevo soporte (siempre que no haya otra opción), esto se debería, principalmente, a que no se pudiera mantener *in situ* por la gravedad de las alteraciones de su emplazamiento original o porque se haya excavado ya caída en el yacimiento, que sería el caso de nuestro objeto de investigación.

Para que los nuevos soportes sean adecuados deben tener una serie de características favorables que no afecten negativamente a la pintura mural:¹

- deben ser reversibles,
- deben ser ligeros y que no sobrepasen el grosor de la pintura original,
- deben ser estables ante los cambios de temperatura y humedad relativa,
- deben ser inmunes a los microorganismos,
- deben proteger la pintura en los traslados,
- deben resistir al envejecimiento provocado por los rayos ultravioletas,
- deben permitir conservar la forma exacta de la pintura,
- deben permitir la limpieza de la capa pictórica sin riesgo de que se desprenda del soporte.

Los soportes hechos a base de mortero cumplen todas estas características; con este trabajo se quería profundizar y llegar a encontrar un mortero que no se alterase fácilmente y que fuese similar al mortero original.

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LOS PATRONES DE MORTEROS DE CAL PARA LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Para llevar a cabo los ensayos ha sido necesario realizar diferentes patrones de morteros. Estos patrones se han elaborado teniendo en cuenta una de las pocas fuentes clásicas conservadas de la civilización grecorromana que habla sobre los tipos de morteros utilizados durante esa época: *De Architectura* de Marco Vitruvio Polión.²

Según Vitruvio, los romanos realizaban morteros que tenían proporciones de tres partes de arena por una de cal o dos partes de arena por una de cal:



“Cuando la cal queda apagada, se mezcla con arena de cantera, en proporción de tres partes de arena por una de cal; si se trata de arena de río o de mar se mezclarán dos partes de arena por una de cal: así se hará una exacta y justa proporción de la mezcla.” (Libro II, Capítulo V).

También habla de aquellos morteros que se mezclaban con otros materiales como, por ejemplo, el polvo volcánico o puzolana, para así proporcionarle unas características especiales:

“Encontramos también una clase de polvo que encierra verdaderas maravillas [...] situados cerca del volcán Vesubio. Mezclado con cal y piedra tosca, ofrece una gran solidez a los edificios e incluso en las construcciones que se hacen bajo el mar, pues se consolida bajo el mar.” (Libro II, Capítulo VI).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos y que un mortero es una masa que suele estar constituida por un árido, un conglomerante, agua y, en ocasiones, un aditivo, se ha decidido

¹ FERRER, A. *La pintura mural: su soporte, conservación, restauración y técnicas modernas*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Secretariado de publicaciones, 1995, p. 125.
² VITRUVIO POLIÓN, M. *Los diez libros de Arquitectura*. Madrid: Alianza Editorial, 2016. ISBN 9788420671338.

³ Estos patrones y sus respectivas probetas se han elaborado según los resultados obtenidos experimentalmente sobre mortero fresco con la mesa de sacudidas (UNE-EN-1015-3). De esta forma cada probeta de cada patrón de mortero seleccionado tiene unas dimensiones de 4x4 cm, tal y como indica la norma.

⁴ Norma para la realización de métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas).

⁵ 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.*

⁶ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas de Cataluña como materiales de construcción.* Barcelona: Escola Universitària Politècnica de Barcelona, 2000.

⁷ Siempre debe ser la misma persona la que haga la mezcla, para que la velocidad y la fuerza sean siempre las mismas.

⁸ Compuesto químico orgánico que se obtiene por reacción del fenol y el anhídrido ftálico en presencia de ácido sulfúrico, cuya fórmula es C₂₀H₁₄O₄.

⁹ Mineral que surge al apagar la cal.

¹⁰ 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.

trabajar con morteros de cal iguales a los que se utilizaron durante la época romana; para ello se ha utilizado cal aérea, tanto en pasta como en polvo, y cal puzolánica. En total se han realizado ocho patrones diferentes,³ los cuales cuentan, a su vez, con tres probetas; cada patrón tiene un número de registro formado por MARQ, que corresponde a las iniciales de Mortero y ARQueología, y un número que indica el orden en el que se hicieron.

Tipos de patrón de mortero:

- MARQ-01: las proporciones de este mortero son 3:1, esto quiere decir que está realizado con tres partes de árido, en este caso fino, y una parte de cal aérea en pasta. No contiene ningún aditivo.

- MARQ-02: las proporciones de este mortero son 2:1, es un mortero compuesto por dos partes de árido, en este caso extrafino, y una parte de cal aérea en pasta. No se le ha añadido ningún aditivo.

- MARQ-04: las proporciones de este mortero son 3:1, se trata de un mortero realizado con tres partes de árido fino y una parte de cal aérea en polvo. No se le ha añadido ningún aditivo.

- MARQ-05A: las proporciones de este mortero son 2:1, que significa que el mortero está realizado con dos partes de árido extrafino y una parte de cal aérea en polvo. En este caso se han añadido 100 gramos de cerámica triturada que se incluyen en el volumen del árido.

- MARQ-05B: las proporciones de este mortero son 2:1, que significa que el mortero está realizado con dos partes de árido extrafino y una parte de cal aérea en polvo. En este caso se han añadido 50 g de cerámica triturada que se incluyen en el volumen del árido.

- MARQ-06: las proporciones de este mortero son 2:1, dos partes de árido extrafino y una parte de cal aérea en polvo. No contiene aditivos.

- MARQ-07: las proporciones de este mortero son 2:1, se trata de un mortero formado por dos partes de árido fino y una parte de cal aérea en polvo. En este caso se ha añadido un aditivo, puzolana, que está incluida en el volumen del árido.

- MARQ-08: las proporciones de este mortero son 3:1, se trata de un mortero realizado con tres partes de árido extrafino y una parte de cal aérea en polvo. En este caso se ha añadido un aditivo, puzolana, que está incluida en el volumen del árido.

ESTUDIO EXPERIMENTAL: ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA DE LOS PATRONES DE MORTERO DE CAL

Para la caracterización de un mortero se realizan dos tipos de ensayos con los que se obtiene información sobre su composición y alterabilidad; éstos son:

- Ensayos de mortero en fresco.
- Ensayos de mortero endurecido.

Para la descripción de cada uno de estos ensayos se han seguido las normas siguientes:

- UNE: EN – 1015 – 3.⁴
- Rilem: *Matériaux et constructions / Materials and structures. Essais et recherches / research and testing.*⁵
- Tesis doctoral de J. Antón.⁶

1. Ensayos sobre mortero fresco

Sirven para conocer la idoneidad de aplicación del mortero. Se hacen empleando la mesa de sacudidas, que nos indica la consistencia del mortero.

- Mesa de sacudidas

Con este ensayo se han elaborado los diferentes patrones, explicados con anterioridad, y se ha podido determinar la consistencia de cada patrón y su trabajabilidad.

El tamaño y la forma de la muestra están normalizados; en este caso se trata de tres cubos de 4 x 4 x 4 cm y un prisma cuadrangular de 16 x 4 x 4 cm, es decir, se han preparado cuatro probetas por cada patrón.

Procedimiento del ensayo: Se pesan la cal y el árido por separado y se mezclan en la gaveta. **1** [pág. 63] posteriormente se le añade el agua necesaria. Se mezcla bien toda la masa hasta obtener un mortero homogéneo.⁷ Se hace suficiente mortero para poder repetir el proceso tres veces por cada patrón.

Una vez tenemos amasado el mortero, se pasa una bayeta húmeda por la mesa de sacudidas, ya que las próximas veces que se realice el ensayo la mesa estará mojada de limpiar los restos de mortero y, de esta forma, se tienen los mismos parámetros desde un inicio.

Posteriormente, se coloca un molde troncocónico, se llena con el mortero hasta la mitad sin presionar, **2** [pág. 63] se deja caer el pistón sobre la superficie hasta diez veces, para así eliminar las burbujas que se hayan podido generar. **3** [pág. 63] Se acaba de rellenar el molde, de la misma forma que antes, y en este caso se añade más mortero del que cabe para poder enrasar bien y que se llene todo el volumen; se repiten los diez golpes y se enrasa.

Una vez enrasado, se retira el molde con cuidado y se procede a dar quince sacudidas con la palanca que tiene la mesa. **4** y **5** [pág. 63] Se mide el diámetro del mortero con una regla para obtener el valor de escurrimiento, que nos proporciona la consistencia del mortero. **6** [pág. 63]

Por último, se coloca el mortero en un molde de silicona, en este caso también se llena hasta la mitad sin presionar y se deja caer el pistón diez veces; se acaba de rellenar, se deja caer el pistón diez veces más y se enrasa.

Los morteros se dejan reposar al menos siete días dentro del molde; sacarlos antes provocaría daños sobre ellos.

2. Ensayos sobre morteros endurecidos

Primero se determina el grado de carbonatación mediante una tinción selectiva con fenolftaleína. Posteriormente, se realizan los ensayos para determinar las propiedades hídras del mortero y, finalmente, mediante ciclos de cristalización de sales, su alterabilidad.

- Determinación del grado de carbonatación de las probetas: tinción selectiva con fenolftaleína

La fenolftaleína⁸ es un indicador de pH que reacciona con soluciones básicas virando a fucsia o magenta y, en cambio, en soluciones neutras o ácidas permanece transparente. En este caso mide el grado de carbonatación del hidróxido de calcio/portlandita,⁹ proceso por el cual la portlandita se transforma en carbonato de calcio debido a la acción del CO₂ atmosférico en contacto con las muestras de mortero. La portlandita, al tener un pH 12 (básico), reacciona con la fenolftaleína tornándola rosa, en cambio el carbonato de calcio que aparece al carbonatar el mortero tiene un pH 7 (neutro) y por ello permanece transparente.¹⁰ **7** [pág. 64]

Procedimiento del ensayo

Para realizar este ensayo, la superficie del mortero tiene que estar fresca, para ello se realiza un corte limpio con la radial sobre las probetas con forma prismática que no se utilizarán en ningún otro ensayo. Las muestras obtenidas se colocan sobre una superficie plana, se dejan caer cuatro gotas de fenolftaleína sobre la muestra y se documenta gráficamente la reacción. **8** [pág. 64]

- Ensayo hídrico de absorción libre

Este ensayo nos permite observar la cantidad de agua que pueden absorber las probetas al sumergirlas completamente, es decir, el grado de saturación del material. Además, nos permite obtener la densidad aparente, que es la relación entre masa y volumen teniendo en cuenta la porosidad efectiva¹¹ del material y la densidad real impermeable, que es la relación entre la masa y el volumen sin contar con la porosidad accesible del material ni la porosidad accesible¹² del agua, y es la que condiciona la capacidad de circulación y almacenamiento del agua.

Estos valores se obtienen a partir de una serie de cálculos:

- Densidad aparente:

$$Dap = Mo / Ms - Mh$$

- Densidad real:

$$Dre = Mo / Mo - Mh$$

- Porosidad accesible:

$$Nc\% = (Ms - Mo) / (Mo - Mh) \times 100$$

- Contenido máximo de agua que puede absorber un material:

$$Ws = ((Ms - Mo) / Mo) \times 100$$

Mo	Pesada en seco.
Ms	Pesada saturada.
Mh	Pesada hidrostática.

Este ensayo se realiza debido a que cada material tiene una respuesta diferente ante el agua, principalmente a causa de la red porosa; dependiendo de la composición mineralógica, el sistema poroso tiene unas características específicas que hacen variar el comportamiento hídrico de cada material.¹³

Procedimiento del ensayo

Según la norma, este ensayo se tiene que realizar al vacío pero, al no contar con la maquinaria necesaria, se realiza de una forma más sencilla. Se introducen las probetas en el horno a 60 °C durante 24 horas para desecarlas totalmente y, una vez se sacan del horno, se realiza una pesada en seco.¹⁴ Posteriormente, se sumergen las probetas en agua desionizada durante 72 horas para que se saturen. Pasado ese tiempo, se sacan y se realiza la pesada saturada al aire,¹⁵ es decir, se pesan justo en el momento en el que se sacan del agua. Por último, se realiza la pesada hidrostática;¹⁶ en este caso se coloca un cubo lleno de agua hasta la mitad debajo de la báscula de la que se cuelga una cestilla metálica que queda suspendida dentro del cubo sin que el agua llegue a cubrirla, se coloca la muestra dentro de la cestilla y se pesa. **9** [pág. 65] Una vez acabado el ensayo, se introducen las muestras en el horno a 60 °C durante 24 horas.

- Ensayo hídrico de desorción

La desorción es el fenómeno por el cual un material totalmente saturado pierde agua por evaporación.¹⁷

Con este ensayo se obtiene la retención de agua final de las muestras y el contenido de agua crítico, que es el momento

en que la roca deja de evaporar agua de la superficie y empieza a evaporarla desde el interior, además de una gráfica de secado.

Estos valores se obtienen a partir de una serie de cálculos:

- Gráfica de secado:

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

- Retención de agua final (%):

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

Mi	Peso de la muestra en cada intervalo de tiempo.
Mo	Peso de la muestra en seco.
Mf	Peso final de la muestra al acabar la desorción.
Ms	Peso de la muestra saturada.

Procedimiento del ensayo

Después de realizar la absorción libre, donde las muestras se saturan, se realiza la desorción. Se sacan las muestras saturadas del agua y se van pesando siguiendo unos intervalos de tiempo establecidos por la norma. Una vez acabado el ensayo se introducen las muestras en el horno a 60 °C durante 24 horas.

- Ensayo hídrico de succión capilar

Este ensayo nos permite observar la capacidad que tiene un material para absorber agua a través de los conductos capilares de manera vertical; este proceso se suele dar en las zonas bajas de los edificios, donde el agua asciende desde el suelo. Este fenómeno depende de la composición del material y de los poros que tenga ese material, además de la calidad del agua.¹⁸

Con este ensayo obtenemos el incremento de masa respecto a la superficie de absorción, que es la cantidad de agua por unidad de superficie que la probeta va absorbiendo durante el ensayo,¹⁹ el contenido de agua final absorbido por la muestra, que nos indica el porcentaje de agua absorbida al final del ensayo,²⁰ el grado de saturación, que es la relación entre el contenido de agua que la muestra va absorbiendo respecto al contenido máximo de agua que puede absorber²¹ y, por último, el coeficiente de absorción capilar (C.A.C.), que es el momento en el que la muestra ya no absorbe más agua.

Estos valores se obtienen a partir de una serie de cálculos:

- Incremento de masa respecto a la superficie de succión (Kg/m²)²²

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

- Contenido de agua final absorbido por la muestra (%):

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

- El grado de saturación (%):

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

Mi	Peso de cada intervalo de tiempo.
Mo	Peso inicial de la muestra en seco.
Mf	Peso final de la muestra.
St	Grado de agua final absorbido.
Ws	Contenido máximo de agua que puede absorber la muestra.

Procedimiento del ensayo

Antes de realizar el ensayo, se cubren cinco de las caras de cada una de las muestras con silicona, dejando una sin cubrir. **10** [pág. 66] Una vez catalizada la silicona, ya se puede proceder a la realización del ensayo; para ello se coloca una rejilla dentro de una bandeja, la cual se llena de agua desionizada de manera que cu-

¹¹ Son las zonas de un material que no tienen material denso y que están interconectadas, es decir, los poros. ¹² Es el volumen de poros comunicados entre sí, además de con el exterior, por unidad de volumen del material poroso. La porosidad accesible se divide en porosidad libre (el líquido puede circular) y porosidad atrapante (el líquido tiene dificultades para salir).

¹³ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas ...*, p. 20.

¹⁴ Pesada en seco (Mo): peso de la muestra totalmente desecada.

¹⁵ Pesada saturada (Ms): peso de la muestra totalmente saturada de agua.

¹⁶ Pesada hidrostática (Mh): peso de la muestra sumergida en agua con el poro saturado.

¹⁷ En el secado intervienen distintos factores tanto ambientales como intrínsecos de la muestra.

¹⁸ 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.

¹⁹ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas...*, p. 25.

²⁰ BADIA, M. *Estudis i assaig de tractaments...*

²¹ ANTÓN, J.C. *Caracterización de algunas rocas...*, p. 25.

²² Se divide entre 10 para pasarlo a Kg/m², ya que la unidad de medida de las probetas inicialmente se ha expresado en g/cm².

bra la rejilla y 2 mm de las muestras. Posteriormente, se introducen las muestras, con la cara destapada tocando el agua, dentro de las bandejas. **11** [pág. 66] se pone en marcha el cronómetro y, siguiendo los intervalos de tiempo establecidos por la norma, se van pesando las muestras; cada vez que se pesa una muestra, se vuelve a dejar en la bandeja con agua. Una vez acabado el ensayo, se retira la silicona y se introducen todas las muestras en el horno a 60 °C durante 24 horas.

- Ensayo de durabilidad: ciclos de cristalización con sulfato sódico

Las sales son uno de los principales factores de alteración en materiales porosos ya que, cuando están disueltas, son transportadas por el agua a través del material. Estas pueden aparecer debido a la composición del material, ascendiendo por capilaridad, procedentes del suelo o aportadas por la atmósfera y depositadas sobre los materiales.

Una vez seco el material, es decir, cuando ha evaporado toda el agua que ha transportado sales, se produce la cristalización de éstas formándose eflorescencias, que son los cristales de sal en la superficie del material.

Con este ensayo se comprueba la resistencia de cada una de las muestras de mortero ante el ataque de las sales, en concreto, del sulfato sódico anhidro. Los resultados obtenidos con este ensayo variarán según el tipo de sal, las características de inmersión (tiempo, tipo y temperatura) y las características de secado (temperatura, tiempo y humedad del ambiente). Se ha realizado en último lugar ya que es un ensayo destructivo.

Procedimiento del ensayo

Se prepara una disolución de sulfato sódico anhidro al 14%. Antes de sumergir las muestras en la disolución se marcan, con un rotulador, los bordes de cada muestra, para así tener un control visual de las alteraciones producidas durante el ensayo; se colocan en la bandeja y se vierte la disolución hasta cubrir las muestras. **14** [pág. 67] Se dejan las muestras durante tres horas sumergidas en la disolución y, pasado ese tiempo, se sacan y se introducen dentro del horno a 60 °C durante 17 horas; por último, se sacan del horno, se pesan y se dejan tres horas al aire libre para que se enfríen. Este proceso se repite hasta dieciséis veces; al final de cada ciclo se deben pesar las muestras y documentar gráficamente el resultado.

RESULTADOS

1. Mesa de sacudidas

Todos los morteros han resultado ser plásticos, ya que todos se encuentran entre los 140 y los 200 mm, excepto el MARQ-01, que era el objetivo que buscábamos.

2. Determinación del grado de carbonatación de las probetas: tinción selectiva con fenoltaleína

Con este ensayo se determina el nivel de carbonatación de cada muestra, indicándonos qué mortero tiene más posibilidades de disgregarse ante la acción del agua.

En general podemos observar que, a pesar de que ya hayan pasado diez meses desde su creación, mucho más tiempo del establecido para que un mortero se carbonate (unos seis meses), todas las muestras han reaccionado tiñéndose de rosa por la fenoltaleína; esto nos indica que ninguna de las muestras está totalmente carbonatada. **8** [pág. 64] Podemos observar como la carbonatación está sucediendo del exterior hacia el interior, es decir, los bordes se han carbonatado pero el interior aún no.

3. Ensayo hídrico de absorción libre

Los resultados obtenidos con este ensayo se presentan en una tabla **13** [pág. 67] en la que se indica el peso en seco, el

peso saturado, el peso hidrostático, el contenido máximo de agua que puede absorber la probeta, la porosidad accesible y la densidad aparente y real. Se presentan los resultados de cada patrón, con el resultado para cada probeta que se indican con los números 01, 02 y 03.

Todas las probetas de cada patrón tienen un peso similar entre ellas; aquellas en que la diferencia de peso es mayor son el patrón MARQ-1, el patrón MARQ-05B y el patrón MARQ-07.

Los patrones MARQ-01 y MARQ-02 son los que tienen el peso más alto en las tres pesadas. **13** [pág. 67] En cambio, los patrones menos pesados son el MARQ-07, en su peso en seco, y el MARQ-04, en su peso saturado e hidrostático.

El patrón que puede absorber más agua es el MARQ-07, en cambio, el patrón MARQ-02 es el que menos agua consigue absorber. Estos datos se repiten en el caso de la porosidad accesible: el patrón MARQ-07 tiene la porosidad accesible más elevada y el MARQ-02 la más baja.

En cuanto a las densidades, tanto relativa como aparente, son muy similares en todos los patrones, esto se debe a que el volumen de todos es el mismo.

4. Ensayo hídrico de desorción

Los resultados obtenidos se representan en dos tablas; en la primera tabla se representa el secado (%) de cada probeta en el tiempo (min.) estipulado por la norma y, en la segunda tabla, se ha anotado el contenido máximo de agua que había retenido la muestra (Ws %) y la retención de agua final de las muestras (Se %). Las probetas se representan con los números 01, 02 y 03. Por último, también se ha creado una gráfica donde se expresa la cantidad de agua retenida (%) en función del tiempo. **14** [pág. 67]

En la imagen **14** [pág. 67], que representa la gráfica de desorción del patrón MARQ-02, podemos observar que la cantidad de agua absorbida es baja y que, en el proceso, se consigue eliminarla prácticamente toda y que la retención de agua también es muy baja, un 3,2 % de media de las tres probetas. Hasta las seis horas la evaporación es muy lenta pero, a partir de ese momento, se incrementa la cantidad de agua evaporada hasta su totalidad.

En general, hemos podido observar que los patrones MARQ-01 y MARQ-02 llegan a perder toda el agua que son capaces de retener y no retienen una cantidad muy elevada de agua en comparación al resto.

También se ha visto que los patrones MARQ-05B y MARQ-07, que contienen mayor cantidad de aditivo, acaban reteniendo más agua al final y no llegan a evaporar tanta agua como los que tienen menos cantidad de aditivo.

5. Ensayo hídrico de succión capilar

Los resultados se reflejan en una tabla, en la que se representa la superficie de las probetas, la cantidad de agua máxima que puede absorber (Ws), el contenido de agua que ha absorbido al final (St) y el grado de saturación (Si), y con una gráfica donde se expresa la cantidad de agua que va absorbiendo la muestra (Kg/m²) en función del tiempo (vt). **15** [pág. 67]

La gráfica de succión capilar **15** [pág.67] representa los resultados del patrón MARQ-02; en ella podemos observar que la cantidad máxima de agua que puede absorber es del 13,7 % de media y que no ha llegado a absorber toda esa cantidad, sino que absorbe un 10,8 % de media. El grado de saturación de este patrón es de un 79,3 % de media. Hasta

vt10 absorbe rápidamente el agua, a partir de ese punto la absorbe lentamente.

El patrón MARQ-02 es el que menos cantidad de agua ha absorbido al finalizar el ensayo y, además, su grado de saturación es el más bajo de todos. El MARQ-04 es el mortero que más lentamente ha succionado el agua. El MARQ-07 es el patrón que más agua ha absorbido, muy rápidamente, y además su grado de saturación es el más elevado.

6. Ensayo de durabilidad: ciclos de cristalización con sulfato sódico

De este ensayo se extraen los resultados a partir de dos parámetros: la pérdida de peso de las probetas y la observación visual de la superficie.

- Pérdida de peso:

$$M = ((P_c - P_i) / P_i) \times 100$$

Pi Peso inicial.
Pc Peso de los ciclos.

Las probetas que más han perdido peso son las de los patrones MARQ-01, MARQ-05B y MARQ-07.

Las sales han surgido por toda la superficie de los restos de las probetas y tienen forma de finas agujas. [16](#) y [17](#) [pág. 68] Las sales se han introducido en el interior de los morteros que aún no han carbonatado y se ha producido eflorescencia hacia el exterior, lo que ha provocado que se destruya la parte carbonatada.

Los patrones más sensibles han sido el MARQ-04, el MARQ-05A y el MARQ-08. En este caso, el patrón que parece tener más resistencia al ataque de las sales es el MARQ-06, que apenas ha perdido peso y, como hemos podido observar en las imágenes, se ha disgregado menos que el resto. El MARQ-02 sería el siguiente, aunque ha perdido mucho más peso que el MARQ-06; hemos podido ver que ha resistido bastante bien, ya que la alteración más grave ha sido la desplazación de la zona carbonatada.

CONCLUSIONES

Con estos ensayos se pretendía encontrar un mortero adecuado para realizar el traslado de una pintura mural a un nuevo soporte.

Los resultados obtenidos con el ensayo de tinción con fenoltaleína no han sido concluyentes, ya que todos los morteros han resultado no estar carbonatados; para que este ensayo fuese representativo a la hora de escoger un patrón habría que realizarlo nuevamente pasados unos meses.

En el ensayo de absorción libre se ha podido observar que los patrones MARQ-01 y MARQ-02 son los más pesados.²³ Por el contrario, el patrón MARQ-07 es el que tiene un peso menor en seco y el patrón MARQ-04 pesa menos al estar totalmente saturado durante la pesada hidrostática. Por otro lado, podemos ver que el patrón MARQ-07 es el que tiene una porosidad accesible más elevada y, por lo tanto, el que más agua absorbe, en contraposición al MARQ-02 que es el que menos absorbe.

Con el ensayo de la desorción hemos podido observar que los patrones MARQ-01 y MARQ-02 pueden llegar a retener muy poca agua y, además, en el tiempo establecido han llegado a evaporar toda el agua absorbida durante el ensayo de absorción libre. Los patrones MARQ-05B y MARQ-07 son los que más agua han retenido durante el ensayo de absorción libre; su evaporación ha sido muy lenta y no han sido capaces de eliminar toda el agua en el tiempo establecido.

El último ensayo hídrico que se ha realizado ha sido el de la succión capilar; este ensayo nos ha dado como resultado que los patrones MARQ-02 y MARQ-04 son morteros que absorben poca cantidad de agua, por tanto, su grado de saturación es más bajo que los otros y, además, la han absorbido lentamente. El patrón MARQ-07 ha sido el que más agua ha absorbido, con mucha rapidez, lo que hace que su grado de saturación sea muy elevado.

En cuanto al ensayo de ciclos de cristalización, hemos podido observar que los patrones MARQ-04, MARQ-05A y MARQ-08 no han superado los cuatro ciclos que se han realizado y se han disgregado, llegando a perder su forma original. Los patrones MARQ-02 y MARQ-06 han soportado cuatro ciclos y son los que mejor han conservado su forma. En varios de los patrones la disgregación de las probetas no ha sido igual, es decir, no todas han reaccionado de la misma forma pero, al final, todas han acabado disgregándose igual, a excepción del patrón MARQ-07 donde encontramos dos probetas muy disgregadas y una en muy buen estado.

Cabe destacar que los morteros con aditivos (MARQ-07 y MARQ-05B) han sido los que peores resultados nos han ofrecido.

Después de analizar conjuntamente todos los resultados obtenidos con los distintos ensayos, se ha podido concluir que el mortero más adecuado para realizar el soporte para la pintura mural sería el patrón MARQ-02; se trata de un mortero de proporciones 2:1, realizado con cal aérea en pasta y un árido extrafino sin ningún tipo de aditivo. Como ya hemos mencionado, es un mortero que absorbe poca agua y que la poca que llega a absorber la evapora rápidamente, además de ser uno a los que más ha tardado en hacerle efecto las sales. Tiene un pequeño inconveniente, y es que es el más pesado de todos.

²³ En este ensayo hemos podido observar cómo se creó una fina capa blanca de aspecto cristalino sobre el agua que cubría los morteros. Esta capa puede ser calcita, lo que nos indica que hay algunos de ellos realizados con cal apagada en pasta.

IMÁGENES

- 1 Mezcla del material en una gaveta con una paleta catalana (Fotografía: Marina Ramisa).
- 2 Relleno del molde troncocónico hasta la mitad (Fotografía: Marina Ramisa).
- 3 Caída del pistón sobre el mortero para eliminar las posibles burbujas de aire (Fotografía: Marina Ramisa).
- 4 Retirada del molde (Fotografía: Marina Ramisa).
- 5 Realización de las 15 sacudidas (Fotografía: Marina Ramisa).
- 6 Medición del escurrimiento con una regla (Fotografía: Marina Ramisa).
- 7 Posibles reacciones de la fenolftaleína en contacto con el mortero (Esquema: Edurne Fernández).
- 8 Resultado de una muestra que se ha teñido de rosa, lo que nos indica que el mortero no está carbonatado (Fotografía: Edurne Fernández).
- 9 Introducción de la muestra en la cesta metálica que cuelga de la báscula de precisión para efectuar la pesada hidrostática (Fotografía: Marina Ramisa).
- 10 Aplicación de la silicona sobre cinco de las seis caras de las probetas (Fotografía: Edurne Fernández).
- 11 Muestras colocadas sobre una rejilla dentro de las bandejas con agua desionizada, que las cubre hasta los 2 mm (Fotografía: Edurne Fernández).
- 12 Muestras sumergidas en la disolución de sulfato sódico anhidro al 14 % (Fotografía: Edurne Fernández).
- 13 Tabla de resultados del ensayo de absorción libre (Imagen: Edurne Fernández).
- 14 Gráfica de evaporación del patrón MARQ-02 (Imagen: Edurne Fernández).
- 15 Gráfica de succión del patrón MARQ-02 (Imagen: Edurne Fernández).
- 16 Resultado de las sales que se han manifestado sobre la muestra MARQ-07 (Fotografía: Edurne Fernández).
- 17 Resultado de las sales que se han manifestado sobre la muestra MARQ-08 (Fotografía: Edurne Fernández).

BIBLIOGRAFÍA

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^o T.; YUSÁ, D. *Aspectos fisicoquímicos de la pintura mural y su limpieza*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 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). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006.

MORA, P.; MORA, L.; PHILLIPOT, P. *La conservación de las pinturas murales*. Colombia: 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), nº 6, p. 45-49.