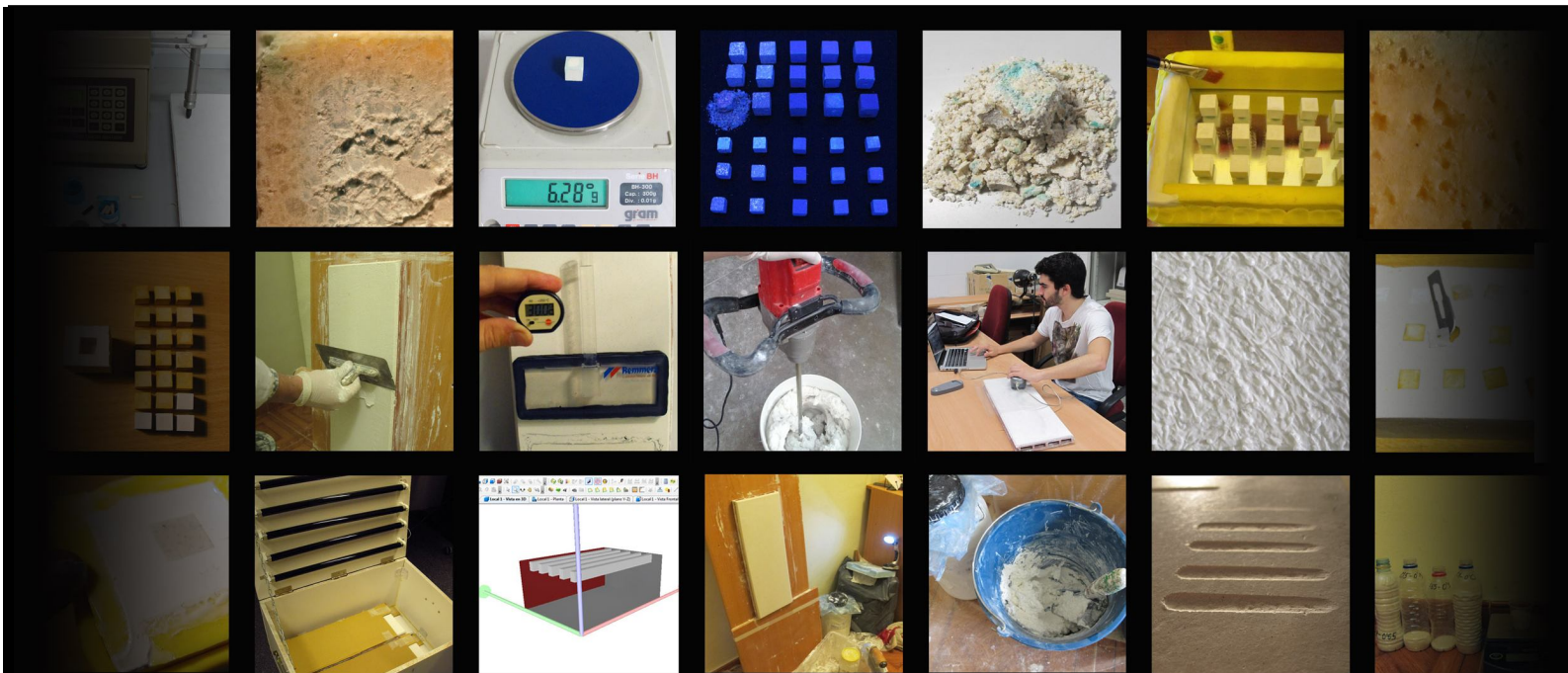


Universitat Politècnica de València

TFM - Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales



# Comparativa de morteros de acabado para su uso en restauración: mortero tradicional y predosificado industrial

Antonio González Portillo

Directores:

M<sup>a</sup> Antonia Zalbidea Muñoz

José Luis Regidor Ros



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



departament  
Conservació  
Restauració  
Béns  
Culturals

Valencia, 2013







UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



departament  
Conservació  
Restauració  
Béns  
Culturals

## Comparativa de morteros de acabado para su uso en restauración: mortero tradicional y predosificado industrial

Antonio González Portillo

Directores:

M<sup>a</sup> Antonia Zalbidea Muñoz

José Luis Regidor Ros

TFM - Trabajo final de máster

Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Valencia, 2013

Todas las fotografías del presente trabajo son propiedad de Antonio González Portillo, excepto las que aparecen reseñadas en pie de foto.

## RESUMEN

El presente estudio realiza una comparativa experimental entre diferentes morteros de reposición de cal aérea para enlucidos aptos para su uso en conservación y restauración. Los ensayos realizados tienen por objetivo diferenciar los morteros naturales o tradicionales de los predosificados, todos ellos comercializados en pasta.

Se ha evaluado el comportamiento de los morteros mediante la realización de ensayos de envejecimiento acelerado en atmósfera sulfurosa ( $\text{SO}_2$ ), cámara de envejecimiento termohigrométrico, determinación de la absorción de agua por capilaridad y bajo presión (tubo Karsten), envejecimiento acelerado en cámara de UV y resistencia a la abrasión con abrasímetro lineal. Esta fase experimental se ha desarrollado en probetas prismáticas de 10x10x10 mm. y 15x15x15 mm. Asimismo, se han realizado muestras de estuco sobre soporte cerámico para evaluar algunos de los ensayos desde un punto de vista más cercano a la realidad.

De los resultados se pudieron extraer como conclusiones una menor porosidad por norma general en los morteros predosificados, debido a la presencia de resinas sintéticas; mayor resistencia a la abrasión con menor pérdida de material superficial en los aditivados por el efecto consolidante de las resinas y una respuesta diferente tras el envejecimiento por UV, que ha provocado el blanqueamiento de los estucos realizados con morteros predosificados.



## RESUM

El present estudi realitza una comparativa experimental entre diferents morters de reposició de calç aèria para arrebossats aptes per al seu ús en conservació i restauració. Els assajos realitzats tenen per objectiu diferenciar els morters naturals o tradicionals dels predosificats, tots ells comercialitzats en pasta.

S'ha avaluat el comportament dels morters mitjançant la realització d'assajos d'envelliment accelerat en atmosfera sulfurosa ( $\text{SO}_2$ ), càmera d'envelliment termohigromètrica, determinació de l'absorció d'aigua per capil·laritat i sota pressió (tub Karsten), envelliment accelerat en càmera d'UV i resistència a l'abració amb abrasímetro lineal. Aquesta fase experimental s'ha desenvolupat en provetes prismàtiques de 10x10x10 mm. i 15x15x15 mm. Així mateix, s'han realitzat mostres d'estuc sobre suport ceràmic per a avaluar alguns dels assajos des d'un punt de vista més proper a la realitat.

Dels resultats es van poder extraure com a conclusions una menor porositat per norma general en els morters predosificats, a causa de la presència de resines sintètiques; major resistència a l'abració amb menor pèrdua de material superficial en els aditivats per l'efecte consolidant de les resines i una resposta diferent després de l'envelliment per UV, que ha provocat el enblanquiment dels estucs realitzats amb morters predosificats.





## ABSTRACT

The present study approaches an experimental comparison between different replacement mortars of aerial lime for stuccowork fit for their use in conservation and restoration. The tests carried out are aimed at differentiating natural or traditional mortars from pre-measured out ones, all of them commercialized in paste.

The behaviour of the mortars has been assessed throughout accelerated aging tests in a sulphurous atmosphere ( $\text{SO}_2$ ), thermohygro-metric aging chamber, establishment of the absorption of water through capillarity and under pressure (Karsten tube), accelerated aging in UV chamber and resistance to abrasion with linear abrasimetre. This experimental phase has been developed in 10x10x10 mm and 15x15x15 mm prismatic graduated cylinders. In addition, samples of stuccowork have been made over ceramic supports to evaluate some of the tests from a more down-to-earth viewpoint.

From the results, it can be concluded that there exists less porosity in general in pre-measured mortars, due to the presence of synthetic resins; greater resistance to abrasion with a smaller loss of superficial material in pre-measured ones, for the consolidating effect of resins, and a different response after the aging through UV, which has brought about the whitening of the stuccowork made with the said mortars.



**Sumario:**

<b>I. Introducción .....</b>	<b>15</b>
<b>II. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>III. Desarrollo del Trabajo</b>	
<b>1. Metodología .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Antecedentes y estado de la cuestión .....</b>	<b>21</b>
<b>3. Elección de materiales para uso en restauración:</b>	
<b>3.1. La cal aérea .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Idoneidad para restauración y compatibilidad con la obra original .....</b>	<b>27</b>
<b>4. Normativas tecnológicas para su uso en la investigación de morteros</b>	
<b>4.1. Dificultades e incompatibilidades con respecto a las normas actuales .....</b>	<b>29</b>
<b>5. Parte experimental:</b>	
<b>5.1. Probetas con normativa tecnológica</b>	
a. Selección de los materiales a estudiar .....	33
b. Elaboración de las probetas .....	35
c. Ensayos realizados:	
c.1. Ensayo de envejecimiento acelerado en atmósfera sulfurosa (SO <sub>2</sub> ).....	47
c.2. Ensayo de envejecimiento acelerado por humedad-temperatura .....	61
c.3. Determinación de la absorción de agua por capilaridad.....	67
c.4. Fotografía con iluminación UV .....	71
<b>5.2. Probetas sin normativa tecnológica</b>	
a. Revisión y selección bibliográfica.....	73
b. Elaboración de las probetas sin normativa .....	77
c. Ensayos realizados:	
c.1. Fotografías macro de la superficie de los estucos.....	83
c.2. Envejecimiento por incidencia de UV .....	85
c.2.1. Cálculo de la incidencia lumínica sobre las probetas:	
uso del software Dialux.....	87
c.3. Envejecimiento por incidencia de UV:	
Resultados obtenidos mediante la captura	
del color con colorímetro .....	91
c.4. Determinación de la absorción de agua bajo presión:	
ensayo con el tubo Karsten .....	97
c.5. Determinación de la dureza superficial:	
ensayo con abrasímetro lineal.....	103

<b>5.3. Discusión de los resultados</b>	
a. Ensayo de envejecimiento acelerado en atmósfera sulfurosa (SO <sub>2</sub> ).....	109
b. Ensayo de envejecimiento acelerado por humedad-temperatura.....	110
c. Determinación de la absorción de agua por capilaridad .....	110
d. Fotografía en detalle con iluminación UV .....	111
e. Fotografía al microscopio de la superficie de los estucos .....	111
f. Envejecimiento por UV: Resultados obtenidos con el colorímetro .....	111
g. Determinación de la absorción de agua bajo presión:	
ensayo con el tubo Karsten .....	111
h. Determinación de la dureza superficial:	
ensayo con abrasímetro lineal.....	111
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>115</b>
<b>IV. Bibliografía.....</b>	<b>119</b>
<b>V. Agradecimientos .....</b>	<b>125</b>
<b>VI. ANEXO</b>	
<b>1. Proceso de realización de las probetas con normativa tecnológica .....</b>	<b>127</b>
<b>2. Resultados del software Measure Tool tras las capturas con el colorímetro .....</b>	<b>138</b>
<b>3. Fichas técnicas morteros y conglomerantes seleccionados .....</b>	<b>139</b>



*Piensen, se lo ruego, por no remontarnos más, en la belleza solemne y delicada de Santa Sofía de Constantinopla, en la penumbra dorada de San Marcos de Venecia, en los acantilados esculpidos de las grandes catedrales francesas, en la belleza discreta y familiar de nuestras propias iglesias monacales; y, sin ir tan lejos, paseen por las calles de Oxford y mediten en lo que ha quedado indemne de la furia del comercio floreciente y de las escuelas innovadoras: o deambulen algún día por algunos de esos pueblos y ciudades pequeñas, alejados de las grandes rutas, esparcidos por el campo, a veinte millas de Oxford como máximo; y sin duda verán que la pérdida del arte decorativo es para el mundo una pérdida dolorosa.*

**William Morris** (de “El Arte bajo la Plutocracia”, Conferencia pronunciada en el auditorio del University College [Oxford] el 14 de Noviembre de 1883)



## I. Introducción

Dentro de nuestro patrimonio arquitectónico encontramos muestras de un rico conocimiento técnico que dio lugar a obras de gran calidad y belleza. De entre ellas, centraremos nuestra atención en los revestimientos que protegen los muros de los agentes atmosféricos como la lluvia, el viento y los rayos del sol, pero que por otro lado cumplen de forma mucho más llamativa una función estética.

Estas obras merecen todo nuestro interés, pues son parte de nuestra cultura, que debe ser conservada para las generaciones venideras. En estos acabados arquitectónicos, que son la piel de nuestros edificios, están presentes las técnicas antiguas, los colores y texturas realizadas antaño, las cuales han ido perdiéndose poco a poco, al cambiar los sistemas constructivos y la forma de vida. Por ello tiene aún más importancia si cabe, esta necesidad por la conservación y restauración de los revestimientos.

Para poder llevar a cabo estas restauraciones, basándonos en los principios básicos de la disciplina de la conservación y restauración, los materiales que utilicemos deberán cumplir unos requisitos específicos. El primero de ellos es la compatibilidad con los materiales que constituyen la obra original, para que el material aplicado no afecte al original en ninguna de sus propiedades, evitando nuevos daños. Otro de los requerimientos es que cumpla correctamente las funciones de un mortero de revestimiento en las aplicaciones específicas para las que se le necesite (protectoras y estéticas). El último de los requisitos que deberá cumplir es el de la perdurabilidad en el tiempo. Este es un aspecto muy relevante, pues al tener que soportar el paso de los años (con los consiguientes agentes agresivos diversos), ligado al material original sobre el que se ha realizado la restauración, un cambio repentino en sus propiedades, puede ocasionar un deterioro irreversible en los materiales originales adyacentes.

En una primera etapa, durante el siglo XX, abundaron las reparaciones realizadas con otros materiales, diferentes a los originales. El ejemplo más claro y extendido fue el uso del cemento y sus derivados. Esto se debía a la coyuntura de la época, donde se vivía un auge de la construcción debido a la revolución que supuso, tanto por las nuevas posibilidades constructivas que permitía (gran resistencia mecánica para construir en altura), como por la velocidad en adquirir sus cualidades óptimas de curado (construir más edificios en menos tiempo). Sin embargo, por el inadecuado uso de este material en las restauraciones realizadas terminó por descartarse para estas aplicaciones.

Por tanto, al descartar estos morteros, se planteó la necesidad de recurrir a la técnica tradicional, a los materiales con los que se revestían y decoraban los monumentos. Pero el problema surgía en el momento de aplicarlos, ya que debido a la comentada revolución industrial que impuso el uso del cemento, el conocimiento que se disponía sobre los materiales y técnicas tradicionales

### *Introducción*

había sido olvidado. Dentro de estos conocimientos se encuentra toda la herencia recibida de nuestros antepasados en relación a los temas constructivos, fruto de la evolución y perfeccionamiento que se consigue durante siglos de experiencia. Incluimos en este aspecto el conocimiento que se disponía sobre las posibilidades de mejorar o adaptar las prestaciones de los morteros por la adición de determinadas sustancias naturales (orgánicas e inorgánicas), con unas garantías de estabilidad en el tiempo tras la aplicación. Prueba de ello la encontramos en las obras de revestimiento que han llegado hasta nuestros días.

Podríamos hallar en ese punto una de las razones fundamentales por las que se terminaron produciendo de manera industrializada morteros “tradicionales” (componente básico: cal) predosificados, incluyendo en el producto los aditivos sintéticos necesarios para cada uso en restauración. Pero como vemos, en este caso, los aditivos que intentan conseguir las cualidades que aportaban los usados tradicionalmente (naturales), se sustituyen por otros previamente estudiados probablemente para la industria del cemento y sus derivados.

Aparte de este motivo (para suplir una carencia de conocimientos en la formulación de morteros correctamente aditivados a pie de obra), otra de las razones para la gran difusión y uso de estos morteros predosificados puede ser la rapidez de su puesta en obra.

Una razón lógica se deriva del proceso de evolución constructiva tras la introducción del cemento, ya que como en el caso de los morteros monocapa (conglomerante + áridos + gran cantidad de aditivos sintéticos), permiten ser aplicados en cortos espacios de tiempo. Tan sólo añadiendo agua y batiendo el producto, obtenemos un mortero listo para su uso; que en ocasiones también se aplica con máquinas de proyección, acelerando aún más los trabajos.

Finalmente, si comparamos estos morteros con los naturales, encontramos la diferencia básica en que el predosificado es una mezcla “cerrada”, es decir, que vienen formulados desde laboratorio (aditivados) con una finalidad y aplicación muy específica, de ahí que exista tanta variedad de morteros en el mercado según su aplicación. Esta es su principal ventaja, aligerar los procesos constructivos ahorrando tiempos de preparación, y en segundo lugar, que no necesita de un oficial experto para confeccionarlo (conociendo dosificaciones y adiciones específicas) y aplicarlo correctamente.

Sin embargo el problema surge cuando a partir de uno de estos morteros, variamos alguna de sus indicaciones de aplicación o adulteramos la mezcla ante otra necesidad puntual para la que no se dispone de tiempo de recepción de nuevos materiales. En estos casos, se presenta de nuevo y queda patente uno de los motivos que llevaron a la formulación y comercialización de estos morteros: la falta de cualificación y conocimiento en la confección, uso y aplicación de morteros tradicionales para la conservación y restauración del patrimonio.

## II. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo de fin de máster es realizar una comparativa entre morteros de reposición de cal aérea para enlucidos aptos para su uso en conservación y restauración, entendiendo como tales aquellos cuyas características se adapten a los principios de compatibilidad con los materiales originales y perdurabilidad en el tiempo. En dicha comparativa se estudiarán morteros predosificados comerciales y morteros tradicionales.

Para la consecución de este objetivo principal, se proponen los siguientes objetivos secundarios:

- Diferenciar a través de varios métodos de ensayo los morteros tradicionales y predosificados.
- Evaluar la influencia del tamaño de partícula del árido entre los morteros predosificados utilizados para enfoscado y enlucido.
- Determinar empíricamente las distintas posibilidades de acabado para estucos que ofrecen los morteros predosificados en comparación con los naturales.
- Descubrir el comportamiento que presentan los morteros predosificados ante un estrés en el material provocado mediante ensayos de envejecimiento acelerado, en comparación con la respuesta que ofrecen los morteros naturales.
- Encontrar las posibles diferencias entre dos tipos de cal natural, según su modo de fabricación o calcinación.





## 1. Metodología

La metodología llevada a cabo para la realización del presente trabajo de fin de máster tiene un carácter eminentemente práctico - experimental. No obstante, para poder establecer las pautas que guíen el desarrollo del trabajo y permitan una correcta interpretación de los resultados de las analíticas, se requiere un amplio estudio teórico-práctico inicial. Durante esta fase de documentación y estudio, aparte de las fuentes bibliográficas, fueron relevantes los conocimientos adquiridos durante la participación en cursos y congresos técnicos<sup>1</sup> en el ámbito de la cal y la construcción tradicional.

Para realizar los ensayos y experimentos se ha establecido una metodología de trabajo según dos criterios en relación al modo de realización de las probetas. Puesto que en los estudios experimentales previos sobre morteros es habitual realizar las probetas según normativas tecnológicas, para aportar rigor y objetividad a nuestro trabajo se ha decidido realizar un bloque de ensayos según algunas de estas normas. Concretamente, la normativa utilizada será la proporcionada por AENOR: UNE.

Por otra parte, puesto que los morteros que se estudian son de revestimiento, se estima oportuno realizar una serie de probetas de mayor tamaño, creando una superficie pulida similar a la de un tipo de revestimiento fino, para lo cual no disponemos de normativa vigente. No obstante, para que las probetas sigan una metodología de fabricación aceptada y adoptada en otras investigaciones, se han seguido las pautas recomendadas en la "Guía práctica de la cal y el estuco"<sup>2</sup>, tanto en las dosificaciones de las masas como en el proceso de ejecución.

Una vez realizados los dos grupos de probetas, se someterán a diversos ensayos:

En las probetas prismáticas se realizarán ensayos de envejecimiento acelerado en cámaras de SO<sub>2</sub> y de humedad-temperatura para finalmente evaluar la absorción de agua por capilaridad.

En las probetas mayores, sobre soporte cerámico, se analizará la superficie al microscopio para posteriormente envejecerlas en cámara de UV, controlando los parámetros colorimétricos antes y después del proceso. Posteriormente se evaluará su absorción de agua bajo presión y finalmente, evaluaremos la resistencia superficial a la abrasión.

A través de este bloque metodológico se pretende alcanzar los objetivos propuestos, evaluando y comparando los morteros a partir de los resultados obtenidos de las pruebas anteriores.

---

<sup>1</sup>Curso "Elaboración de estucos tradicionales a la cal", impartido por el estucador Enric Martínez, M<sup>a</sup> Antonia Zalbidea y Pilar Soriano en la U. Politécnica de Valencia (UPV). Julio de 2012.

Curso "Bioconstrucción - Enfoscados con mortero de cal", impartido por Laurent Coquemont en el Museo de la Cal de Morón. Noviembre de 2012.

Jornadas "10<sup>a</sup> Jornadas Técnicas de Arquitectura Tradicional y Bioconstrucción", coordinado por Petra Jebens-Zirkel, en Graus (Huesca). Noviembre de 2012.

<sup>2</sup>GARCÍA Y CONESA, Oriol. [et al.] "Guía práctica de la cal y el estuco".



## 2. Antecedentes y estado de la cuestión

Para el conocimiento general sobre la temática en la que se enmarca nuestra investigación, los morteros de cal, podemos encontrar bibliografía de diverso tipo, en la que obtendremos información de carácter general y específico sobre el conocimiento de la cal, el oficio y la tradición que la avala. Uno de los mejores libros actuales que aborda en profundidad estos saberes, haciendo también una recopilación de los más importantes tratados clásicos de arquitectura y construcción es "Artes de la cal"<sup>3</sup>.

También procedente del ámbito de la arquitectura y, especialmente de la ingeniería de la edificación, encontramos libros descriptivos sobre los tipos de revestimientos continuos tradicionales y actuales desde un punto de vista eminentemente teórico<sup>4</sup>. Desde el segundo ámbito predominan los documentos altamente técnicos para el conocimiento de los materiales de construcción, la mayoría procedentes de centros superiores de enseñanza, universidades, como los libros docentes<sup>5</sup>.

Sobre la teoría y especialmente la práctica de los estucos a la cal destacamos dos libros<sup>6</sup>, de los cuales, por su detallada redacción de los procesos de ejecución en las labores de estucado, es sobresaliente la "Guía práctica de la cal y el estuco"<sup>7</sup>.

Por otra parte, en la actualidad van apareciendo nuevas investigaciones científico-técnicas enmarcadas dentro de proyectos conjuntos de investigación. Éstos suelen proceder de instituciones públicas de investigación o más comúnmente de las universidades. Se trata de publicaciones por lo general derivadas de la experimentación en laboratorio con el material, de análisis físico-químicos que pretenden aclarar el comportamiento de este tipo de morteros de uso habitual en obras de restauración.

La mayoría de estas investigaciones son traducidas al inglés para facilitar así la divulgación de los resultados entre profesionales a nivel internacional por medio de revistas técnicas de fácil

---

<sup>3</sup> GÁRATE ROJAS, Ignacio. "Artes de la cal".

<sup>4</sup> GONZÁLEZ MARTÍN, Jesús. "Revestimientos continuos. Tradicionales y modernos" y BARAHONA RODRÍGUEZ, Celia. "Técnicas para revestir fachadas".

<sup>5</sup> Los libros docentes son publicaciones realizadas a nivel interno de una universidad para servir de apoyo en el estudio de una asignatura. En este caso, se han revisado dos libros de la UPV, concretamente del Departamento de Construcciones Arquitectónicas: ARMESTO DÍAZ, José Antonio; ARILLA AGÓRRIZ, Elías. "La Cal". y AZNAR MOLLÁ, Juan; PITARCH ROIG, Ángel M.; VALIENTE SOLER, Juan M. "Materiales de construcción: Yesos, cales y cementos. Fundamentos".

<sup>6</sup> ESPUGA BELLAFONT, Jaume; BERASATEGUI BERASATEGUI, Delfina; GILBERT ARMENGOL, Vicenç. "Revoques y estucados: teoría y práctica".

<sup>7</sup> GARCÍA Y CONESA, Oriol. [et al.] Op. cit.

acceso desde internet<sup>8</sup>.

Otra fuente de información paralela a estos estudios que también procede del entorno de estos grupos de investigación son las tesis doctorales, proyectos de fin de carrera o trabajos de fin de máster. En ellos encontraremos información muy completa y variada, así como destacan también los estudios físico-químicos de gran rigor tecnológico (según las normas vigentes sobre materiales de construcción). Entre los profesionales que dedican sus investigaciones al conocimiento de la cal encontramos generalmente químicos, geólogos, ingenieros y arquitectos. Este tipo de estudios aportan un punto de vista científico que contribuye a reconstruir el conocimiento perdido sobre el dominio técnico de la cal.

Antes de finalizar esta revisión de fuentes derivadas del estudio para la obtención del título de doctor/a, y con una temática cercana a nuestro estudio es la tesis "El estuco. Técnica, conservación y restauración: Aplicación a la reintegración del mármol"<sup>9</sup>. Este trabajo trata algunas de las técnicas de estuco de cal de forma descriptiva y práctica, aunque sin embargo, centra su estudio en el llamado "estuco mármol", cuyo conglomerante fundamental es el yeso fino o escayola.

Actualmente el uso de la cal está muy presente en el sector de la restauración arquitectónica o en la nueva construcción como material alternativo y recurso decorativo. Esta, entre otras, puede ser la causa para la creación de asociaciones de profesionales relacionados con el conocimiento y el uso de la cal para adquirir y compartir nuevos saberes. De este modo, en Europa podemos encontrar asociaciones como la "Building Limes Forum" en el Reino Unido, "Forum Italiano Calce" en Italia y el "Fórum Ibérico de la Cal" en nuestro país.

Entre los profesionales que integran estas asociaciones encontramos productores de cal, arquitectos, ingenieros, albañiles, estucadores y restauradores, entre otros oficios relacionados. Otros objetivos de estas asociaciones son el estrechamiento del vínculo entre los fabricantes y los constructores, divulgar el uso de la cal organizando congresos pero, sobre todo, avanzar en la investigación para el conocimiento de la cal y sus derivados.

Respecto a esta nueva proyección que está teniendo progresivamente el uso de la cal a nivel nacional es destacable la reciente declaración de la UNESCO, que ha distinguido a la Cal artesanal<sup>10</sup> de Morón de la Frontera<sup>11</sup> (Sevilla), Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad en noviembre de 2011.

---

<sup>8</sup> Podemos acceder a numerosos artículos de carácter técnico en revistas como "Cement and Concrete Research", "Materiales de Construcción" (CSIC), "Archaeometry", Revista PH (IAPH), entre otras.

<sup>9</sup> MARTÍNEZ FUENTES, Reyes. "El estuco. Técnica, conservación y restauración: Aplicación a la reintegración del mármol".

<sup>10</sup> La caliza se calcina en hornos tradicionales de origen árabe, utilizando como combustible madera de olivo, pino o encina.

<sup>11</sup> En esta misma localidad se encuentra el Museo de la Cal, único museo dedicado íntegramente a la cal en España.



Por último, también en referencia a la divulgación de conocimientos sobre la cal y los morteros tradicionales es destacable una revista de tirada nacional, Ecohabitar, enmarcada dentro de la ecología y muy implicada en el ámbito de la bioconstrucción. En ella se publican regularmente artículos sobre estos materiales así como supone una vía para el intercambio de información entre fabricantes y constructores.

Una vez que hemos comentado aspectos generales sobre las fuentes de información, nos aproximaremos a otros estudios que hayan abordado el tema de forma similar al de la presente investigación. De entre los tipos de fuentes que se han citado, encontramos más similitudes con los estudios procedentes de centros de investigación y universidades. Concretamente nos referimos a las investigaciones científicas que se basan en la experiencia del laboratorio para determinar las propiedades de los morteros. Sobre el estudio en profundidad de estos morteros, dedicados a su uso en restauración encontramos desde tesis doctorales a artículos técnicos en revistas<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Tesis doctorales: CAZALLA VÁZQUEZ, Olga. "Morteros de Cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico". y 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 revistas: IZAGUIRRE ESEVERRI, Ana; LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, José Ignacio. "Characterization of aerial lime-based mortars modified by the addition of two different water-retaining agents". y VVAA. "Aditivos orgánicos en morteros de cal apagada en la edificación histórica". En proyectos de fin de carrera: RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. "Análisis comparativo experimental de algunos morteros de restauración": En concreto, esta investigación establece una comparativa entre morteros de restauración predosificados en polvo, entre ellos cales aéreas e hidráulicas para diferentes aplicaciones.



### 3. Elección de materiales para su uso en restauración:

#### 3.1. La cal aérea.

Antes de seguir avanzando nuestro trabajo, entendemos necesario aportar unas nociones técnicas sobre el único conglomerante que intervendrá en todas las pastas que contienen los morteros estudiados, nos referimos a la cal aérea.

Este conglomerante es uno de los más usados en enlucidos finos y decorativos. Se han descartado por tanto durante el proceso de selección, morteros que puedan contener trazas de otros conglomerantes. Como se ha comentado, el objetivo principal es la percepción de las diferencias entre las propiedades de los morteros predosificados con aditivos sintéticos y los naturales o sin aditivar.

Por otro lado, se han excluido en este estudio las cales aéreas con propiedades hidráulicas, adquiridas mediante aditivos, igual que las cales hidráulicas naturales, por su propiedad magra frente a la plasticidad y finura que se consigue con la cal aérea<sup>13</sup>. También es denominada cal grasa por esta untuosidad característica que se debe a su composición mineralógica y su morfología cristalina. En su estructura (de la cal grasa) se encuentra la presencia de portlandita casi exclusivamente, y de ésta junto a silicatos y aluminatos cálcicos o “grappiers” en la cal hidráulica hidratada<sup>14</sup>.

Tampoco incluiremos las cales dolomíticas, que aunque son de fraguado aéreo, la presencia mayor de magnesio dentro de la estructura, la hacen menos apta para el trabajo del estuco, además de tener una tonalidad más grisácea<sup>15</sup>.

La cal aérea grasa es aquella cuya composición tiene un mínimo de un 95% de carbonato cálcico. A medida que el tanto por ciento disminuye, será considerada magra, menos plástica y si aumenta la cantidad de impurezas arcillosas en la roca de origen, se obtendrán las cales hidráulicas.

El proceso de fabricación de la cal aérea grasa comienza con la extracción de la roca caliza de cantera, la cual se calcina en horno, perdiendo el agua de composición al principio del proceso y modificándose su composición a partir de los 900° C, perdiendo el dióxido de carbono a la vez que

---

<sup>13</sup> Estamos seguros de que nuestros conglomerantes y morteros carecen de aditivos hidráulicos porque el propio fabricante ya los comercializa en pasta, bajo agua, prueba irrefutable para asegurar que son totalmente aéreos.

<sup>14</sup> Según los autores ARMESTO DÍAZ, José Antonio; ARILLA AGÓRRIZ, Elías. Op. cit. p. 56. y AZNAR MOLLÁ, Juan; PITARCH ROIG, Ángel M.; VALIENTE SOLER, Juan M. Op. cit. pp. 66-67; durante el apagado de la cal hidráulica (queda desaconsejado o prohibido según normativa actual su apagado en obra), se realiza un apagado controlado en el que progresivamente se hidrata el óxido de cal libre, resultando hidróxido cálcico en polvo junto a silicatos y aluminatos cálcicos que no se llegan a hidratar, los cuales, más adelante durante su puesta en obra al ser hidratados desarrollarán sus propiedades hidráulicas).

<sup>15</sup> ARMESTO DÍAZ, José Antonio; ARILLA AGÓRRIZ, Elías. Op. cit. p. 56.

reduce su volumen y peso (pierde hasta casi la mitad de su peso).

Posteriormente, este inestable óxido de cal o cal viva (tiene gran tendencia a absorber agua, incluso la presente en el aire), debe apagarse añadiéndole agua, momento en el que reacciona químicamente, transformándose en hidróxido cálcico o cal apagada, aumentando también su volumen y peso. Dependiendo del sistema de apagado que se realice, resultará un producto con diferentes características.

En primer lugar, este apagado puede realizarse con la cantidad justa de agua para producir esta reacción (dando lugar a una cal apagada en polvo), o con un exceso aporte de agua, de modo que se produce cal apagada en pasta. En el primer caso, debido a la cantidad menos abundante de agua es probable que queden restos de cal sin apagar. En el segundo caso, influyen varios aspectos en la calidad final de la cal en pasta apagada, como son la temperatura que alcanza la balsa de apagado durante el proceso, si se remueven bien los terrones de cal viva durante el apagado, favoreciendo su total hidratación, y finalmente, si la cantidad de agua se mantiene en exceso o en defecto.

Tras el apagado, se ha confirmado en estudios técnicos<sup>16</sup> que cuanto más tiempo permanezca la pasta almacenada bajo agua, más se reducen los cristales de portlandita, provocando así un aumento de la superficie específica de los mismos, que en la práctica significa una mayor retención de agua (más plasticidad). También aumenta su resistencia mecánica con el endurecimiento así como experimentan mayor velocidad de carbonatación.

El siguiente proceso es la carbonatación de la cal, momento en el que primero endurece el mortero por secado (acción física), y luego fragua o carbonata por reacción química con el CO<sub>2</sub> del aire. No obstante, aunque en el ciclo de la cal suele indicarse que se necesita el aire atmosférico cargado de CO<sub>2</sub> para producir la carbonatación, ésta no se producirá realmente sin la presencia de humedad ambiental. De este modo, el proceso adquiere mayor complicación, pudiendo resumirse básicamente en varias etapas. La primera corresponde al secado, en el que se elimina el agua de amasado del mortero, pues un exceso de agua evita la difusión del gas de CO<sub>2</sub> en el interior del mortero. A continuación, se produce la disolución del dióxido de carbono en el agua interlaminar (la que rodea toda la superficie específica de los cristales de portlandita), formando así ácido carbónico. Este ácido débil disuelve los cristales de portlandita en bicarbonato de calcio (en estado soluble), que debido a su inestabilidad, precipita o cristaliza finalmente en carbonato de calcio (calcita)<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup>CAZALLA VÁZQUEZ, Olga. [et al.] "Aging of Lime Putty: Effects on Traditional Lime Mortar Carbonation". p. 1075.

<sup>17</sup>ARGANO, Sonia; GUIXERAS, Montserrat. "Cal aérea en pasta. Apuntes para su buen uso". pp. 29, 30.

### **3.2. Idoneidad y compatibilidad con la obra original**

Como se comentó en la introducción, fruto de los malos resultados que se obtuvieron en las intervenciones de restauración utilizando cementos modernos (Portland), surgió la necesidad de buscar nuevas soluciones, recurriendo entonces a los materiales tradicionales. Esto se dio a mediados del siglo XX, coincidiendo con los avances de la ciencia, que permitirían conocer en profundidad el comportamiento de estos morteros en fresco y de sus propiedades finales tras el endurecimiento.

Concretamente, los primeros intentos por determinar el problema y establecer estrategias de investigación datan de 1981, con motivo del Simposium organizado en el ICCROM. A partir de ese momento, se han extendido las investigaciones sobre el tema.

Para abordar estos estudios, se plantea necesario investigar primero las propiedades de los morteros históricos, evaluando sus métodos constructivos. Este es el modo de evitar que las sustituciones y reparaciones de material tengan diferente comportamiento, a la vez que guardan una unidad estética con la obra original.

Los morteros elaborados a base de cal son muy recomendables para su utilización en labores de restauración, por su permeabilidad al vapor de agua, gran elasticidad (necesaria para acompañar las fisuras y movimientos de las construcciones). Por otra parte, tienen grandes ventajas plásticas y estéticas.

Mantienen una gran semejanza estética al aplicarlos junto a los morteros originales, pues se trata de los mismos materiales que han llegado hasta nuestros días, mostrando con ello signos de garantía y calidad.

Es de gran importancia el estudio de los morteros históricos originales por diversos motivos, el primero de ellos es la aplicación a la restauración, por la búsqueda y dosificación de un mortero similar en todo lo posible al original.

La segunda aplicación es la referencia y ayuda que suponen para la datación cronológica de las construcciones, por el uso de aditivos, tipo de cal, granulometría y composición de los áridos.

Si se produce esta datación, este mortero puede ser la referencia cronológica del estrato arqueológico en el que se encuentre, sirviendo por tanto como fuente de datación<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Metodología de estudio. Fundamentos. (1ª Parte)". p. 85.



## **4. Normativas tecnológicas para su uso en la investigación de morteros históricos y de restauración**

### **4.1. Dificultades e incompatibilidades con respecto a las normas actuales**

Se ha comentado en el apartado anterior la importancia del estudio en profundidad de los morteros empleados en construcciones históricas para poder fabricar morteros de restauración adecuados para cada tipología de intervención. Sin embargo, para poder llevar a la práctica estos objetivos, se necesita regular y homogeneizar la metodología de trabajo, lo que hace que se recurra a la normativa tecnológica para construcción.

Según una investigación sobre la creación de una metodología para el estudio de morteros históricos y de restauración<sup>19</sup>, en relación a la normativa, se comenta que en España, la gran variedad de normas puede dar lugar a confusión entre los técnicos investigadores, y como ejemplo se citan las Normas Básicas de Edificación (NBE), las Instrucciones, los Pliegos, las normas UNE, las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE). A esto también hay que añadir las normas a las que en ocasiones, ante la falta de alguna norma específica en España, hay que acudir para seguir una metodología durante los ensayos. Este es el caso de las normas internacionales como la ASTM (Norteamericana), DIN (Alemana), NF (Francesa), ISO, RILEM, etc.

En relación a esta gran variedad de normas, encontramos actualmente un ejemplo si, por ejemplo, estamos interesados en realizar una caracterización de la curva granulométrica de un árido determinado. Para ello, podemos recurrir a varias normas UNE, la UNE-EN 1015-1<sup>20</sup> o la UNE-EN 933-1<sup>21</sup>; e incluso, es muy habitual encontrar en estudios nacionales e internacionales el método de tamizado descrito según norma ASTM ante una falta de actualización o por inexistencia de las anteriores (UNE).

Concretamente sobre los ensayos de granulometría, al igual que ocurrirá en otros ensayos, existen diferentes matices sobre la metodología y las pautas a seguir durante los experimentos. En particular, en el método del tamizado, dependiendo de la norma a la que adaptemos nuestra investigación, podemos obtener resultados diferentes por las variaciones en los variables tamaños de luz de malla de los tamices utilizados.

Por otro lado, en relación a estos ensayos, también se da una circunstancia muy particular, de gran importancia. Es el procedimiento para caracterizar un mortero histórico, mediante su

---

<sup>19</sup> ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Metodología de estudio sobre morteros en edificios históricos (2ª Parte). Morteros de Intervención. Áridos". p. 82.

<sup>20</sup> AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado). UNE-EN 1015-1.

<sup>21</sup> AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de las partículas. Método del tamizado. UNE-EN 933-1.

fragmentado hasta conseguir separar mecánicamente todos los granos de árido y del conglomerante. La operación, dependiendo de la norma o la interpretación que adopta de la misma el investigador, puede diferir de otros estudios similares. De esta forma, por ejemplo, en una investigación puede establecerse que las partículas de conglomerante son las de tamaño 0,125 mm. e inferiores o de 0,06 e inferiores.

Por otra parte, hay un aspecto que resulta bastante incómodo para poder familiarizarse con las normas que son las actualizaciones, modificaciones y sustituciones. Es muy común leer artículos relativamente recientes en los que se ha seguido una norma que en el presente ha desaparecido o se ha visto modificada tanto en el nombre como en su descripción técnica. Un ejemplo de ello se da en la norma UNE-83821, de agosto de 1992, que quedó sustituida y renombrada por la 1015-11<sup>22</sup>, fechada en agosto de 1999 y actualizada de nuevo en marzo de 2000.

Con respecto a la aplicación que puede tener la normativa para el estudio de las propiedades físico-químicas de los morteros históricos encontramos estudios<sup>23</sup> en los que se han adaptado las indicaciones de la normativa para poder llevar a cabo el ensayo según las indicaciones y parámetros fundamentales de la norma. Queda por tanto patentes las carencias metodológicas que se dan, puesto que por lo general, la normativa se genera para estandarizar y normalizar materiales de nueva factura.

Sobre la escasez de normativa específica para el estudio de las propiedades de los morteros para restauración, en relación a sus propiedades reológicas<sup>24</sup> encontramos un estudio de laboratorio<sup>25</sup> con pretensiones de establecer un método objetivo para determinar estos valores. Sin embargo, como comentamos, los parámetros y propuesta metodológica, es propuesta de forma individual por el investigador.

Por otra parte, en las fases de realización de las probetas, encontramos una de las mayores dificultades para seguir la metodología propuesta en la normativa. El ejemplo lo encontramos en que la mayoría de las normas existentes actualmente para el sector de la construcción (en el que se enmarca la investigación sobre morteros históricos y de restauración), están ideadas para los ensayos con morteros hidráulicos, especialmente los cementos.

---

<sup>22</sup>AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. UNE-EN 1015-11.

<sup>23</sup>MAGALHÃES, A.; VEIGA, R. "Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación". p. 66.

<sup>24</sup>Ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia; se relaciona con parámetros de viscosidad, consistencia y propiedades elásticas. Este concepto, vinculado al comportamiento de los morteros tradicionales de cal se relaciona con la trabajabilidad (que condicionará su puesta en obra).

<sup>25</sup>ROSELL AMIGÓ, Joan Ramon. "Características reológicas de pastas de cal".



Tras una profunda revisión bibliográfica técnica, podemos extraer que esta problemática, en relación a los morteros de cales aéreas, puede dividirse en dos partes. La primera de ellas es referente a la selección de la porción de cal en pasta que posteriormente se mezclará en la dosificación seleccionada para crear el mortero de la probeta. Cuando el estudio es sobre morteros cuyos conglomerantes se utilizan en seco, no tendremos esta problemática. Tan sólo asegurando en horno de secado la ausencia de humedad inicial en el mismo, podemos continuar el ensayo con la certeza de que los valores de peso serán siempre precisos. Sin embargo, en el caso de la cal en pasta, dependiendo de si la muestra se encontraba en una zona más superficial o profunda del recipiente, el contenido en agua de la pasta variará. Por otra parte, en las balsas de ensilado (donde se almacena y envejece la cal en pasta) se da la circunstancia de que los cristales de portlandita se van ordenando y compactando hacia el fondo. Ocurre, de este modo, algo similar al comportamiento natural de los depósitos arcillosos, en que se forman estratos horizontales debido a la morfología laminar de sus partículas. En la cal en pasta, esto es también prueba de su envejecimiento, pues se conoce que con el paso del tiempo, los cristales de portlandita van evolucionando morfológicamente hacia formas cristalinas alargadas a la vez que reducen su tamaño<sup>26</sup>.

Todas estas variables, resumiendo, sobre la cal en pasta que debemos tomar para la realización de los morteros, no se especifican en normativa, dando lugar a numerosas interpretaciones según los conocimientos y teorías de los investigadores. La mayoría de ocasiones no se especifican estos detalles en los estudios; y en algunos, se proponen sistemas novedosos para intentar solventar este problema. En una investigación sobre la elección de arenas y cales en la elaboración de morteros<sup>27</sup> se propone durante el proceso de elaboración de las probetas, la eliminación del agua de la cal en pasta por secado en horno<sup>28</sup>. Con esto se pretende eliminar las variables anteriores, consiguiendo así unos resultados comparativamente más objetivos al realizar los ensayos, en el que se estudia también una cal en polvo.

El segundo de los problemas que surgen a la hora de realizar las probetas es en relación a las indicaciones que ofrece la normativa para el curado y desmoldado. En esta cuestión, hay autores que realizan sus ensayos siguiendo la norma sin incidencias (o no las detallan), pero en otras ocasiones, surgen incompatibilidades con la normativa sobre los tiempos de curado en el molde previos al desmontaje del molde por despiece. Estos problemas surgen debido a lo que ya fue comentado, la vinculación de la normativa actual con el ámbito de los cementos.

---

<sup>26</sup>ARGANO, Sonia; GUIXERAS, Montserrat. Op. cit. p.28.

<sup>27</sup>ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Sobre la elección de arenas y cales en la elaboración de morteros y sus propiedades".

<sup>28</sup>Según comentarios de Alejandro Sánchez, el secado no se prolongará más de 24 horas, por tanto no se produce carbonatación durante el mismo. Con este procedimiento se consigue obtener cal apagada en polvo con la morfología cristalina de mayor calidad con respecto a una cal en polvo convencional.

Aparece en una investigación experimental sobre morteros de cal<sup>29</sup> una de las incidencias que se han dado durante la fabricación de las probetas para los ensayos. En la normativa seguida<sup>30</sup>, se establece el enmoldado de las probetas (de 16x4x4 cm.), su colocación en cámara húmeda durante cinco días, desenmoldado el sexto día, dos días más en cámara húmeda y finalmente, conservar al exterior 21 días más. Sin embargo, al realizar las probetas en molde de una sola apertura (de poliestireno expandido), dadas las dificultades para extraer la probeta sin fragmentarse se optó por alargar el tiempo de curado en molde, manteniéndolas dos días en cámara húmeda y doce días al exterior, para poder desmoldarlas sin que se produzcan pérdidas de material el día 13.

Sobre este problema, es incluso la misma normativa, en otro de sus apartados (Parte 18 de la norma UNE EN 1015<sup>31</sup>), la que hace una anotación al pie en la tabla donde se indica que la probeta debe permanecer tras su enmoldado cinco días en el molde, para extraerla el sexto día<sup>32</sup>. Por tanto, según esta anotación en la norma, queda claro que es necesaria una revisión de la normativa de cara a adaptar mejor las indicaciones para la fabricación y metodología experimental en morteros aéreos.

En relación con el estudio que llevaremos a cabo en este trabajo de fin de máster, sobre morteros de enlucido, encontramos en la investigación anterior<sup>33</sup>, una nota relevante sobre las dificultades para adaptar los ensayos normalizados en morteros de cal aérea, dosificados para enlucidos. En ella, los investigadores advierten que el fabricante recomienda la aplicación del producto en grosores no mayores a 9 mm., pero sin embargo, en su ficha técnica, el mismo fabricante aporta los resultados de su producto tras ensayos normalizados que requieren un tamaño de probeta de 16 x 4 x 4 mm. Por tanto, podemos encontrar una contradicción, que es el claro ejemplo de la falta de una normativa que se adapte a la tipología de los diferentes tipos de morteros, especialmente los destinados a restauración.

---

<sup>29</sup>RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. Op. cit. p. 24.

<sup>30</sup>AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. UNE-EN 1015-11.

<sup>31</sup>AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido. UNE-EN 1015-18.

<sup>32</sup>Textualmente: “*En determinados casos, puede ser necesario un tiempo mayor de almacenamiento en el molde.*”

<sup>33</sup>RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. Op. cit. p. 42.

## 5. Parte experimental:

### 5.1. Probetas con normativa tecnológica

#### a. Selección de los materiales a estudiar

Para el presente trabajo de investigación se han seleccionado dos conglomerantes fabricados directamente a partir de la calcinación, apagado en balsa y ensilado o envejecimiento. El primero de ellos, procedente de la región de Mallorca, se trata de una cal aérea rica en carbonatos de calcio calcinada en horno industrial vertical. Ha sido almacenada y embalsada previamente a su venta. La fabrica la empresa Unicmall<sup>®34</sup>.

El segundo conglomerante es una cal aérea procedente de Sevilla, de la localidad de Morón de la Frontera. Fabricada por la empresa Gordillo's<sup>®35</sup>. También rica en carbonatos de calcio, y procedente de la calcinación en horno tradicional de leña.

De entre los conglomerantes y morteros aditivados, se han estudiado tres tipos diferentes, todos ellos distribuidos y comercializados por la empresa de material de restauración CTS<sup>®</sup> Europa. El primero, Punto Cal<sup>®36</sup>, es un conglomerante pensado especialmente para uso en acabados finos y superficies pintadas (similar a un encalado).

El segundo, Maltamix TM<sup>®37</sup>, se trata de un mortero previamente dosificado y listo para su puesta en obra. También tiene su aplicación en revoques y enlucidos finales de acabado, por su granulometría fina.

El tercer mortero que se estudia es el Maltamix TG<sup>®38</sup>, se trata de un conglomerante aditivado similar al anterior, pero utilizando en su dosificación un árido más grueso, aparentemente con mayor cantidad de partículas arenosas.

En la siguiente tabla podemos ver los conglomerantes y morteros utilizados en esta comparativa:

Mortero	Conglomerante	Árido / Naturaleza	Aditivada
Maltamix TG <sup>®</sup> (CTS)	-	0 - 0.3 / Cálculo-silíceo	Si
Maltamix TM <sup>®</sup> (CTS)	-	0 - 0.1 / Cálculo-silíceo	Si
-	Punto Cal <sup>®</sup> (CTS)	-	Si
-	Unicmall <sup>®</sup> / Cal en Pasta	-	No
-	Gordillo's <sup>®</sup> / Cal en Pasta	-	No

<sup>34</sup>Ficha técnica Unicmall<sup>®</sup> en el anexo.

<sup>35</sup>Ficha técnica Gordillo's<sup>®</sup> en el anexo.

<sup>36</sup>Ficha técnica Punto Cal<sup>®</sup> en el anexo.

<sup>37</sup>Ficha técnica Maltamix TM<sup>®</sup> en el anexo.

<sup>38</sup>Ficha técnica Maltamix TG<sup>®</sup> en el anexo.



### b. Elaboración de las probetas normalizadas<sup>39</sup>

Para la realización de las probetas que se utilizarán en algunos de los ensayos de este trabajo de fin de máster, se requerían unos tamaños específicos, indicados según las normas tecnológicas seleccionadas.

Un período inicial de pruebas, ha servido para determinar la retracción con diferentes dosificaciones árido - conglomerante en diferentes tamaños de molde, uso de diferentes materiales para la confección de los moldes, tamaños de los mismos y métodos de fabricación de las probetas.

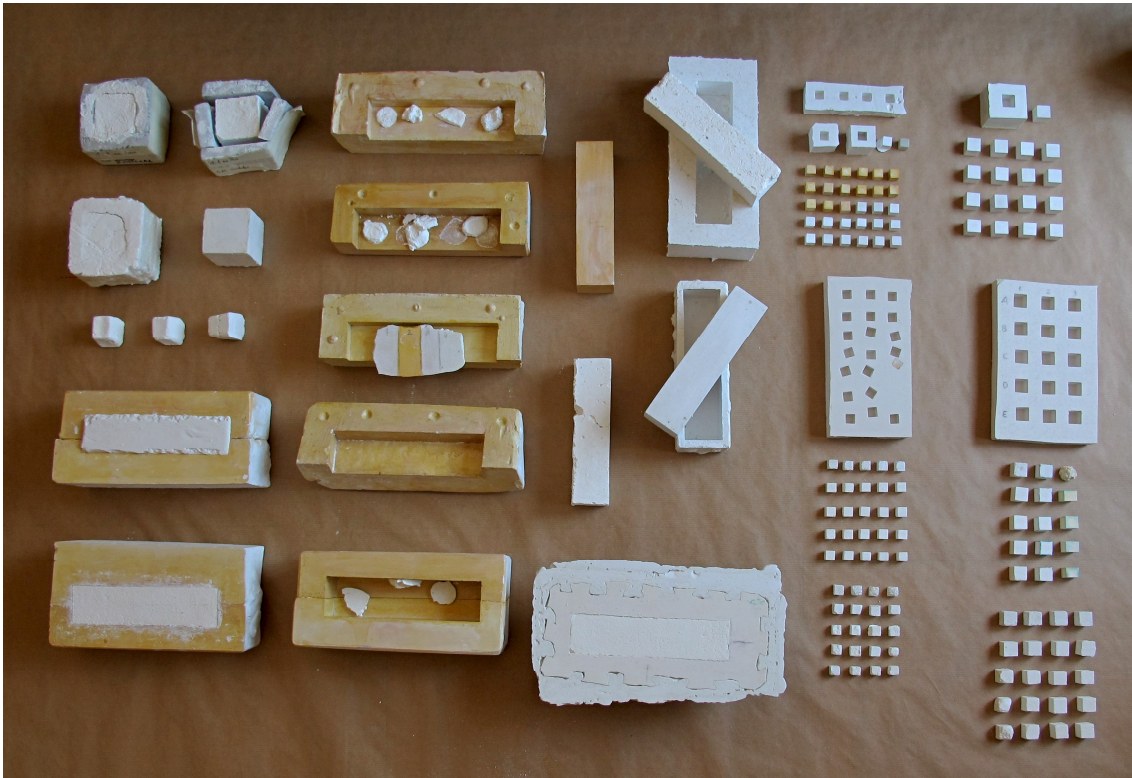


Imagen 1. Visión general del material resultante del proceso de creación de las probetas de esta investigación.

No obstante, en primer lugar, puesto que dos de los morteros a estudiar ya contienen el árido incluido en el producto, entendimos necesario determinar con la mayor exactitud cual era tanto la dosificación de éste en su relación conglomerante-árido como su curva de granulometría (cantidad de cada tipo de diámetro de partícula que forma el total del árido incluido en el mortero). De esta forma, al realizar la comparativa entre todos los morteros, podremos valorar correctamente los resultados obtenidos de las analíticas y ensayos, a partir de una regularización del proceso de obtención de los morteros en cuanto a su dosificación y tipo de árido en la mezcla.

<sup>39</sup>Ver en el anexo el proceso de ensayo-error durante la realización de las probetas normalizadas.

*Elaboración de las probetas normalizadas*

Con esta intención nos propusimos caracterizar<sup>40</sup>, de entre los dos morteros comentados que contienen el árido incluido, el Maltamix TM®, por ser el que más se adapta a la granulometría de uso para morteros de acabado o enlucido y así lo recomienda el fabricante<sup>41</sup>.

Para realizar esta caracterización se ha tomado una cantidad del mortero fresco<sup>42</sup> seleccionado, tras batir el contenido del recipiente con batidora - mezcladora, siendo eliminada previamente el agua de decantación superficial. Con este procedimiento, facilitamos una homogenización del mortero, puesto que por decantación, debido a la diferencia de peso, las partículas más gruesas van al fondo seguidas de las finas, quedando mayor concentración de pasta de cal en superficie bajo el estrato de agua de cal. Posteriormente esta porción de mortero seleccionado se pesa en balanza de precisión y se anota el resultado obtenido.



Imagen 2. En esta imagen podemos ver el proceso de mezclado y batido para la extracción de una muestra de mortero fresco.



Imagen 3. Pesado del mortero en estado fresco inicial - Vertido del mortero en recipiente mayor para su mezcla con agua - Suspensión con agua desionizada.

<sup>40</sup>El término caracterización de morteros se utiliza para denominar los diferentes ensayos encaminados a determinar su composición, relación conglomerante-árido y curva granulométrica (cantidad de cada tipo de diámetro de partícula que forma el total del árido incluido en el mortero).

<sup>41</sup>Según la ficha técnica del producto Maltamix TM®, facilitada por CTS® España. [Fecha revisión: 12/02/2007]; Se indica que es aplicable y versátil para estucado en capas no mayores a 5 mm. y relleno de pequeñas y medianas grietas.

<sup>42</sup>Según la norma UNE-EN 1015 (Métodos de ensayo para los morteros de albañilería) en sus diferentes apartados, se hace una distinción entre los ensayos para mortero en estado fresco y endurecido.



A continuación se añade una cantidad unas diez veces mayor que el volumen de la pasta seleccionada (cantidad aproximada) de agua desionizada y se procede a homogeneizar por batido la mezcla. De este modo conseguimos transformar la pasta en lechada muy fluida, facilitando así la decantación de los componentes del mortero según sus diferentes densidades.

Se deja reposar la mezcla unos dos minutos, estableciendo este tiempo puesto que, si esperamos un tiempo mayor, el conglomerante que se encuentra en suspensión en el agua<sup>43</sup> irá decantando al fondo del recipiente junto a los áridos finos, dificultado su eliminación selectiva. Al contrario, si no esperamos este tiempo y vertimos el fluido que queda en la zona superior de la superficie, también eliminaremos junto al conglomerante, parte del árido menos pesado (que por su tamaño de partícula es casi imperceptible).

Se repite la operación varias veces, efectuando varios lavados, quedando cada vez más “transparente” el fluido. A continuación, una vez eliminada la fase líquida de la mezcla, se dejó secar el árido. Finalmente, esta cantidad resultante de árido seco sería el incluido en la porción que tomamos inicialmente del mortero en pasta Maltamix TM® (en estado fresco). Para determinar la relación conglomerante-árido, se pesa la parte de árido seco y se resta al peso total del mortero en su estado inicial (en pasta), obteniendo después la relación final en tanto por ciento de un 51,69% de árido por un 48,31% restante de conglomerante hidratado.

Tras la primera operación de separación del conglomerante y el árido, nos ha quedado una parte del mismo en seco. Ahora podremos establecer su curva de granulometría, es decir, la cantidad en peso de cada tipo de diámetro de partícula que forma el total del árido seleccionado. Podremos

determinar y discriminar los diferentes granos de árido a través de su paso por un juego de tamices con distintos tamaños de luz de malla.

En este procedimiento nos surge un dilema comentado en el apartado 4, sobre las “Normativas de referencia para uso en la investigación de morteros aéreos”, pues dependiendo de la norma a la que adaptemos nuestro trabajo, el resultado será diferente (diferentes normas, diferentes luces de malla).



Imagen 4 . Mostramos los tamices con diferente diámetro de malla utilizados en la caracterización del Maltamix TM®

<sup>43</sup>Según: MUÑOZ VIÑAS, Salvador. “La restauración del papel”, p.199; bastan 2 gramos de hidróxido cálcico para saturar un litro de agua, quedando la mayor parte disuelta y una menor cantidad en suspensión.

No obstante, consideramos de gran importancia este apartado ya que se ha establecido un riguroso procedimiento para conseguir, como se comentó, determinar la relación conglomerante-árido así como, a continuación, precisar la curva de granulometría del árido incluido en el mortero Maltamix TM® y así servir de referencia en la formulación de nuestros morteros para los ensayos.

De esta forma, intentaremos evitar en la medida de lo posible que los resultados de las analíticas se vean modificados por causa de una diferencia en el esqueleto del mortero ya que, como suele ocurrir frecuentemente, el árido es el componente mayoritario de los mismos.

Para la separación granulométrica de los áridos, utilizamos un juego de 4 tamices de la casa comercial CTS®. El primero de ellos es un cedazo de aluminio compuesto por tres mallas intercambiables de 1 mm., 0,5 mm. y 0,1 mm. de luz. El segundo es un cedazo de madera con malla de 0.65 mm, también de CTS®.

Para representar los resultados se han tenido en cuenta las recomendaciones expuestas en la norma UNE-EN 933-1<sup>44</sup>, donde se indica cómo representar los resultados del procedimiento de tamizado y la curva de granulometría.

Las fracciones de árido que pasan o quedan retenidas entre las diferentes luces de malla son representadas en una tabla con los enunciados (según la norma anterior):

- Tamiz luz (mm.): Define en milímetros el diámetro de la luz de malla en cada cedazo o tamiz.
- Peso retenido (g.): Es la cantidad de árido en gramos de diámetro mayor al del tamiz sobre el que se se ha quedado. Ejemplo: Un árido de 0.3 mm. quedará retenido sobre un tamiz de 0.1 mm.
- Retenido parcial (%): Es el resultado de establecer en tantos por ciento el peso retenido por cada uno de los tamices en relación al peso total del árido que estamos analizando, que sería el 100%.
- Retenido acumulado (%): Cantidad en tanto por ciento que quedaría retenida o acumulada en cada tamiz en el caso de no existir ninguno encima de él de apertura mayor. Por tanto, un tamiz por el que no pudiese pasar ninguna partícula de árido, tendría un 100% de árido retenido acumulado, pues es como si depositásemos la totalidad del árido encima de él.
- Pasa acumulado (%): Finalmente si al 100% que pasa acumulado por el tamiz de 1 mm. le restamos el % retenido acumulado del tamiz 0,65, obtendremos el % que pasa acumulado para ese mismo tamiz y así sucesivamente hasta el recipiente que recoge las partículas que pasan acumuladas a través del último tamiz, el de 0,1 mm, que será el 0% que pasa acumulado (el recipiente es una bandeja a través de la cual no puede pasar ninguna partícula).

---

<sup>44</sup>AENOR. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de las partículas. Método del tamizado. UNE-EN 933-1. Madrid: AENOR, 2012.



A partir de la cantidad de árido que hemos obtenido y secado tras ser separado del mortero (por eliminación del conglomerante), con un peso total de 47 g. se obtiene la siguiente tabla:

Tamiz luz (mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)		Pasa acumulado (%)
		Parcial	Acumulado	
1,0	0,0	0,0	0,0	100
0,65	6,9	14,7	14,7	85,3
0,5	7,4	15,7	30,4	69,6
0,1	20,6	43,8	74,2	25,8
<0,1	12,1*	25,8	100	0,0

\*Una vez adquiridos estos datos, deducimos que al suspender en agua el mortero y eliminar por vertido el conglomerante de ese mortero al quedar en suspensión en el agua destilada (la cal no es totalmente soluble así como las partículas de resina del aditivo), pudo perderse una parte del árido más fino (0,1-0,0 mm). Por tanto, para evitar este margen, se ha añadido posteriormente 3 g. como margen de error, de árido previamente tamizado de 0,1 a 0,0 mm.

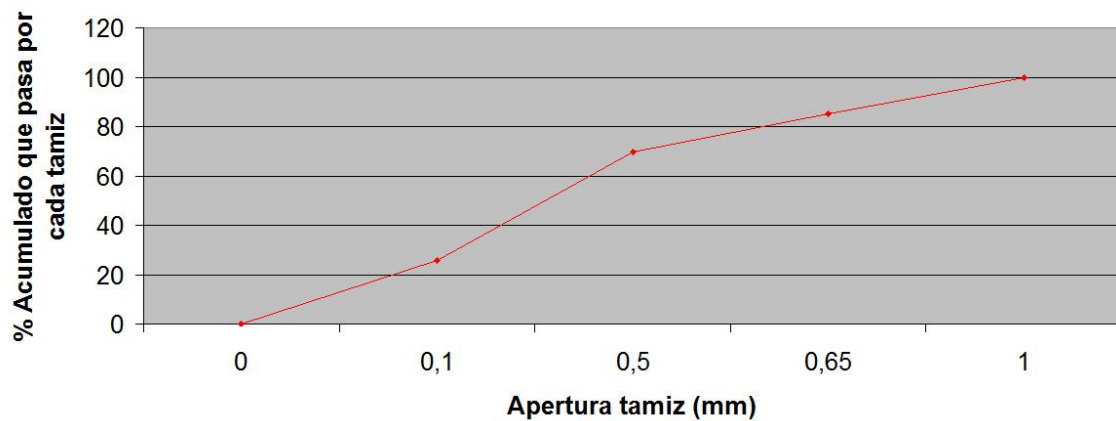


Imagen 5. Gráfica donde podemos ver representada la curva de granulometría obtenida para el mortero Maltamix TM®

Conociendo la curva de granulometría del mortero Maltamix TM<sup>®</sup>, pudimos preparar una mezcla de árido idéntica a partir de una separación previa mediante tamizado, utilizando los mismos tamices y tomando un árido de partida de mármol triturado comercializado con una granulometría aproximada de 0.8 - 0.0 mm.

Finalmente sólo nos resta determinar la dosificación entre el conglomerante que vayamos a utilizar para cada probeta y el árido que hemos preparado y mezclado con una curva granulométrica igual a la del mortero MaltamixTM<sup>®</sup>, que pudimos obtener por el procedimiento que se ha comentado.

Algunos estudios experimentales sobre morteros de cal<sup>45</sup> utilizan mayoritariamente la dosificación de una parte de cal por tres partes de árido. Asimismo, esta dosificación, es la más conocida desde la antigüedad (herencia de Vitrubio). No obstante, surge un dilema o debate que es si esta dosificación se establece en peso o en volumen, no quedando un acuerdo entre toda la comunidad científica<sup>46</sup>.

En algunas investigaciones, hay un acuerdo sobre la dosificación en volumen, pero especificando las equivalencias con el peso para evitar imprecisiones en otras mezclas<sup>47</sup>. Lo llamativo de esta metodología es que una dosificación conglomerante - árido en volumen de 1:1, equivale a una dosificación de una parte de conglomerante por casi cuatro partes de árido en peso (el árido tiene mayor densidad).

En otros estudios, sin embargo, se establecen las dosificaciones en peso, por considerarse una metodología más precisa de cara a la regularización de los análisis en morteros<sup>48</sup>. Incluso, es frecuente no encontrar detallado si las relaciones conglomerante/árido se establecen en peso o en volumen.

Pese a ser más habitual utilizar la dosificación 1:3, dado que nuestro estudio se centra en morteros para uso en revestimientos de acabado o estucos, se intentará reducir todo lo posible la cantidad

---

<sup>45</sup>CAZALLA VÁZQUEZ, Olga. "Morteros de Cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico".p. 58.; PRADO GOVEA, R. H. [et al.] "Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica". p. 3. y LUQUE, A. [et al.] "Estudio comparado de morteros de cal en pasta y cal en polvo. Control de la carbonatación". p. 293.

<sup>46</sup>ROSELL AMIGÓ, Joan Ramon. "Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros". pp. 10-13.

<sup>47</sup>LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior". p. 1868. y CASADIO, F; CHIARI, G; SIMON,S. "Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: A comparative assesment of chemical, mechanical and microscopic approaches". p. 674.

<sup>48</sup>ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Sobre la elección de arenas y cales en la elaboración de morteros y sus propiedades". p. 99. y MAS BARBERÀ, Xavier. "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales". 2006. pp. 173,174.

de árido, ya que Como sabemos, las últimas capas de los estucos suelen contener mayor proporción de conglomerante que de árido, para permitir una superficie muy fina y plástica en textura, facilitando el pulimentado con las herramientas metálicas.

Con ello pretendemos adaptar, en lo posible, las exigencias de la normativa a la tipología de mortero que estudiamos, optando finalmente, tras un proceso de pruebas en el que se llenaron moldes provisionales con morteros de cada una de las pastas utilizando la dosificación 1:1 (en peso), una dosificación definitiva de una parte de conglomerante por dos de árido en peso.

Una vez seleccionada la proporción conglomerante - árido, y tomando la determinación de establecer la dosificación en peso (puesto que en la selección de los áridos seguimos la misma metodología, para mantener una conexión en el proceso), el siguiente paso es la realización de los moldes que darán forma a las probetas.

Tras la revisión bibliográfica al respecto, en la que se pretendía encontrar una metodología que pudiera servir a nuestro trabajo en lo referente a sistemas de moldes, se encontraron varias tipologías de éstos.

En trabajos de investigación procedentes de la Universidad Politécnica de Cataluña<sup>49</sup>, se han utilizado moldes de una sola pieza de poliestireno expandido con espacio para enmoldar tres probetas en cada una. Para extraer las piezas tras el curado, se destruye este molde, facilitando su salida.



Imagen 6. 1ª: RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. "Análisis comparativo experimental de algunos morteros de restauración". 2ª y 3ª fotografía: JAIME GIMÉNEZ, Ana. "Estudio del efecto de aditivos y adiciones en las propiedades físicas y mecánicas de los morteros". En estas imágenes vemos, respectivamente de izda. a drcha., el enmoldado del mortero sobre la mesa de sacudidas, la rotura del molde tras el curado y un detalle de la rotura del mismo previa a la extracción; usando en los tres casos moldes de poliestireno expandido.

En una investigación procedente de la Universidad Politécnica de Madrid<sup>50</sup>, se han utilizado moldes normalizados, algo más complejos, pensados para un mayor uso.

<sup>49</sup>RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. "Análisis comparativo experimental de algunos morteros de restauración". p. 23. y JAIME GIMÉNEZ, Ana. "Estudio del efecto de aditivos y adiciones en las propiedades físicas y mecánicas de los morteros". p. 45.

<sup>50</sup>LLAURADÓ PÉREZ, Nuria. "Vaciados de escayola y corridos de terraja en obras de restauración". p. 42

*Elaboración de las probetas normalizadas*



Imagen 7. LLAURADÓ PÉREZ, Nuria. "Vaciados de escayola y corridos de terraja en obras de restauración". Detalle de un tipo de molde metálico, durante la realización de probetas de yeso.

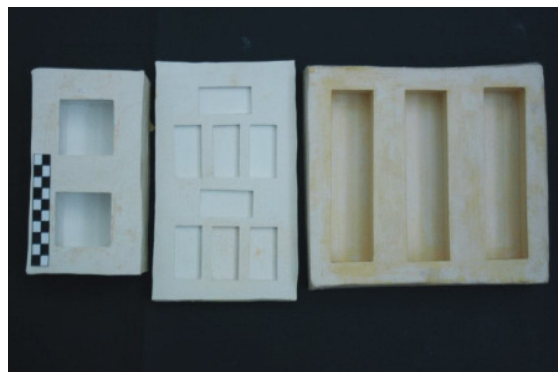


Imagen 8. MAS BARBERÀ, Xavier. "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales". En la fotografía podemos observar varios tamaños de moldes realizados en silicona.

Una investigación realizada en la Universidad Politécnica de Valencia<sup>51</sup>, utiliza otro material para la elaboración de las probetas, un elastómero de silicona RTV.

Finalmente, fue el método que elegimos para la realización de las probetas, puesto que los dos sistemas anteriores han de ser localizados en el mercado, teniendo además unas dimensiones específicas, de modo que adquiriendo una silicona de calidad podríamos fabricar los moldes del tamaño que deseemos, según la norma elegida para cada tipo de ensayo.

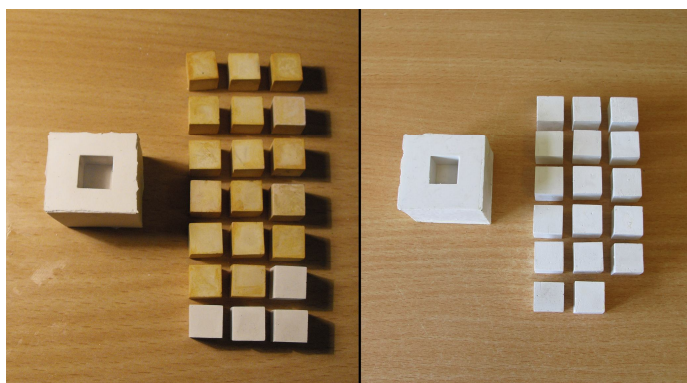


Imagen 9. En la imagen podemos observar los moldes individuales para reproducir los prismas en escayola, que servirán más adelante, para crear moldes de más probetas en un solo vertido.

Tras un proceso de pruebas, en el que se utilizaron dos siliconas RTV diferentes<sup>52</sup>, hemos seleccionado la que soporta la causticidad de la cal sin alterar sus propiedades. Es el caucho de moldeado de silicona de alta resistencia SILASTIC® 3481 de Dow Corning®, que según el fabricante es apta para coladas de escayola, poliuretano, poliéster y otras resinas reactivas. No obstante, no especifica si es también apta para piedra artificial, donde suelen utilizarse

<sup>51</sup>MAS BARBERÀ, Xavier. Op. Cit. p. 166.

<sup>52</sup>Idesil RTV 801 distribuida por Idepo S.L. y posteriormente Silastic® 3481 de Dow Corning® distribuida por Glaspol Composites S.L.

principalmente los cementos y la cal (ambos con un pH elevado, no siendo así en el caso del yeso, que si es más habitual su uso en coladas).

Según las normativas seleccionadas, requeríamos unos tamaños para las probetas de 10 x 10 x 10 mm. y de 15 x 15 x 15 mm. Por tanto se fabricaron 15 piezas de este tamaño que sirviesen como positivado para la realización de cada uno de los moldes. Se decidió su confección a partir de prismas de escayola que fueron tallados y lijados hasta conseguir milimétricamente el tamaño que exige la norma. Estas piezas individuales de 1,5 cm. y 1 cm. de lado se reprodujeron hasta



Imagen 10. Proceso de realización de uno de los moldes. Primero se colocan las piezas sobre la superficie plana con ligera adhesión y se aíslan las superficies con vaselina. Aplicación por vertido de la silicona catalizada y resultado, extrayendo los prismas de escayola.

un número aproximado de 15 ejemplares, utilizando un molde creado con la silicona de menor calidad (RTV 801), como podemos apreciar en la imagen (donde salen, indicar el nº). De esta forma crearemos así unos moldes definitivos con huecos para 15 probetas, pudiendo aligerar de esta forma el proceso de creación de las probetas.

Una vez extraídos los prismas de escayola del correspondiente molde individual, se protegían con Paraloid B72 o goma laca para evitar el desgaste de los filos durante su manipulación.

Finalmente, se disponían estas piezas a una cierta distancia entre ellas (que permitiese la extracción de las probetas en el proceso posterior) sobre una superficie muy plana, en nuestro caso, una superficie de vidrio. Para asegurar las formas a esta superficie e inmobilizarlas se utilizó un adhesivo en barra, pues no es necesaria una fuerte fijación. Por último, se aplicaba vaselina como desmoldante sobre la superficie del vidrio así como sobre los tabiques modelados en plastilina.

Una vez preparados los dos moldes, de 15 probetas cada uno, pudimos comenzar a rellenarlos con mortero, para realizar las probetas.

Para realizar las mezclas de mortero que rellenarán el molde, se pesaba la cantidad de conglomerante, extraída del fondo del recipiente (para intentar que en todos los casos, la



consistencia o contenido de agua en la pasta de cal sea lo más similar entre ellos) y posteriormente se añadía el árido premezclado que elaboramos en el proceso anterior, en la proporción en peso de una parte de pasta de cal por dos de árido, sin necesidad de añadir agua o tan sólo unas gotas. También se pretendía añadir el menor contenido de agua, evitando la retracción que se produce durante el principio del curado de los morteros, al perder el agua de amasado.

Estando ya preparado el mortero, se introducía en el molde ayudándonos de espátula y una varilla de punta fina y redondeada, para asegurar que el mortero ocupe perfectamente las cavidades, de lo contrario, se pudo comprobar, dada la gran viscosidad de la pasta, que no llegaban a llenarse todos los huecos.

En coladas de otros materiales como los morteros hidráulicos (escayolas, yesos hidráulicos, cementos y cales hidráulicas) la mezcla puede contener mayor cantidad de agua, aunque en cantidades controladas, pues en escayolas por ejemplo, a mayor agua de amasado, se consigue menor resistencia mecánica. Esto se debe a la diferente reacción química que se produce durante el fraguado (en conglomerantes hidráulicos), en los que parte del agua de amasado queda contenida dentro de la densidad final del mortero endurecido (agua de constitución), sin embargo en morteros aéreos, como en nuestro caso, debemos tener la cantidad mínima de agua, sólo la necesaria para conseguir la adecuada plasticidad del mortero (cubriendo por completo la superficie específica de los áridos) y asegurando posteriormente la disolución del  $\text{CO}_2$ , que transformará la portlandita en calcita.

Si por el contrario, no permitimos la evaporación del agua contenida dentro del mortero, no se produce la difusión de  $\text{CO}_2$ , por tanto, queda detenida la carbonatación<sup>53</sup>. En los morteros hidráulicos, sin embargo, es necesaria aparte de por este motivo (para carbonatar el hidróxido de cal libre dentro de una cal hidráulica por ejemplo), para intervenir en los procesos de hidratación y transformación de silicatos y aluminatos cálcicos principalmente.

Con esto argumentamos la necesidad de crear unas pastas sin exceso de agua. Esta es una de las dificultades a la hora de realizar las probetas, puesto que si tenemos en cuenta el pequeño tamaño de las cavidades del molde, es difícil conseguir compactar y rellenar todos los huecos para que el resultado sea un prisma con todas sus aristas vivas (sin oquedades debido a burbujas de aire)<sup>54</sup>.

---

53ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Formulación y características. 2ª Parte". p. 75. y ARANDIGOYEN VIDAURRE, Mikel; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Proceso de carbonatación en pastas de cal con distinta relación agua/conglomerante". p. 7.

54Revisar el anexo: Proceso de realización de las probetas normalizadas.

No obstante, puesto que, por pruebas anteriores, sabíamos que se produciría retracción una vez enmoldadas las probetas, al nivelar la cara que quedaba al aire, ésta se dejaba sobre nivel, para que, previamente a su extracción (estando endurecido el mortero) se eliminase este exceso por lijado.

Finalmente, este aspecto es el que motivó que de las series de cada uno de los morteros no se obtenía del mismo llenado del molde (en cada molde podían obtenerse, de un mismo llenado, tres probetas del mismo mortero). Tras dos semanas enmoldados los morteros aún se mantenían insuficientemente curados, lo que causaba fragmentación al desmoldear en algunas de las probetas.





### c. Ensayos realizados:

#### c.1. Ensayo de envejecimiento acelerado por atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)<sup>55</sup>

Como parte de nuestro estudio experimental sobre morteros de revestimiento (los cuales estarán sometidos a agentes degradantes propios de medios internos como externos), la interacción que se produce entre estos materiales, si están expuestos al exterior, con los medios contaminantes industriales es muy grande, especialmente en ambientes urbanos.

Junto al dióxido de carbono, el dióxido de azufre es uno de los gases presentes en el aire que más daño puede llegar a ocasionar en materiales de matriz carbonática, ya sean pétreos naturales o artificiales (morteros). Este dióxido de azufre, puede modificarse químicamente al reaccionar con algunos agentes presentes en la atmósfera, como por ejemplo el agua, que produce su disolución y transformación en sustancias de carácter ácido.

El ensayo que realizaremos está regulado por el Instituto Alemán para la Normalización (DIN), en concreto por la norma DIN 50.018 con el nombre de Ensayo Kesternich de corrosión por SO<sub>2</sub>.

Basa su metodología en aplicar ciclos regulares sobre las probetas a degradar o envejecer y dependiendo del material, repetiremos más o menos veces el mismo ciclo, que está establecido según la norma.

Un ciclo se divide en dos partes, en la primera se satura la cámara con un volumen de dos litros



Imagen 11. En la foto se muestra la cámara para ensayos de corrosión por SO<sub>2</sub> Dycometal modelo VCK-300. Imagen: Web del Instituto de Restauración del Patrimonio. UPV

de dióxido de azufre manteniendo la humedad relativa al 100% y la temperatura constante a 40°C en el interior de la cámara, que permanece cerrada. Estas condiciones se conservan desde el inicio del ensayo hasta pasadas ocho horas, tras las cuales se abre la cámara y se mantienen las probetas con la humedad y temperatura del ambiente circundante, hasta pasadas 16 horas, en que finaliza el ensayo. Por tanto, cada ciclo tiene una duración total de 24 horas.

Para poder visualizar de forma más evidente la acción de esta corrosión ácida sobre las probetas, se ha repetido el proceso hasta un total de 7 ciclos completos.

<sup>55</sup>Ensayo llevado a cabo en cámara para ensayos de corrosión Dycometal modelo VCK-300, calibrada para la realización del ensayo Kesternich según DIN 50.018 (corrosión por SO<sub>2</sub>).

Según un estudio sobre la durabilidad en morteros de cal aérea e hidráulica<sup>56</sup>, en el que uno de los ensayos fue someter a las muestras bajo una atmósfera saturada de SO<sub>2</sub>, se pudieron extraer las siguientes conclusiones, en relación a las probetas realizadas con cal aérea:

- Aumento de peso debido a una costra de sulfatación superficial, produciéndose cristales de yeso.
- Durante la evaluación mecánica a la compresión, constatan una disminución de la resistencia, debido a esta sulfatación.
- En la observación al detalle en microscopio, se comprueba una relación directa entre la porosidad de los morteros y su grado de alteración, es decir, a mayor porosidad mayor facilidad para el tránsito de líquidos y gases.

Este último punto se corrobora en otra investigación<sup>57</sup>, donde se evidencia que las probetas confeccionadas con árido de menor granulometría tienen menos tendencia a su degradación (sometidas al mismo ensayo de corrosión por SO<sub>2</sub>), en comparación con otras, realizadas con árido de tamaño de partícula mayor.

A través de estas conclusiones podemos encontrar una cierta analogía con las patologías que se dan en materiales pétreos de matriz carbonática<sup>58</sup>, como es el caso de las costras de sulfatación, presentando como características:

- Aumento de la dureza superficial respecto a la del interior, hasta un 60%.
- Aumento de la densidad de esta costra en relación al material interno, hasta un 25%.
- Reducción de la permeabilidad del agua respecto al interior de la roca sin alterar, hasta un 50%.
- Modificación química de la superficie, transformando los carbonatos en sulfatos cálcicos.

Otro estudio sobre el envejecimiento acelerado de morteros de cal aditivados para comprobar su durabilidad y resistencia<sup>59</sup>, demuestra, tras someter las probetas a la cámara de SO<sub>2</sub>, la aparición generalizada en superficie de cristales de sulfato de calcio hemihidrato, y como elemento minoritario, cristales de sulfato de calcio dihidrato. La formación de estos cristales tiene una morfología diferente según el mortero en el que se produzca la degradación, pues se utilizaron diferentes aditivos en cada uno.

Otro de los fenómenos derivados de la exposición a la atmósfera de SO<sub>2</sub> ha sido un incremento de la carbonatación, debido al alto contenido en humedad relativa, permitiendo la disolución del dióxido de carbono, y por tanto produciendo el carbonato cálcico.

---

<sup>56</sup>LANAS GONZÁLEZ, Javier; GARCÍA CASADO, P. J.; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Evolución mecánica y microestructural de morteros de cal aérea e hidráulica sometidos a ensayos de durabilidad".pp. 1,2.

<sup>57</sup>MAS BARBERÀ, Xavier. Op. cit. 2006. p. 241.

<sup>58</sup>Ibidem. p. 108.

<sup>59</sup>IZAGUIRRE ESEVERRI, Ana; LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Ageing of lime mortars with admixtures: Durability and strength assesment". p. 1093.



Imagen 12. Interior de la cámara para el ensayo de corrosión por SO<sub>2</sub>. En la imagen de la izquierda vemos las cinco probetas y a la derecha, un detalle de la probeta que ha sufrido mayor degradación. Imágenes: M<sup>a</sup> Antonia Zalbidea Muñoz.

Para visualizar y poder contrastar los resultados de la acción corrosiva de la atmósfera saturada de SO<sub>2</sub> creada en la cámara, se han realizado los siguientes procedimientos:

- Fotografías macro colocando la probeta que fue expuesta en la cámara junto a la probeta de control.
- Pesado comparativo entre las probetas expuestas a la corrosión por SO<sub>2</sub> y las de control.
- Verificación de la respuesta a la incidencia erosivo - mecánica con punta de bisturí y confrontación entre las probetas expuestas y de control.
- Corte efectuado en cada una de las probetas en paralelo a una de sus caras, para visualizar y comparar la profundidad a la que ha llegado la cristalización de sulfatos.
- Fotografías al microscopio óptico para contrastar la diferencia superficial de la probetas, centrando la atención en la cristalización de sulfatos cálcicos.



Imagen 13. Probeta del mortero Maltamix TG<sup>®</sup> sometida a la cámara de SO<sub>2</sub> a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

*Ensayo de envejecimiento acelerado por atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)*

En este primer caso, en la imagen anterior la probeta elaborada con Maltamix TG® ha sido la que más ha sufrido el efecto de la corrosión por SO<sub>2</sub>, desintegrándose el mortero casi por completo, puesto que la zona central que no se ha desgranado, se mantiene en un estado muy friable.



Imagen 14. Probeta del mortero Maltamix TM® sometida a la cámara de SO<sub>2</sub> a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

En esta segunda imagen número 14 (superior) podemos ver la probeta del mortero Maltamix TM®, el cual presenta una coloración verdosa - amarillenta<sup>60</sup>.



Imagen 15. Probeta del mortero Punto Cal® sometida a la cámara de SO<sub>2</sub> a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

Esta probeta también evidencia la difusión verdosa que la alta humedad ha provocado en el delineado del rotulador permanente. Sin embargo, es menos llamativo el tono amarillento, así como tampoco se aprecia la cristalización de nueva formación que cubre la superficie, como si ocurre en mayor medida en el mortero anterior. Aparentemente es el que menor cambio ha experimentado tras el ensayo.

<sup>60</sup>El primero se debe al color del rotulador permanente con el que se contornearon todas las aristas del prisma y el segundo podría deberse a la desnaturalización de los productos usados como aditivos.





Imagen 16. Probeta del mortero Gordillo's® sometida a la cámara de SO<sub>2</sub> a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

En esta probeta, del mortero Gordillo's®, aparte de una difusión similar o quizá más acusada que en casos anteriores de la tinta del rotulador, lo más evidente es una profusa cristalización en todas sus caras superficiales, lo que provoca numerosos brillos, de cristales de mayor tamaño que los producidos en cualquier otra muestra.

De entre todos los morteros es el que menor pigmentación amarillenta ha adquirido.



Imagen 17. Probeta del mortero Unicmall® sometida a la cámara de SO<sub>2</sub> a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

Por último, la probeta creada con el mortero Unicmall®, también presenta la difusión de la tinta verdosa, con una tonalidad amarillenta menor que en el caso del Maltamix TM® pero mayor que en los morteros de Punto Cal® y Gordillo's®. Tiene un aspecto superficial más similar al adquirido por el mortero Maltamix TM®, por lo que en ambos la cristalización de pequeñas partículas ha cubierto y redondeado los perfiles de la porosidad.

*Ensayo de envejecimiento acelerado por atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)*

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el resultado del pesado (g.) de las probetas, comparando las de control de cada mortero con la que se sometió a corrosión en cámara de SO<sub>2</sub> (inicialmente, antes del ensayo, se aseguró que el peso de ambas probetas era el mismo):

Pesado comparativo (g.) de probetas control y SO <sub>2</sub>			
Probeta	Control	Cámara de SO <sub>2</sub>	Difer.
Maltamix TG®	5.73	3.62	-2,11
Maltamix TM®	6.48	6.66	+0,18
Punto Cal®	6.13	6.28	+0.15
Gordillo's®	6.42	6.59	+0,17
Unicmall®	5.98	6.41	+0,43



Imagen 18. En la imagen vemos el proceso de pesado de las probetas.

Como podemos observar en la tabla de resultados, en todos los casos salvo en el Maltamix TG® (que se desintegró parcialmente), se ha evidenciado un aumento de peso, siendo mayor este aumento en la probeta de Unicmall®.

El siguiente procedimiento llevado a cabo para establecer la comparativa de los morteros tras el ensayo en la cámara de SO<sub>2</sub>, fue incidir con la punta del bisturí frotando y posteriormente horadando en cada una de las probetas expuestas y su análoga de control para verificar la modificación de la resistencia a la abrasión en cada uno de los morteros tras el ensayo.



Imagen 19. Detalle de la erosión y horadado de las probetas, comparando su resistencia con las de control.

Con respecto a los resultados de esta prueba, se evidencia en la mayoría de los casos (salvo en el mortero Maltamix TG® en el que esta prueba no se llevó a cabo en la probeta expuesta a SO<sub>2</sub> por su estado friable), un aumento notable de la resistencia superficial a la abrasión, por una aparente compactación del estrato superficial.

La excepción ha sido la probeta del mortero Gordillo's®, pues en los primeros frotados muestra una menor resistencia a la abrasión con respecto a su probeta de control. Sin embargo tras varias pasadas, la resistencia es mayor, comparablemente similar en este caso a la de control.

En los casos de Maltamix TM®, Punto Cal® y Unicmall®, su resistencia a la abrasión es mucho mayor con respecto a sus respectivas de control, y adicionalmente, comparando la resistencia entre ellas, ésta es muy similar en los tres casos.

Tras esta comparativa de resistencia mecánica, se ha procedido a efectuar un corte o sección en una de las caras de cada probeta, salvo en la del mortero Maltamix TG® por la inconsistencia que presenta. Esta sección se ha realizado, dada la buena cohesión que presentan las demás, mediante lijado en profundidad, desbastando el material hasta eliminar en torno a 5 mm. de espesor en cada una de las probetas y en paralelo con respecto a la cara posterior. Con este procedimiento pudimos comprobar el grado de penetración que ha tenido en cada una de ellas la acción de la atmósfera sulfurosa por el estrato cristalino de nueva formación.

Tal como se muestra en la imagen inferior, la probeta que evidencia un cambio de fase sulfatada a fase sana del mortero es la de Unicmall®, donde el grosor del perímetro de sulfatación llega en algunas zonas a los dos milímetros. Es evidente la diferencia óptica entre el perímetro de la probeta, con total compactación debido a la precipitación cristalina neoformada durante el ensayo dentro de la cámara, y la parte interna o del núcleo del prisma, donde queda presente la porosidad del mortero inalterado. Esta característica también se distingue en la probeta de Gordillo's®, aunque en menor medida y no se aprecia a simple vista en Maltamix TM® y Punto Cal®.

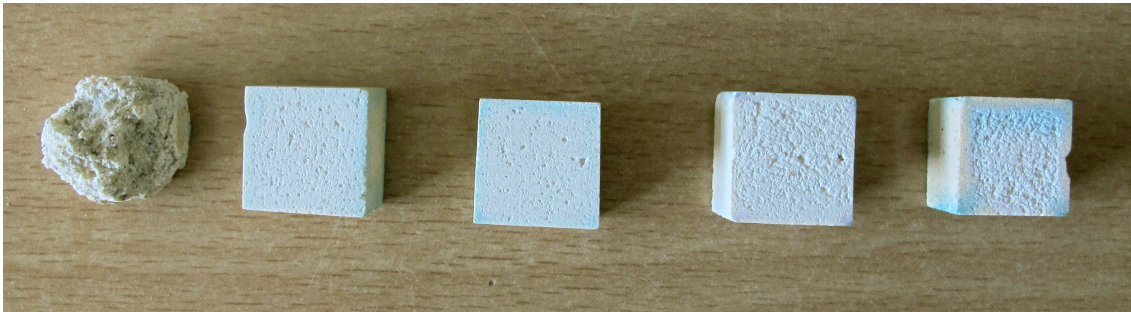


Imagen 20. En este detalle podemos ver las caras donde se ha efectuado el corte (excepto en el primero, Maltamix TG®). De izquierda a derecha: Maltamix TG®, Maltamix TM®, Punto Cal®, Gordillo's® y Unicmall®



Por último, buscaremos las diferencias que presentan los morteros con respecto a las probetas de control a nivel de microscópico óptico<sup>61</sup>, pudiendo resaltar algunos detalles menos apreciables a simple vista.

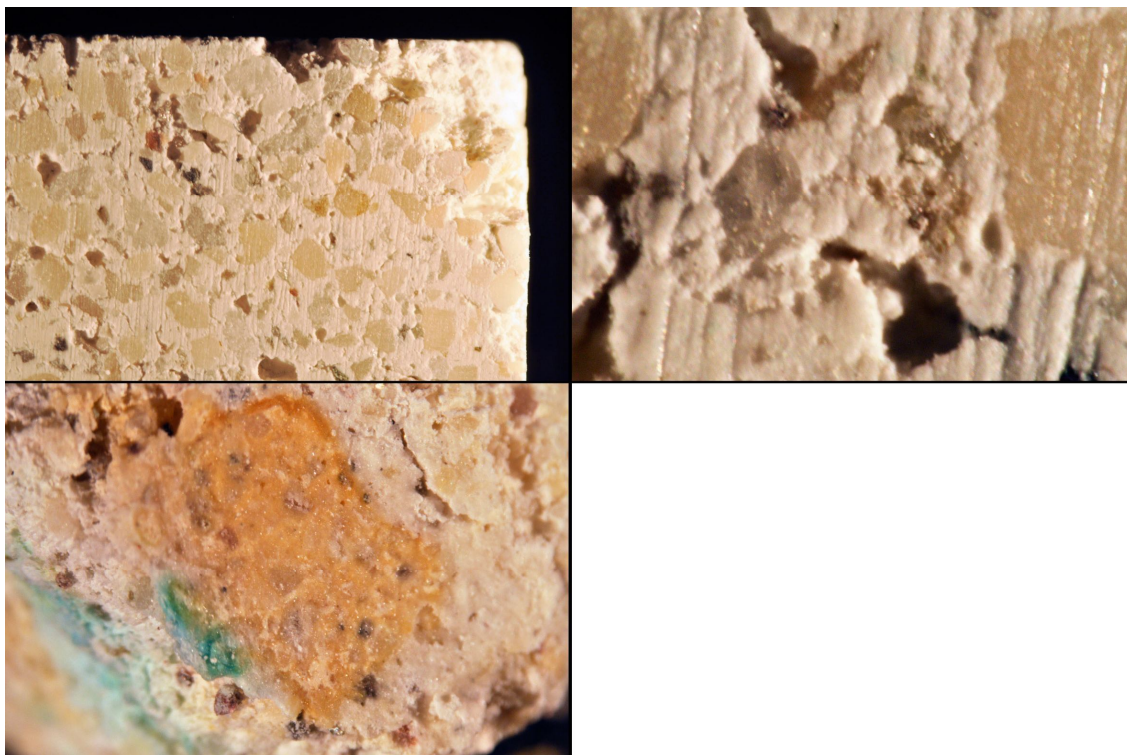


Imagen 21. En esta composición podemos ver arriba fotografías de la probeta de control del Maltamix TG<sup>®</sup> al mínimo aumento (izquierda) y a máximo aumento en la misma zona (derecha). En la parte inferior se muestra una fotografía a bajo aumento de la probeta expuesta  $SO_2$ .

Como podemos ver en las imágenes, se evidencia ya en la probeta control de este mortero una gran cantidad de huecos de aire así como una falta de áridos finos o intermedios, predominando los de mayor tamaño.

En la imagen inferior, correspondiente a la probeta expuesta en la cámara de  $SO_2$ , se percibe una acumulación de un material denso, de coloración amarillo oscurecido, con aspecto de duras concreciones. Se percibe a simple vista como algunas de estas costras ha mantenido cohesionados los fragmentos del mortero.

Esta ha sido la probeta que más daño ha sufrido de entre todas las ensayadas, en la cual el medio ácido ha penetrado a través de su gran porosidad, visible al microscopio, provocando expansión y ruptura al penetrar a través de sus poros.

<sup>61</sup>Microscopio Leica S8 APO con zoom 8: 1 y magnificación estándar de 10 x – 80 al que se le ha acoplado cámara reflex Nikon D5100 con lentes de aumento KenKo 52 mm closed up nº1, 2 y 3. Todas las imágenes se han capturado al mínimo o al máximo aumento que permite este microscopio, según se especifique.



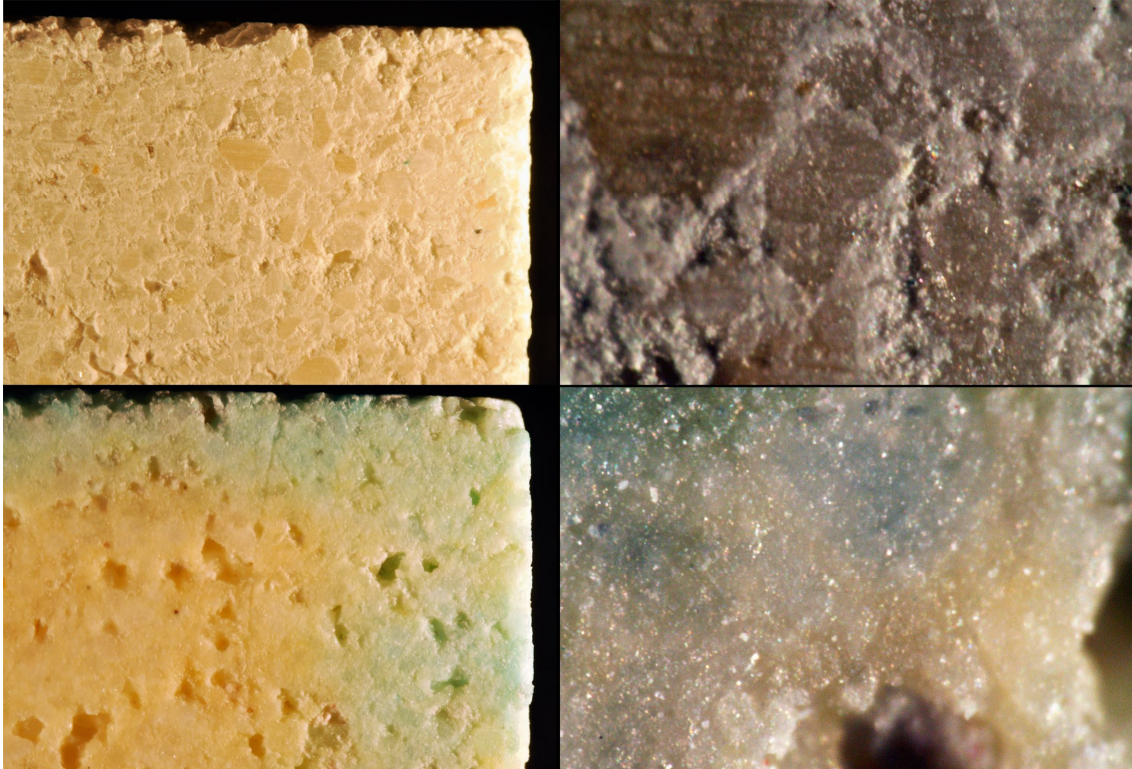


Imagen 22. Como en el caso anterior, las fotografías superiores corresponden a la probeta de control, una imagen al mínimo aumento (izquierda) y la misma zona a gran aumento (derecha). Las fotografías inferiores corresponden a la probeta expuesta a  $SO_2$  en una de sus caras a bajo o mínimo aumento (izquierda) y la misma zona a gran aumento (derecha)

En este caso, apreciamos bien la cristalización que se ha producido en la superficie del mortero, al comparar las imágenes de la probeta control con la que fue expuesta en la cámara, en primer lugar por la tonalidad más amarillenta y segundo por la formación de un estrato homogéneo de un particulado más o menos regular, de formas esféricas que recubre la porosidad del mortero, bloqueando los poros finos y dejando libres los gruesos.



Imagen 23. Estas dos fotografías adicionales pertenecen a la cara de la probeta expuesta a  $SO_2$  donde se realizó la sección, una visión general a bajo aumento a la izquierda y la misma zona, pero en su perímetro, a la derecha con el máximo aumento.



*Ensayo de envejecimiento acelerado por atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)*

En esta segunda imagen, donde se aprecia la fotografía a bajo aumento de la zona del corte o sección, y en detalle de un lateral, podemos ver que no se distingue claramente un cambio entre la fase expuesta exterior y la fase más interna, pues su textura porosa es similar en el interior que en el exterior.

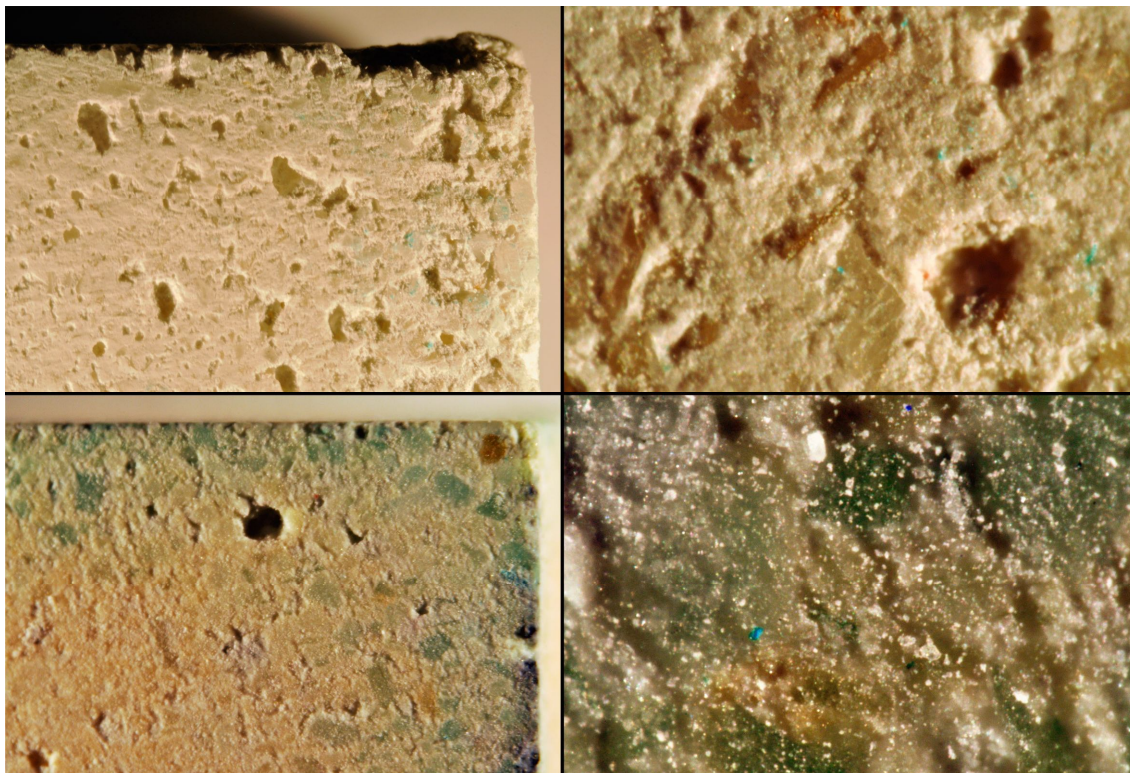


Imagen 24. En esta composición podemos ver arriba fotografías de la probeta de control del Punto Cal® al mínimo aumento (izquierda) y a máximo aumento en la misma zona (derecha). En la parte inferior se muestra una fotografía a bajo aumento de la probeta expuesta SO<sub>2</sub> y a la derecha, abajo, vemos con gran aumento la superficie de la misma en detalle.

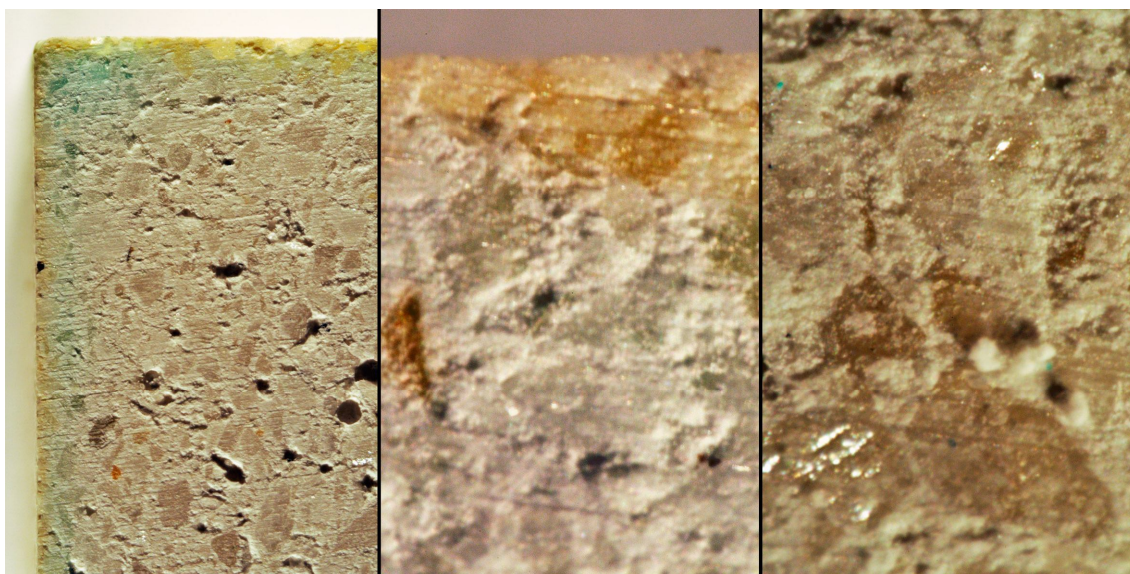


Imagen 25. En estas tres fotos (Punto Cal®) vemos en primer lugar la probeta expuesta a SO<sub>2</sub> en la cara donde se efectuó el corte (a bajo aumento), en el medio, la misma zona, acercando el zoom al máximo en un borde, y a la derecha se aprecia también a gran aumento un detalle del núcleo o parte central de la probeta en la misma zona de corte.



En esta probeta, cuyas fotografías se muestran en la página anterior, correspondiente al mortero realizado con el conglomerante Punto Cal<sup>®</sup>. Vemos en la primera composición de cuatro imágenes un resultado similar al del Maltamix TM<sup>®</sup>, presentando fotografías generales y de detalle de la probeta “control” confrontada con la que se expuso en la cámara a la atmósfera de SO<sub>2</sub>.

Al ver en detalle la probeta que fue introducida en la cámara, se aprecia la cristalización superficial, que cubre la porosidad y textura, englobándola y formando encima una estructura cristalina parcialmente descohesionada, con formas cristalinas más o menos regulares de aspecto también predominantemente esférico y de aristas vivas.

Por otra parte, en la imagen compuesta de tres fotografías, también del mortero Punto Cal<sup>®</sup>, muestra como, a simple vista, tras el corte, se distingue en todo el perímetro del prisma una mayor presencia de cristalización amarillenta, algo más visible que en el caso del Maltamix TM<sup>®</sup>, aunque a simple vista no es tan obvia esta diferencia.

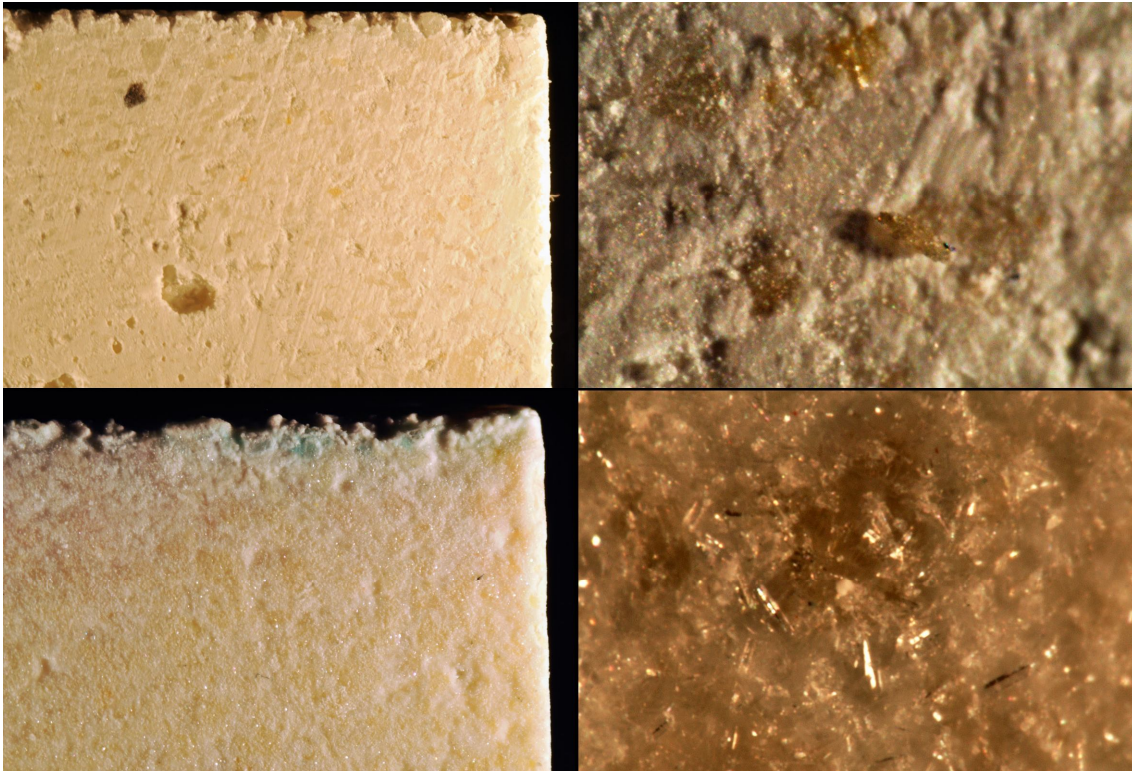


Imagen 26. En esta primera composición se muestran las probetas del mortero Gordillo's<sup>®</sup>. Arriba, a la izquierda, la probeta control a bajo aumento y a la derecha a máximo aumento. Abajo, a la izquierda la probeta expuesta en la cámara en una de sus caras a bajo aumento y a la derecha la misma zona a gran aumento.

En esta probeta, tras la exposición a los ciclos de saturación de SO<sub>2</sub>, se ha producido una cristalización que, como en los casos anteriores primero cubre y engloban la porosidad y textura original del mortero para finalmente dejar en superficie un resto de cristalización menos cohesionado que el primero. Sin embargo, como diferencia con todos los demás morteros, apreciamos tanto a simple vista como al detalle, que la morfología cristalina aunque también presenta aristas vivas, en este caso son de forma acicular, alargada y se aprecia un mayor estrato de partículas descohesionadas precipitadas en superficie.

*Ensayo de envejecimiento acelerado por atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)*

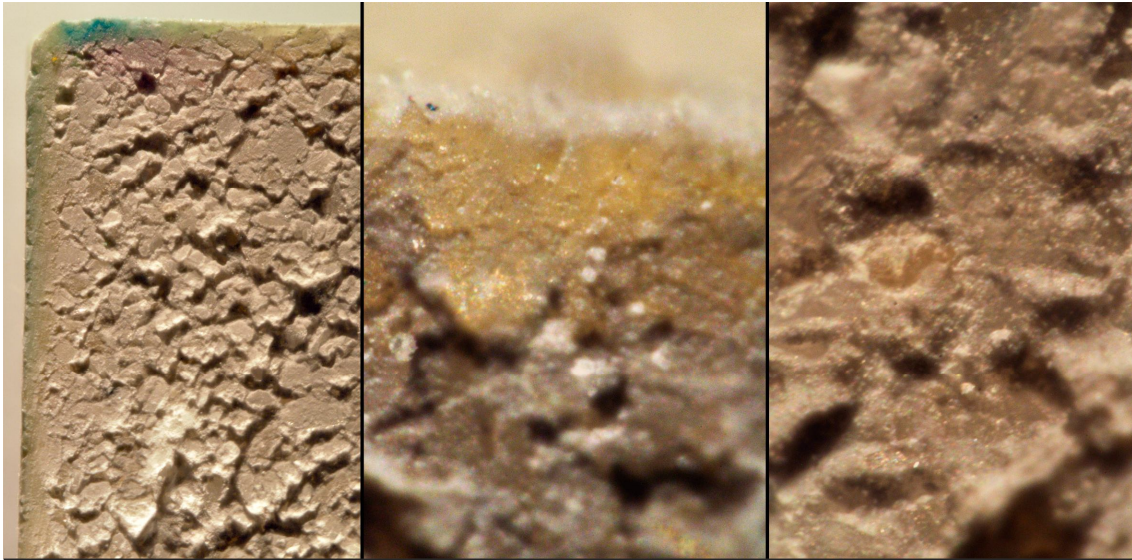


Imagen 27. En estas tres imágenes (Gordillo's®) vemos en primer lugar la probeta expuesta SO<sub>2</sub> en la cara donde se efectuó el corte (a bajo aumento), en el medio, la misma zona, acercando el zoom en un borde, y a la derecha se aprecia también a gran aumento un detalle del núcleo de la probeta en la misma zona de corte.

En el grupo de fotografías correspondiente a la sección de corte (Imagen 27), vemos el primer caso en que se aprecia claramente a simple vista la diferente porosidad entre el perímetro y el núcleo o parte central de la probeta.

En la segunda fotografía de la composición, se aprecian tres estratos, el de abajo corresponde al mortero sano, con una visible porosidad, sobre el que se ha creado un estrato amarillento poco poroso y bien cohesionado, cubierto a su vez por un estrato más fino de cristalización poco débilmente consolidado de un aspecto cercano al blanco por la superposición de cristales translúcidos. En la tercera imagen, vemos un detalle a gran aumento de la parte del núcleo, sin afección por el SO<sub>2</sub>, que muestra la porosidad natural del mortero.



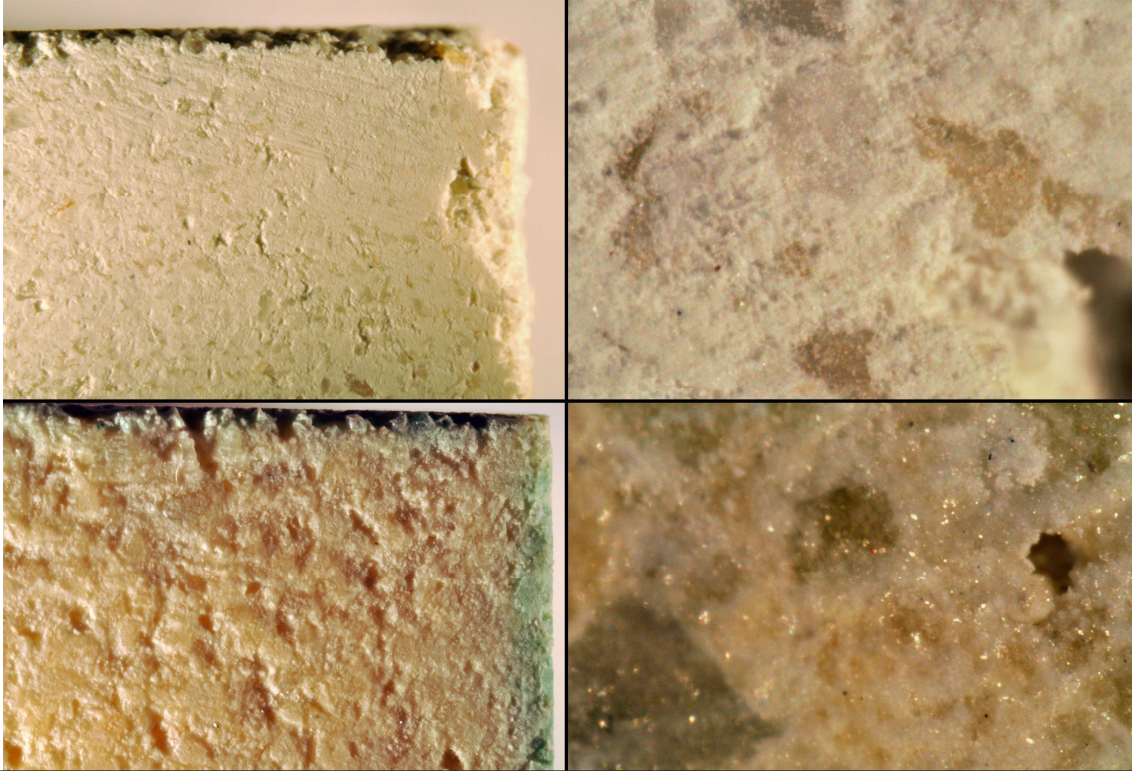


Imagen 28. En esta composición se muestran las probetas del mortero Unicmall®. Arriba, a la izquierda, la probeta control a bajo aumento y a la derecha, a máximo aumento, la misma zona al detalle. Abajo, a la izquierda, la probeta que se expuso en la cámara, mostrando una de sus caras a bajo aumento y a la derecha la misma zona a gran aumento.

En esta última probeta, realizada con el mortero Unicmall® vemos, en la que se expuso al SO<sub>2</sub>, un tipo de cristalización similar a la que se produjo en el Maltamix TM® y quizá también en el Punto Cal®, puesto que se trata de un estrato muy integrado con la textura del mortero, pero que, en este caso en particular, no se muestra un particulado incoherente sobre la superficie, como sí ocurría claramente en el caso de Gordillo's® y en menor medida en Punto Cal® y Maltamix TM®, respectivamente.

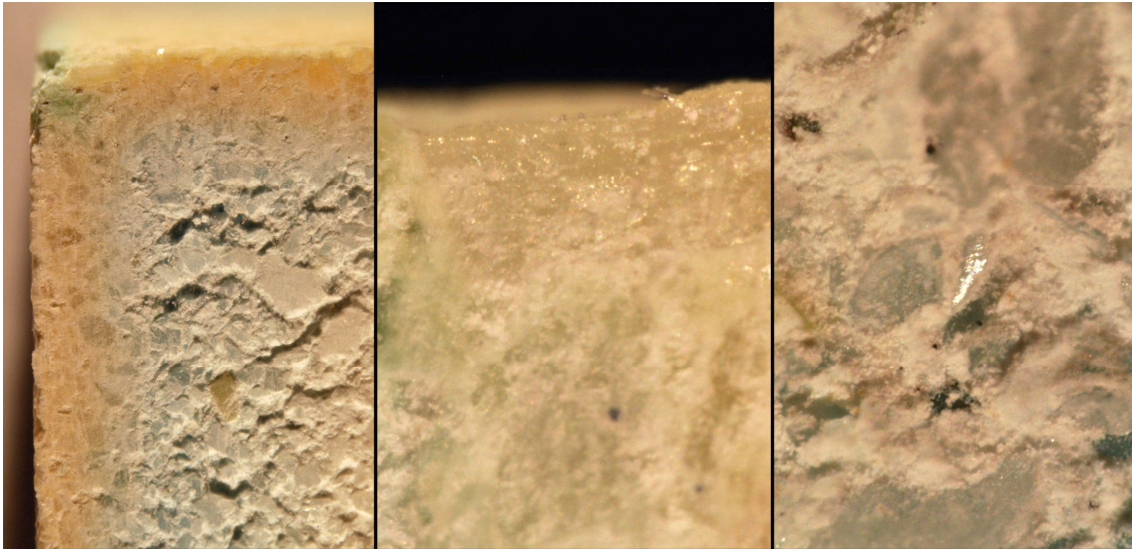


Imagen 29. En este grupo de tres imágenes vemos en primer lugar la probeta expuesta  $\text{SO}_2$  en la cara donde se efectuó el corte (al mínimo aumento); en el medio, la misma zona, acercando el zoom en un borde, y a la derecha se aprecia también a gran aumento un detalle del núcleo de la probeta en la misma zona de corte.

Por último, en las capturas fotográficas de la sección de corte de la probeta Unicmall<sup>®</sup>, se aprecia en la foto general de la izquierda el grosor que ha adquirido el estrato de nueva cristalización, englobando y rellenando la porosidad del mortero original, penetrando hacia el núcleo hasta llegar en algunos puntos a dos milímetros de grosor. Por tanto, esta es la probeta en la que más ha penetrado el medio ácido creado por la atmósfera de saturación de  $\text{SO}_2$  (después del Maltamix TG<sup>®</sup>, que se desintegró parcialmente a causa de ello).

En la segunda fotografía, de gran aumento, se aprecia como tan sólo es visible un estrato, dado el grosor del mismo, lo que no permite visualizar el mortero sano, que queda más abajo. Como ya comentamos en el grupo de cuatro imágenes anterior, de este mortero Unicmall<sup>®</sup>, no se aprecia una deposición superficial cristalina incoherente, como sí se apreciaba en el mortero Gordillo's<sup>®</sup>. Por último, la fotografía de la derecha, muestra en detalle la argamasa de áridos, poros y conglomerante no afectado por el  $\text{SO}_2$ .

## c.2. Ensayo de envejecimiento acelerado por humedad-temperatura<sup>62</sup>



Imagen 30. En la foto se muestra la cámara para ensayos de corrosión por SO<sub>2</sub> Dycometal modelo VCK-300. Imagen: Web del Instituto de Restauración del Patrimonio. UPV

Otros de los agentes atmosféricos que pueden dar lugar a la alteración y degradación de los morteros son la modificación de la humedad y temperatura ambiental.

Para poder llevar a cabo estudios experimentales que reproduzcan o aceleren estos agentes, disponemos de maquinaria específica de laboratorio.

Este tipo de aparatos suelen utilizarse en nuestro campo de estudio esencialmente con dos finalidades, una es el acondicionamiento de un medio de curado para probetas de morteros, pudiendo mantener la temperatura y humedad que requiera cada tipo de conglomerante para adquirir sus cualidades óptimas de forma controlada. El otro uso fundamental es el de cámara de envejecimiento acelerado para provocar o simular en las probetas una

alteración que sólo podría darse en el medio natural tras un largo período de tiempo. De esta forma podríamos comparar en un corto espacio de tiempo las cualidades de los diferentes materiales que sometamos a este estudio de degradación acelerada.

Hay una gran variedad de maquinaria para estos ensayos, algunos incluyen luminarias de luz UV para complementar los ensayos de envejecimiento termohigrométrico con la incidencia de este tipo de iluminación, así como un simulador de agua de lluvia. Otro aspecto que también influye a la hora de poder establecer comparativas con otros estudios es la cantidad de ciclos que se utilizan, junto a las características de éstos, como los parámetros de temperatura y humedad configurados.

A la hora de establecer los ciclos a los que sometamos las probetas así como de los parámetros concretos de humedad y temperatura, podemos encontrar diferentes casos según estudios previos.

Otro aspecto relacionado con el uso de estos ensayos es el modo de evaluar los resultados,

---

<sup>62</sup>Ensayo llevado a cabo en cámara climática Dycometal modelo CCK-25/300, perteneciente al Laboratorio de análisis físico-químicos del Instituto de Restauración del Patrimonio (Universidad Politécnica de Valencia).



pudiendo encontrar casos en que se estudia, entre otros aspectos, la resistencia mecánica<sup>63</sup> de los morteros, o en otros casos, el cambio cromático que se produce en la superficie<sup>64</sup>.

Con respecto a los daños que se ocasionan en el material, podemos encontrar, como se comentó en el caso de la exposición a SO<sub>2</sub>, una analogía con la reacción de los materiales pétreos, en este caso, ante los cambios bruscos de temperatura y humedad. El grado de deterioro referente a la temperatura que puede darse en las rocas depende de varios factores, uno de los más importantes es la porosidad del material, ya que existe una relación inversa entre la porosidad y la conductividad térmica<sup>65</sup>.

También en relación con la temperatura, uno de los mayores daños que ocasiona se debe a los "choques o cambios térmicos" producidos de forma natural en regiones tropicales o desérticas durante el día y la noche, o de forma artificial por la presencia de calefacción y aire acondicionado en las estancias (interiores)<sup>66</sup>.

Por otro lado, está presente el factor de la diferencia térmica que se produce entre el núcleo de la piedra y su superficie, generando tensiones y daños. Relacionado con esto último también es relevante la diferencia de conductividad entre los diferentes minerales constituyentes del material pétreo, pudiendo generar expansiones en diferentes direcciones<sup>67</sup>.

Si tenemos en cuenta la presencia de agua en el interior de los poros de la roca, las variaciones de temperatura en el medio pueden dar lugar a daños, debido al mayor coeficiente de dilatación del agua con respecto a la roca<sup>68</sup>. Estamos encontrando así una tipología de deterioro similar a la que puede producirse en los mecanismos de hielo-deshielo, que ha sido fuente de inspiración para numerosos estudios al respecto.

Esta teoría puede ser también aplicada a la piedra artificial, a los morteros, que es el tema de nuestro estudio, por lo que procederemos a programar en la cámara unos ciclos determinando una temperatura y humedad que previamente se ha utilizado en otros estudios sobre material pétreo de matriz carbonática<sup>69</sup>.

Se han realizado dos ciclos que a su vez cada uno consta de cuatro fases. En total, las cuatro fases suman un total de 336 horas de duración (168 h. cada una).

---

<sup>63</sup>LANAS GONZÁLEZ, Javier; SIREIRA BEJARANO, Rafael; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Study of the mechanical behavior of masonry repair lime-based mortars cured and exposed under different conditions". p. 969.

<sup>64</sup>MAS I BARBERÀ, Xavier. Op. cit. 2006. p.223.

<sup>65</sup>MAS I BARBERÀ, Xavier. "Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamientos". 2010. p.65.

<sup>66</sup>KRÖNER, Stephan. [et al.] "Identificación y Caracterización de materiales pétreos en patrimonio histórico-artístico".pp. 40, 41.

<sup>67</sup>CABRERA GARRIDO, José María. "Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a monumentos hechos con piedra". p. 14.

<sup>68</sup>Ibidem. p. 15

<sup>69</sup>BARREDA USÓ, Gemma. "Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso. Abric de Pinos (Benissa-Alicante).p. 39.



Fases de las que consta cada ciclo (2 ciclos realizados en total)			
Nº de Fase	Duración	Temperatura	Humedad Relativa
Fase 1	24 h.	23°C	85% HR
Fase 2	24 h.	48,5°C	20% HR
Fase 3	72 h.	23°C	85% HR
Fase 4	48 h.	48,5°C	20% HR

Una vez extraídas las piezas de la cámara, para evaluar los resultados, se realizaron los siguientes procedimientos para evaluar los resultados o variaciones:

- Fotografías macro colocando la probeta que fue expuesta en la cámara junto a la que dejamos guardada como referencia o control.
- Pesado comparativo entre las probetas expuestas a la cámara climática y las de control.
- Verificación de la respuesta a la incidencia erosivo - mecánica con punta de bisturí y confrontación entre las probetas expuestas y de control.

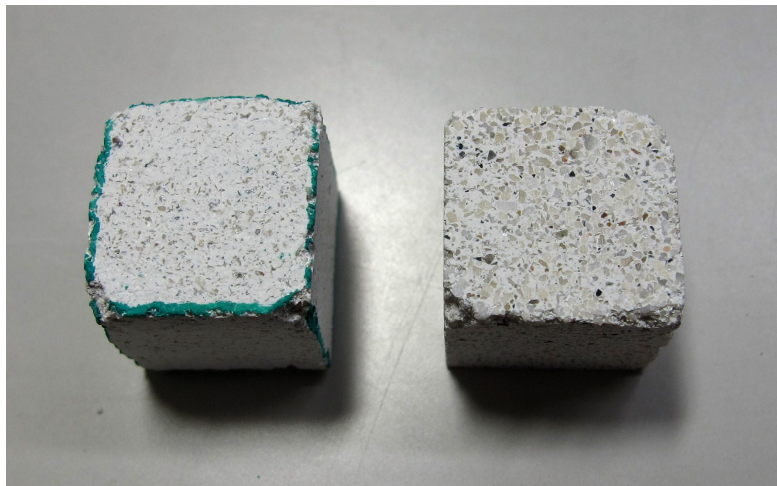


Imagen 31. Probeta del mortero Maltamix TG® expuesta en la cámara climática a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

En esta primera probeta, apreciamos en primer lugar la rotulación en verde realizada en todo el contorno de la misma para percibir si tras el envejecimiento se desprende algún fragmento (indicado así según la normativa del ensayo).

Por otra parte, se aprecia un aspecto diferente entre las caras que mostramos debido a que la probeta de control (a la derecha) presenta más claramente las partículas de los áridos por un mayor lijado con respecto a la que se ha sometido al ensayo (a la izquierda).

A continuación se muestran las demás probetas, en las cuales tampoco se visualiza diferencias o patologías de daños tras la exposición en la cámara climática.

*Ensayo de envejecimiento acelerado por humedad-temperatura*



Imagen 32. Probeta del mortero Maltamix TG<sup>®</sup> expuesta en la cámara climática a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.



Imagen 33. Probeta del mortero realizado con Punto Cal<sup>®</sup> expuesta en la cámara climática a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.



Imagen 34. Probeta del mortero creado con la cal Gordillo's<sup>®</sup> expuesta en la cámara climática a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.



Imagen 35. Probeta del mortero realizado con Unicmall® expuesta en la cámara climática a la izquierda y la probeta del mismo mortero de control a la derecha.

Como se ha expuesto anteriormente, no hay perceptibles diferencias al comparar las probetas expuestas con las que fueron guardadas como control. Tan sólo hemos percibido que en la probeta creada con mortero de cal Gordillo's®, el contorneado verde se ha difuminado a causa de la humedad. Lo llamativo es que sólo se haya producido en este mortero, puesto que todos los demás también estuvieron expuestos.

Posteriormente, al realizar el pesado comparativo, como ya hicimos en las probetas que se sometieron a la corrosión por SO<sub>2</sub>, también pudimos comprobar un aumento del peso, pero en mucha menor medida con respecto al caso del ensayo anterior (mínimos de 0,15 g. de aumento).

Pesado comparativo (g.) de probetas control y c. climática			
Probeta	Control	Cámara climática	Difer.
Maltamix TG®	5,73	5,70	-0,03
Maltamix TM®	6,48	6,52	+0,04
Punto Cal®	6,13	6,12	-0,01
Gordillo's®	6,42	6,48	+0,06
Unicmall®	5,98	6,05	+0,07

Finalmente, con respecto a la resistencia superficial frente a la abrasión, incidiendo sobre las probetas con la punta del bisturí, se ha comprobado que no hay diferencia aparente entre la resistencia de las probetas sometidas al ensayo con respecto a las de control.



### d.3. Determinación de la absorción de agua por capilaridad

Otra de las pruebas realizadas ha sido la que rige la norma UNE-EN 15801<sup>70</sup> para la "Determinación de la absorción de agua por capilaridad". Según indica la norma, se seleccionó una serie de tres probetas de 10 x 10 x 10 mm. por cada uno de los morteros estudiados<sup>71</sup>.

El procedimiento consiste en mantener los prismas del mortero sobre una superficie plana horizontal absorbente empapada de agua pero sin que el nivel de ésta supere al material permeable. Por medio de la red capilar de cada mortero, las probetas absorberán el agua de forma progresiva. La absorción por capilaridad se controla realizando diferentes pesadas<sup>72</sup> de cada uno de los morteros en unos intervalos de tiempo previamente definidos para así establecer la diferente capacidad de absorción en cada uno de ellos.

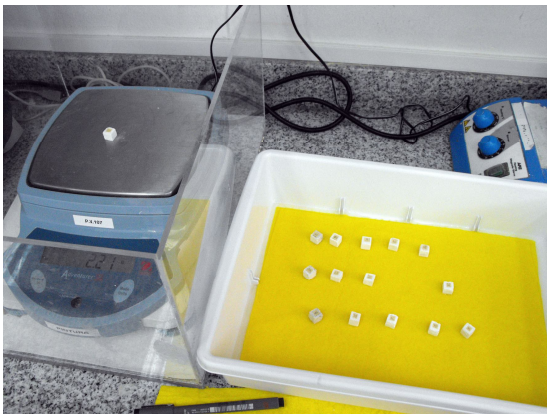


Imagen 36. Disposición de las probetas sobre el lecho permeable empapado de agua.

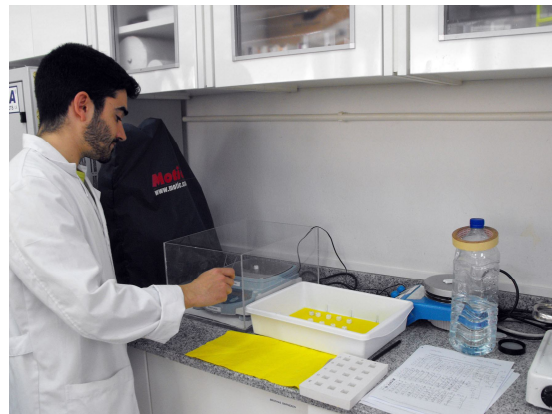


Imagen 37. Pesado y anotación del valor en diferentes intervalos de tiempo.

La norma exige el lijado de las caras de las probetas con papel abrasivo de grano P180 según clasificación de la Federación de Europea de Fabricantes de Abrasivos (FEPA), con la finalidad de regularizar la absorción en las diferentes caras de las probetas.

Antes de depositar las probetas sobre el lecho húmedo se secaron en horno (+/-60°C) con el fin de eliminar por evaporación el agua contenida en el mortero procedente de la humedad ambiental. Los intervalos de tiempo seleccionados para el pesado de cada una de las probetas fueron de 3",

<sup>70</sup>AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Conservación del patrimonio cultural. Método de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. UNE-EN 15801.

<sup>71</sup>Desde este momento, al usar el término serie, nos referimos al conjunto de tres probetas idénticas por cada uno de los morteros estudiados en esta investigación.

<sup>72</sup>Las pesadas se han realizado usando balanza electrónica de sensibilidad 0,01 g., modelo Adventurer Pro de la marca Ohaus®.



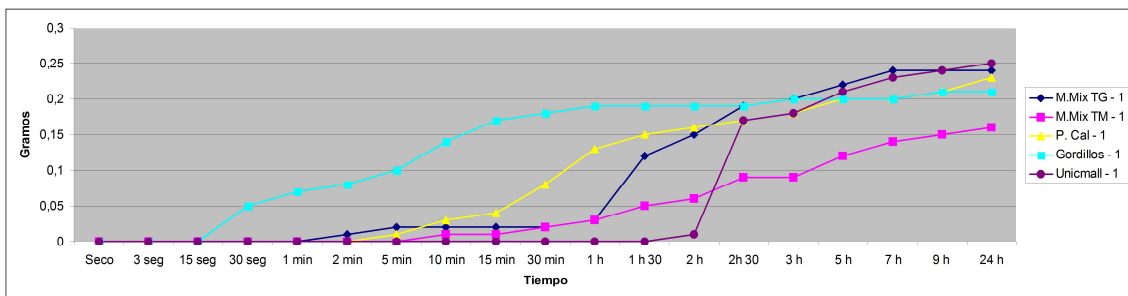
*Determinación de la absorción de agua por capilaridad*

15" y 30 segundos; 1', 2', 5', 10', 15' y 30 minutos; y 1 h., 1.30 h., 2 h., 2.30 h., 3 h., 5 h., 7 h., 9 h. y 24 horas respectivamente. En la norma se recomienda finalizar el ensayo una vez se adquiere masa constante, lo que significa la saturación completa de agua en la porosidad del material.

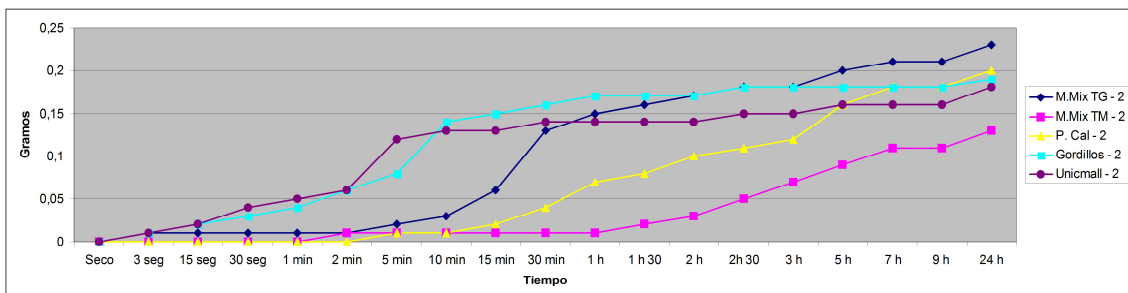
Una vez depositada cada probeta sobre la superficie, para cada pesada, se extraía con pinzas metálicas y se apoyaba la zona de contacto en un paño húmedo, para eliminar el exceso de agua por goteo, repitiendo este mismo procedimiento en todas las muestras durante las pesadas.

Tras tomar todas las anotaciones con las variaciones de peso, se crearon las siguientes gráficas para cada una de las series de morteros. En ellas se representa en diferente color cada una de las curvas de absorción de agua por capilaridad en cada probeta.

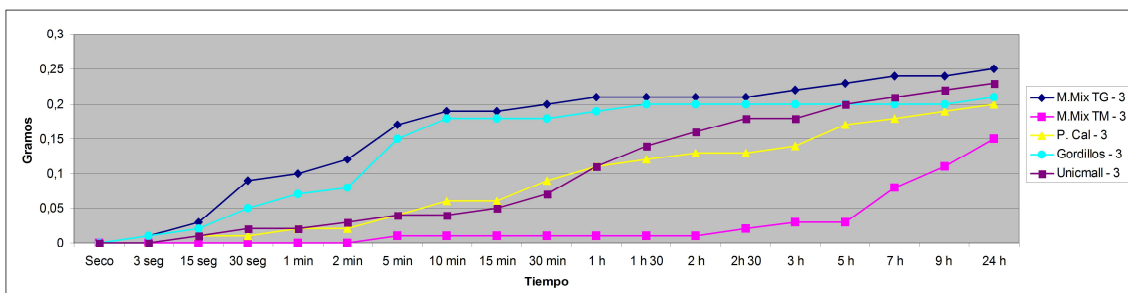
Gráfica de la primera serie de morteros



Gráfica de la segunda serie de morteros



Gráfica de la tercera serie de morteros



De los resultados obtenidos encontramos que todos los morteros se saturan casi por completo entre las 5 y 7 horas de permanecer en contacto con el lecho húmedo. Por otra parte, es notable la diferencia de comportamiento en probetas del mismo tipo de mortero (en las gráficas de la página anterior podemos ver el comportamiento por ejemplo del mortero Maltamix TG® en la serie 1, 2 y 3).

Esto es debido a que estas series proceden de diferentes “enmoldados”, lo que significa que la compacidad entre ellas es diferente, pues se pudo constatar durante el pesado de las probetas al inicio del ensayo que manteniendo un mismo volumen, el peso era diferente entre probetas del mismo tipo de mortero.

Haciendo referencia a los casos estudiados describiremos el comportamiento de cada uno de los morteros comparando el resultado en cada gráfica o serie:

- **Maltamix TG®**: Es el mortero que más cantidad de agua absorbe de todos en cada una de las series, haciéndolo además de forma irregular.

En la primera y segunda serie (primera y segunda gráfica) tiene una absorción brusca pero en tiempos o puntos diferentes. En la primera comienza a impregnarse rápidamente a partir de la hora de contacto, hasta las 2 horas y media.. En la segunda, a partir de los 10 minutos, estabilizándose a una progresión de absorción más lenta transcurrida una hora. Y es en la tercera serie cuando absorbe de forma más progresiva, desde los 3 segundos a los 10 minutos de contacto, manteniendo en general una curva más lineal.

- **Maltamix TM®**: Este mortero mantiene una absorción muy homogénea y progresiva. Vemos que en la primera y segunda serie no comienza a captar agua de forma significativa hasta la hora de contacto, llegando en ambos casos hasta la saturación a las 7 horas. Es en la tercera serie cuando la absorción significativa no comienza a evidenciarse hasta las cinco horas, manteniendo el ritmo ascendente hasta el final del estudio, a las 24 horas.

- **Punto Cal®**: Este mortero también tiene una absorción progresiva. En los tres grupos comienza la curva a ascender en torno a los 15 minutos, impregnándose prácticamente a partir de las 7 horas.

- **Gordillo's®**: De todos los morteros, este es el que ha absorbido de forma más homogénea en las tres series, comenzando a aumentar el peso progresivamente desde los primeros segundos y llegando casi a la impregnación total a partir de la hora de contacto.

- **Unicmall®**: Este es el segundo de los morteros estudiados con una absorción irregular. En la primera serie tiene la absorción más extraña, pues se mantiene con peso invariable hasta las dos horas, momento en el que absorbe muy rápidamente, en el intervalo de media hora casi la



*Determinación de la absorción de agua por capilaridad*

totalidad del agua, llegando progresivamente a la saturación a partir de las 7 horas. En la segunda y la tercera comienza a absorber desde los primeros segundos, siendo la curva más gradual en la tercera serie que en la segunda, llegando a impregnarse totalmente entre las 5 y 7 horas.

#### c.4. Fotografía con iluminación UV

Durante la realización de las pruebas anteriores nos surgió curiosidad sobre la respuesta que pudiese presentar cada uno de los morteros ante la luz UV, así que aprovechando que disponíamos de la cámara de UV para los próximos ensayos, se dispusieron todas las probetas sobre una superficie plana oscura y se colocaron dentro para hacerles una fotografía.

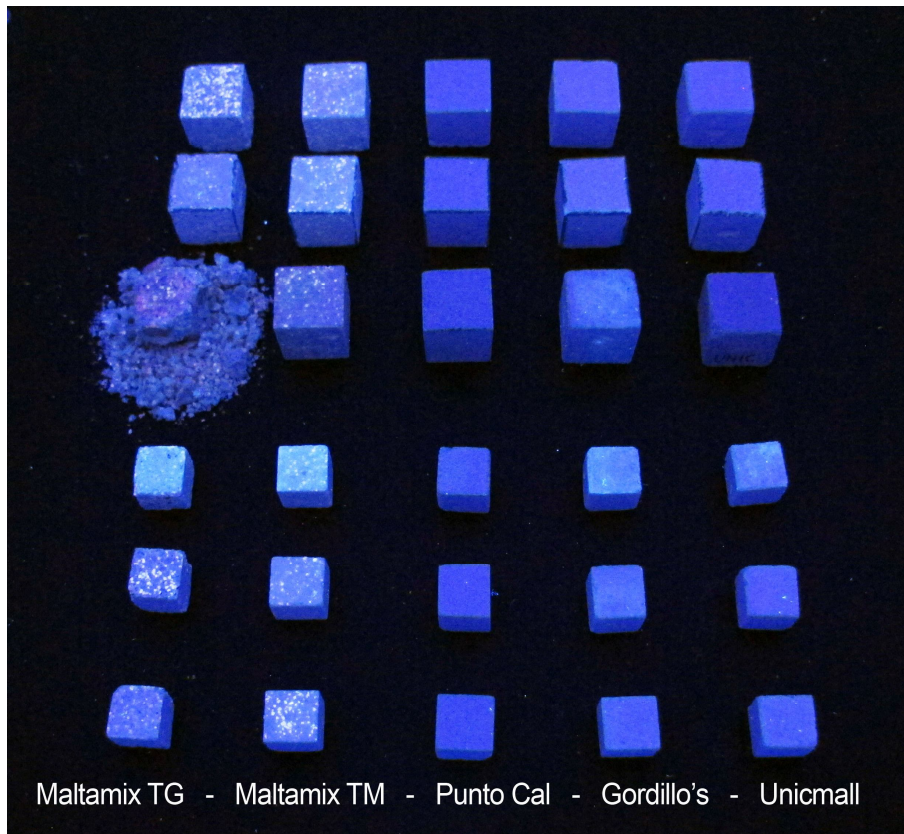


Imagen 38. Fotografía realizada a las probetas utilizando como fuente de iluminación luz UV.

Como podemos apreciar, las partículas de árido en los morteros Maltamix TG y Maltamix TM demuestran ser fluorescentes. En los otros morteros no se ha percibido esta reacción. Aparentemente podríamos determinar que es el árido y no el conglomerante el que tiene esta particularidad, puesto que es más llamativo en los casos en los que la cara de la probeta se encuentra con un mayor grado de lijado. Ocurre por tanto lo contrario en muestras que, perceptiblemente con luz normal, se distingue que el árido está más oculto por ser una de las caras que quedó en contacto con un lateral interno del molde (el conglomerante rodea las irregularidades de los áridos, adquiriendo la planimetría total del encofrado donde se encuentra). Por ello se estudió bajo luz UV de forma selectiva el árido de estos morteros (Maltamix TG y TM).

Puesto que la respuesta fluorescente es equivalente en los dos, se ha utilizado de nuevo como referencia el árido del mortero Maltamix TM, por ser comparativamente el más similar al árido que hemos utilizado para preparar los demás morteros.

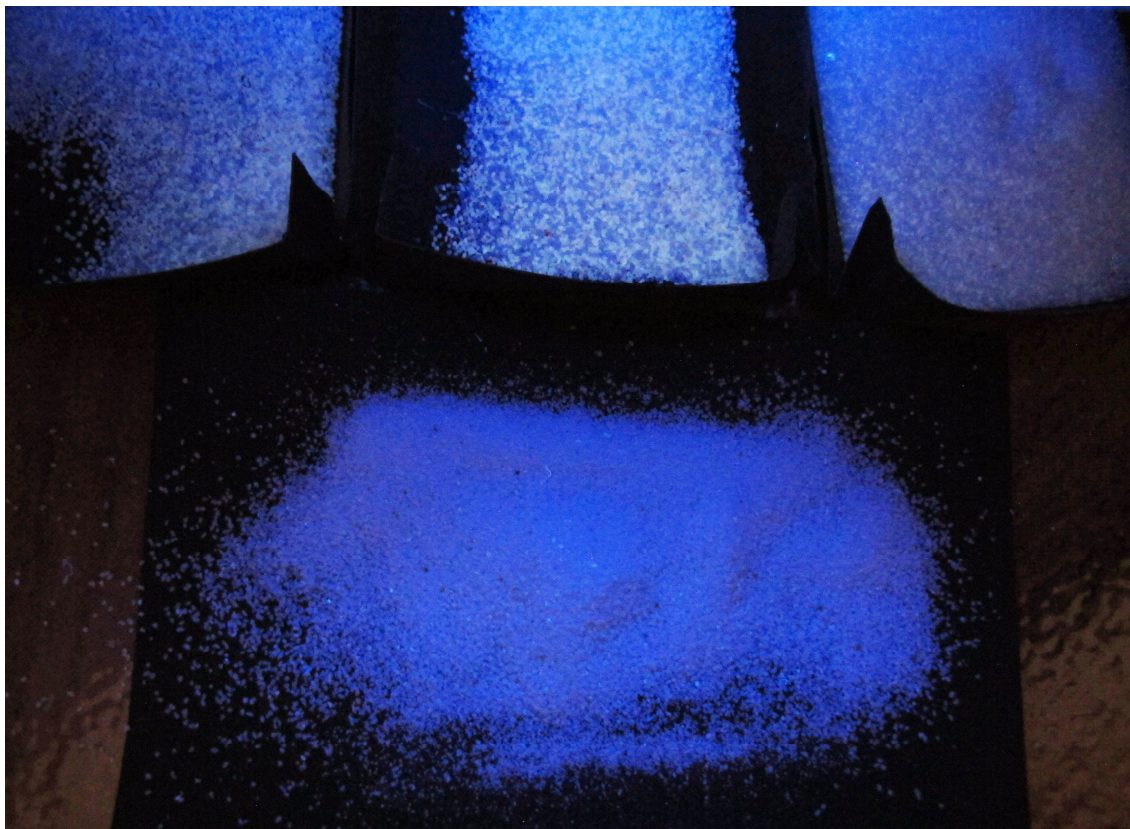


Imagen 39. Detalle comparativo entre tres de los grupos de tamaño de partícula por separado del mortero Maltamix TM (los de arriba) y abajo en el centro, el mármol triturado con el que confeccionamos el resto de morteros.

En la fotografía, tomada con lámpara de luz UV<sup>73</sup>, apreciamos en el árido del mortero Maltamix TM una mezcla entre partículas fluorescentes y partículas no fluorescentes, quedando clara a simple vista dicha discriminación. Sin embargo, en el árido central inferior, que corresponde con el que fue usado para realizar el resto de morteros, de mármol triturado, no se aprecia ninguna heterogeneidad visual entre sus partículas.

Por tanto, descartamos definitivamente la posibilidad de que el material fluorescente estuviese presente entre los aditivos de la pasta de cal del mortero Maltamix TM.

---

<sup>73</sup>Lámpara de mano para detección fluorescencia rayos Ultra violeta. Lámpara de 4 W, F4T5 /BLB. Longitud de ondas: desde 366 nm.

## 5.2. Probetas sin normativa tecnológica

### a. Revisión y selección bibliográfica práctica

Estas probetas se realizarán utilizando los mismos morteros y conglomerantes que ya fueron seleccionados para la confección de las probetas normalizadas.

Como parte de nuestro estudio, tanto por la necesidad de efectuar algunas analíticas específicas, como para evaluar de forma práctica el comportamiento de los morteros al aplicarlos, se ha realizado una muestra de estuco con cada una de las pastas de cal, con un tamaño y una metodología muy similar a un caso de aplicación real.

Sin embargo, al decidir la metodología de trabajo, dosificación, curva de granulometría del mortero, entendimos necesaria una revisión bibliográfica para descubrir las recomendaciones de otros autores a este efecto. Tras ello, hemos concluido que, por acuerdo general entre la mayoría de los documentos consultados, estas dosificaciones se adoptan de la "Guía práctica de la cal y el estuco"<sup>74</sup>, donde se propone una tabla específica para la confección de morteros para estucado, que aparece citada por numerosos autores en sus escritos<sup>75</sup>.

Dosificaciones para las masas de los estucos (en "Guía práctica de la cal y el estuco")						
TIPO DE MASA	USO	CAL	TAMAÑO DEL ÁRIDO			
			2.5 mm	1.2 mm	0.8 mm	0.35 mm
<b>MAGRA</b>	primera capa sobre enfoscado-regleteado	156 kg	125 kg	50 kg	25 kg	
<b>MAGRA</b>	primeras capas sobre enfoscados fratasados	156 kg / 250 g		150 kg / 257 g	25 kg / 23 g	
<b>MAGRA</b>	primeras capas y repretados	156 kg / 250 g			175 kg / 280 g	
<b>GRASA</b>	acabado de estucos de textura fina	156 kg / 250 g			50 kg / 80 g	25 kg / 40 g

<sup>74</sup>GARCÍA Y CONESA, Oriol. [et al.] Op.cit.p. 56.

<sup>75</sup>ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Historia, caracterización y restauración de morteros". p. 92. MARTÍNEZ FUENTES, Reyes. Op. cit. p. 72. MARTINS MOREIRA DA SILVA VIEIRA, Eduarda Maria. "Técnicas tradicionales de estucos en revestimientos interiores portugueses. Historia y tecnología. Aplicación a la conservación y restauración". p. 427. VVAA. "Guía práctica para los morteros con cal - ANCADE" p. 49.

A partir de esta tabla, que por las grandes cantidades está ideada para utilizarse en obra real de gran envergadura, se han reducido proporcionalmente las cantidades hasta obtener medidas en peso que se adapten más a nuestra necesidad en este caso, la realización de probetas de mediano-pequeño formato. Puesto que se trata de una superficie más o menos homogénea, sin presencia de juntas o diferente nivel de absorción por zonas, se decidió comenzar directamente por la tercera capa (contando del exterior del revestimiento hacia el paramento), quedando por tanto tres capas superpuestas en fresco para crear el estuco.

El proceso de realización de las probetas, el orden y la metodología, se ha seguido paso a paso según las recomendaciones de este libro, que es un buen compendio práctico de las técnicas esenciales dentro del arte del estuco decorativo arquitectónico. Son detalladas cada una de las técnicas paso a paso, incluyendo materiales y herramientas más comunes necesarias para su elaboración así como se explica todo el proceso de realización. A partir de aquí, cada operario tiene sus propios útiles, técnica y materiales que le hacen optimizar su trabajo según sus necesidades, lo cual es adquirido y modificado con la experiencia.

Para la realización de las probetas se han seguido las indicaciones para la realización de un estuco enlucido básico, en el cual tan sólo son partícipes la cal y los áridos, sin incluir durante la aplicación ningún otro sistema más que el enlucido y alisado con la llana metálica sobre el mortero fresco.

Sobre la tabla de dosificaciones, la proporción árido - conglomerante así como la tipología o curva granulométrica del árido, son de suma importancia. Como vemos, para la primera capa que aplicamos sobre el soporte, el árido utilizado es una mezcla de 1.2 mm. y de 0.8 mm. Aunque lo nombremos abreviado, al mencionar tanto 1.2 mm. como 0.8 mm., realmente nos referimos a un particulado inerte (calcítico o silíceo) con tamaño de granos que pueden ir desde 0.0 mm. a 1.2 mm. y de 0.0 mm. a 0.8 mm. La cantidad predominante de un diámetro de partícula específico dentro de ese margen dependerá del tipo de árido o su procedencia. La mezcla en este caso, del árido 1.2 mm. con el de 0.8 mm. se debe a que, aunque el primero ya contiene una cierta cantidad de finos, siguen predominando los de mayor tamaño. Con el fin de rellenar esos huecos es por lo que se incluye el árido menor.

Existen ensayos para determinar si un árido ha sido correctamente dosificado según el tamaño de partícula, como el del índice de vacío (determina la cantidad de huecos presentes entre los áridos que habrá de rellenar posteriormente el conglomerante; a menos partes de árido fino que rellene esos huecos, necesitaremos más conglomerante en pasta, con los inconvenientes que conlleva su exceso).

Otros ensayos determinan la conformidad en el uso de un árido según su exceso o defecto de partículas finas, como las arcillas, mediante el ensayo de equivalente de arena.



Sobre la dosificación general entre volumen de áridos gruesos y finos, muchos autores, entre ellos Ignacio Gárate<sup>76</sup> recomienda un 60% de gruesos y un 40% de finos, para conseguir una arena “compacta”.

Finalmente, más allá de la teoría, hay cuestiones que van surgiendo durante la ejecución del trabajo que tienen que solventarse de la mejor forma posible. Es aquí donde entra a tomar parte la mayor o menor experiencia y pericia del aplicador.

---

<sup>76</sup>GÁRATE ROJAS, Ignacio.Op. cit. p. 103.





### **b. Elaboración de las probetas sin normativa**

Para la elaboración de estas probetas elegimos como soporte una rasilla de cerámica cocida. Es un material con una porosidad homogénea y una absorción rápida pero no en exceso, menos ávido al captar el agua que un aplacado de escayola, por ejemplo. Como se ha comentado anteriormente, la cantidad de cal y de áridos que utilizaremos en las capas de nuestros estucos, la primera capa será la que lleva 250 g. de cal y 280 g. de áridos (257 g. de 1,2 mm. + 23 g. de 0,8 mm.).

El primer paso para acondicionar el soporte fue su limpieza con cepillado en seco y posteriormente humedeciendo la superficie. Esta humectación del soporte tendrá que repetirse varias veces, pues debemos conseguir que una vez apliquemos el mortero, haya un equilibrio entre ambas partes, donde ninguna absorba el agua de la otra. Si el soporte está seco, absorberá el agua del mortero, quedando éste inconsistente, así como tarde o temprano, por su diferente compacidad terminará desprendiéndose. Pero si el soporte está excesivamente húmedo, no se produce un agarre mecánico entre ambas partes, ya que la porosidad del soporte estaría saturada de agua, resultado una superficie impermeable.



Imagen 40. A la izquierda vemos como se está humectando el soporte con esponja y a la derecha durante la aplicación de la primera capa de estuco con la talocha de madera.

Al aplicar la primera masa de estuco, ésta se extiende directamente con la talocha de madera, en movimientos de abajo a arriba, depositando y repartiendo la masa. Posteriormente, con movimientos en horizontal o a nivel, de derecha a izquierda (una mano diestra), vamos repartiendo

y presionando el mortero. El paletado, o proyección del mortero contra el soporte con la paleta, suele reservarse para las capas de enfoscado. Aparte, el estucado es un estrato relativamente fino, por lo que la cantidad que apliquemos con la proyección puede resultar excesiva, contando además con un soporte suficientemente plano y homogéneo. Por ello, se ha optado por realizarlo del modo anterior (directamente con la talocha).

Esta primera capa, aunque debe recibir otras dos más encima, ya debe conseguir una buena planimetría, así como debemos dejar bien terminados los bordes o aristas de la pieza, para que posteriormente durante su manipulación sea menos susceptible a desintegrarse. Pensemos que un revestimiento comienza con planos irregulares y suele terminar en superficies planas y homogéneas por tanto cada capa tiene la función de regularizar y cubrir la porosidad de la anterior.

En esta primer estrato de estuco, nos surgió una duda importante, que no se referencia en la "Guía Práctica de la cal y el estuco"<sup>77</sup>. Ésta era sobre el grosor que ha de tener cada una de las capas que componen el grosor final del estuco. Es un dato importante puesto que si se aporta una precisa dosificación árido - conglomerante con unas características también prefijadas en el árido (diámetro de las partículas), los grosores deben ser también fijos para cada una de las capas. Sin embargo, esto dependerá también de la absorción y sobre todo la textura del soporte sobre el que trabajemos, quizá por eso no aparece especificado en el texto.



Imagen 41. A la izquierda vemos el proceso de fratasado con fragmento de poliestireno extruido tras la primera capa. A la derecha, en detalle se aprecia como se le da forma a las aristas de la probeta, biselándolas.

<sup>77</sup>GARCÍA Y CONESA, Oriol. [et al.] Op. cit. pp.79-89.

Finalmente optamos por un grosor aproximado de +/- 4 mm. tras comprobar que al llegar a los 5 mm. se producía retracción al secar, por un exceso de pasta de conglomerante (pensemos que esta tabla de dosificaciones es para morteros de estuco, de acabado, por tanto pensadas para ser capas más finas y plásticas, con menor cantidad de áridos).

Tras esta primera capa, se realiza el fratasado, que consiste en repartir la masa aún fresca por toda la superficie, arrastrando superficialmente parte del material y quedando depositado en los huecos existentes. Para ello podemos utilizar tanto la talocha de madera como un fratás (pueden ser de diferentes materiales, en nuestro caso era de poliestireno extruido), en ambos casos realizando movimientos circulares y presionando según la consistencia del mortero.

La talocha por ejemplo tiende a eliminar parte del exceso de agua del mortero, debido a la succión que produce el contacto con la porosidad de la madera. Por el contrario, el fratás, al ser de material plástico, la reparte o como es más habitual, suele mojarse para reblandecer superficialmente la capa de mortero aplicada y así conseguir una textura homogénea y que cubra todas estas cavidades o irregularidades que puedan quedar. La práctica nos da la experiencia suficiente como para determinar la herramienta más adecuada en cada momento así como saber cuando no es recomendable utilizarla. No es conveniente, por ejemplo, fratar en húmedo la segunda capa de mortero ya que hacemos aflorar a la superficie los granos de árido. Al aplicar encima la tercera capa, muy fina con áridos menores, los podríamos arrastrar y dar al traste con el enlucido.

La segunda capa aplicada, según indica la tabla de dosificaciones una vez adaptadas las cantidades, de 250 g. de cal por 280 g. de áridos (de 0,8 mm.). En esta ocasión, aunque la dosificación árido - conglomerante es la misma que en la primera capa, el tamaño de los áridos es menor. Esto significa que tienen mayor cantidad de huecos que rellenar con respecto al árido más grueso, es decir, los áridos finos tienen menor superficie específica que los gruesos.

Por ello, a una misma cantidad de cal podremos añadirle menos cantidad de árido fino para preparar un mortero consistente, pero si es grueso, quedaría segregado, demasiado fluido.

El procedimiento de aplicación fue similar al de la primera capa, asegurando también que los biseles de la probeta queden rectos y con aristas bien definidas. El grosor del estrato fue de +/- 2 mm.

Por último, la tercera capa, con una dosificación de 250 g cal y 120 g. (80 g. de 0,8 mm. y 40 g. de 0,1 mm.). Hemos cambiado la cantidad de árido fino que indica la tabla como 0,35 mm. por 0,1 mm. ya que no disponíamos de un tamiz con esa luz de malla y también puede considerarse "polvo de mármol". En la aplicación, hemos de tener en cuenta que la cantidad de cal es mayor con respecto a la de árido. Esto significa que tendremos que aplicarlo en capa muy fina, lo justo para rellenar los huecos que quedaron tras el aplanado anterior (para evitar la retracción). Al aplicarlo, en lugar de extenderlo en una sola fase, se extendió una primera capa muy fina y una

vez cogió una cierta consistencia, se aplicó una segunda y última. Ésta será la que iremos trabajando en los momentos precisos para lograr el brillo del enlucido por la acción del repasado y repretado con la llana metálica (que sólo hemos utilizado para esta última capa). Sería un error haberla utilizado en las primeras capas ya que al extender la pasta del mortero, la presión de una superficie tan pulimentada atrae hacia la superficie la pasta y lechada de cal, desplazándola de donde se encontraba y por tanto se puede provocar que el único contacto entre el soporte y el mortero sean las partículas de árido que han perdido su recubrimiento de conglomerante por haber migrado a la superficie.

Una vez bien extendida por toda la superficie y los bordes, debemos determinar cual es el momento justo de sacar el brillo por la acción repetitiva de repasar la superficie a la vez que se va presionando progresivamente. Si insistimos demasiadas pasadas y presionando, al estar demasiado fresco, podemos producir ampollas por despegue del estrato, que tendrán que solventarse a tiempo (habrá que explotarlas y si es necesario, resanarlas). En caso contrario, si esperamos más tiempo del necesario, durante las pasadas podemos producir suficiente fricción como para arañar y deteriorar el acabado. El momento en el que el estuco se encuentra listo para ser practicable es justo cuando, durante las pasadas, el mortero se mantiene endurecido pero exuda una lechada de cal muy grasa, sin nada de árido (que ya ha quedado bien integrado e inmóvil dentro del sustrato). Este resto que nos queda en la llana es el que debemos aprovechar rápidamente sin que pierda su humedad para repartirlo bien por toda la superficie, dejando un brillo homogéneo de aspecto graso o aceitoso.



Imagen 42. A la izquierda vemos la aplicación de la tercera capa con la llana metálica y a la derecha un detalle del proceso de pulimentado en fresco del mortero.



Para que no hubiese ninguna interferencia que pudiese alterar los resultados de los ensayos por realizar a continuación, se decidió no aplicar ningún producto que nos facilite el pulimentado o abrillantado. Tan sólo utilizamos la acción mecánica del pulido con llana estando fresco el estuco, en todos los casos, donde dependiendo del mortero utilizado, pudimos apreciar y experimentar diferentes comportamientos, texturas y acabados.

Al realizar las probetas, en los casos de los conglomerantes Punto Cal<sup>®</sup>, Gordillo's<sup>®</sup> y Unicmall<sup>®</sup>, el proceso ha sido tal como se ha descrito, añadiendo las cantidades especificadas de cada árido. Pero en el caso de los morteros predosificados Maltamix TG<sup>®</sup> (de áridos gruesos) y Maltamix TM<sup>®</sup> (áridos finos), no se ha añadido ningún árido extra. Aplicamos primero la primera capa del estuco con Maltamix TG<sup>®</sup>, la segunda con Maltamix TM<sup>®</sup> y la tercera también con con este último. Es por ello que el resultado son cuatro probetas en lugar de cinco, que es el número de los conglomerantes y morteros estudiados.

Todas las probetas de estuco fueron confeccionadas durante el mismo espacio de tiempo. Con esto pretendemos evitar un margen de error o desviación en los resultados debido a diferente grado de carbonatación entre las probetas.

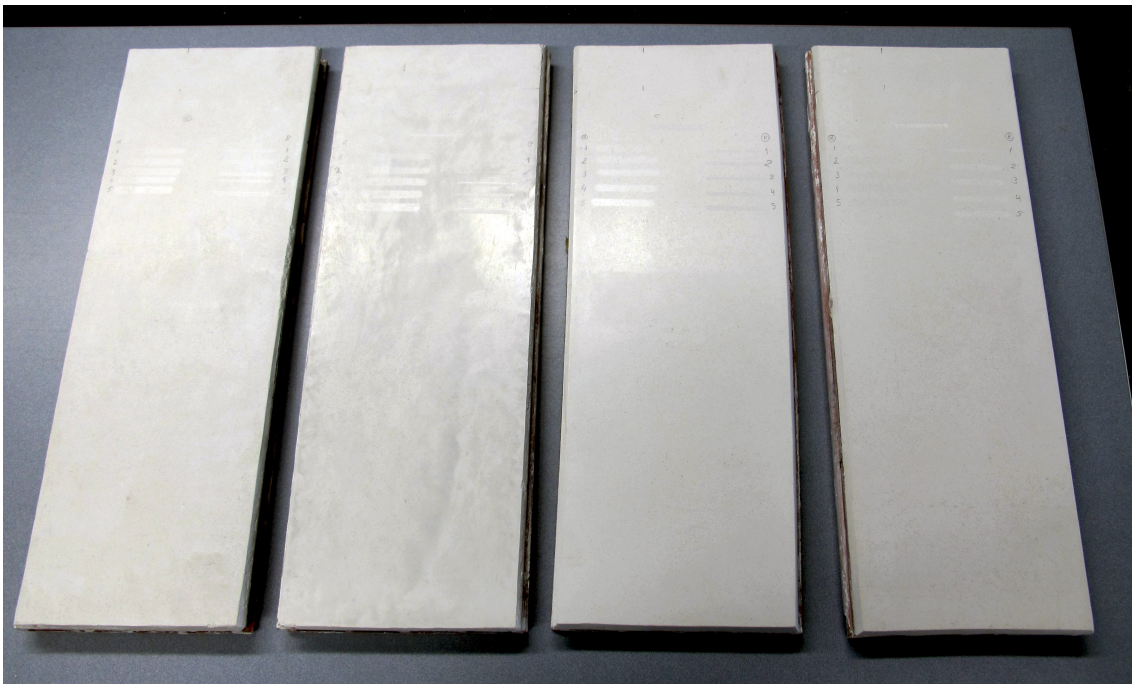


Imagen 43. En la imagen vemos las cuatro probetas o muestras de estuco confeccionadas (tras la realización de los ensayos). De izquierda a derecha, Maltamix TG<sup>®</sup> + TM<sup>®</sup>, Punto Cal<sup>®</sup>, Gordillo's<sup>®</sup> y Unicmall<sup>®</sup>.



### c. Ensayos realizados:

#### c.1. Fotografías macro de la superficie de los estucos

Antes de comenzar el proceso experimental con estas probetas, consideramos relevante analizar al microscopio<sup>78</sup> la superficie de estos estucos. En las probetas realizadas anteriormente (a través de enmoldado de los morteros) se consigue un diferente grado de compactación y textura visual al que presentan estas nuevas probetas. En estas últimas, su superficie ha sido trabajada de forma diferente, durante los procesos de repretado y pulido con la llana metálica. Para evaluar y comparar estas cualidades superficiales, se presentan estas fotografías al microscopio de cada uno de los estucos o “probetas sin normativa” preparados anteriormente.

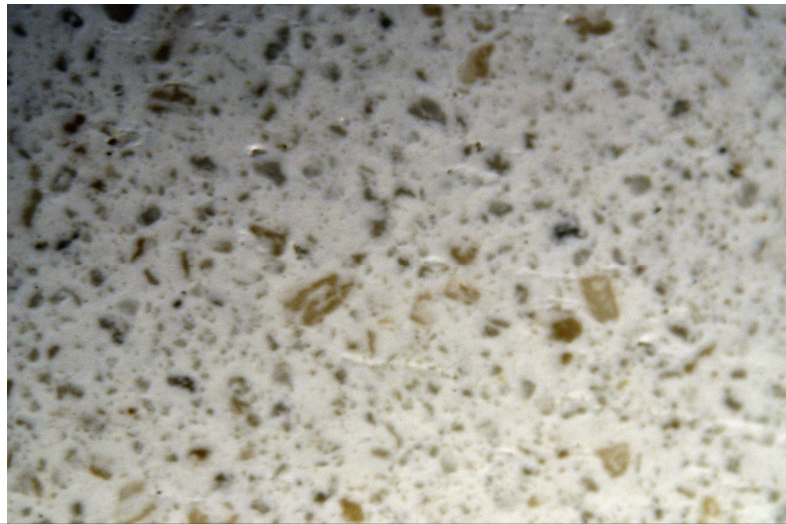


Imagen 44. En esta fotografía al microscopio vemos en detalle la superficie pulimentada del estuco confeccionado con mortero Maltamix.

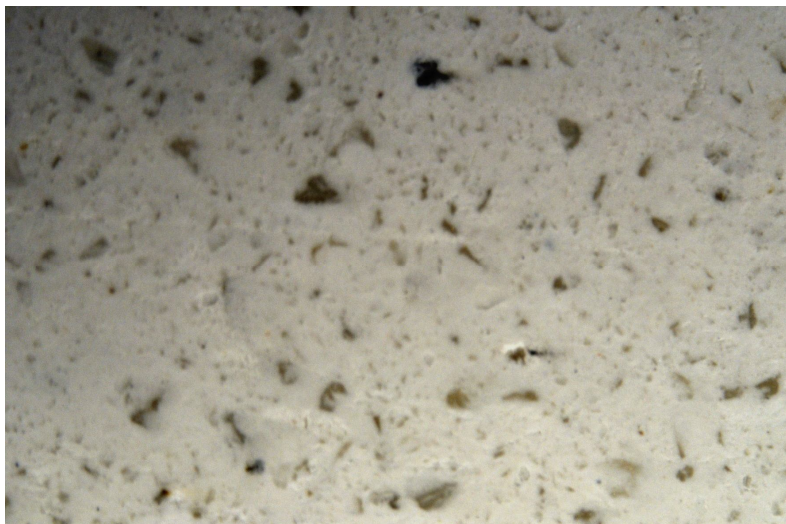


Imagen 45. En esta fotografía al microscopio vemos en detalle la superficie pulimentada del estuco confeccionado con mortero Punto Cal.

---

<sup>78</sup>Microscopio Leica S8 APO con zoom 8: 1 al que se le ha acoplado cámara reflex Nikon D5100 con lentes de aumento KenKo 52 mm closed up nº1, 2 y 3.



*Fotografías al microscopio de la superficie de los estucos*

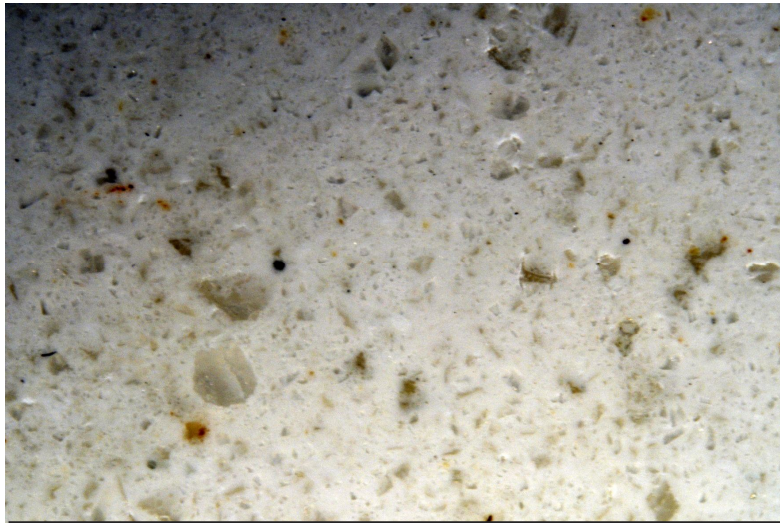


Imagen 46. En esta fotografía al microscopio vemos en detalle la superficie pulimentada del estuco confeccionado con mortero Gordillo's.



Imagen 47. En esta fotografía al microscopio vemos en detalle la superficie pulimentada del estuco confeccionado con mortero Unicmall.

### c.2. Envejecimiento por incidencia de UV



Imagen 48. Cámara para el envejecimiento por radiación UV.

El efecto de la radiación ultravioleta, presente en la iluminación a la que se someten los estucos o enlucidos cuando están expuestos especialmente al exterior, es una de las causas que puede incidir en su alteración con el paso del tiempo, por la variación que experimentan desde el tono de blanco inicial o por la modificación de la pigmentación en el caso de ser una superficie coloreada. Por ello, nos hemos propuesto someter las probetas a los efectos de la luz ultravioleta, acelerando el proceso, de forma artificial, mediante el uso de lámparas especiales emisoras de luz UV.

Disponíamos de una cámara cerrada en la que se habían adosado en su cara horizontal superior cinco tubos fluorescentes de luz UV.

En su interior se colocaban las muestras de estuco cubiertas prácticamente en su totalidad, dejando aperturas de exposición, donde serían tomadas las mediciones colorimétricas cada cierto tiempo, para evaluar su posible variación cromática ante el deterioro por incidencia lumínica UV.



Imagen 49. Detalle del interior de la cámara, donde se encuentra el termohigrómetro.



### c.2.1. Cálculo de la incidencia lumínica sobre las probetas: uso del software Dialux<sup>79</sup>

Dado que la cámara para someter las probetas a la acción degradante de la luz UV carece de normativa, pues se trata de un artefacto de construcción propia<sup>80</sup>, se ha estimado oportuno poder establecer cual es la cantidad o intensidad de luz que incidirá sobre estas muestras, pudiendo tener así una referencia objetiva.

Para ello, se han introducido en el software para cálculo de luminancia Dialux®, las dimensiones, disposición y tipología de las lámparas o luminarias, para que finalmente, nos calcule un valor promedio de intensidad lumínica recibida en el plano horizontal en el que se encuentran las probetas, cantidad establecida en luxes.

Además de estas características básicas de la cámara, hemos de definir aspectos detallados referentes al poder de reflectancia de las superficies en este espacio interior, como son el color y textura de los acabados.

El plano útil o superficie imaginaria horizontal sobre la que tomaremos las mediciones de la cantidad de luz que incide sobre ella, la fijaremos a tres centímetros de la base de la cámara, como media de la distancia a la que se encontraban las probetas con respecto a los tubos fluorescentes.

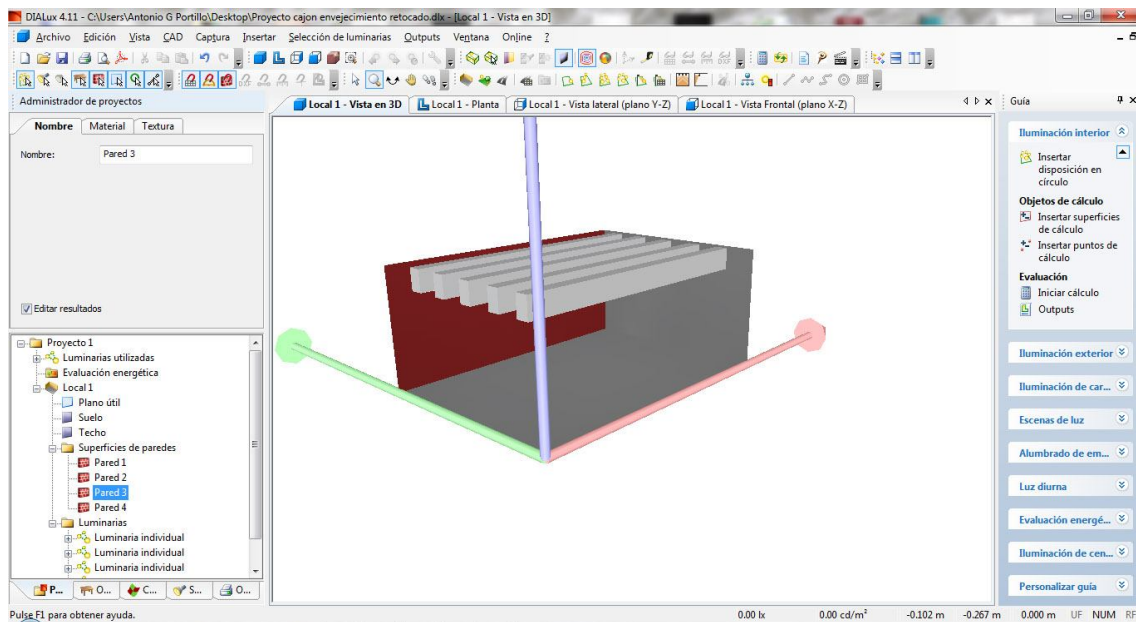


Imagen 50. En esta captura de pantalla vemos la interfaz del software Dialux®, una vez se ha construido el espacio interior de la cámara y se han colocado las luminarias adosadas al plano superior horizontal.

<sup>79</sup>Es un software de libre descarga creado por el Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik - DIAL). Puede descargarse gratuitamente en: <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/download.html>

<sup>80</sup>Tanto el prototipo de cámara de envejecimiento por UV como la metodología de estudio de la luminancia a través del software Dialux se han realizado gracias a los estudios previos de GÓMEZ RUBIO, Raquel. "Revisión de los estabilizadores de los rayos uva en un sistema de barnizado como el multicapa". p. 35 y Anexos.

## Cálculo de la incidencia lumínica sobre las probetas: uso del software Dialux

Proyecto 1



Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Local 1 / Lista de luminarias

5 Pieza OSRAM 4050300003474 72011 LUMILUX  
COMBI EL-N 18W  
Nº de artículo: 4050300003474  
Flujo luminoso (Luminaria): 980 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 1350 lm  
Potencia de las luminarias: 34.5 W  
Clasificación luminarias según CIE: 70  
Código CIE Flux: 30 57 80 70 72  
Lámpara: 1 x L 18 W/41-827 (Factor de corrección 1.000).

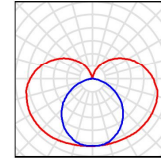


Imagen 51. Resultados del cálculo en Dialux®. Características de las luminarias. En este caso, el esquema hace referencia a un flujo luminoso general-difuso.

## Local 1 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 4898 lm  
Potencia total: 172.5 W  
Factor mantenimiento: 0.80  
Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m <sup>2</sup> ]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	2949	19392	22341	/	/
Suelo	2661	19285	21946	90	6287
Techo	0.00	20384	20384	90	5839
Pared 1	3403	19551	22954	90	6576
Pared 2	2228	20549	22778	90	6525
Pared 3	3342	19575	22917	90	6565
Pared 4	2228	19513	21742	90	6229

Simetrías en el plano útil  
E<sub>min</sub> / E<sub>m</sub>: 0.927 (1:1)  
E<sub>min</sub> / E<sub>max</sub>: 0.887 (1:1)

Valor de eficiencia energética: 536.38 W/m<sup>2</sup> = 2.40 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base: 0.32 m<sup>2</sup>)

Imagen 52. Resultados del cálculo en Dialux®. Resultados del cálculo luminotécnico sobre cada una de las superficies en el interior de la cámara.

Finalmente, el programa realiza los cálculos según los parámetros indicados y en base a las dimensiones y características de las luminarias, obteniendo los valores en luxes que inciden sobre el plano horizontal imaginario que le hemos asignado.

Estos resultados que se muestran en las imágenes superiores son los que se obtienen tras el cálculo que realiza el software una vez se han definido previamente todas las variables que comentamos.



## Local 1 / Plano útil / Gama de grises (E)

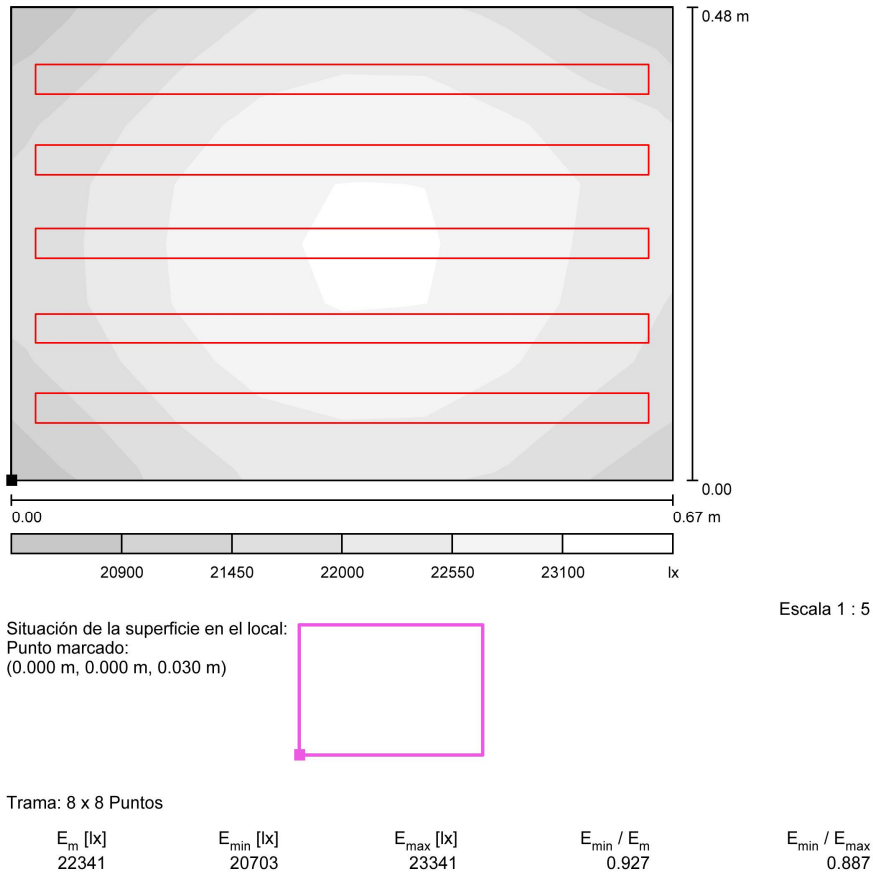


Imagen 53. Resultados del cálculo en Dialux®. Cantidad de luz que incide sobre el plano útil (imaginario), que corresponde a la altura a la que se encuentran de media, las probetas de estucos.

Como fruto del cálculo, podemos obtener de este software, una gran cantidad de valores, gráficas y esquemas, sin embargo, son estos que se muestran sobre estas líneas, los más representativos, pues el plano que nos interesa estudiar es el llamado "Plano útil", el plano ilusorio que representa la altura media que se contabiliza desde el suelo de la cámara y que se corresponde con la altura media a la que se encuentran las probetas de estuco sobre el mismo.

Según los resultados luminotécnicos, la intensidad lumínica total (directa e indirecta) media que incide sobre la superficie del plano útil (a 3 cm. del suelo) es de 22.341 luxes.

Por tanto, podemos afirmar, de forma más objetiva, que nuestras probetas de estuco han estado sometidas durante 24 horas al día, un total de 102 días, a la acción de 22.341 luxes en cada momento en que se mantenían dentro de la cámara.





### **c.3. Resultados obtenidos mediante la captura del color con colorímetro**

Para poder determinar la posible alteración que se produce en la superficie de los morteros enlucidos de forma metódica y sistemática, nos hemos ayudado de un colorímetro de reflectancia. Estos aparatos son frecuentemente utilizados en restauración para realizar barridos cromáticos de las superficies, tomando mediciones de puntos clave seleccionados<sup>81</sup>. Su funcionamiento se basa en iluminar la superficie de una muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja la muestra en una serie de intervalos de onda (realizando mediciones de color). El espectro de reflectancia de una muestra se puede utilizar junto con la función del observador estándar CIE y la distribución relativa de energía espectral de un iluminante para calcular los valores triestímulos CIE XYZ para esa muestra bajo ese iluminante. Posteriormente, el aparato realiza los algoritmos necesarios para transformar esos valores a parámetros CIELAB<sup>82</sup>.

La medición del color según los parámetros CIELAB hacen referencia a los valores colorimétricos: Lab L\*: es el valor de luminancia de un color. A mayor porcentaje, mayor luminancia.

Lab a\*: es la tendencia al rojo o al verde de un color. Si el valor es positivo, tiende al rojo y si es negativo, al verde.

Lab b\*: es la tendencia al amarillo o al azul. Si el valor es positivo es que tiende al amarillo, pero si es negativo, tiende al azul<sup>83</sup>.

Para llevar a cabo este trabajo, los datos fueron tomados con un colorímetro "Eyes One Basic", y procesados con el software "Measure Tool".

Desde el punto de vista práctico, pretendíamos comprobar la alteración que podrían sufrir los estucos al estar sometidos a la exposición prolongada e ininterrumpida a luz UV. Concretamente, y según el valor obtenido anteriormente con el software Dialux®, 22.341 luxes de luz UV durante las 24 horas al día, un total de 102 días.

Se realizaron tres mediciones, una por cada muestra de estuco, localizando las capturas colorimétricas siempre en el mismo punto, ayudándonos de un acetato perforado para tal fin. La primera medición se tomó antes de introducir las probetas en la cámara de UV, la segunda se tomó dos meses después y la tercera y última a los 102 días.

---

<sup>81</sup>SAN MARTÍN ARMIJO, Andrea. "El uso de la pintura a la cal: Ventajas e inconvenientes de su aplicación sobre morteros tradicionales". p. 35.

<sup>82</sup>GÓMEZ RUBIO, Raquel. "Revisión de los estabilizadores de los rayos UV en un sistema de barnizado como el multicapa". p. 36.

<sup>83</sup>Ibidem. p. 36.



Imagen 54. En las fotografías se muestran los momentos de la primera medición (a la izquierda) y la tercera y última medición a la derecha.

Tabla donde se muestran los resultados $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ de las tres mediciones				
Probeta/Mortero	Valores $L^*a^*b^*$	1ª Medición	2ª Medición	3ª Medición
Maltamix <sup>®84</sup>	$L^*$	93,92	93,38	96,33
	$a^*$	0,27	0,42	-0,66
	$b^*$	2,33	2,74	1,52
Punto Cal <sup>®</sup>	$L^*$	95,09	95,59	96,17
	$a^*$	0,20	0,16	0,10
	$b^*$	2,89	2,91	2,92
Gordillo's <sup>®</sup>	$L^*$	96,98	96,22	97,14
	$a^*$	-0,08	0,64	-0,03
	$b^*$	2,00	2,60	2,05
Unicmall <sup>®</sup>	$L^*$	95,46	94,22	95,30
	$a^*$	0,16	0,40	0,43
	$b^*$	2,52	2,87	2,82

Durante la toma de muestras colorimétricas con el colorímetro, el software que utilizamos ("Measure Tool") nos proporcionaba una imagen en miniatura creada por una mezcla de colores automática del programa. En ellas, a partir de los parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que se han detectado en nuestra probeta, es como se crea esta muestra digital del color, de carácter orientativo<sup>85</sup>.

<sup>84</sup>Cuando nombramos la probeta de estuco Maltamix, nos referimos a la que se realizó aplicando una primera capa de Maltamix TG (de áridos gruesos) y sobre ella dos capas más de Maltamix TM, con áridos finos.

<sup>85</sup>En Anexos podemos encontrar estas capturas, pertenecientes a cada una de las tres mediciones por cada estuco a lo largo del tiempo.

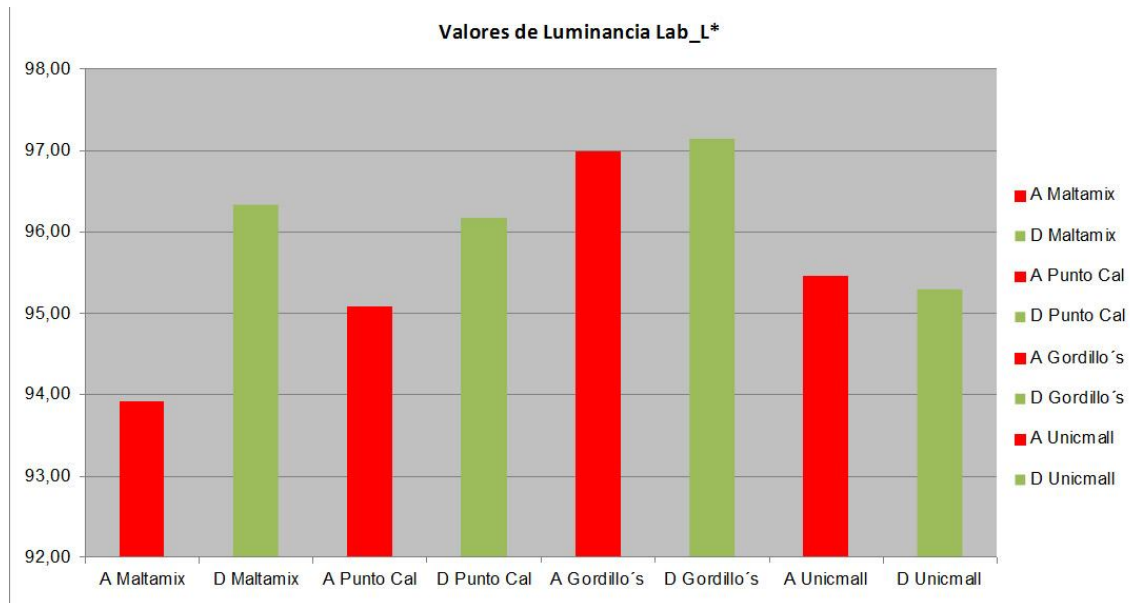


Imagen 55. En esta gráfica podemos observar de forma independiente los valores de luminancia (Lab\_L\*) de las muestras. Se presentan en rojo las mediciones del antes (A) y en verde del después (D) del ensayo con UV.

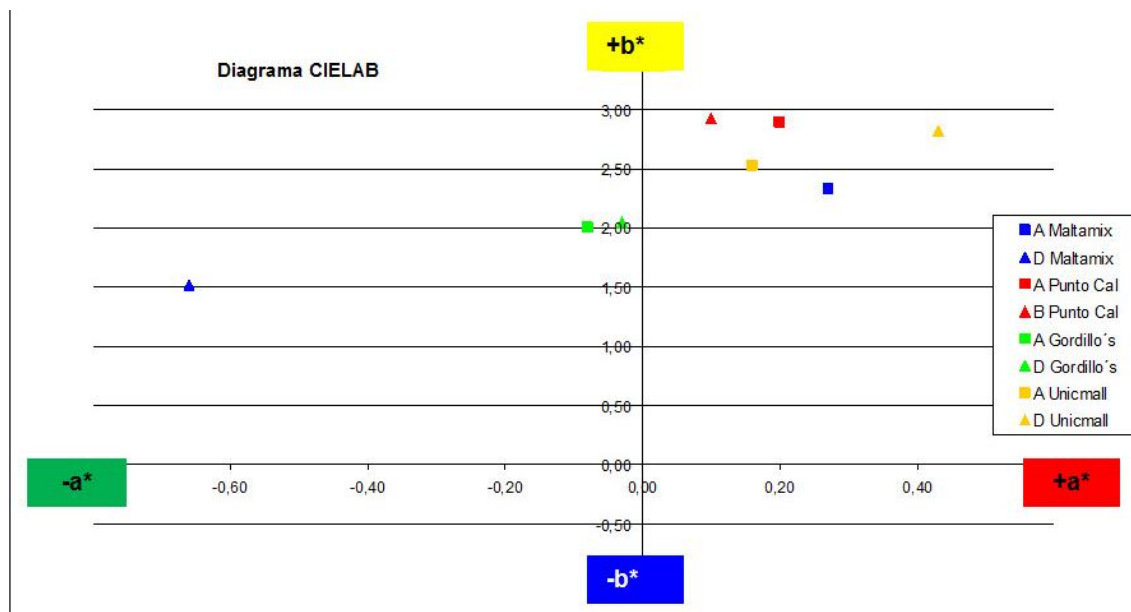


Imagen 56. En esta gráfica podemos ver la evolución de los valores  $a^*$  y  $b^*$  de cada uno de los morteros antes (A) y después (D).

Comenzaremos comparando los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que puedan establecer una diferencia entre las propiedades colorimétricas de las superficies de cada estuco antes de disponer las probetas dentro de la cámara de UV. El parámetro más relevante para establecer la comparativa colorimétrica entre nuestras probetas es quizás el de la luminancia, puesto que se trata de morteros de cal sin adiciones de pigmentos, utilizando áridos procedentes de calizas de tonos claros, mármoles triturados y micronizados silíceos también blanquecinos.

Con respecto a los valores de luminancia (Lab\_L\*), entre todos los morteros, el que tiene un valor

*Comparativa de los resultados obtenidos con el colorímetro*

mayor es el estuco confeccionado con el mortero Gordillo's<sup>®</sup>, seguido por el de Unicmall<sup>®</sup>. Les sigue en valor de luminancia el estuco de Punto Cal<sup>®</sup> y por último, con menor valor de luminosidad, el estuco de Maltamix<sup>®</sup>.

En relación a los valores entre las tonalidades rojo-verde, definidas por Lab\_a\*, comparativamente entre los estucos previamente a la realización del ensayo de envejecimiento acelerado con UV en orden de mayor a menor cercanía al rojo (valores positivos) son el Maltamix<sup>®</sup>, Puntocal<sup>®</sup>, Unicmall<sup>®</sup> y por último y con más cercanía al color opuesto (verde), el Gordillo's<sup>®</sup>.

Por último, referente a la tonalidad definida por el parámetro Lab\_b\*, sobre el acercamiento al amarillo (valores positivos ascendentes), el que destaca es el estuco realizado con mortero Punto Cal<sup>®</sup>, seguido por el Unicmall<sup>®</sup>, Maltamix<sup>®</sup> y Gordillo's<sup>®</sup>. Este último, aunque tiene una tonalidad con tendencia al amarillo (valor positivo de Lab\_b\*), es el que posee el valor más bajo de todos.

Sobre la evolución de la luminosidad (Lab\_L\*) de las probetas durante y después de su paso por la cámara de UV extraemos para cada mortero los siguientes resultados:

Maltamix<sup>®</sup>: La superficie del mortero ha experimentado un leve descenso detectado en la segunda medición pero finalmente se obtiene que tras la realización del experimento, ha aumentado su luminosidad, siendo el que más se ha destacado de todos en este parámetro.

Punto Cal<sup>®</sup>: Este estuco ha ido subiendo progresivamente su luminosidad, siendo comparativamente el segundo que ha experimentado un mayor aumento en la última medición.

Gordillo's<sup>®</sup>: A este mortero en la segunda medición le ha ocurrido como al Maltamix<sup>®</sup>, que ha tenido un leve descenso. Sin embargo, finalmente en la tercera medición ha experimentado también un aumento, pero en cambio ha sido muy leve la diferencia con respecto al valor inicial.

Unicmall<sup>®</sup>: Como en los casos anteriores (salvo en el Punto Cal<sup>®</sup>), ha experimentado un descenso en la segunda medición y finalmente, tras la tercera, aunque ha aumentado con respecto a la segunda, ha reducido levemente su luminosidad (con respecto al valor inicial).

Sobre la evolución de los parámetros de Lab\_a\* y Lab\_b\* de las probetas durante y después de su paso por la cámara de UV obtenemos para cada mortero los siguientes resultados:

Maltamix<sup>®</sup>: Aumenta sus valores de a\* y b\* en la segunda medición, por tanto incrementa su tonalidad hacia el rojo y el amarillo. No obstante, en la tercera medición, experimenta una regresión, volviendo a valores de rojo y amarillo inferiores a los iniciales.

Punto Cal®: Disminuye su valor de positivo de  $a^*$  (disminuye su tonalidad cercana al rojo) progresivamente hasta la tercera medición con respecto a la inicial. Por contra, tiene un aumento proporcionalmente similar pero en sentido inverso, aumentando en este caso su tonalidad amarilla (de  $b^*$ ).

Gordillo's®: Aumenta su valor de  $a^*$  (rojo) y  $b^*$  (amarillo) en la segunda medida del color, pero disminuye en la tercera. Comparativamente aumenta levemente sus valores de  $a^*$  y  $b^*$  en relación a la medición inicial.

Unicmall®: Aumenta progresivamente su valor de  $a^*$  desde el inicio al final del ensayo (después de salir de la cámara UV). Aumenta su valor de  $b^*$  en la segunda medida, y disminuye levemente en la tercera, pero comparativamente, experimenta un aumento desde la inicial a la medida final.





#### **c.4. Determinación de la absorción de agua bajo presión: ensayo con el tubo Karsten**

Este ensayo, que carece de normativa tecnológica, se basa en un método desarrollado en los años setenta por el alemán Rudolf Karsten, consistente en un tubo graduado vertical unido a una base que se adhiere al muro por medio de una masilla hidrorrepelente. También se conoce como pipeta Rilem. Es un procedimiento simple y no destructivo para determinar la absorción de agua bajo presión de un material con una cierta porosidad. El tubo, de 1 cm. de sección, se calibra en mililitros, siendo a su vez cada medición en altura equivalente a un centímetro<sup>86</sup>. La columna de agua creada en el tubo lleno de agua hasta los 10 cm. equivale a la presión que ejercen sobre la superficie gotas de agua proyectadas contra la misma por un viento de aproximadamente 150 km/h<sup>87</sup>.

Como regla general el ensayo suele tener una duración de 15 minutos, tomando mediciones intermedias a los 5 y 10 minutos. De cualquier forma no debe prolongarse más allá de los 30 minutos porque a partir de ese momento entran en acción otras variables, como la evaporación circundante en el paramento, la saturación de las capas superficiales y la diferencia de presión del agua sobre el paramento a medida que baja el nivel de la columna vertical<sup>88</sup>.

Sobre este método debemos tener en cuenta que los resultados obtenidos no podrán ser comparados con los de otros estudios similares, puesto que dependiendo del aparato, los resultados pueden ser diferentes para un mismo tipo de mortero.

Encontramos, por tanto, tubos en los que el área de contacto con la superficie es de 2.5 o 1 centímetro, éste último es el caso del tubo manométrico, de tipología muy similar al Karsten y desarrollado por el profesor Eduard B. Grunau<sup>89</sup>. Consiste en un tubo también de 1 cm. de sección, una altura de 12 cm. y curvado a 90°, formando un codo con la misma sección, que se une directamente a la superficie.

Como podemos comprobar en las imágenes siguientes, el área del tubo que permite el contacto del agua con la superficie es mucho mayor que en casos anteriores (rectángulo de más de 10 cm. de lado en contraposición a superficies de contacto de 2,5 o 1 cm.), lo que se traducirá en una diferente absorción en cada medición realizada. Por tanto, no podemos comparar los resultados que se obtengan de este ensayo con otros realizados con otros tubos diferentes.

---

<sup>86</sup>Universidad Técnica Federico Santa María.[en línea]<<http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1072/sc/TuboKarsten.pdf>> [Consulta:15 de junio de 2013]

<sup>87</sup>Cueva de Ingeniero Civil: Apuntes, herramientas y técnicas de la ingeniería civil. [en línea] <<http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/ensayos-no-destructivos.html>> [Consulta: 20 de junio de 2013]

<sup>88</sup>ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Historia, caracterización y restauración de morteros". p. 69.

<sup>89</sup>ORTEGA ANDRADE, Francisco. "Humedades en la edificación".p. 155.

*Determinación de la absorción de agua bajo presión: ensayo con el tubo Karsten*

No obstante, el ensayo que realizamos sí que tiene una validez comparativa dentro de nuestro estudio, puesto que tanto la herramienta utilizada como las condiciones de humedad y temperatura, se han mantenido constantes durante el proceso de trabajo.

Iniciamos las pruebas extrayendo la primera probeta de la cámara de UV, donde se encuentra junto a las demás en proceso de envejecimiento. En el interior de la urna se mantiene una temperatura de en torno a los 40 - 42°C y una humedad relativa del 20%.

El procedimiento comienza colocando de forma vertical la probeta y adhiriendo el tubo Karsten en la zona inferior con una masilla hidrorrepelente. A continuación se llena el tubo graduado de agua desionizada hasta llegar al nivel de 10 cm. a la vez que se activaba el contador de tiempo, anotando la cantidad de agua absorbida en los intervalos de 5, 10 y 15 minutos, en que finaliza el ensayo.

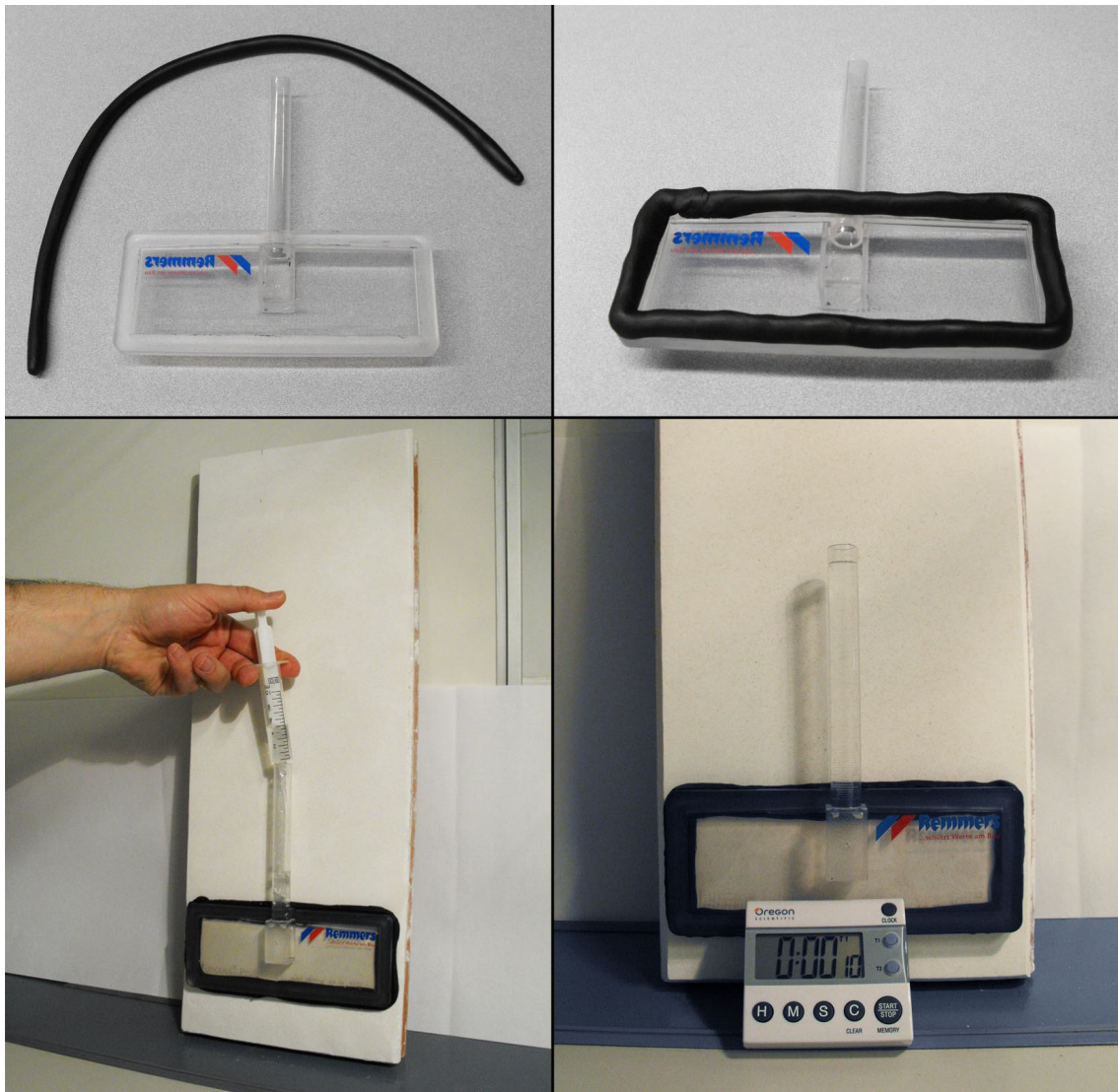


Imagen 57. Procedimiento del ensayo con el tubo de Karsten.

Esta prueba ha de realizarse en cada una de las probetas al menos dos veces, para asegurar un resultado más fiable (finalmente se calcula el valor promedio). Podemos comprobar cómo esta variación es perceptible entre dos ensayos en la misma probeta, por la diferencia de compactación de los estratos debido a un diferente trabajo con la llana durante la aplicación.

Durante el ensayo, la temperatura del laboratorio era de  $\pm 28^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa del 60%. La temperatura superficial de cada probeta al iniciar el ensayo era de  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ .

Tras extraer una probeta de la cámara de UV, se realiza la primera prueba con el tubo Karsten. Pasados los 15 minutos que dura el ensayo, se vacía el resto de agua, se despegan el tubo y se repite el procedimiento pero en la zona central de la probeta. En algunos casos se realizó una tercera medición en otra zona seca, para poder corroborar los resultados previos, concretamente en los casos del estuco Maltamix® y Gordillo's®.

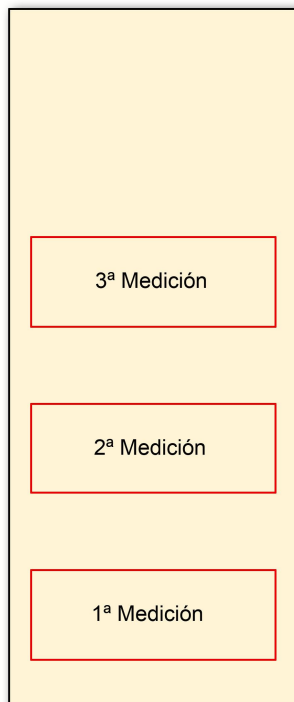


Imagen 58. En este esquema podemos ver la ubicación de donde se tomaron las distintas mediciones.



Imagen 59. Medición de la HR, temperatura de la superficie por contacto y tiempo, durante la segunda medición (aún se aprecia la huella del adhesivo de la primera prueba)

*Determinación de la absorción de agua bajo presión: ensayo con el tubo Karsten*

Tras obtener una media de los resultados en cada uno de los morteros de estuco se extraen los siguientes valores en ml.:

Valores de absorción de agua (ml.). Maltamix					Valores de absorción de agua (ml.). Gordillo's				
	0 min.	5 min.	10 min.	15min.		0 min.	5 min.	10 min.	15min.
1ª Medición	0	5	7,5	8,5	1ª Medición	0	2,5	4	5
2ª Medición	0	1,5	2,5	3,5	2ª Medición	0	1,7	2,7	3,4
3ª Medición	0	2	3	4	3ª Medición	0	3	5	6,5

Valores de absorción de agua (ml.). Punto Cal					Valores de absorción de agua (ml.). Unicmall				
	0 min.	5 min.	10 min.	15min.		0 min.	5 min.	10 min.	15min.
1ª Medición	0	2	2,7	3,3	1ª Medición	0	9,5	14,5	18
2ª Medición	0	2	3	3,5	2ª Medición	0	9,5	13	15,5

Valores medios de absorción de agua por cada probeta de estuco de los morteros (ml.)				
Tiempo	0 min.	5 min.	10 min.	15min.
Maltamix	0	2,83	4,33	5,33
Gordillo's	0	2,4	3,9	4,96
Unicmall	0	9,5	13,75	16,75
Puntocal	0	2	2,85	3,4

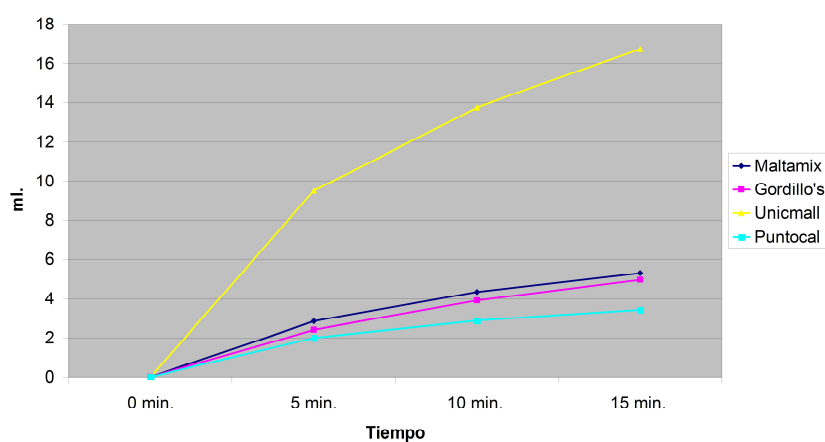


Imagen 60. Gráfica donde se muestra la absorción en cada uno de los morteros

Como vemos, el mortero con una absorción mayor ha sido el mortero comercializado por Unicmall®. Sin embargo, podemos afirmar que se trata de una medición errónea, no por un fallo durante el experimento, sino porque este estuco presentaba una fisuración por exceso de grosor que era visible en los laterales y no en la zona central. Aún así, al colocar el tubo Karsten en la

zona central de la rasilla, también se ha evidenciado una alta absorción, lo cual significa que también debe haber fisuración, de tipo microscópico, imperceptible a simple vista.

Con respecto a los demás morteros, la absorción es muy similar, destacando entre ellos el Maltamix® seguido muy de cerca por Gordillo's® y el menos permeable, el Puntocal®.





### c.5. Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal<sup>90</sup>.

Para determinar la resistencia de las probetas a la abrasión comprobando su dureza y grado de compactación se ha utilizado un sistema mecanizado que produce una abrasión en la superficie a una velocidad y con una duración en ciclos determinada. Este aparato tiene un funcionamiento relativamente simple. Consta de un brazo horizontal que es el que proporciona el movimiento lineal característico del dispositivo, con un desplazamiento de “ida y vuelta”. Este brazo sostiene una barra vertical en cuyo extremo son fijadas las puntas abrasivas intercambiables, con la ventaja de que esta barra no está fijada, sino que se puede mover libremente de arriba a abajo, adaptándose durante el ensayo a la topografía del objeto<sup>91</sup>.

El abrasímetro permite ser programado para controlar la cantidad de ciclos, los cuales comienzan en un punto inicial, se desplaza unos 5 centímetros en línea recta y vuelve de nuevo a dicho punto. También se puede controlar la velocidad a la que se produce este movimiento de desplazamiento abrasivo sobre la superficie en ciclos por minuto.



Imagen 61. Abrasímetro lineal durante el ensayo sobre una de las probetas. El movimiento del brazo horizontal es de izquierda a derecha con una distancia entre un punto y otro aproximadamente de 5 cm.



Imagen 62. Detalle de la barra vertical que apoya su peso libre sobre la superficie de contacto.

Este ensayo no está regulado por normativa, sin embargo, los resultados obtenidos permiten aportar información útil y concluyente para nuestro estudio, sobre la superficie de estos morteros.

Las puntas o tacos abrasivos utilizados fueron las que nos proporciona el fabricante y específicos para el aparato, en total usamos tres modelos, de diferente dureza.

La primera de ellas, el modelo CS-8, es un conglomerado con gran proporción de resina (lo que

<sup>90</sup>Abrasímetro lineal TABER®, modelo 5750.

<sup>91</sup>Taber Industries. [en línea]. <<http://www.taberindustries.com/linear-abraser>> [Consulta: 20 de junio de 2013]

*Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal*

permite que sea flexible al tacto) y polvo abrasivo muy fino. La segunda utilizada está clasificada dentro del grupo de las duras, la H-10, que al contener mayor proporción de abrasivo fino que de resina es más rígida. Y por último, se hizo una última prueba en cada una de las probetas con la punta H-22, también con mayor proporción de abrasivo, siendo además de grano grueso, lo que incrementa el poder de abrasión sobre la superficie.



Imagen 63. Detalle de los tacos o puntas abrasivas blandas, ordenadas de izquierda a derecha de menor a mayor dureza. El de la izquierda es el único que no contiene partículas de abrasivo.



Imagen 64. Detalle de los tacos abrasivos duros, de menor a mayor dureza. El de la derecha es el único que no contiene carga de resina.

Tras la realización del ensayo, podemos comprobar a simple vista ayudándonos de varios tipos de iluminación, los resultados de los distintos abrasivos sobre cada superficie.

Como vemos en la imagen \* (la de la derecha), la punta más blanda (CS-8) fue la primera que se utilizó, para cada una de las cinco abrasiones de la zona A.

La segunda serie de ciclos del abrasímetro fue en la zona B usando uno de los abrasivos duros (H-10). Finalmente en la zona C, para percibir de una forma más contundente la diferente resistencia superficial a la abrasión de los morteros, se usó uno de los tacos más duros, con un grano de abrasivo más grueso que el anterior (H-22).

El aparato fue programado de la siguiente forma según la zona (en cada lugar, A, B o C, una boca abrasiva diferente):

Ciclos de abrasión en cada una de las zonas A y B	
Línea de abrasión 1	10 ciclos a 15 ciclos / min.
Línea de abrasión 2	20 ciclos a 15 ciclos / min.
Línea de abrasión 3	30 ciclos a 15 ciclos / min.
Línea de abrasión 4	40 ciclos a 15 ciclos / min.
Línea de abrasión 5	50 ciclos a 15 ciclos / min.

Ciclos de abrasión en la zona C	
Línea de abrasión 1	20 ciclos a 15 ciclos / min.

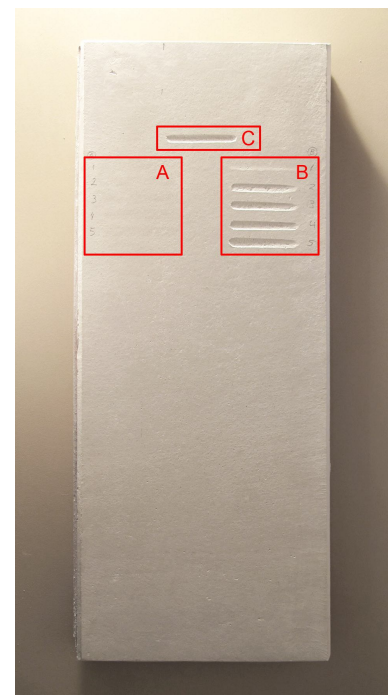


Imagen 65. Marcado de las zonas donde se realizó la abrasión con diferentes puntas abrasivas (3 en total)



*Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal*

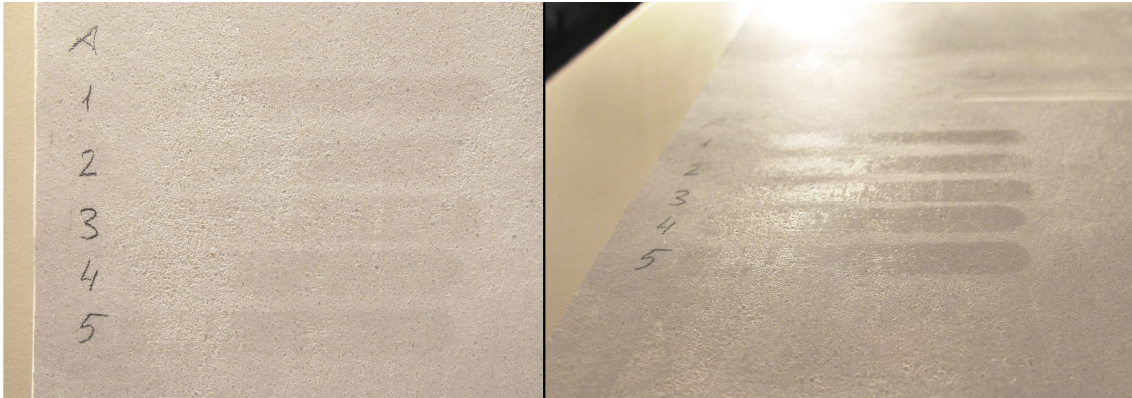


Imagen 66. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. Maltamix®

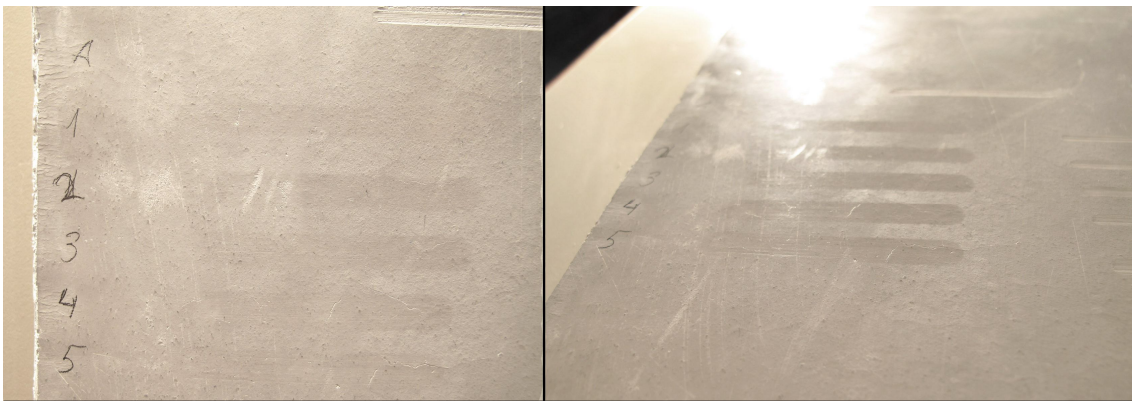


Imagen 68. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. Puntocal®



Imagen 69. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. Gordillos®

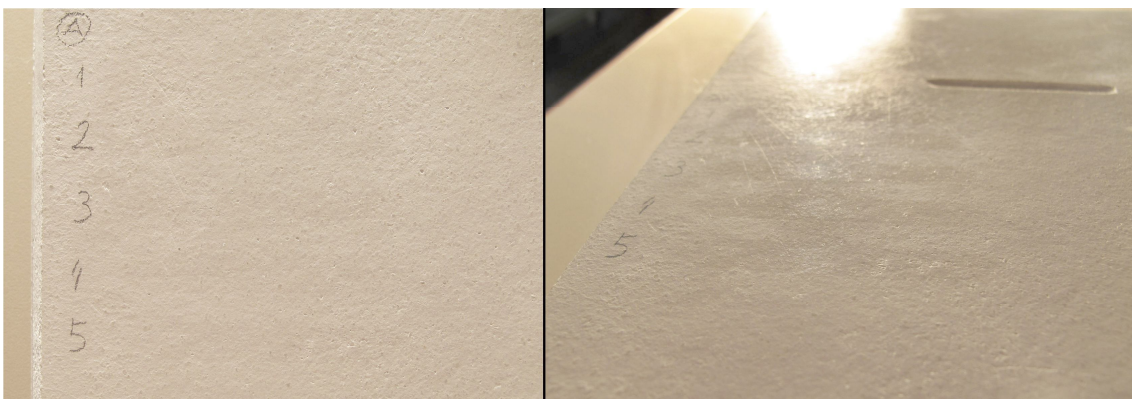


Imagen 70. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. Unicmall®



*Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal*

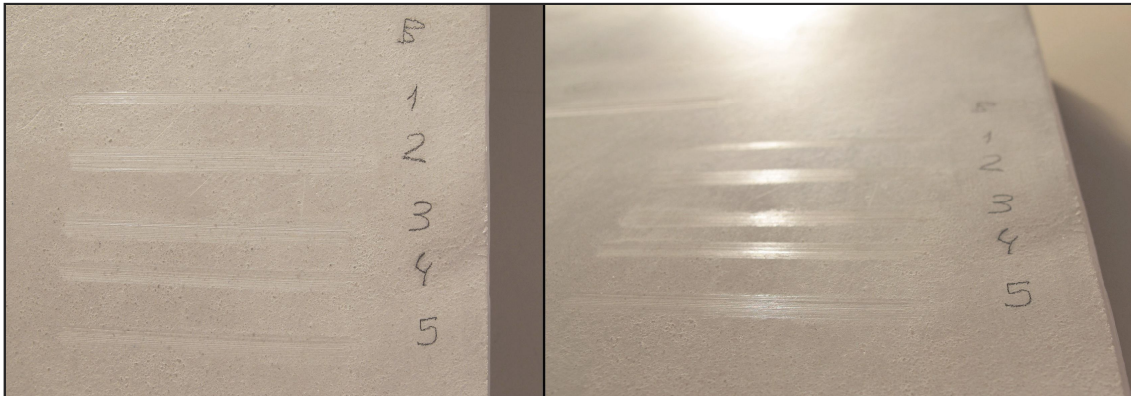


Imagen 71. Detalle de la zona B tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. MaltamixR



Imagen 72. Detalle de la zona B tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. PuntocalR

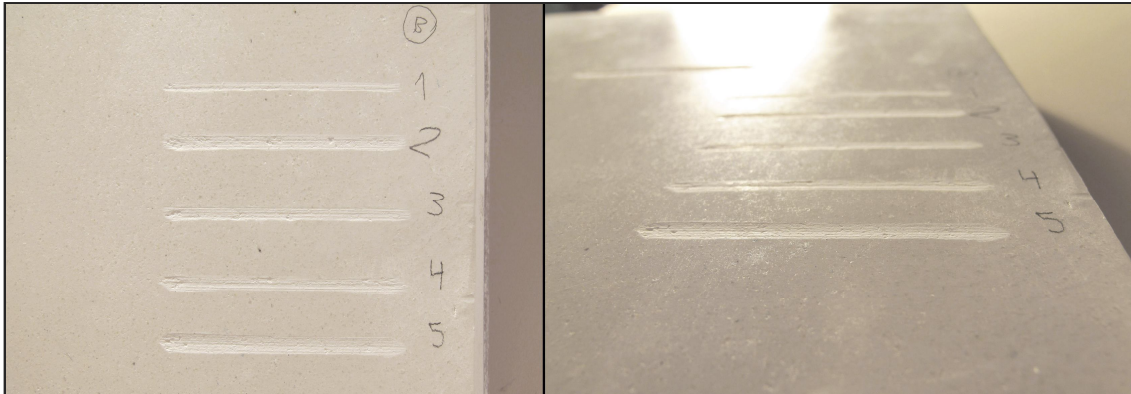


Imagen 73. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. GordillosR

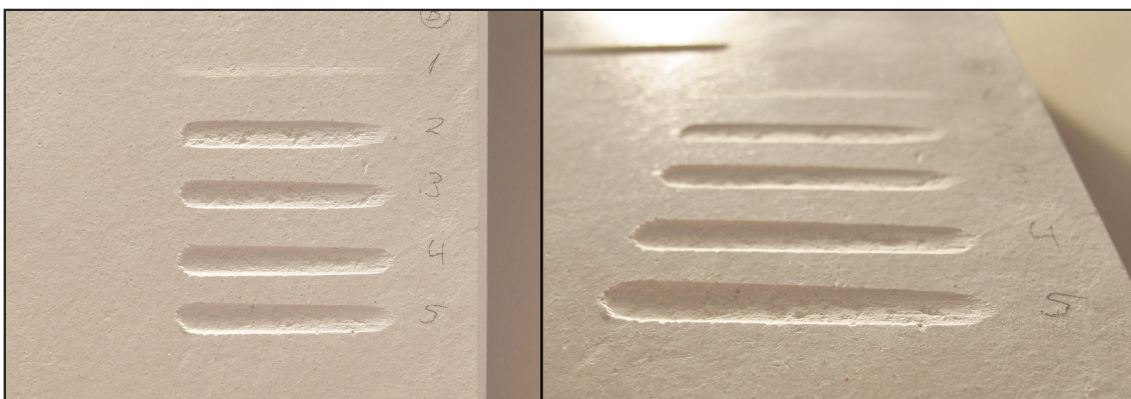


Imagen 74. Detalle de la zona A tomada con luz rasante y enfoque perpendicular y oblicuo. UnicmallR

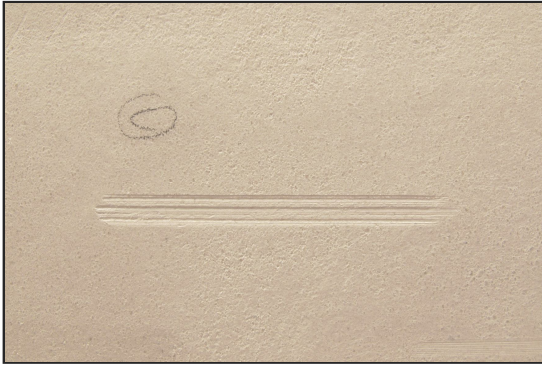


Imagen 75. Detalle de la zona C tomada con luz rasante y enfoque perpendicular. MaltamixR

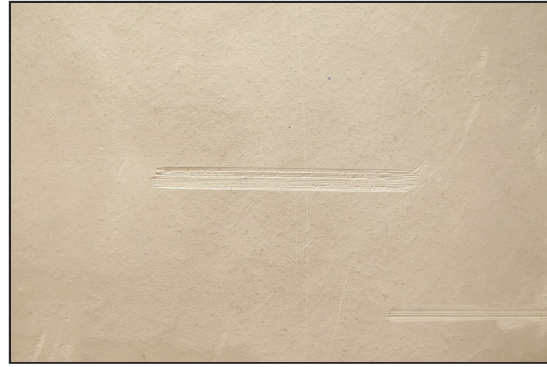


Imagen 76. Detalle de la zona C tomada con luz rasante y enfoque perpendicular. PuntocalR

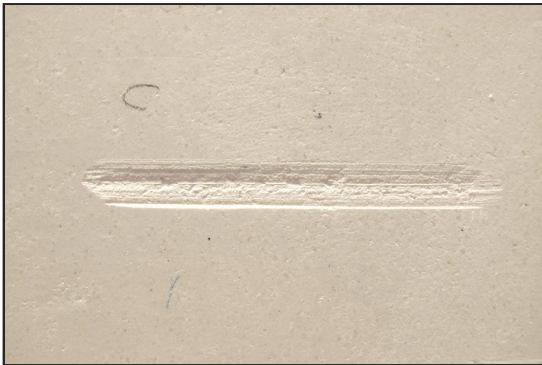


Imagen 77. Detalle de la zona C tomada con luz rasante y enfoque perpendicular. GordillosR



Imagen 78. Detalle de la zona C tomada con luz rasante y enfoque perpendicular. UnicmallR

En primer lugar, observando los resultados de la zona A, podemos ver como con las fotografías tomadas a luz rasante de la superficie apreciamos tan sólo un leve cambio óptico de la misma como resultado de la abrasión, y no en todas. Sin embargo, en las imágenes de la derecha de cada uno de los morteros, puesto que el enfoque se realiza de forma oblicua y se está utilizando en todo momento una luz rasante para incrementar la percepción, si que apreciamos claramente el resultado de la prueba.

En todos los casos, el resultado de esta primera secuencia de ciclos de abrasión con el cabezal más blando de los tres utilizados, ha sido un pulido de la superficie, lo que es apreciable por el brillo más o menos notable que han adquirido todas las probetas al final del ensayo. De los cuatro, el que mayor brillo presenta es el que se realizó con Puntocal, destacándose de los demás. Los dos siguientes en presentar un brillo similar son el de mortero Maltamix y Gordillos. Finalmente el que menos brillo presenta es el Unicmall, con una aspecto más satinado, cercano al aspecto general de la superficie sin tratar. Por último, en ninguno de los cuatro estucos distinguimos diferencia al tacto al rozar la superficie.

En la segunda secuencia de abrasión o zona B, al utilizar un abrasivo diferente, de mayor dureza, podemos apreciar una diferencia con la anterior, siendo perceptible incluso al tacto.



*Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal*

De las cuatro probetas, encontramos una diferencia clara entre el mortero Unicmall y Gordillo del Maltamix y Puntocal, y es por la mayor resistencia de estos dos últimos a la abrasión, por presentar una mayor cohesión a nivel interno. Esto se hace evidente aparte de por la diferencia en la pérdida de material, porque en las hendiduras o surcos provocados por el cabezal abrasivo sobre los estucos de Maltamix y Puntocal, se aprecia un pulimentado interno, no siendo así en las muestras de Unicmall y Gordillos pues el material se pierde quedando los surcos menos regulares y cohesionados.

Donde más se ha constatado la pérdida de material ha sido en el estuco realizado con Unicmall. Le sigue el de Gordillo, y aunque hay similitud entre Maltamix y Puntocal, es el primero el que, de los cuatro, ha sufrido menor erosión en su superficie, no obstante, como en los demás casos, apreciamos la abrasión incluso al tacto.

Finalmente, la última de las pruebas ha sido realizada con el cabezal abrasivo más duro de los tres usados (Zona C). En este caso, no es necesaria una fotografía de enfoque oblicuo, pues manteniendo el foco perpendicular a la superficie, con una luz rasante ya apreciamos el efecto de la abrasión. El resultado es semejante al producido en los casos previos, aunque de mayor profundidad, si tenemos en cuenta que solo se ha incidido con 20 ciclos sobre este espacio, sin llegar a los 50 ciclos como se ha llegado en algunos casos de las zonas anteriores.

### 5.3. Discusión de los resultados

#### a. Ensayo de envejecimiento acelerado en atmósfera sulfurosa (SO<sub>2</sub>)

En todas las muestras apreciamos en mayor o menor medida una tonalidad amarillenta (en el caso de la probeta de Gordillo's, esta coloración se encuentra bajo la capa superficial de sales blanquecinas). Ésta se debe a la deposición superficial de trazas de azufre (color amarillo y brillo resinoso), que aparece en forma de sulfatos.

En cuanto a la diferencia en la tonalidad amarillenta adquirida por las probetas, la probeta menos afectada es la del mortero Punto Cal. Podemos deducir que la presencia de un mayor tanto por ciento de aditivo sintético de carácter resinoso al haber realizado una función impermeabilizante ante la penetración del agente corrosivo.

En relación a la porosidad de los morteros, queda constatado que la probeta con mayor porosidad inicial ha sido la de Maltamix TG, donde el acceso del agente degradante ha llegado hasta casi el núcleo del prisma del mortero. El aumento de volumen dentro de los poros (que provoca la cristalización posterior de los sulfatos al reaccionar con la matriz carbonática de la muestra) ha ocasionado una fragmentación evidente con pérdida de material. En este caso, entendemos que esta porosidad excesiva del mortero puede estar relacionada con una insuficiente compacidad aportada al mortero fresco durante el enmoldado de las probetas. Y por otra parte, una insuficiente dosificación de áridos finos en relación a los gruesos en la masa total del mortero, proporcionado por el fabricante.

Por otro lado, se evidencia una relación directa entre la porosidad del mortero y su grado de alteración (por la formación de cristales de sulfatos entre otros compuestos). Es debido al aumento de peso de la muestra: a mayor porosidad, mayor degradación, y mayor grosor de la costra de cristalización entre los poros, aumentando el peso.

Se ha constatado la influencia de los componentes del mortero (conglomerante, árido, aditivos) en relación a la formación de diferentes tipos de cristales. En todos los casos, han quedado englobadas las muestras en mayor o menor medida, por la nueva formación de cristales de yeso (sulfatos de calcio de varios tipos). Sin embargo, se aprecian al microscopio diferencias morfológicas y cromáticas (dos estratos de cristalización superpuestos en el mortero Gordillo's) entre los cristales formados.

Con respecto a la resistencia mecánica, en estudios previos<sup>92</sup> se evidencia (en casos de degradación acelerada en medio corrosivo de SO<sub>2</sub>), un descenso de la resistencia mecánica a la compresión. En este caso, la resistencia que se ha experimentado es a la abrasión en superficie, donde se ha demostrado un aumento evidente de dicha resistencia. Excepto en la probeta del

---

<sup>92</sup>LANAS GONZÁLEZ, Javier; GARCÍA CASADO, P. J.; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. Op. Cit. pp. 1,2

mortero Gordillo's, que ha descendido debido a que presenta en superficie un tipo de cristalización diferente a las otras muestras, más incoherente. Este aumento se debe a la gran compacidad que ha adquirido la superficie de las muestras, motivada por la nueva cristalización entre los poros del material.

#### **b. Ensayo de envejecimiento acelerado por humedad-temperatura**

De este ensayo, a diferencia del anterior, no obtenemos unos resultados relevantes. Tan sólo podemos deducir, en referencia al pesado comparativo de las probetas con las muestras de control, que éste podría deberse a un aumento leve en el índice de carbonatación durante su estancia en el interior de la cámara (que contiene CO<sub>2</sub> ambiental en su interior). En posteriores investigaciones se aumentará la cantidad de ciclos, para provocar mayor estrés en el material.

#### **c. Determinación de la absorción de agua por capilaridad**

En este ensayo lo primero que cabe destacar es el comportamiento tan irregular en relación al índice de absorción en probetas del mismo tipo de mortero. Como comentamos en el apartado descriptivo sobre el ensayo y sus resultados, es muy probable que el motivo sea la diferente compacidad entre estas probetas. Esto se debe al proceso de enmoldado de las probetas, pues al estar tan viscoso el mortero, tienden a quedar huecos de aire en el interior. Por la comentada viscosidad, si se dejaba caer el molde para eliminar estas oquedades, como suele ser habitual en procesos de coladas y enmoldados, aparecerían otros huecos diferentes, por ello se desestimó el procedimiento, sustituyéndolo por un "sobado" con la varilla fina de punta roma, junto a leves movimientos vibratorios. Apreciamos un claro ejemplo de este problema en una de las probetas de Unicmall, por un repentino cambio de mantenerse seca y absorber agua hasta casi su saturación en un margen de media hora.

Respecto a los resultados del ensayo, en primer lugar, comprobamos que el mortero que absorbe mayor cantidad de agua tras finalizar el ensayo es el Maltamix TG, con lo que se confirma un dato que ya quedó demostrado en el ensayo de corrosión por SO<sub>2</sub>, la gran porosidad de este mortero. Al ser más poroso, la red capilar interna admite mayor cantidad de agua, lo que no ocurre en morteros más compactos.

De forma opuesta, en las tres probetas del mortero Maltamix TM se obtienen los valores más bajos de absorción, seguido del mortero Punto Cal. Tengamos en cuenta que estos morteros e tienen una dosificación idéntica a los demás, en la relación árido - conglomerante y en la curva de granulometría o tamaño de los áridos, pues fueron los primeros pasos que realizamos al confeccionar las probetas. La única diferencia con respecto a los demás morteros es la pasta

conglomerante (que incluye los aditivos), y en el mortero Maltamix TM, la misma cantidad en peso de árido procedente de fábrica que del añadido por nosotros. Como advierte el fabricante de este mortero, el árido predosificado en el mismo es una mezcla de árido calcítico y silíceo. Recordemos que el que nosotros formulamos era íntegramente mármol triturado.

Por tanto, por esos resultados, podemos deducir que la presencia de aditivos sintéticos ha influido en la porosidad final de estos morteros (Maltamix TM y Punto Cal), no siendo así en Maltamix TG, debido a su mayor porosidad ante una deficiente proporción de áridos finos.

#### **d. Fotografía en detalle con iluminación UV**

De este sorprendente descubrimiento, desconocemos si fue una pretensión del fabricante de este mortero, o es sólo fruto de la casualidad. No obstante, recordemos que en la ficha técnica del fabricante, este mortero contiene arena de río y mármoles microtriturados, de modo que alguno de ellos es el que produce la fluorescencia.

Con respecto al hecho de poder percibir de forma diferente la presencia de este mortero en una obra de restauración encontramos un precedente en una investigación<sup>93</sup> sobre morteros de yeso para restauración, en operaciones de reintegración volumétrica. En este estudio, puesto que se trata de un mortero que en principio carece de árido, se ha propuesto como método de discernibilidad en la reintegración, introducir un producto en suspensión en la pasta de yeso el cual, una vez endurecido el mortero, pueda ser perceptible mediante iluminación UV.

#### **e. Fotografía al microscopio de la superficie de los estucos**

Al observar las cuatro imágenes, correspondientes a las superficies de cada uno de los estucos, apreciamos una diferencia clara entre uno de ellos con respecto a los demás. Se trata de la superficie del estuco confeccionado con el mortero predosificado (con árido incluido) Maltamix TM. Durante el proceso de realización de los estucos pudimos comprobar como la última capa y definitiva del estuco, la que se pulimenta, posee mayor cantidad de conglomerante en relación con el árido. Sin embargo, al inicio de este estudio, se determinó que el predosificado Maltamix TM tenía una dosificación árido-conglomerante de 1:1 en peso. Con esto queda demostrado el por qué apreciamos mayor cantidad de áridos en superficie en el Maltamix TM en comparación con el resto.

---

<sup>93</sup>RUBIO DOMENE, Ramón Francisco. "Innovaciones de la Alhambra. Nuevos materiales en la aplicación de morteros tradicionales de Restauración". pp. 102-113.

#### **f. Envejecimiento por UV: Resultados obtenidos con el colorímetro**

Sobre los resultados del colorímetro, se aprecia claramente como en el caso de los dos morteros aditivados (Maltamix y Punto Cal), la exposición a la luz UV ha provocado un aumento considerable de su blancura, en relación a los dos morteros naturales (Gordillo's y Unicmall).

En torno a los valores que determinan el color, lo más llamativo es que la pareja de estucos de morteros aditivados tras la exposición al UV tienden al verde, contrariamente a lo que ocurre en los naturales, con tendencia al rojo. No hay apenas diferencia en las tonalidades de amarillo-azul.

#### **g. Determinación de la absorción de agua bajo presión: ensayo con el tubo Karsten**

Tras realizar las diferentes mediciones de absorción, se pudo demostrar la importancia que adquiere el proceso de aplicación de este tipo de revestimientos de cara a sus propiedades finales como mortero endurecido. Nos referimos en particular al proceso de repretado, constatando que en las zonas donde se habían realizado menos pasadas y presión (en los bordes), la absorción era mayor, debido a una mayor porosidad. Se establece una relación inversa entre el repretado y la porosidad que puede adquirir el revestimiento.

Comparativamente, entre los morteros se aprecia una absorción muy exagerada en el mortero Unicmall. La causa está en un fallo durante la ejecución de las probetas. En esta probeta, que fue de las primeras en ejecutarse, el grosor de la primera capa de estuco debió de ser más gruesa que en el resto de casos, por lo que tras el endurecimiento, se pudo apreciar un cuarteado en los bordes sin riesgo de desprendimiento. Al haber microfisuras,, que han provocado un acceso directo del agua al interior del revestimiento, pudiendo haber contactado incluso con el soporte.

En este ensayo el mortero que destaca por tener una absorción claramente inferior al resto es el Punto Cal, lo que demuestra su mayor proporción de aditivos sintéticos en su composición, que lo vuelven más hidrorrepelente.

#### **h. Determinación de la dureza superficial: ensayo con abrasímetro lineal**

En este ensayo se ha podido apreciar una diferencia en la respuesta a la abrasión entre los morteros estudiados, según la presencia o no de los comentados aditivos sintéticos. Tras examinar las hendiduras provocadas por la abrasión, se aprecia mayor cohesión en las probetas de Maltamix y Punto Cal, lo que demuestra la presencia de estos aditivos. En este caso, cumplen una función adhesiva, por mantener bien cohesionados los áridos tras la abrasión y mostrar un



cierto brillo a causa de rellenar internamente los poros del material.

Sin embargo, pese a que en los ensayos previos aparentemente presenta mayor cantidad de aditivo sintético el mortero Punto Cal, en este caso, ha resistido mejor la abrasión el estuco de Maltamix. Se debe a que como pudimos ver en los resultados de las fotografías al microscopio de la superficie de los estucos, el Maltamix era de todos, el que mayor dosificación de árido presenta en superficie. Esto le ha aportado mayor dureza superficial, contrarrestando la menor proporción de aditivo sintético con respecto al estuco Punto Cal.

En relación a la mayor abrasión que ha sufrido el mortero Unicmall frente al Gordillo's, podemos explicarlo por la menor compacidad (como pudimos comprobar en el ensayo del tubo Karsten, existe microfisuración) así como también porque la textura superficial en el estuco Unicmall es algo más rugosa que en el Gordillo's (motivos técnicos de aplicación del mortero).



## 6. Conclusiones

En relación a los objetivos propuestos al inicio de este estudio, destacábamos realizar una comparativa entre morteros de enlucido para restauración, seleccionando varios morteros predosificados comerciales y conglomerantes tradicionales. Tras el estudio experimental se ha podido llegar a una serie de conclusiones iniciales que diferencian a estos materiales desde el punto de vista de sus propiedades. Por otra parte también hemos encontrado analogías entre ellos, puesto que los morteros predosificados que se han seleccionado están diseñados para cumplir unos requisitos que son los habituales en morteros naturales.

Centrándonos en los aspectos que los diferencian podemos encontrar que por norma general, los morteros predosificados tienen un menor índice de absorción de agua, probablemente debido a que su porosidad se encuentra en cierta medida cubierta por la resina aditivada. En uno de los morteros, esta medida es más evidente (en Punto Cal), sin embargo los otros dos (Maltamix TG y TM) mantienen una porosidad relativamente similar a la de las cales naturales.

En los resultados de la resistencia a la abrasión, se pudo comprobar la presencia de resinas que han cumplido una función adhesiva y cohesiva en los estucos de Maltamix (TG + TM) y Punto Cal, ya que en comparación con los naturales, presentan mayor resistencia a la abrasión y una menor pérdida de partículas del mortero.

En relación a la influencia del tamaño de partícula de los áridos en morteros predosificados con la misma pasta conglomerante, se ha estudiado a partir de la comparativa entre el mortero Maltamix TG y TM que a través de los ensayos realizados se ha comprobado que el Maltamix TG tiene mayor porosidad que el resto. Sin embargo, hemos concluido que ésta no se debe a que contenga partículas de mayor tamaño, sino a que entre ellas, se aprecia una falta de partículas finas que rellenen los huecos dejados por las gruesas.

En el ensayo de corrosión por SO<sub>2</sub> se ha podido constatar una cristalización de sulfatos con diferente morfología, lo que supone una diferencia en el sustrato sobre el que se desarrollan. Este ensayo ha servido para diferenciar la cal comercializada por la empresa Gordillo's y la cal comercializada por Unicmall, ambas cales naturales sin aditivos pero que sin embargo han mostrado una diferente composición química en la matriz del mortero, motivando la precipitación de sulfatos de distinta morfología cristalina.

Al someter las probetas de estucos al envejecimiento por radiación UV, se ha comprobado una diferencia especialmente en relación a la luminosidad, mayor blancura, que han adquirido las probetas confeccionadas con morteros predosificados, en relación a una casi imperceptible variación, hacia el blanco de los naturales.

Sobre la aplicación de los morteros, durante el proceso de elaboración de las probetas en soporte cerámico, se pudieron contrastar la trabajabilidad y comportamiento de cada uno de los morteros que se han estudiado. En primer lugar, destacamos la diferencia entre el uso de morteros con el

---

*Conclusiones*

árido incluido en la mezcla y los conglomerantes naturales o predosificados (aditivados con resinas). Nos referimos a que en la elaboración de las masas de mortero para los estucos, en la última capa, para conseguir una superficie lisa y brillante, se necesita añadir mayor dosificación de conglomerante, en relación con el árido.

Por tanto, en morteros como el Maltamix TM, esto es imposible, puesto que trae dosificado el árido en la mezcla ( a una dosif. 1:1 en peso). Finalmente, este hecho asegura un buen trabajo a un aplicador inexperto, pues con mayor dosificación de árido es menos probable que se produzca retracción y cuarteado en superficie por un exceso de cal.

Por otra parte la aportación "extra" de árido puede ser un inconveniente si queremos conseguir el acabado pulido de la superficie, pues se ha comprobado que de todos los estucos que se han realizado, el de Maltamix TM (el Maltamix TG queda en capas subyacentes), es el que tiene menos cualidades de brillo. Se debe a que durante la aplicación de la última capa de enlucido en el estuco, la lechada de cal que exuda el mortero (dosificado con mayor proporción de cal) durante el repretado final es la que nos aportará el brillo del estuco.

No obstante, al contener mayor cantidad de árido superficialmente, aportamos resistencia y dureza al revestimiento, como se pudo comprobar en la resistencia a la abrasión, donde el estuco Maltamix presentó la mayor resistencia de todos.

Si comparamos finalmente la aplicación entre los morteros naturales y el mortero creado con el conglomerante Punto Cal, apreciamos una diferencia de plasticidad en la que Punto Cal presenta una excesiva adhesividad, debido a las resinas aditivadas. Esta fuerte adhesividad al contacto con la llana metálica durante el pulido final, provoca que queden marcadas las pasadas de la herramienta, por quedar pegado el conglomerante. Este problema no ocurre en los morteros tradicionales, donde fluye mejor la llana sin dejar marcas.

Sobre la realización de probetas según los tamaños que indica la normativa tecnológica, ha quedado patente una clara falta de revisión en referencia a la metodología indicada, ya que plantea muchos problemas prácticos durante la elaboración de las probetas según los parámetros establecidos.

Por otra parte, en determinados casos como en nuestra investigación, exige adaptarnos a medidas irreales desde el punto de vista del estudio de los morteros realizados con cales aéreas para revestimientos enlucidos. Los fabricantes de los morteros predosificados que se han investigado, recomiendan no utilizar en grosores mayores a 5 mm. por aplicación (Maltamix TM), de forma que la realización de ensayos con probetas prismáticas no se adapta en ningún modo a la realidad ni a los fines para los que están diseñados estos morteros. Por ello, se tuvo que aumentar la concentración de árido también en este mortero (Maltamix TM), alterando así la dosificación dada por el fabricante.

En relación a la tipología de los moldes a utilizar con los morteros aéreos, podemos afirmar que la tipología de molde utilizado para esta investigación no ha sido el más adecuado por los motivos

que vamos a explicar. En primer lugar, para morteros aéreos es más recomendable utilizar moldes de dos aperturas, para que permita un procedimiento como el que indica la norma UNE-EN 1015-11<sup>94</sup>, donde establece la eliminación del exceso de agua de amasado del mortero, evitando así, particularmente en los morteros de cal aérea, la retracción inicial por dicha pérdida. En segundo lugar, se desaconseja este tipo de moldes (con una sola apertura por la que se introduce o vierte el mortero) especialmente en casos de tamaños de probeta mayores a 2 cm. de grosor dentro del molde ya que el tiempo necesario para que se produzca el endurecimiento necesario para extraerla del molde se prolonga demasiado. De cualquier modo, esta metodología está fuera de la normativa, ya que al prolongar el tiempo de curado en el molde, no se respetan los tiempos establecidos en normativa, donde se indican los días en cámara húmeda enmoldada, fuera del molde y finalmente fuera de la cámara durante el tiempo establecido. Incluso se consigue un frente de carbonatación más irregular debido a que el acceso de aire se produce en mayor medida por una de las caras. Por otro lado, aunque preparemos una mezcla con la cantidad justa de agua, por norma general, en cal aérea, es habitual una disminución del volumen en la probeta, lo que provocará una pérdida de la geometría del prisma, donde sus caras deben ser, por norma, perfectamente paralelas.

Finalmente, encontramos que tras los ensayos realizados, salvo el conglomerante Punto Cal (que presenta unas cualidades más aptas para ser utilizado como pintura o enjalbegado<sup>95</sup> a la cal) extraemos que todos los morteros analizados pueden cumplir con buenos resultados las intervenciones que se requieran de conservación y restauración de estucos o enlucidos. No obstante, debemos tener en cuenta las necesidades concretas de cada intervención. Por ejemplo, el tipo de acabado que se requiera motivará el uso de un predosificado con unos áridos de menor granulometría, o si se prefiere escoger el mortero pigmentado en masa desde la fábrica.

Por otra parte, de este estudio extraemos que de forma general, los morteros predosificados suelen ser aditivados con resinas y derivados sintéticos orgánicos. Por ello, cabe plantearse evaluar en nuevos estudios la posibilidad de aditivar los morteros en lugar de con estos productos sintéticos, mediante el uso de los aditivos tradicionales, de origen natural y procedencia orgánica o inorgánica. De este modo podríamos intentar recuperar los conocimientos y experiencias prácticas que fueron perdiéndose junto al uso de la cal para revestir y embellecer los monumentos.

---

<sup>94</sup>AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. UNE-EN 1015-11. En la norma se detalla el procedimiento mediante el cual, interponiendo entre la superficie de la probeta varias capas de gasa y papel absorbente sustentado por placa de vidrio, permite voltear el conjunto del molde para repetir el procedimiento por la cara opuesta (ya que se trata de un molde normalizado desmontable con dos aperturas). p.8

<sup>95</sup>El enjalbegado es una técnica decorativa mural asociada a la cal, se trata de una pintura a la cal con una carga de áridos finos, normalmente calcínicos, para aportar cuerpo a la pintura. Es más consistente y duradera que el encalado.





#### IV. Bibliografía

ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Historia, caracterización y restauración de morteros". Universidad de Sevilla. Edita: Secretariado de publicaciones. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla, 2002. ISBN: 84-472-0773-0

ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco Javier. "Sobre la elección de arenas y cales en la elaboración de morteros y sus propiedades". Ponencias de las II Jornadas FICAL, abril 2011. Edita: UPC - Grup de Recerca GICITED. Barcelona, 2003.

ARANDIGOYEN VIDAURRE, Mikel; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Proceso de carbonatación en pastas de cal con distinta relación agua/conglomerante". Edita: Materiales de Construcción. (CSIC) Vol. 56. nº281. 2006. ISSN: 0465-2746.

ARGANO, Sonia; GUIXERAS, Montserrat. "Cal aérea en pasta. Apuntes para su buen uso". Edita: Joystuc. Barcelona, 2009. ISBN: 978-84-6/3-5595-2

ARMESTO DÍAZ, José Antonio; ARILLA AGÓRRIZ, Elías. "La Cal". Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Edita: Servicio de Publicaciones Universitat Politècnica de València. Valencia, 1999. S.P. U.P.V.-99.281

AZNAR MOLLÁ, Juan; PITARCH ROIG, Ángel M.; VALIENTE SOLER, Juan M. "Materiales de construcción: Yesos, cales y cementos. Fundamentos". Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Edita: Servicio de Publicaciones Universitat Politècnica de València. Valencia, 2006. Ref.: 560

BARAHONA RODRÍGUEZ, Celia. "Técnicas para revestir fachadas". Edita: Munilla-Lería. Madrid, 1999. ISBN: 84-891150-34-6

BARREDA USÓ, Gemma. "Investigación de tratamientos de consolidación del soporte rocoso. Abric de Pinos (Benissa-Alicante).Diploma de Estudios Avanzados Inédito. Universitat Politècnica de València. Valencia, 2012.

CABRERA GARRIDO, José María. "Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a monumentos hechos con piedra". Edita: Revista Materiales de Construcción (CSIC) nº 174. 1979 ISSN: 0465-2746

CASADIO, F; CHIARI, G; SIMON,S. "Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: A comparative assesment of chemical, mechanical and microscopic approaches". Edita: Archaeometry 47, 4. 671-689. 2005. ISSN: 1475-4754

CAZALLA VÁZQUEZ, Olga. "Morteros de Cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico". Tesis doctoral inédita. Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada. Granada, 2002.

CAZALLA VÁZQUEZ, Olga. [et al.] "Aging of Lime Putty: Effects on Traditional Lime Mortar

*Bibliografía*

Carbonation". Edita: Journal of the American Ceramic Society Vol 83 nº 5. 1070-76. 2000. ISSN: 1551-2916

ESPUGA BELLAFONT, Jaume; BERASATEGUI BERASATEGUI, Delfina; GILBERT ARMENGOL, Vicenç. "Revoques y estucados: teoría y práctica". Edita: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 1999. ISBN: 84-8301-284-7

GÁRATE ROJAS, Ignacio. "Artes de la cal". Edita: Editorial Munilla - Lería. Madrid, 2002. ISBN: 84-89150-50-8

GARCÍA Y CONESA, Oriol. [et al.] "Guía práctica de la cal y el estuco". Edita: Editorial de los oficios de León. León, 1998. ISBN: 84-930427-0-6

GÓMEZ RUBIO, Raquel. "Revisión de los estabilizadores de los rayos UV en un sistema de barnizado como el multicapa". Trabajo de Fin de Máster inédito. Universidad Politécnica de Valencia.

GONZÁLEZ MARTÍN, Jesús. "Revestimientos continuos. Tradicionales y modernos". Edita: Fundación Escuela de la edificación. Madrid, 2005. ISBN: 84-86957-97-4

IZAGUIRRE ESEVERRI, Ana; LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, José Ignacio. "Ageing of lime mortars with admixtures: Durability and strength assesment". Edita: Cement and Concrete Research 40. 1081-1095. 2010. ISSN: 0008-8846

IZAGUIRRE ESEVERRI, Ana; LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, José Ignacio. "Characterization of aerial lime-based mortars modified by the addition of two different water-retaining agents". Edita: Cement and Concrete Composites 33. 309-318. 2011.

JAIME GIMÉNEZ, Ana. "Estudio del efecto de aditivos y adiciones en las propiedades físicas y mecánicas de los morteros". Proyecto Final de Grado inédito. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Politécnica Superior de la Edificación de Barcelona. Barcelona, 2012.

KRÖNER, Stephan. [et al.] "Identificación y Caracterización de materiales pétreos en patrimonio histórico-artístico". Edita: Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2010. ISBN: 978-84-8363-582-7

LANAS GONZÁLEZ, Javier; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior". Edita: Cement and Concrete Research 33. 1867-1876. 2003. ISSN: 0008-8846

LANAS GONZÁLEZ, Javier; GARCÍA CASADO, P. J.; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio. "Evolución mecánica y microestructural de morteros de cal aérea e hidráulica sometidos a ensayos de durabilidad". QUIES 04. Santiago de Compostela. 12-16 Septiembre 2004.

LANAS GONZÁLEZ, Javier; SIREIRA BEJARANO, Rafael; ÁLVAREZ GALINDO, Jose Ignacio.

"Study of the mechanical behavior of masonry repair lime-based mortars cured and exposed under different conditions". Edita: Cement and Concrete Research 36. 961-970. 2006. ISSN: 0008-8846

LLAURADÓ PÉREZ, Nuria. "Vaciados de escayola y corridos de terraja en obras de restauración". Trabajo Fin de Máster inédito. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Madrid, 2011.

MAGALHÃES, A.; VEIGA, R. "Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación". Edita: Materiales de Construcción. (CSIC) Vol. 59. nº295. 2009. ISSN: 0465-2746.

MARTÍNEZ FUENTES, Reyes. "El estuco. Técnica, conservación y restauración: Aplicación a la reintegración del mármol". Tesis doctoral inédita. Universitat Politècnica de València, Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Valencia, 2003.

MARTINS MOREIRA DA SILVA VIEIRA, Eduarda Maria. "Técnicas tradicionales de estucos en revestimientos interiores portugueses. Historia y tecnología. Aplicación a la conservación y restauración". Tesis doctoral inédita. Universitat Politècnica de València, Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Valencia, 2008.

MAS I BARBERÀ, Xavier. "Conservación y restauración de materiales pétreos. Diagnóstico y tratamientos". Edita: Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 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". Tesis doctoral inédita. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de conservación y restauración de Bienes Culturales. Valencia, 2006.

MUÑOZ VIÑAS, Salvador. "La restauración del papel". Edita: Editorial Tecnos (Grupo Anaya S.A.). Madrid, 2010. ISBN: 978-84-309-5112-3

ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Formulación y características. 2ª Parte". Edita: Revista PH (IAPH). nº 35. pp.69-77. 2001.

ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Metodología de estudio sobre morteros en edificios históricos (2ª Parte). Morteros de intervención. Áridos". Edita: Revista PH (IAPH). nº 39. pp. 81-95. 2002.

ONTIVEROS ORTEGA, Esther. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Metodología de estudio. Fundamentos. (1ª Parte)". Edita: Revista PH (IAPH). nº 37. pp. 84-93. 2001

*Bibliografía*

ORTEGA ANDRADE, Francisco. "Humedades en la edificación". Edita: Editan. Sevilla, 1994. ISBN: 84-87005-01-2

RIERA JUAN, Santiago; GONÇALVES SOARES, Miguel Angelo. "Análisis comparativo experimental de algunos morteros de restauración". Proyecto Final de Carrera inédito. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona. Barcelona, 2010.

ROSELL AMIGÓ, Joan Ramon. "Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros". Ponencias de las II Jornadas FICAL, abril 2011. Edita: UPC - Grup de Recerca GICITED. Barcelona, 2003.

ROSELL AMIGÓ, Joan Ramon. "Características reológicas de pastas de cal". Ponencias de las II Jornadas de Investigación en Construcción, 2008. Edita: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid, 2008.

RUBIO DOMENE, Ramón Francisco. "Innovaciones de la Alhambra. Nuevos materiales en la aplicación de morteros tradicionales de Restauración". Edita: Restauración & Rehabilitación. nº 114-115. pp. 102-113. 2011. ISSN: 1134-4571.

SAN MARTÍN ARMIJO, Andrea. "El uso de la pintura a la cal: Ventajas e inconvenientes de su aplicación sobre morteros tradicionales". Trabajo de Fin de Máster inédito. Universitat Politècnica de València. Valencia, 2010.

VVAA. "Aditivos orgánicos en morteros de cal apagada en la edificación histórica". Edita: Ciencia Nicolaita nº 51. 153-166. 2009. ISSN: 0188-9176

VVAA. "Guía práctica para los morteros con cal - ANCADE". Edita: ANCADE (Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España). Madrid.

### **Normativas:**

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Conservación del patrimonio cultural. Método de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. UNE-EN 15801. Madrid: AENOR, 2010.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de las partículas. Método del tamizado. UNE-EN 933-1. Madrid: AENOR, 2012.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. UNE-EN 1015-11. Madrid: AENOR, 2000.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 1: Determinación de la distribución granulométrica (por tamizado). UNE-EN 1015-1. Madrid: AENOR, 1999.

AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido. UNE-EN 1015-18. Madrid: AENOR, 2003.

### **Webs consultadas:**

Universidad Técnica Federico Santa María. [en línea]  
<http://www.ramos.utfsm.cl/doc/1072/sc/TuboKarsten.pdf> [Consulta:15 de junio de 2013]

Cueva de Ingeniero Civil: Apuntes, herramientas y técnicas de la ingeniería civil. [en línea]  
<<http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/ensayos-no-destructivos.html>> [Consulta: 20 de junio de 2013]

Taber Industries. [en línea]. <<http://www.taberindustries.com/linear-abraser>> [Consulta: 20 de junio de 2013]





## **Agradecimientos**

Al principio no sabía de qué hacer la tesina, pero ya venía de Sevilla con ganas de aprender sobre cales y estucos. De casualidad, en unas prácticas de clase con la profe Tona Zalbidea, se ofreció a tutorizarme. Al cabo del tiempo me di cuenta de que era tan aficionada como yo al mundillo de las cales, los estucos y los materiales tradicionales. Por eso le agradezco su ofrecimiento, la confianza que siempre ha depositado en mí, proporcionándome los materiales y recursos, siendo siempre tan amable y cercana.

A Josele Regidor le agradezco su ayuda con el tubo Karsten, el abrasímetro y r sus sabias aportaciones en los aspectos más técnicos.

A Tamara y Alba por sus explicaciones para entender e interpretar los resultados del colorímetro.

Por otra parte, a Tatiana por su apoyo constante durante todo el desarrollo del trabajo, sobre todo cuando día tras día no había manera de sacar adelante las probetas, por animarme a seguir intentándolo y hacerme feliz...y por su ayuda con las tablas del Excel!

Gracias a mis amigas restauradoras, y sobre este trabajo, gracias a Tanja por todos los ratos que hemos pasado divagando sobre morteros de cal y sus propiedades.

Finalmente, gracias a mis padres y mi hermana, porque siempre de alguna manera me han apoyado en todas mis aficiones, de la música a la restauración.



## VI. ANEXO

### 1. Proceso de realización de las probetas con normativa tecnológica

Para poder llevar a cabo esta investigación se ha requerido fabricar una serie de probetas de cada uno de los morteros que se estudian, adaptando el tamaño milimétricamente a los requerimientos de las normas tecnológicas. Estas normas son igualmente las que nos especifiquen la metodología a seguir en cada uno de los ensayos.

Puesto que el trabajo de realización de las probetas ha supuesto una parte importante del tiempo dedicado al desarrollo de esta investigación, para afianzar lo aprendido durante el proceso así como servir de referencia en otras investigaciones similares, se estima oportuno dejar estas anotaciones y experiencias en el presente anexo. Son estas explicaciones una ampliación de las que se han ido aportando en el capítulo "5.1. Probetas con normativa tecnológica: c. Elaboración de las probetas", pero incluyendo el proceso de ensayo - error en el que se ha basado su resolución definitiva.

Comenzando por el principio, al extraer los conglomerantes o morteros de su recipiente para empezar a trabajar, surgió un primer problema. Con los conglomerantes, incluyendo las dos cales sin aditivar (Unicmall y Gordillo's) y el Punto Cal, sabemos que en este tipo de material, comercializado como cal en pasta o pasta de cal, debemos eliminar antes de la extracción de la misma, el agua superficial de decantación. Sin embargo, en los morteros que vienen predosificados en pasta, es imprescindible batir el contenido completo del envase independientemente de si necesitamos tan sólo una pequeña porción del mismo. Esto se debe a que por el diferente peso de las partículas de árido, tienden a decantarse las más pesadas en el fondo del recipiente, quedando las más finas e impalpables en los estratos superiores, donde además se concentra mayor proporción de cal por ser menos pesada que el árido (así como el agua es menos pesada que la cal).

Al principio de la investigación, puesto que no se disponía en el momento de extraer el mortero de una batidera, se realizó el mismo procedimiento a mano con la ayuda de una paleta, intentando hacer extraer el mayor contenido del fondo para mezclarlo con la parte superior.

Tras la realización de los ensayos con la porción tomada de este proceso, se pudo disponer de una batidora eléctrica, de uso común en trabajos de estucados con cal, ya que según algunos autores, el uso de mezcladoras de obra u hormigoneras puede influir en la modificación de las propiedades de los cristales de cal debido a las altas revoluciones a las que operan.

Por tanto, para comprobar y asegurarnos de que el trabajo llevado a cabo anteriormente fuese correcto, se comenzó de nuevo por el principio, batiendo el mortero con la batidora en el mismo

recipiente y tomando una porción de mortero idéntica en peso a la que se tomó al principio de nuestra investigación para caracterizar el mortero Maltamix TM. El procedimiento que se siguió a partir de aquí es el mismo que fue comentado en el apartado "5.1. Probetas con normativa tecnológica: c. Elaboración de las probetas".

Tras el pesado inicial de la porción seleccionada de pasta batida y restarle el árido resultante en seco tras separarlo de la misma, se obtuvo una relación árido conglomerante de: 54,5 % de árido - 45,5 % de conglomerante, que, recordando el resultado del mismo procedimiento pero habiendo tomado la porción de mortero tras batirlo con la paleta a mano fue de: 51,69 % de árido - 48,31 % de conglomerante. Con estos valores concluimos que el margen de error en la determinación de la relación árido - conglomerante ha sido de un 2,81 %.

Siguiendo con el mismo proceso, al establecer la curva de granulometría del árido una vez separado del mortero y seco, se ha obtenido:

Luz del tamiz	% Retenido parcial por cada tamiz tras batido con batidora eléctrica	% Ret. parcial tras batido con paleta	% Margen de error
1 mm.	0%	0%	0%
0,65 mm.	12,1%	14,7%	2,6 %
0,5 mm.	13,7%	15,7%	2%
0,1 mm.	45,4%	43,8%	1,6%
<0,1 mm.	28,6%	25,8%	2,8%

En esta tabla hemos podido constatar que la máxima desviación o margen de error no ha superado, al igual que en el caso de la relación árido - conglomerante el 3%. Con este valor, podemos estar seguros de que en su momento se llevó a cabo un exhaustivo batido manual del mortero, no obstante, tanto para asegurar la completa homogeneización del mortero como para la reducción de tiempo y esfuerzo, será siempre más rentable el mezclado con maquinaria adecuada.

### **Pruebas y ensayos de aproximación a la elección de la dosificación árido - conglomerante**

Puesto que nuestro trabajo pretende la comparativa entre morteros y conglomerantes para uso en estucos, aunque necesitábamos por normativa adaptarnos a unas medidas de probetas concretas, partíamos de la necesidad de poder crear una dosificación lo más similar a la que habitualmente se utiliza para las masas de estuco. Por ello, comenzamos a realizar mezclas a diferentes concentraciones árido - conglomerante en peso, hasta encontrar una en la que no se

produzca retracción. Puesto que inicialmente se pretendía la realización de probetas de tamaño 16x4x4 cm, para realizar las pruebas, se realizaron cubos de aproximadamente 5 cm. de lado, a modo de moldes provisionales con los que comprobar el comportamiento del mortero tras el endurecimiento. Previamente también se realizaron pruebas aisladas con cubiteras, dando lugar a probetas de escaso tamaño, por lo que se desestimó este tamaño como prueba.



Imagen 1. En las fotografías se muestran los momentos de la primera medición (a la izquierda) y la tercera y última medición a la derecha.

En primer lugar se utilizó la dosificación de una parte de cal y una de árido (que previamente ya teníamos preparado tras la caracterización del árido procedente de Maltamix TM). No dió buen resultado, como podemos ver en la imagen de la izquierda, donde se aprecia fuerte retracción junto a la reducción de volumen por el exceso de agua que supone una alta dosis de cal en pasta.

Se realizó una prueba aislada con dosificación de una parte de cal por tres de árido, dando un resultado óptimo, con ninguna retracción y escasa pérdida de volumen. No obstante, siguiendo con nuestra intención de reducir en lo posible la dosificación de árido, para simular un

mortero para estuco, se volvió a probar con una parte de cal y dos de árido. En esta ocasión, si que se obtuvo también un buen resultado aunque con un poco de retracción que más tarde se solucionaría rellenando los moldes con un exceso de mortero, el cual, tras el endurecimiento se enrasaría por lijado hasta conseguir el tamaño que exige la normativa.

### **Elaboración de las formas en positivo según la norma y fabricación de los moldes de escayola**

Posteriormente, para realizar la forma en positivo (previa a la obtención de los moldes en silicona) con el tamaño que inicialmente pretendíamos realizar las probetas (16x4x4 / 5x5x5 / 1,5x1,5x1x5 / 1x1x1 en centímetros), nos decidimos a confeccionarlas tallando un bloque mazo de escayola y lijándolo posteriormente hasta conseguir las caras totalmente paralelas y los tamaños milimétricamente perfectos. Tras el proceso, se ha concluido que es un método totalmente desaconsejado pues con el lijado manual, aunque finalmente sí que conseguimos los objetivos propuestos, es un trabajo muy minucioso, largo y que puede ser sustituido por otros alternativos.

Puesto que las formas que se requieren para las normativas son prismáticas, con caras opuestas paralelas y cortes perpendiculares con ángulos rectos, un método alternativo aconsejado es la adquisición de un listón de madera, para cortarlo en un cajón de corte a inglete. De este modo obtendremos por ejemplo para la probeta de 16x4x4 cm. unos lados con las caras perfectamente paralelas a 4 cm. y con las caras opuestas en los extremos también paralelas gracias al corte realizado perpendicularmente a 90°. A continuación, podría aplicarse una consolidación a la madera para aportarle dureza en superficie y que admita un lijado más fino y pulido.

En nuestro caso, una vez tuvimos perfectamente lijadas las muestras, se les aplicó una consolidación utilizando varias capas de goma laca muy diluida. En otras se aplicaron varias capas de Paraloid al 10% en acetona, aplicando cada capa en pasadas repetitivas, para lograr empapar la escayola y que penetre mejor el consolidante. Con estos consolidantes conseguimos contrarrestar la baja resistencia de la escayola, cuyas vivas aristas son propensas a fragmentarse y erosionarse.

Posteriormente, siguiendo con el proceso de fabricación de un molde para la probeta con tamaño 16x4x4 cm., comienza en este momento la selección de la silicona y del modo de fabricación del molde. Se utilizó en primer lugar la silicona Idesil RTV 801, distribuida por Idepo S.L. (Valencia).

En primer lugar se realizó el molde que aparece en la parte inferior de la imagen de la derecha, que tiene menor cantidad de silicona. Se pretendía ahorrar material creando primero un contramolde con placas de poliestireno extruido. Se colocaba la probeta sobre una superficie horizontal (la silicona se aplicará por vertido), plana y lisa, a su alrededor, se colocaba el contramolde creado con estas placas de poliestireno (ver similitud con el que realizamos en la foto de la página anterior). De este modo, el espacio que queda entre la forma en positivo centrada, hasta la pared del contramolde, será el espacio que ocupe la silicona. Finalmente, tras endurecer la silicona, se pudo comprobar que era imposible extraer la forma en positivo del molde, debido a que el molde de silicona, había quedado atrapado dentro del contramolde (por tener sus caras paralelas).



Imagen 2. Detalle de los dos primeros moldes obtenidos con la silicona Idesil 801.

Tras este intento fallido, se realizó un segundo molde, el que aparece en la parte superior de la imagen, esta



vez sin contramolde, por lo que necesitamos aportar mayor grosor de silicona, el suficiente para que al endurecer, tenga la rigidez necesaria para recibir posteriormente la pasta del mortero y que el peso de ésta no provoque la curvatura de sus lados. Pero al dar por finalizado el proceso de creación del molde y de su utilidad, tras verter el mortero en su interior (pasado el tiempo de curado del molde, 24 h.), se pudo comprobar los días siguientes que por algún tipo de reacción química, el mortero provocaba en las zonas donde tenía contacto con la silicona, su “disolución”, es como si inhibiese el poder del catalizador que lo endureció a partir de su estado líquido viscoso. Por tanto, hubo que descartar esta silicona, que al gelificarse, quedaba adherida y penetraba en la porosidad del mortero.

Por ello es importante a la hora de adquirir estos materiales, asegurarse de su viabilidad para el fin al que vaya a cumplir, en este caso, debía de ser una silicona resistente a los morteros de cal y cemento (ambos con un ph similar, cáustico), lo que se denomina, resistencia a los vertidos de piedra artificial.

Antes de seguir experimentando con otras siliconas, se decidió probar a realizar los moldes por el método tradicional, con escayola.

Para ello, puesto que las caras de la probeta, serán paralelas, se puede hacer este molde por despiece, en dos partes. Sin embargo, si la importancia de un desmoldante lo es en moldes de silicona, en moldes fijos de escayola lo es aún más. Por ello se elaboró una serie de pruebas de aplicaciones de desmoldantes sobre las caras internas de los moldes (previamente consolidados con goma laca). Entre varias combinaciones de cera en varias concentraciones y vaselina finalmente se seleccionó la vaselina.



Imagen 3. Detalle de las pruebas de desmoldantes sobre escayola consolidada con goma laca. A la derecha, las aplicaciones de mortero de cal se despegan sin dejar restos, como ocurre a la izquierda con la cera.

Una vez preparados estos moldes y un desmoldeante que funciona, se hizo una prueba vertiendo en lugar del mortero, escayola. Tras fraguar la escayola, al pretender desmontar el molde fue cuando se comprobó un dato que es el que explica el por qué los yesos no necesitan de la

estructura o esqueleto de un árido o carga. Es porque experimentan una expansión de volumen durante el fraguado. En la cal aérea también se da un aumento de volumen, pero en menor medida y a largo plazo, durante el lento proceso de carbonatación (ya que en primer momento lo que se da es una pérdida de volumen por la evaporación del agua de amasado).

A lo que nos referimos es que por el aumento de volumen que experimentó la escayola al fraguar, debido a la rigidez del molde, fue imposible extraer la pieza (habría que romper el molde).



Imagen 4. Visión general de todos los moldes "bi-piezas" creados (5 en total). El número 1 corresponde al vertido de escayola en el interior del molde y el nº 2 corresponde al vertido de mortero de cal con la dosificación seleccionada c/a 2:1.

La primera probeta que se realizó en este sistema es la que vemos en la imagen superior, marcada con el número 2. Si se aprecia de cerca, se distingue la retracción en los bordes, por la pérdida del agua de amasado.

No obstante, aunque aparentemente, en comparación con los moldes de silicona, el resultado es relativamente similar, este sistema de moldeado fue definitivamente descartado, pues desconfiábamos del efecto que pueda tener el contacto del mortero fresco con la vaselina utilizada como desmoldante (se utilizó pura, sin diluir). Especialmente si tenemos en cuenta que el ensayo a realizar era el de la norma UNE 1015-18, de la determinación de agua por absorción capilar.

En la imagen número 5, en la página de la derecha podemos ver la probeta ya extraída de uno de los morteros de cal aérea. Al verla en detalle, destaca la gran porosidad que se ha creado en los bordes fruto de la ausencia de compactado (por sacudidas) del mortero fresco tras el vertido. Se aprecian infinidad de microburbujas así como incluso, debido a la justa cantidad de agua del mortero durante el amasado y posterior vertido, como en las aristas aún se muestra la masa

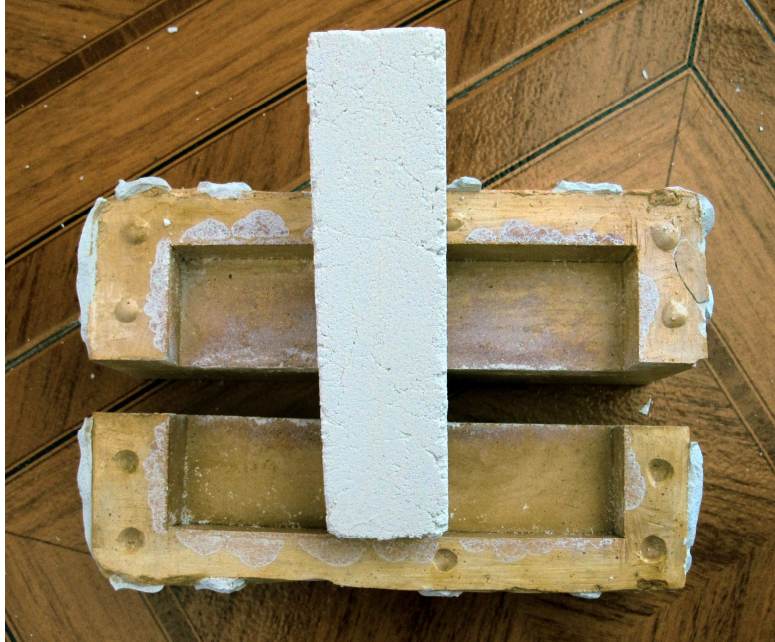


Imagen 5. Detalle de las pruebas de desmoldantes sobre escayola consolidada con goma laca. A la derecha, las aplicaciones de mortero de cal se despegan sin dejar restos, como ocurre a la izquierda con la cera.

amorfa del mortero que no hay terminado de llegar a la cavidad, por lo que no presenta sus aristas totalmente vivas.

Por otro lado, también hemos de decir, que esta probeta se ha extraído del molde tras haber estado dentro durante más de dos meses.

Al observar el molde de escayola vemos como el exceso de agua del mortero se fue filtrando con parte del ligante a través de las uniones de ambas caras del molde. Y se aprecia como el desmoldante cumplió bien su cometido, pues la probeta se ha extraído sin problemas.

#### **Elaboración del molde para probetas 16 x 4 x 4 cm. en silicona definitiva**

Finalmente, se seleccionó la silicona SILASTIC® 3481, de DowCorning® y distribuida por Glaspol Composites S.L.

En esta ocasión, dada la experiencia anterior, se decidió la fabricación de un molde con poco gasto de silicona pero evitando el problema que se creó anteriormente ante una mala previsión del contramolde.

Para ello, se decidió crear por modelado la forma que posteriormente adoptaría en su parte cóncava el contramolde, asegurando así el ángulo suficiente para que tras la colada de la silicona, el contramolde pueda salir sin encontrarse trabas ni zonas de agarre.

En las siguientes imágenes del proceso quedan detallados los pasos. Como se puede ver en la imagen nº 7, tras el endurecimiento de la silicona, al intentar extraer el molde de silicona del contramolde de escayola, resultó imposible. Pero esta vez no era porque quedase atrapado debido a su morfología, sino a que antes de vertir la silicona por vertido, no aplicamos ningún



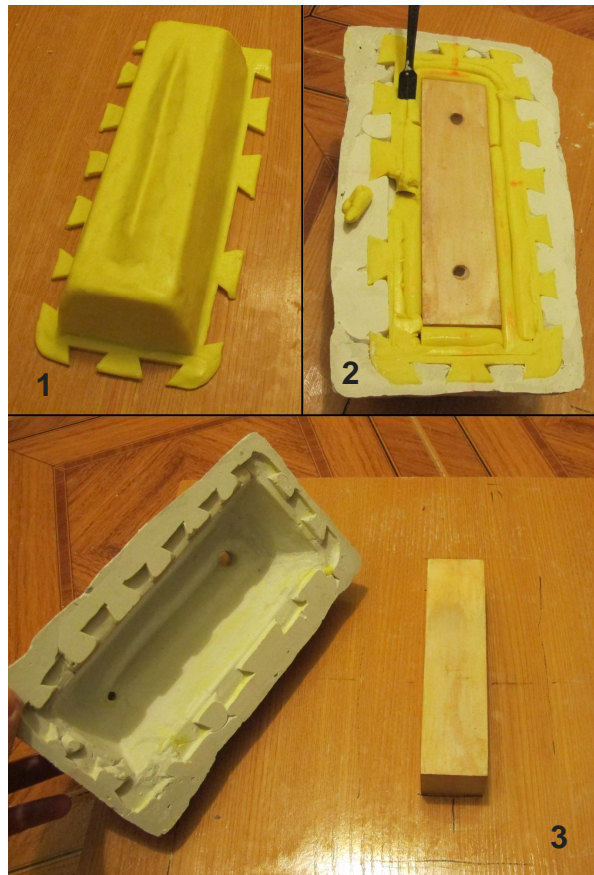


Imagen 6. En estas tres fotos, aparece en primer lugar el recubrimiento con plastilina de la pieza en positivo de 16x4x4 de escayola, a continuación el vertido del contramolde rígido de escayola. Se voltea y se elimina esta plastilina, espacio que será ocupado posteriormente por la silicona durante el vertido.



Imagen 7. En la primera foto, se ve la preparación para el vertido de la silicona ya catalizada, la ruptura del contramolde por la imposibilidad de extraerlo, pues no se aplicó desmoldante. En la foto 4, se aprecia el desmoldante utilizado.

tratamiento desmoldante a la escayola cruda del interior del contramolde. Por ese motivo, hubo que romperse este contramolde y fabricar otro, esta vez usando como positivo el propio molde de silicona, que aún tiene en su interior la pieza de escayola en positivo (de tamaño 16x4x4). Esta pieza del interior no tuvo problemas para extraerse del molde, ya que previamente se había tratado con abundantes capas de goma laca, unido a la elasticidad de la silicona.

Para la construcción del nuevo contramolde, utilizamos como desmoldante una mezcla de aceite usado y tamizado de freidora con una pequeña parte de jabón tradicional, obteniendo una grasa que cumple bien su función.

Una vez teníamos el molde acabado, procedimos a rellenarlo con una de las pastas de cal, en concreto con Punto Cal. Como vemos en la imagen inferior, nº 8, en la primera y segunda foto podemos ver la consistencia del mortero en estado fresco, justo antes de “vertirlo” dentro del molde. Como comentamos en el apartado de realización de las probetas, dentro de la parte experimental de este trabajo, a mayor cantidad de agua en el mortero, mayor probabilidad de que se produzca retracción. Más tarde pudimos comprobar que el principal inconveniente es que este motivo dificulta la compactación y eliminación de los huecos y nódulos de aire en el interior del mortero. El mortero se mantuvo a temperatura y humedad ambiental pre-primaveral durante un mes dentro del molde. En la foto nº 3 de la imagen inferior, vemos el momento de la extracción del molde. Como se aprecia, se han erosionado y fragmentado todas sus aristas internas.

En la foto nº 4, dentro de la imagen inferior, se aprecia en la probeta la textura porosa creada por las numerosas burbujas de aire. Quizá la cantidad de cal en relación con la arena es excesiva.

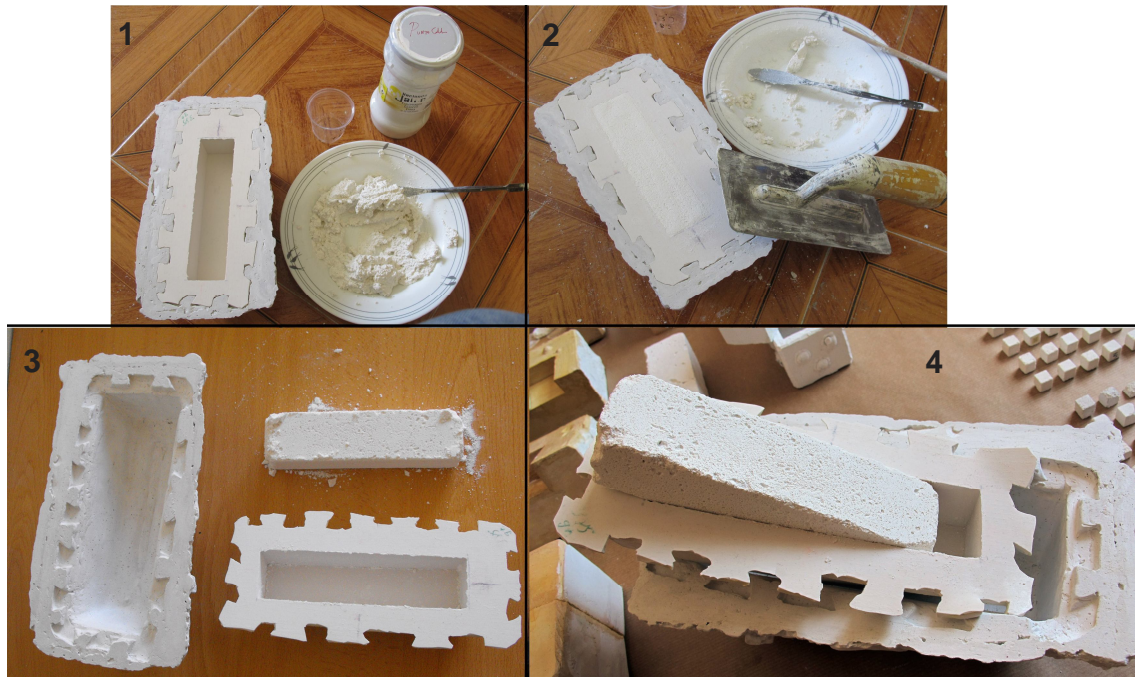


Imagen 8. Amasado del mortero y enmoldado, en la foto 2 se aprecia el molde lleno y enrasado. En la foto 3 se aprecia la probeta en el momento de su extracción y en la 4, la textura porosa debido al aire ocluido.

Dados los malos resultados que se han conseguido con esta metodología y especialmente por el tiempo excesivo que requiere la carbonatación del mortero dentro del molde, se ha terminado descartando este tamaño de probeta.

Anteriormente también fue descartado el tamaño de 5x5x5, por motivos similares.

### **Elaboración del molde para probetas 1 x 1 x 1 cm. en silicona definitiva**

Como ya se comentó en el apartado de la elaboración de las probetas, en primer lugar, como en el caso anterior, se creó la forma en positivo que sería la que le aporte la forma al molde de silicona. También se confeccionó a partir de un bloque de escayola que se fue tallando y lijando hasta obtener todas sus caras con la medida que indica la norma. También se consolidó con varias aplicaciones de goma laca. Necesitábamos crear para el ensayo de absorción de agua según norma UNE para patrimonio cultural un total de 15 probetas. Puesto que conocíamos el largo tiempo que debe estar el mortero enmoldado hasta que adquiere la dureza adecuada para su extracción, se estimó más adecuado, una vez teníamos preparada la forma en positivo, se le haría un molde individual para posteriormente ir vertiendo escayola al interior de este molde y extrayendo así varias probetas de escayola hasta un total de 15. El resto de los procesos se detallan en el apartado de elaboración de las probetas, en la parte experimental.

Con respecto a la necesidad de adherir las probetas creadas de escayola a la superficie plana sobre la que verteríamos la silicona, se comprobó su importancia, ya que en el primer molde realizado, esto no se hizo, consiguiendo como resultado que por el desplazamiento de nivelación de la silicona, al ser tan densa, desplazase estos prismas de su lugar donde se colocaron. Tras el endurecimiento de la silicona, podemos ver el resultado en la imagen 9. Sin embargo, si en lugar del adhesivo en barra (como se recomendó en el apartado de elaboración de las probetas), usamos otro adhesivo líquido, puede quedar el sobrante a modo de semiesfera (creada por la gota de adhesivo sobrante), que se marcará en el molde, dándolo por inválido.

En la imagen 10 vemos el proceso de enmoldado que fue idéntico para las probetas de 1x1x1 y las de 1,5x1,5x1,5 cm. Se dejaba un exceso de mortero que tras el endurecimiento, previamente a la extracción, se lijaba este sobrante, para dejar la probeta a nivel. Se pudo comprobar que si se nivelaba la probeta desde un primer momento en húmedo, más tarde, durante el secado, se producía retracción, lo que hacía disminuir el tamaño definitivo de las probetas.

En la imagen 11 vemos el resultado del lijado de las probetas previamente a la extracción. Y en la misma imagen, a la derecha, se aprecian los restos que quedaban en el interior del molde en algunas de las probetas. Tengamos en cuenta que tras un enmoldado, se esperaba un mínimo de 10 días antes de su extracción, y de cada 15 probetas extraídas, al menos 5-7 salían con este problema, de ahí que se necesitasen varios procesos de enmoldado-desenmoldado. Para limpiar el molde antes del siguiente enmoldado, se vertía escayola y al fraguar, se extraía, quedando el interior del molde totalmente limpio y seco.



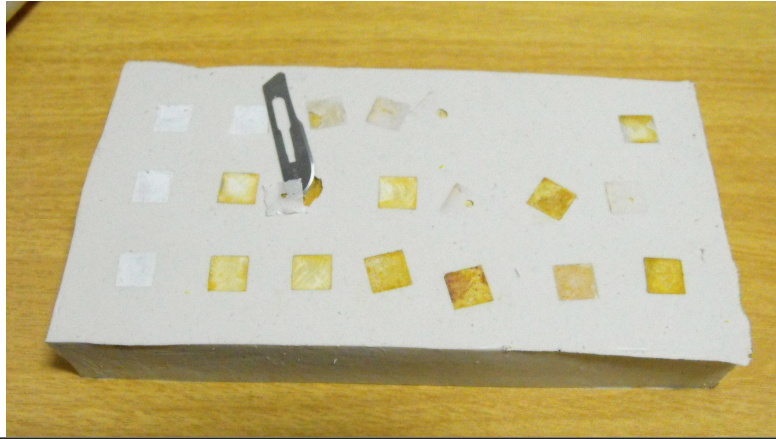


Imagen 9. En la imagen se aprecia el resultado tras la eliminación de los tabiques de plastilina, del primer molde (para las probetas de 1x1x1 cm. Al no usar adhesivo que fijase las probetas al cristal, se desplazaron de su ubicación.

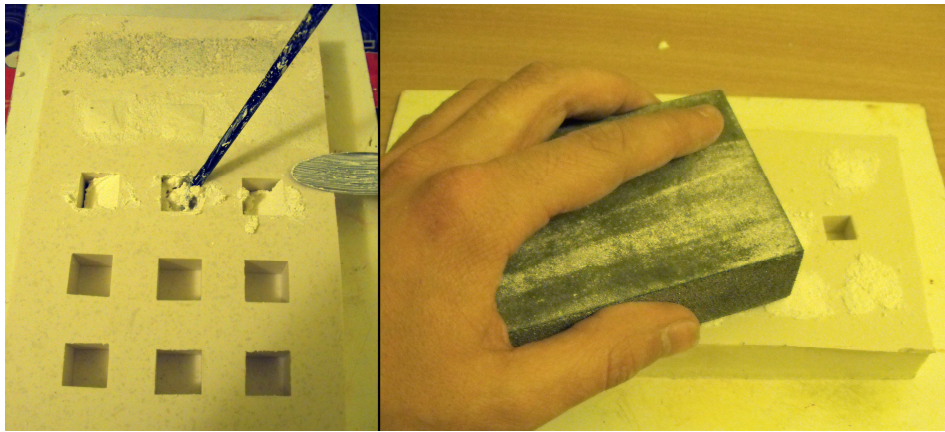


Imagen 10. A la izquierda se aprecia el llenado de los moldes y a la derecha el enrasado con lija en seco tras el endurecimiento.

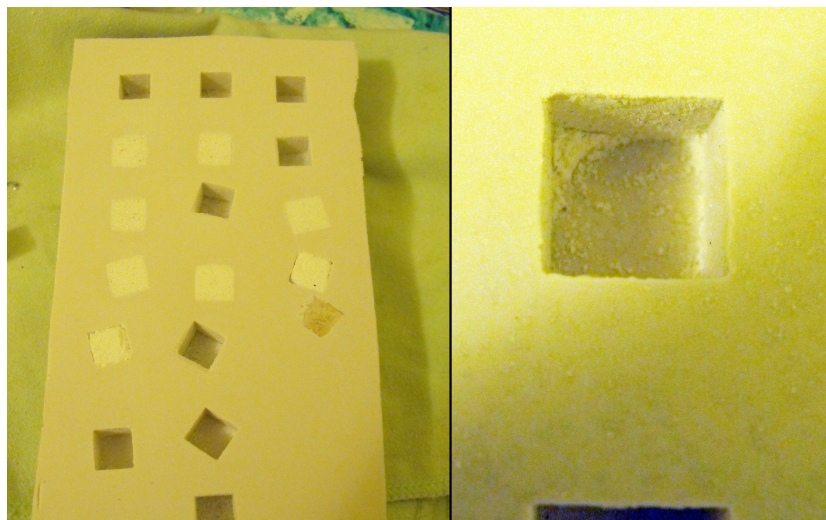


Imagen 11. A la izquierda se aprecia el resultado de la operación anterior, tras el lijado. A la derecha se aprecian restos de mortero en el interior del molde.

### Capturas del software Measure Tool (mediciones colorimétricas)

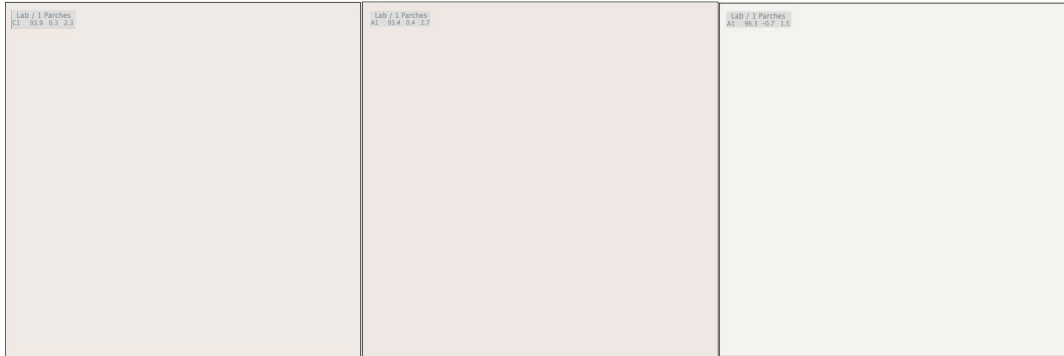


Imagen 12. Estas tres capturas de pantalla del software Measure Tool muestra las mediciones del estuco realizado con morteros Maltamix TG®+TM®. De izquierda a derecha, 1ª, 2ª y 3ª medición.



Imagen 13. En estas capturas se muestran las tres mediciones del estuco con mortero Punto Cal®

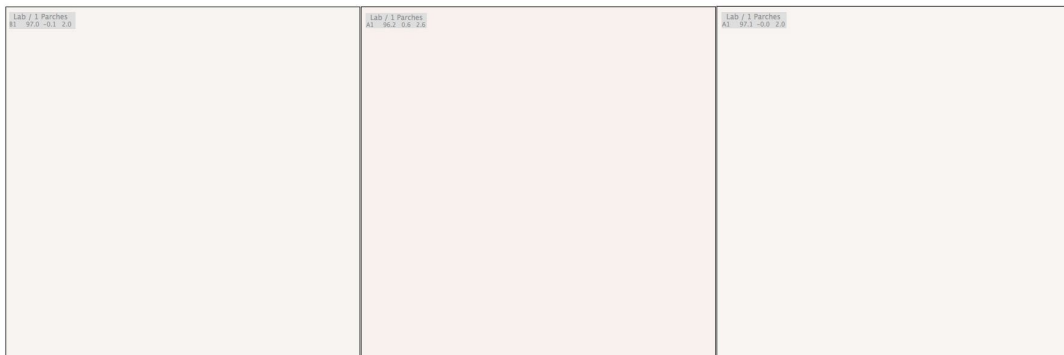


Imagen 14. En estas capturas se muestran las tres mediciones del estuco con mortero Gordillo's®

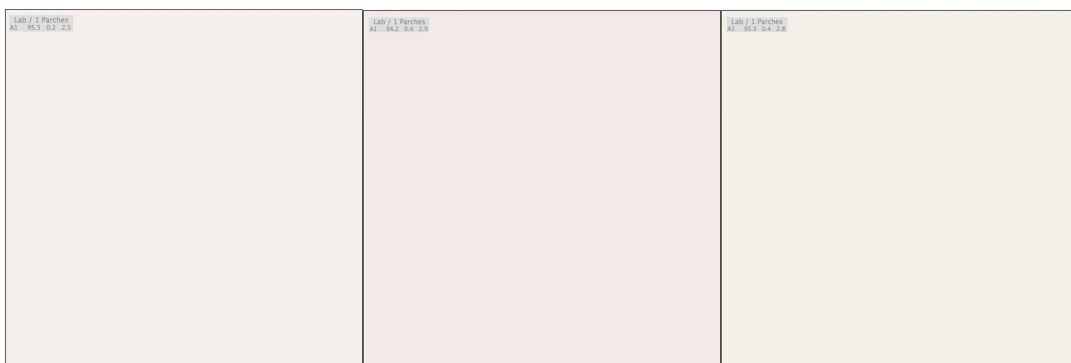


Imagen 15. En estas capturas se muestran las tres mediciones del estuco con mortero Unicmall®



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

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

28906 Getafe - Madrid

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

## MALTAMIX TG

MORTERO-ESTUCO GRUESO LISTO PARA SU USO

### DATOS TECNICOS

● Nombre:	MALTAMIX TG
● Color:	gris mortero
● Características técnicas:	mortero y/o estuco natural
● Aspecto:	pasta densa lista para su uso
● pH:	13
● Rapor ligante/inerte:	1:3
● Composición:	cal grasa estacionada microfiltrada, arena lavada y seleccionada de río 0,3 mm., resina especial de formación reticular.
● Confecciones:	envases de 25 kg.
● No contiene condensantes celulósicos y de ningún otro género.	
● El producto se conserva naturalmente.	
● No endurece en vaso.	
● Conservar en lugar fresco y seco.	

El producto MALTAMIX TG es un compuesto preparado con cal grasa estacionada microfiltrada e inertes seleccionados (0,0 - 0,3 mm.) que producen un empaste versátil, natural, y aplicable con un espesor máximo de 10 mm. por aplicación.

El producto es además enriquecido con una resina especialmente estudiada para la utilización en restauración en modo de satisfacer las más variadas exigencias de acabado.

MALTAMIX TG es óptimo como mortero para rizados, como estuco grueso de relleno de grietas medias o gruesas, como mortero de aliciente o como mortero de uso general.

Una vez seco, resulta muy resistente y compacto ya en la primera fase de carbonatación, manteniendo inalterada su transpiración natural.

MALTAMIX TG puede ser mezclada con: 1) barro cocido triturado, 2) puzolana, 3) cal hidráulica natural.

1) El añadido de barro cocido triturado aporta al producto proporcionalmente más "magro" de ligante, confiriéndole un agarre hidráulico más veloz y aumentando levemente el factor aislante de mortero seco. Una dosis óptima va del 5% al 20% del total del volumen, obteniendo así un producto de color rosado que una vez seco, presentará características de dureza ligeramente más elevadas. La calidad óptima del barro a añadir deberá tener una granulometría de entre 0,0-0,3 mm.

2) El añadido de puzolana confiere al producto un factor hidráulico, también se deberá mezclar cuidadosamente el añadido de la misma en modo de obtener un empaste completamente homogéneo, que no presente grumos de puzolana no dispersa.

Con el añadido de este producto, el operador deberá tener en cuenta el factor reactivo que este último producto puede conferir. El añadido óptimo va del 5% al 15% del total del volumen.

3) El añadido de cales hidráulicas naturales confiere una mayor cantidad de grasa al producto, aumentando el poder ligante y el factor hidráulico. El añadido de esta cal deberá hacerse con el máximo cuidado, corrigiendo el producto con eventuales añadidos de arena para mantenerlo en su original composición cal / inerte. El añadido óptimo está a total discreción del operador.

La composición media de MALTAMIX TG es de una parte de ligante con tres partes de inerte.

Otros añadidos de inerte en un rapor de 1:4 permiten la utilización para profundos reemplazamientos con bajo retiro. Eventuales añadidos de ligante le convierten a su vez proporcionalmente más graso y sujeto a mayores retiros, permitiendo la utilización con espesores más reducidos.

MALTAMIX TG, en su composición original, crea un mortero y/o estuco que respeta los más severos cánones cualitativos de los materiales de restauración.

Las indicaciones y los datos reportados en el presente documento son basados sobre nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación. Estas informaciones no deben en ningún caso sustituir a las pruebas preliminares que son indispensable efectuar para verificar la idoneidad del producto a cada caso determinado. El grupo C.T.S. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin la obligación de comunicación alguna.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

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

28906 Getafe - Madrid

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

## MALTAMIX TM

MORTERO-ESTUCO MEDIO LISTO PARA SU USO

### DATOS TECNICOS

● Nombre:	MALTAMIX TM
● Color:	gris mortero claro
● Características técnicas:	mortero y/o estuco alisante natural
● Aspecto:	pasta densa lista para su uso
● pH:	13
● Rapor ligante/inerte:	1:3
● Composición:	cal grasa estacionada microfiltrada, arenas finas, micromarmoles triturados, y, resina especial de formación reticular.
● Confecciones:	envases de 25 kg.
● No contiene condensantes celulosicos y de ningún otro genero.	
● El producto se conserva naturalmente.	
● No endurece en vaso.	
● Conservar en lugar fresco y seco.	

El producto MALTAMIX TM es un compuesto preparado con cal grasa estacionada microfiltrada e inertes de marmol triturados seleccionados que producen un empaste medio natural de amplio uso. El producto es además enriquecido con una resina especialmente estudiada para la utilización en restauración. Aplicable a más capas con un espesor máximo de 5 mm por aplicación, se hace versatil para estabilizamiento medio-generico, estucado y reemplazado de pequeñas y medianas grietas.

Una vez seco, resulta muy resistente y compacto ya en la primera fase de carbonatación, manteniendo inalterada su transpiración natural.

Puede ser tranquilamente mezclado con tierras o pigmentos colorados, porque tiene una optima estabilidad a la luz y a la interperie.

Ya listo para su uso, puede ser mezclada con: 1) barro cocido triturado, 2) puzolana, 3) cal hidraulica natural.

1) El añado de barro cocido triturado aporta al producto proporcionalmente más "magro" de ligante, confiriendole un agarre hidráulico más veloz y aumentando levemente el factor aislante de mortero seco. Una dosis optima va del 5% al 15% del total del volumen, obteniendo así un producto de color rosado que una vez seco, presentará características de dureza ligeramente más elevadas. La calidad optima del barro a añadir deberá tener una granulometria de entre 0,0-0,1 mm.

El añado de puzolana confiere al producto un factor hidráulico, también se deberá mezclar cuidadosamente el añado de la misma en modo de obtener un empaste completamente homogéneo, que no presente grumos de puzolana no dispersa. Con el añado de este producto, el operador deberá tener en cuenta el factor reactivo que este último producto puede conferir. El añado optimo va del 5% al 15% del total del volumen.

2) El añado de cales hidráulicas naturales confiere una mayor cantidad de grasa al producto, aumentando el poder ligante y el factor hidráulico. El añado de esta cal debera hacerse con el máximo cuidado, corrigiendo el producto con eventuales añados de arena para mantenerlo en su original composición cal / inerte. El añado óptimo está a total discrección del operador.

La composición media de MALTAMIX TM es de una parte de ligante con dos partes de inerte.

Eventuales añados de ligante o inerte convertiran proporcionalmente más graso ó más magro al producto. El operador deberá, entonces, en el uso considerar las nuevas propiedades del producto obtenido.

MALTAMIX TM, en su composición original, crea un mortero y/o estuco que respeta los más severos canones cualitativos de los materiales de restauración.

Las indicaciones y los datos reportados en el presente documento son basados sobre nuestra esperiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación. Estas informaciones no deben en ningún caso sustituir a las pruebas preliminares que son indispensable efectuar para verificar la idoneidad del producto a cada caso determinado. El grupo C.T.S. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un uso no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin la obligación de comunicación alguna.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración

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

28906 Getafe - Madrid

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

## PUNTOCAL

### PINTURA PARA INTERIOR Y EXTERIOR

La cal viva microfiltrada con tecnología avanzada constituye el elemento innovador de este producto; su valor de pH 13 lo conserva naturalmente y desarrolla una acción antimoho y antibacteriana que permanece en el tiempo.

Los campos de empleo de PUNTOCAL para interior y exterior son decididamente completos, siendo, en efecto, indicado para acabados de edificios nuevos de uso civil, palacios arquitectónicos, históricos y de relieve.

Los soportes interiores ó exteriores no necesitan de particulares atenciones: es importante que estén secos y libres de partes inconsistentes; sobre soportes particularmente difíciles (viejas pinturas, intónacos desh homogéneos) se aconseja una primera mano más diluida tal de consentir una penetración en profundidad del producto, creando un efecto consolidante sobre el fondo. El máximo efecto cubriente se obtendrá cuando la pintura esté completamente seca.

La facilidad de empleo, la máxima permeabilidad y el carácter "básico-activo" de PUNTOCAL, fabricado sin el añadido de conservantes, dan una vida y una pintura "ecológica" que permanece con respeto de la naturaleza y del ambiente.

### DATOS TECNICOS

Nombre:	PUNTOCAL
Color:	Blanco
Características técnicas:	Transpirante antimoho natural
Aplicaciones:	Pincel, rodillo y pulverizado
Diluición:	20%
Aspecto:	Pasta densa
Rendimiento:	70/80m <sup>2</sup> x 20 kg
PH:	13
Permeabilidad al vapor:	490 gr/m <sup>2</sup> x 24 horas
Peso específico:	1,3 kg/lit.
Confecciones:	Cubos de 20 kg (16 lt)
Pigmentos compatibles:	Tierras colorantes, óxidos.

El producto está compuesto principalmente de cal apagada (grasello de cal) de calidad magnésica con aditivos compesantes específicos interiores al 3,5 %.

Las indicaciones y los datos reportados en la presente ficha están basados en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben en ningún caso sustituir a pruebas preliminares que son indispensables efectuar para aceptar la idoneidad del producto para cada caso determinado.

C.T.S. ESPAÑA S.L. garantiza la calidad constante del producto pero no responde de daños causados por un uso incorrecto del material. Se reserva el derecho de variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin la obligación de comunicación alguna.

# CAL EN PASTA

## DEFINICIÓN

Cal aérea grasa, obtenida del proceso de cocción de la piedra caliza en horno milenario de leña de calidad (CL90). La Cal en Pasta GORDILLO'S es una pasta suave blanca y densa, resultado de la cocción de piedra caliza de una pureza de hasta el 99% en carbonato cálcico, seleccionada en cantera, a temperatura constante entre 900 °C y 1.000 °C, durante unos 15 días de forma ininterrumpida, en hornos de origen árabe, utilizando como combustible madera de olivo, pino, encina... y envejecida en silos durante más de 4 años.

Todo este proceso se desarrolla de forma tradicional y artesanal respetando el medio ambiente.

A las propiedades inherentes a la cal, hemos de añadir las aportadas por nuestro sistema de cocción y elaboración, que dota a nuestro producto de gran untuosidad, maleabilidad y suavidad, rapidez de fraguado e hidraulicidad, sin restar por ello resistencia.

## SUS PROPIEDADES FÍSICAS LA HACEN APTAS PARA:

- Encalado o pintado tradicional de superficies, tanto interiores como exteriores.
- Elaboración de morteros. Por su gran pureza y poder aglomerante, es muy rentable a la hora de fabricar morteros en pasta, que podemos dosificar (dependiendo del árido a utilizar), desde 1-5 para morteros de agarre y enfoscados hasta de 1-1 para morteros de estucos y artes similares.
- Creación o reparación de estucos, pinturas al fresco y otras artes, tanto en restauración como en obra nueva y de diseño.
- No necesita de un tipo de árido determinado, pues receptiona muy bien cualquier árido de calidad existente en la zona de trabajo, evitando con ello costes añadidos de transporte, aunque es aconsejable utilizar aquellos ricos en sílices o carbonatos cálcicos o dolomíticos de gran pureza.
- En agricultura ofrece un gran aporte de calcio a plantaciones pobres en ello, siendo muy utilizado en cultivos cítricos, olivareros, etc., donde es utilizado para el blanqueo de los troncos y hojas actuando como bactericida y protector frente al ataque de insectos, roedores u hongos.
- También es muy utilizada como regulador del ph del agua en zonas de cultivos de regadío.

## PRESENTACIÓN

Envasado: Cubos de 20 Kg y 5 Kg, Bolsas 5 Kg.

Aspecto: Pasta.

Color: Blanco.

## INDICACIONES PARA LA APLICACIÓN / PRECAUCIONES

Rehabilitación y restauración interior y exterior de edificios emblemáticos y antiguos. Puede utilizarse perfectamente en obra nueva. Permite acabados y texturas extrafinas. También puede utilizarse como base para pinturas, pátinas y estucos.

PRODUCTO IRRITANTE DE LA PIEL, LOS OJOS Y LAS VÍAS RESPIRATORIAS, SE RECOMIENDA USAR MEDIDAS DE PROTECCIÓN TALES COMO GUANTES, GAFAS Y MASCARILLAS. MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS. La temperatura ambiente y del soporte no debe ser inferior a 5 °C ni superiores a 35 °C, y el soporte ha de estar seco.

ADVERTENCIA: Las indicaciones y prescripciones dadas son fruto de la experiencia, ensayos internos y nuestro buen hacer. Luego antes de usar el producto, quien lo vaya a hacer, deberá determinar si es apropiado o no para el uso previsto y asumirá toda responsabilidad que pudiera derivar de su empleo. Estas recomendaciones no implican garantía alguna. Las garantías de producto se resumen sólo y exclusivamente a defectos de fabricación.



## PUESTA EN OBRA PREPARACIÓN DEL SOPORTE

Limpiar el soporte eliminando cualquier resto de polvo, líquidos, desconchados, etc. También deberán ser eliminados eventuales residuos de eflorescencia y cualquier otra sustancia que pueda perjudicar una buena adherencia. Saturar el soporte con agua sin presión para evitar falta de adherencia y agrietamientos.

## CARACTERÍSTICA DE LA NORMA

Tiempo de comienzo de fraguado <4 horas.  
Masa Voluminica aparente (MVA) : 0,35 Kg/lt.  
Tasa de Óxido Cálcico (Pasta) >94,72%.

## ALMACENAMIENTO

Conservar en sus envases originales, convenientemente cerrados, preservados de las heladas y evitando su exposición directa al sol y al agua.

## INDICACIONES SEGURIDAD

Producto no inflamable.  
Ver ficha datos de seguridad de: CAL EN PASTA.

## INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

S-2: Manténgase fuera del alcance de los niños.  
Por su carácter álcali, úsese guantes y gafas protectoras en su aplicación. En caso de contacto, lavar cuidadosamente durante 15 min. con agua. Si la irritación persiste, consultar con su médico.





## FICHA TÉCNICA

### Cal en pasta

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 la 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.

**Unicmall** produce cal en pasta (hidróxido cálcico) de tres calidades diferentes, en función de su antigüedad y granulometría.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Producto	Antigüedad	Granulometría (micras)	Cal libre (%)	Humedad (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Cal Pasta	1 mes	200	80	62	1270
Cal Pasta	6 meses	200	80	63	1250
Cal Pasta	12 meses	80	80	64	1260
Cal S Pasta Antigua	24 meses	80	78	65	1270

#### SUMINISTRO:

- **Envase:** Bolsas de 2, 5, 10 y 20 Kg. Botes de 5 y 20 Kg. Bidón de 120 Kg.

#### INFORMACIÓN DE SEGURIDAD: