



UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

PROYECTO FIN DE GRADO

**ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA
SOBRE MATERIALES CERÁMICOS**

SEVILLA, JUNIO DE 2017

Grado en Edificación

Alumno: Manuel Fuentes Torres

Tutor: Dr. Vicente Flores Alés

Grupo: 16

Dpto.: Construcciones Arquitectónicas II



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, tras la finalización de este curso académico 2016-2017 y la realización de este trabajo fin de grado, es necesario recordar a todas las personas que con su ayuda y consejos han hecho posible este día.

Ante todo, a mi familia, mis amigos y mi novia. Mencionar el apoyo incondicional de mis padres y mi hermana no solo con este proyecto, sino en todos los que he realizado. Ellos me han ayudado a ser la persona que soy y muchas de las cosas que he conseguido no hubiesen sido posible sin su ayuda.

A mi tutor del Proyecto Fin de Grado, Dr. Vicente Flores Alés, quién me ha guiado y apoyado en todo momento desde que empezamos con este estudio. Además, tengo que agradecerle no solo todo lo que me ha aportado en el ámbito de los materiales, sino como persona, con todos sus consejos y los buenos momentos que hemos pasado. Sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este proyecto.

Al laboratorio de materiales de la escuela, por su más que agradable acogida y las facilidades que han hecho posible la realización de este PFG. Con una mención especial a dos grandes personas, como son, José Manuel Ponce y José Bocanegra, encargados del laboratorio, por su ayuda incondicional.

A todos ellos, gracias.

ÍNDICE

1.- RESUMEN.....	09
2.- JUSTIFICACIÓN.....	10
3.- INTRODUCCIÓN.....	11
3.1.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN.....	12
3.2.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN NO ACELERADOS.....	12
3.3.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADOS.....	12
3.3.1.- ENSAYO TERMOHIGROMÉTRICO.....	13
3.3.2.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.....	13
3.3.3.- ENSAYO DE HELADICIDAD.....	14
3.4.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN EN ATMÓSFERAS CONTROLADAS.....	14
3.5.- MATERIALES Y TRATAMIENTOS.....	15
3.5.1.- MATERIALES.....	15
3.5.2.- TRATAMIENTOS.....	15
3.6.- ANALISIS DE LAS ALTERACIONES.....	16
4.- OBJETIVOS.....	17
5.- ESTUDIO DE LA CUESTIÓN.....	18
- <u>Artículo</u> : Análisis del Estado de Conservación de la Iglesia de Ómnium Sanctorum (Sevilla).....	19
- <u>Artículo</u> : Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico.....	21
- <u>Artículo</u> : Estudio de alterabilidad y efecto de tratamientos de conservación para los ladrillos de la portada de la iglesia de Santa María de Jesús (Sevilla).....	23
- <u>Artículo</u> : Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica.....	27

- <u>Artículo</u> : Evaluación de productos de tratamiento para la portada de la iglesia de Santiago de Guadix.....	31
- <u>Artículo</u> : Evaluación de tratamientos de hidrofugación aplicados a piedras calizas de Catedrales Andaluzas.....	34
- <u>Artículo</u> : Evaluación del comportamiento de materiales empleados en la reintegración de materiales cerámicos de la Plaza de España (Sevilla).....	36
- <u>Artículo</u> : La influencia de los productos hidrofugantes en la succión del ladrillo cerámico cara vista.....	39
- <u>Artículo</u> : La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación.....	41
- <u>Artículo</u> : Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales.....	46
6.- METODOLOGÍA.....	50
6.1.- MATERIALES Y TRATAMIENTOS.....	50
6.2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	52
6.2.1.- ENSAYO DE SUCCIÓN DE AGUA.....	52
6.2.2.- ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	53
6.2.3.- ENSAYO DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS.....	54
6.2.4.- ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A FLEXIÓN.....	56
6.2.5.- ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A COMPRESIÓN.....	57
6.3.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA.....	59
6.3.1.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.....	60
6.3.2.- ENSAYO DE HELADICIDAD.....	62
6.3.3.- ENSAYO TERMOHIGROMÉTRICO.....	63
6.4.- EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO.....	65
7.- DATOS.....	73
- <u>Tabla 1</u> : Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas de los ladrillos macizos.....	74

- <u>Tabla 2:</u> Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas de las plaquetas cerámicas sin vidriar.....	76
- <u>Tabla 3:</u> Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas de las plaquetas cerámicas vidriadas.....	78
8.- CONCLUSIONES.....	80
9.- BIBLIOGRAFÍA.....	82
10.- ANEXOS.....	84
10.1.- CALENDARIOS DE ENSAYOS.....	85
10.2.- TABLAS DE CALCULO.....	88
- <u>Tabla 4:</u> Datos obtenidos en la caracterización de las muestras Previas.....	88
- <u>Tabla 5:</u> Datos obtenidos en la caracterización de las muestras ensayadas.....	89
- <u>Tabla 6:</u> Comparativa de datos obtenidos en la caracterización de muestras ensayadas versus muestras previas.....	90
- <u>Tabla 7:</u> Comparativa de resultados obtenidos en la caracterización de muestras ensayadas versus muestras previas.....	91
- <u>Tabla 8:</u> Datos y comparación de los mismos obtenidos en la caracterización mediante ensayo de ultrasonidos de las muestras ensayadas versus muestras previas.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

- <u>Figura 01</u> : Ladrillo Macizo (LM).....	50
- <u>Figura 02</u> : Plaqueta Cerámica Sin Vidriar (PC).....	50
- <u>Figura 03</u> : Plaqueta Cerámica Vidriada (PV).....	50
- <u>Figura 04</u> : Antisulfato (Hidróxido de bario).....	51
- <u>Figura 05</u> : Hidrofugante (Aquashield Ultimate).....	51
- <u>Figura 06</u> : Ensayo de Succión.....	52
- <u>Figura 07</u> : Ensayo de Absorción.....	54
- <u>Figura 08</u> : Ensayo de Ultrasonidos.....	55
- <u>Figura 09</u> : Ensayo de Flexión.....	56
- <u>Figura 10</u> : Ensayo de Compresión.....	58
- <u>Figura 11</u> : Refrentado.....	58
- <u>Figura 12</u> : Preparación del ensayo de Cristalización de Sales.....	60
- <u>Figura 13</u> : Plaquetas bajo luminaria infrarroja.....	60
- <u>Figura 14</u> : Ensayo de Heladicidad.....	62
- <u>Figura 15</u> : Ensayo Termohigrométrico.....	64
- <u>Figura 16</u> : Ladrillo Macizo después del tratamiento.....	66
- <u>Figura 17</u> : Plaqueta Cerámica Sin Vidriar después del tratamiento.....	66
- <u>Figura 18</u> : Plaqueta Cerámica Vidriada después del tratamiento.....	66
- <u>Figura 19</u> : Comienzo 1ª fase del ensayo de Cristalización de Sales.....	67
- <u>Figura 20</u> : Final 1ª fase del ensayo de Cristalización de Sales.....	67
- <u>Figura 21</u> : Blanqueamiento de las muestras del ensayo de Heladicidad.....	67
- <u>Figura 22</u> : Volumen de eflorescencias de los LM en la segunda fase de ciclos.....	68
- <u>Figura 23</u> : Descascarillamiento de los bordes del LM nº 3.....	68
- <u>Figura 24</u> : Fragmentos del LM nº 3 en el lecho de arena.....	68
- <u>Figura 25</u> : Fisuración de las muestras de LM 4, 5 y 6.....	68
- <u>Figura 26</u> : Volumen de eflorescencias al segundo ciclo de la tercera fase.....	69
- <u>Figura 27</u> : Criptoflorescencias del LM nº 3 (1).....	69

-Figura 28: Criptoflorescencias del LM nº 3 (2).....	69
-Figura 29: Disgregación del LM nº 4.....	69
-Figura 30: Disgregación del LM nº 5.....	69
-Figura 31: Disgregación del LM nº 6.....	70
-Figura 32: Material disgregado.....	70
-Figura 33: Estado antes de la limpieza.....	70
-Figura 34: Estado después de la limpieza.....	70
-Figura 35: Reafloramiento de las sales (1).....	71
-Figura 36: Reafloramiento de las sales (2).....	71
-Figura 37: Pérdida de material del LM nº 4.....	71
-Figura 38: Pérdida de material del LM nº 5.....	71
-Figura 39: Pérdida de material del LM nº 6.....	71
-Figura 40: Disgregación total.....	71

1.- RESUMEN.

La primera parte del PGF ha consistido en una revisión bibliográfica de diferentes artículos técnico-científicos y publicaciones en relación a las experiencias de alteración acelerada sobre materiales de pétreos y la influencia que conlleva la aplicación de diferentes tratamientos protectores en la vida útil de dichos materiales.

La segunda parte ha consistido en la realización de ensayos de alteración acelerada (Cristalización de sales, Heladicidad y Termohigrométrico) sobre diferentes materiales cerámicos, a los cuales se les han aplicado diferentes tratamientos protectores (Antisulfato e hidrofugante), evaluando mediante la caracterización de los mismos (Absorción de agua por capilaridad e inmersión, Velocidad de transmisión de ultrasonidos y Resistencia mecánica a compresión y flexión) el grado de alteración y la eficacia de los tratamientos protectores.

Palabras clave: **Ensayos de alteración acelerada, Cerámica, Cristalización de sales, Heladicidad, Termohigrométrico, Antisulfato, Hidrofugante.**

1.- ABSTRACT

The first part of the PGF has consisted in a bibliographical revision of different technical-scientific articles and publications regarding the experiences of accelerated alteration on stone materials and the influence that the application of different protective treatments produces in the useful life of said materials.

The second part consisted in the realization of accelerated alteration tests (Salts crystallization, Heladicity and Thermalhygrometric) on different ceramic materials, which different protective treatments (Antisulfate and Waterproof) have been applied to them, evaluating by means of the characterization of the same ones (Water absorption by capillarity and immersion, ultrasonic transmission speed and mechanical resistance to compression and flexion) the degree of alteration and the effectiveness of protective treatments.

Key words: **Accelerated alteration test, Ceramic, Salts crystallization, Heladicity, Thermalhygrometric, Antisulfate, Waterproof.**

2.- JUSTIFICACIÓN.

El Proyecto Fin de Grado es la culminación, en muchos de los casos, del proceso de aprendizaje de los estudiantes que cursan el grado.

Durante este periodo de aprendizaje, que puede ser más corto o más largo, los estudiantes, obtenemos la base para cimentar el conocimiento y habilidades necesarias para convertirnos en futuros profesionales, sin olvidar la labor de los diferentes estudios de postgrado que completan nuestras facetas profesionales.

Por tanto, las competencias, y por defecto, las atribuciones profesionales son la consecuencia del antes nombrado proceso de aprendizaje. Las atribuciones adquiridas mediante el título van desde la concepción de un proyecto edificatorio, hasta la propia gestión inmobiliaria del mismo, pasando por fases como la dirección de ejecución, las mediciones y valoraciones, la prevención de riesgos laborales, el asesoramiento técnico en I+D para la fabricación de materiales novedosos e incluso el estudio del ciclo de vida útil de los materiales.

La crisis del sector provocó que muchos de los profesionales, tuvieran que sacar su ingenio y agudeza para adaptarse a la nueva situación laboral, afrontando trabajos que hasta entonces no se habían planteado. Lo cual manifestaba la existencia de trabajo fuera del recinto de una obra.

Esta reflexión me llevo a enfocar el PFG hacia la rama tecno-científica. Comprendiendo que, aun siendo parte de nuestras atribuciones, quizás no salíamos tan preparados a la hora de evaluar la durabilidad de los materiales y de diferentes tratamientos protectores, aplicables en las intervenciones de rehabilitación y restauración de edificaciones y monumentos.

Por ello y todo lo anteriormente expuesto y con el motivo principal de ampliar mis conocimientos, elegí realizar el PFG sobre la evaluación de la influencia que producen diferentes tratamientos protectores en la durabilidad de los materiales cerámicos.

3.- INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, en el mundo de la construcción, se está teniendo una conciencia cada día más profunda sobre la durabilidad de los materiales empleados y sobre un diseño de los edificios que favorezcan, en la medida de lo que se pueda, el correcto mantenimiento de los mismos.

En la antigüedad, estos pensamientos no existían, bien sea porque en aquella época no se gozaba de los conocimientos técnico-científicos de la actualidad o quizás por algo más importante y que no solo afecta a los materiales, sino al día a día de la humanidad, la contaminación.

Bien es cierto que la durabilidad de un material está íntimamente relacionada con la compatibilidad entre este y el medio exterior que lo rodea, pero cabe destacar que la contaminación del agua y atmosférica que sufrimos, agrava en determinadas ocasiones las alteraciones que el medio exterior provoca sobre los materiales.

Por ello el estudio técnico-científico de las alteraciones, es fundamental a la hora de dilucidar las causas de las patologías y las medidas protectoras o preventivas necesarias para ralentizar el ataque del medio sobre los materiales o aumentar su durabilidad respectivamente.

La investigación puede desarrollarse en 5 fases (11):

1. Estudio de la muestra: Morfológico, químico, histórico (alteraciones y/o tratamientos) y uso.
2. Estudio del medio ambiente: Temperatura, humedad, lluvia, viento, hielo, contaminación, en general, los medios exteriores por los que el material puede verse alterado a ser posible definiendo la intensidad y frecuencia.
3. Análisis de las alteraciones: Comparando las características del material alterado frente a las características que tenía sin ser alterado.
4. Establecimiento de los mecanismos de alteración: Mediante la puesta en común de los tres apartados anteriores podemos llegar a la causa de la alteración.
5. Adopción de medidas de protección: Estas medidas pueden ir enfocadas al medio (si este se pudiera controlar) o enfocadas al material, aplicándole tratamientos que mejoren sus características. En todo caso el estudio de la eficacia del tratamiento mediante ensayos de alteración acelerada es fundamental para elegir el tratamiento idóneo.

La observación más importante en este punto al igual que se hace en (5), es, no ignorar la causa principal de alteración, porque por mucho que consolidemos o hidrofuguemos los materiales, si no atacamos la causa el deterioro se producirá igualmente, como ocurre en las alteraciones derivadas de humedades por capilaridad.

3.1.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN.

En los ensayos de alteración se trata de enfrentar muestras de materiales de características conocidas a los efectos de un medio de alteración conocido para estudiar su comportamiento y los posibles tratamientos protectores. Esta tipología de ensayos la podríamos dividir a su vez en 3 variantes diferente (11):

Ensayos de alteración no acelerados, ensayos de alteración acelerados y ensayos de alteración en atmósferas controladas.

3.2.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN NO ACELERADOS.

Se pueden definir como ensayos de larga duración, donde el ambiente exterior es elegido al uso por sus variables atmosféricas siendo óptimas para evaluar el comportamiento de los materiales ante los factores de alteración que el ambiente ejerce sobre los mismos.

Este tipo de ensayos según algunos autores son muy válidos, dado que reflejan al 100% el comportamiento del material, pero hay que tener en cuenta el largo periodo de exposición (Hay ensayos que han durado hasta 34 años). Por ello este tipo de ensayos esta enfocados hacia otro tipo de materiales como recubrimientos y metales, diferente a los pétreos, dado su alta durabilidad.

3.3.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADOS.

Se pueden definir como una acción concentrada y corta en el tiempo de algunas de las variables atmosféricas que afectan a los materiales, sin modificar las demás variables, es decir, con los mismos valores que en su estado natural de manera que no las controlemos.

Estos ensayos nos ayudan a evaluar la durabilidad del material en plazos breves de tiempo, así como para poder definir el grado de eficacia del tratamiento si se le hubiera aplicado. Aunque nunca podremos garantizar la fiabilidad al 100% de las conclusiones, dado que la intensificación de los factores de alteración puede conllevar variaciones en las patologías de las muestras, respecto a las ensayadas sin acelerar.

Los ensayos más comunes de esta variante como se han podido comprobar en estudios anteriores han sido: Choque térmico o termohigrométrico (1, 7 y 9), Cristalización de sales (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 y 10), Heladicidad (4 y 5).

El número de ciclos a realizar en cada ensayo viene determinado por la agresividad que se pretenda dar al propio ensayo, por lo que cada autor deberá reflejar el que vea necesario.

Aunque hay dos tendencias en este caso, realizar un número de ensayos fijos haya o no síntomas de alteración macroscópica en la muestra (9) o realizar el número de ciclos exactos hasta que el deterioro de la muestra obligue a retirarla del ensayo (3).

3.3.1.- ENSAYO TERMOHIGROMÉTRICO.

En este ensayo se trata de someter a la muestra a diferentes ciclos de humidificación-secado, de manera que creamos la alteración en forma de estrés térmico en la muestra como efecto de las variaciones de temperatura y humedad. Los materiales pétreos suelen verse poco afectados por este tipo de ensayos, por lo que son menos útiles a la hora de evaluar la eficacia de diferentes tratamientos.

En este ensayo podemos destacar el método definido por el I.A.P.H (Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico) que especifica dos fases en cada ciclo (9):

-La primera de humectación de la muestra, sumergiéndola 24 horas en agua a temperatura ambiente.

-La segunda de secado, en horno a unos 80° C durante 22 horas y un posterior atemperamiento durante dos horas.

3.3.2.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.

En este ensayo la muestra es sometida a diferentes ciclos de hidratación y cristalización de sales, de manera que en la fase de hidratación la solución salina se interne en los poros de la muestra y en la fase de cristalización la sal se expanda y solidifique aumentando su tamaño y produciendo estrés mecánico en la muestra debido a las altas presiones internas de los poros.

En estudios anteriores (10) se define según el análisis de diferentes estudios la metodología idónea a seguir para realizar el ensayo que consiste en 3 fases:

-La primera de hidratación, por inmersión de la muestra en la solución salina durante 4 horas a 20° C.

-La segunda de cristalización, por secado en horno durante 14 horas a 60-105° C.

-La tercera de atemperamiento, durante 6 horas a temperatura ambiente.

Aspectos relevantes a tener en cuenta son que la solución salina sea de una concentración del 14% en sulfato sódico, dado que esta sal es capaz de aumentar un 300% en volumen al cristalizarse y que la temperatura de la solución no sobrepase los 32,4° C, dado que se impide la hidratación de la sal.

3.3.3.- ENSAYO DE HELADICIDAD.

En este ensayo tratamos de reproducir el efecto de las heladas, estas actúan sobre las muestras de forma muy similar a la que se representa en el ensayo de cristalización de sales, dado que en sus orígenes el ensayo de cristalización de sales era una forma simplificada de evaluar el comportamiento ante la heladicidad como se recoge en (10 y 11).

En este caso recogemos como método ideal el expuesto en (5 y 11), que consta de un ciclo dividido en dos fases:

- La primera de descongelación, por inmersión de la muestra en agua a temperatura ambiente durante 4 horas.
- La segunda de congelación, introduciendo la muestra a -20°C en cámara frigorífica durante 20 horas.

3.4.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN EN ATMÓSFERAS CONTROLADAS.

Se pueden definir como ensayos donde se reproducen las variables atmosféricas que alteran los materiales de forma controlada, es decir, manteniendo siempre el dominio sobre la intensidad y frecuencia de los mismos. Este ensayo permite alterar muestras con diferentes factores de alteración individualmente, dado el confinamiento necesario para realizar el ensayo. Pero sin duda la mayor ventaja de este ensayo es el de poder evaluar el comportamiento de las muestras ante atmosferas contaminadas.

Por lo tanto y atendiendo a las características de la atmosfera podemos diferenciar dos tipos:

- Ensayo estático, si esta atmosfera no se renueva una vez comenzado el ensayo.
- Ensayo dinámico, si esta atmosfera si se renueva cada x tiempo.

El talón de Aquiles de este tipo de ensayo es que para realizarse obviamente debe ser económico y sencillo y que, además como todos los ensayos de alteración acelerada, se puedan obtener los mecanismos de alteración a corto plazo. Pero al juntar todas estas variables puede que no se reproduzca de forma real el comportamiento de las muestras, por el simple hecho de la complejidad de imitar los factores de alteración.

Como se ha comprobado en estudios anteriores (1, 4 y 11) los ensayos de alteración en atmosferas contaminadas por diferentes químicos es el más seguido, dada la relación como antes se comentó entre las alteraciones de las muestras y la contaminación atmosférica.

3.5.- MATERIALES Y TRATAMIENTOS.

Los ensayos de alteración acelerada nos sirven de ayuda para evaluar la durabilidad de diferentes materiales pétreos, así como de los tratamientos que protejan de la alteración a los mismos.

Pero como podemos comprobar en estudios anteriores (11) el variopinto de muestras a ensayar es muy grande, desde recubrimientos orgánicos pasando por plantas y animales hasta todo tipo de material alterable por el ambiente exterior.

Por lo tanto y como consecuencia de lo anterior, la variedad de tratamientos que podemos encontrar es infinita.

A continuación, nos centraremos en resumir los tratamientos y características de las muestras de materiales pétreos, más enfocada al objeto de este estudio.

3.5.1.- MATERIALES.

Como se explica en (9 y 11), es necesario realizar un estudio exhaustivo de la muestra y el medio ambiente que la rodea, obligatorio para poder evaluar el comportamiento ante la alteración y la eficacia de diferentes tratamientos.

Las muestras a ensayar podemos englobarlas en muestras extraídas "in situ" del edificio o monumento sobre el cual actuaremos o proveniente de la fábrica o cantera en la cual fue manufactura o extraída. Las dimensiones de las probetas a ensayar suelen ser de forma paralelepípeda o cúbica de aproximadamente 5-7 cm de arista.

Por cada tipología de ensayo es conveniente introducir en el mismo hasta 3 probetas por cada tipología, origen o tratamiento aplicado, así conseguiremos mayor media de resultados que nos darán una moda más uniforme.

3.5.2.- TRATAMIENTOS.

Los tratamientos más empleados en la protección de muestras pétreas son los consolidantes e hidrofugantes como podemos comprobar en (3, 4, 5, 6, 8 y 9). Aunque podemos encontrar el caso de morteros consolidantes o morteros de reconstrucción como en (1 y 7).

Los tratamientos pueden diferenciarse respecto a su aplicación, ya sea por inmersión, por pincelado o por pulverización, ordenados de mayor a menor penetración.

La forma de aplicación está directamente relacionada con la polimerización de estos tratamientos, dado que podemos encontrarnos polímeros y copolímeros que varían en gran medida su tiempo de secado (polimerización) dado que los segundos

están parcialmente polimerizados y su tiempo de implantación es menor.

Según su composición química, los tratamientos se pueden dividir en tantas partes como tratamientos exista dado que cada tratamiento lleva intrínsecamente un tipo de composición diferente.

Según su función:

-Consolidante: Tratamientos principalmente superficiales que “unen” la capa exterior de material expuesto con el núcleo del material, consiguiendo aumentar la cohesión interna y aumentando la durabilidad.

-Hidrofugante: Tratamiento superficial que impermeabiliza el material evitando la entrada de agua y en principio permitiendo la permeabilidad de la misma al vapor de agua. Aunque en estudios anteriores se ha comprobado que esto no siempre es así (4, 5, 6, 8 y 9).

-Morteros reestructuradores: Tratamiento para recuperar el volumen perdido de las muestras mediante productos pétreos artificiales.

3.6.- ANALISIS DE LAS ALTERACIONES.

Cuando nos enfrentamos a ensayos de alteración acelerada es muy importante hacer un seguimiento macroscópico de las muestras y documentarlo.

Normalmente este deterioro macroscópico siempre va relacionado con pérdidas de peso y disminución de las propiedades mecánicas de la misma. Por ello es clave una caracterización en profundidad de las muestras a ensayar, para poder compararlas.

La caracterización del material como se establece en estudios anteriores (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11) puede realizarse mediante:

-Ensayos de porosidad, de absorción de agua por inmersión, por capilaridad o por vacío, velocidad de desorción de agua, velocidad de transmisión de ultrasonidos y colorimetría.

-Ensayos relacionados con las propiedades mecánicas como: Resistencia a compresión, a flexión, a tracción o dureza superficial.

Cabe destacar la posibilidad si los medios lo permiten de la evaluación microscópica de las muestras, así como mediante Rayos X.

4.- OBJETIVOS

Los objetivos perseguidos por el presente Proyecto Fin de Grado se han dividido en dos niveles: Teórico y Práctico.

Desde el punto de vista teórico se han estudiado una variedad artículos técnico-científicos y publicaciones donde se recogen los conocimientos derivados del comportamiento que ofrecen los materiales a los ensayos de alteración acelerada, así como su utilidad para evaluar la compatibilidad, eficacia y durabilidad de los tratamientos de conservación de los materiales bajo los efectos de los agentes de alteración.

Desde el punto de vista práctico hemos analizado el comportamiento de varios materiales cerámicos, que han sido sometidos a diferentes ensayos de alteración acelerada, llevándolos a condiciones extremas en relación a su funcionamiento real en el edificio, de modo que pudiéramos evaluar las alteraciones y su efecto en las propiedades del material tras los procesos de simulación acelerada de envejecimiento. Comparando el efecto que produce la aplicación diferentes tratamientos de protección frente a la degradación fisicoquímica que experimentan las muestras.

Cronología del marco práctico:

Caracterización previa a los ensayos de alteración acelerada

Ensayos de absorción y succión de agua, de velocidad de transmisión de ultrasonidos y de resistencia mecánica a compresión y flexión.



Aplicación de los tratamientos

Aplicación de los productos antisulfato e hidrofugante a las muestras previa realización de los ensayos de alteración acelerada.



Realización de los ensayos de alteración acelerada

Sometiendo a las muestras a los ensayos de cristalización de sales, heladicidad y termohigrométrico.



Caracterización posterior a los ensayos de alteración acelerada

Ensayos de absorción y succión de agua, de velocidad de transmisión de ultrasonidos y de resistencia mecánica a compresión y flexión. Necesarios para comparar y evaluar la reducción o no en la durabilidad de las muestras.

5.- ESTUDIO DE LA CUESTIÓN.

El estudio de la cuestión se engloba en el marco teórico del presente PFG, mediante el cual se pretende adquirir los conocimientos y habilidades necesarios para afrontar la realización de un estudio en base a ensayos de alteración acelerada y profundizar en las características y finalidades de los mismos.

A continuación, se exponen una serie de resúmenes realizados a partir del estudio de diferentes artículos técnico-científicos y publicaciones que abordan el campo de las experiencias de alteración acelerada, así como el estudio de los materiales y tratamientos sobre los que se realizan.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Análisis del Estado de Conservación de la Iglesia de Ómnium Sanctorum (Sevilla). *Revista Macla* nº15: 81-82.

1.- INTRODUCCIÓN

El artículo refleja el estudio y análisis de los materiales empleados en la parroquia de Ómnium Sanctorum, en el centro histórico de la ciudad de Sevilla, la cual sufrió en su antigüedad un terremoto incluso diversos incendios.

2.- MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se realizó una exhaustiva inspección visual y cartografía de las tres portadas, el material empleado fue roca caliza de la cantera "Paraje Cortijo Nuevo" muy similar a la existente en dichas portadas.

Las probetas se caracterizaron mediante ensayos de: inmersión en agua, de succión por capilaridad, densidad aparente y velocidad de propagación de ultrasonidos. Las probetas fueron tratadas con diferentes consolidantes (morteros de cal), de las marcas Weber, CMK, TXT y Prisma.

Los ensayos de alteración acelerada que se propusieron fueron: Choque térmico (300-750°, simulando un incendio), cristalización de sales con sulfato sódico, ataque químico en atmosfera controlada y bioalteración a la intemperie.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las portadas con mayores síntomas de alteración (Costras negras y depósitos superficiales) son las de la calle Feria y Palacios Malaver, siendo la de menos alteración la situada hacia el Mercado (escasa erosión superficial), estos datos están relacionado con tráfico de las calles (rodado y peatonal) respectivamente.

La caliza de Jerez posee trazas de hierro en su composición, lo que provoca que dependiendo de la temperatura del ensayo de choque térmico, la muestra torne a diferentes colores y estados de fisuración. Las probetas utilizadas en el ensayo de cristalización de sales presentan gran volumen de eflorescencias y pérdidas de peso, además del desprendimiento del mortero al 4 ciclo de ensayos. La respuesta al ataque químico provoca la falta de adherencia del mortero y en el ensayo de bioalteración se aprecian pérdidas de peso debido a la acción de la lluvia y viento simulados.

4.- CONCLUSIONES

Las portadas de la calle Feria y Palacios Malaver presentan una alteración de grado media alta debida al tráfico rodado y la falta de adherencia de los morteros, mientras que la piedra de la portada del Mercado presenta un envejecimiento natural.

Los ensayos de cristalización de sales y ataque químico muestran la ineficacia de los morteros de cal como consolidantes, dejando como única opción de restauración la recomposición de estas portadas con sillares nuevos.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. *Revista de edificación* nº12: 53-57.

1.- GENERALIDADES

En el artículo se defiende la conservación de los edificios históricos por sus valores emocionales, culturales y de uso que conllevan, ralentizando el deterioro de la naturaleza para garantizar la herencia a las futuras generaciones, mediante la implantación de ensayos normalizados y experiencias de alteración que permitan encontrar el camino para disminuir o evitar el deterioro mediante tratamientos preventivos.

Recalca la importancia del entorno, el historial y antigüedad del edificio como fase fundamental, seguido de una inspección visual y reportaje fotográfico exhaustivo y por último, la comprensión y realización de los ensayos y alteraciones aceleradas, así como una toma de muestras para evaluar la naturaleza de los materiales.

Establece una serie de ensayos básicos para la caracterización del material como:

Ensayos de compacidad → Determinando la porosidad del material, incluyendo ensayos de porometría que indiquen la distribución y tamaño de los mismos (más importante aún)

Ensayos de cohesión mecánica → Determinando las resistencias a compresión, tracción y flexión, así como ensayos de caracterización de la dureza superficial, análisis termohigrométricos y de aislamiento eléctrico.

Ensayos de comportamientos frente al agua → Debido a ser la causa principal en la mayoría de patologías, averiguando el agua de composición que puede tener la pieza, así como su capacidad de absorción y permeabilidad al vapor de agua.

La acción de la naturaleza debido a la interacción del material con el medio ambiente es imparable en la mayoría de los casos, pero con los mecanismos expuestos y el análisis de los resultados podemos ralentizar su efecto, ampliando el patrimonio cultural.

2.- MEDIDAS PREVENTIVAS Y TRATAMIENTOS DE PREVENCIÓN

En esta segunda parte los autores indican la importancia de las medidas preventivas evitando las medidas protectoras (Una vez el material ya ha sido afectado), como principal medida preventiva se sitúa el mantenimiento (Limpieza, inspecciones visuales...), la falta de mantenimiento conlleva a un deterioro precoz.

La conservación del material mediante tratamientos preventivos deriva en diferentes niveles y escalas de intensidad, en el mundo arquitectónico las medidas principales son aplicación de protecciones y consolidantes.

Estos productos son sometidos a ensayos y experiencias de alteración que permitan averiguar su comportamiento (Física y químicamente) además de la compatibilidad material-producto y su durabilidad. Analizando los posibles cambios de color, físicos y mecánicos que el producto provoque en el material.

3.- EXPERIENCIAS DE ALTERACIÓN ACELERADA

Se definen como acciones violentas y concentradas en el tiempo, reproduciendo la alteración de los materiales evaluando la durabilidad de piezas tratadas versus sin tratar y el comportamiento de los mismos, así como la eficacia (Positiva o negativa) una vez finalizados los ciclos repetitivos.

El primer paso a la hora de elaborar una experiencia de alteración acelerada es definir las condiciones iniciales de las probetas a ensayar, el segundo, la definición de las diferentes variables que vayamos a incorporar a nuestro sistema y por último, evaluar los resultados obtenidos incidiendo en los más representativos (Inspección ocular, pérdida de volumen y/o masa, números de ciclos realizados y ensayos de cohesión mecánica). Evidentemente estos ensayos no solo tratan de determinar las consecuencias sobre el material, sino también, la propia durabilidad del conservante aplicado.

Las experiencias más comunes en este campo son:

Ciclos de heladicidad, cristalización de sales, resistencia al agua (humidificación/secado), irradiación ultravioleta y experiencias con soluciones ácidas y en atmósferas contaminada.

Aunque puedan parecer simples, no existe una normalización de estos ensayos que sea de efecto global y dependiendo incluso de los laboratorios donde se realicen estos pueden variar de forma notable en su elaboración y ejecución.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Estudio de alterabilidad y efecto de tratamientos de conservación para los ladrillos de la portada de la iglesia de Santa María de Jesús (Sevilla). *Revista Materiales de Construcción* Vol. 59: 85-103.

1.- INTRODUCCIÓN.

En el colegio de Santa María de Jesús se fundó la actual Universidad de Sevilla. De aquel edificio solo queda la capilla, la cual es objeto de estudio en este artículo.

El artículo por tanto forma parte del proceso de restauración de la capilla en el año 2005, a continuación, se estudiarán los dos tipos de ladrillos cara vista utilizados (Rojo y amarillo) que además presentaban diferentes estados de conservación.

2.- MATERIALES Y METODOLOGÍA.

2.1.- MATERIALES: LADRILLOS Y RODUCTOS DE TRATAMIENTO.

Las probetas de 4x4 cm han sido extraídas de ladrillos de la portada objeto de estudio, en total se disponen de 6 probetas de cada tipo de ladrillo, 3 de las cuales se han tratado únicamente con el consolidante (Estel 100) y las otras 3 han sido tratadas con el consolidante anterior más un hidrofugante (FTB Hydro es).

2.2.- TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS.

Estudio de la composición mineralógica mediante DRX, textura superficial y análisis químico elemental mediante microscopio electrónico de barrido. La determinación de la resistencia a compresión se ha realizado en una adaptación de la norma UNE-EN 772-1 a las probetas existentes.

2.3.- EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS.

Se ha estudiado la compatibilidad del tratamiento con el material, la eficacia del tratamiento y la resistencia del material tratado a la alteración.

2.3.1.- COMPATIBILIDAD DEL TRATAMIENTO CON EL MATERIAL.

Se ha estudiado la porosidad total y la distribución del tamaño de los mismo una vez aplicado el tratamiento con motivo de saber si se han modificado las características del material en cuanto a transferencia de humedad. Dado que normalmente esta clase de tratamientos suelen provocar desprendimientos de la capa

superficial del material al evitar la evaporación del agua contenida en la probeta.

2.3.2.- EFICACIA DEL TRATAMIENTO.

Con los productos consolidantes buscamos mejorar la cohesión del material y con los productos hidrófugos disminuir la entrada de agua. Para evaluar estos aspectos se han realizado ensayos de succión de agua por capilaridad y ensayos de dureza superficial para determinar las características mecánicas de las probetas (se opta por este tipo de ensayo al ser no destructivo al contrario de los que ocurre con los de compresión o flexión).

2.3.3.- RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN. ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA.

Se trata de someter al material a condiciones de alteración similares a la existentes en la edificación concentradas en un corto espacio de tiempo, para así obtener resultados de manera acelerada.

En nuestro caso se observó que la alteración más evidente era la cristalización de sales.

Por lo que se sometieron las probetas a ciclos de solubilización y cristalización de sales de sulfato sódico, que al cristalizar producen una gran tensión interna en los poros. Se controló el deterioro macroscópico de las probetas y su peso, cuando esta alteración era grande, se retiraba la probeta del ensayo.

3.- RESULTADOS.

3.1.- LADRILLOS.

3.1.1.- COMPOSICIÓN MINERALÓGICA.

Como dato fundamental se obtiene que la temperatura de cocción de estos ladrillos (Amarillo (LA) y Rojo (LR)), no supero en ningún momento los 900°C dado que existen componentes como la calcita o los filosilicatos, respectivamente, que por encima de esa temperatura desaparece.

3.1.2.- RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

LR = 250 Kp/cm² (25 N/mm²) y LA = 188 Kp/cm² (18,8 N/mm²)

Se observa que la resistencia a compresión del LR es un 20% mayor que la del LA.

3.2.- APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Los tratamientos tardaron en secarse en torno a 17 días el consolidante y en torno a una semana el hidrófugo, los incrementos de peso fueron en torno al 2% en el caso del consolidante y del 0'2% en el hidrófugo, sobre el peso de las probetas sin tratar.

Mediante la evaluación con microscopio eléctrico de barrido se pudo apreciar que la distribución de los tratamientos era uniforme.

3.3.- EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS.

3.3.1.- COMPATIBILIDAD CON EL MATERIAL.

Mediante el ensayo de porosidad abierta se ha podido comprobar que el LA tiene un 5% más de porosidad que el LR, debido principalmente a las diferentes temperaturas de cocción.

Las probetas tanto de LA cómo LR reaccionan igual ante la aplicación de los tratamientos disminuyendo su porosidad un 5% y 7% respecto a la probeta sin tratar, con el producto consolidante y el consolidante más hidrofugante respectivamente.

El tamaño de los poros en el LR no supera los 0,1 μ m de radio en la gran mayoría de su volumen poroso, mientras que en el LA oscilan entre 0,1 μ m y 1 μ m de radio siendo la gran parte del volumen más cercana a 1 μ m. La distribución de los poros no se altera con la aplicación de los tratamientos.

3.3.2.- EFICACIA DEL TRATAMIENTO.

Siguiendo el ensayo de absorción de agua por capilaridad, se demuestra que la aplicación del producto consolidante disminuye significativamente la absorción con respecto a las probetas sin tratar, aunque es en el LA donde más efecto tiene, llegando a disminuir hasta un 80%, mientras que en el LR no llega al 50%. La aplicación del producto hidrofugante solo se aprecia en las probetas de LR debido al efecto previo del consolidante.

La dureza superficial no varía con la aplicación de los tratamientos, aunque podemos decir que al igual que la resistencia a compresión el LR tiene mayor dureza superficial, debido en gran parte a la menor porosidad que presenta este frente al LA.

3.3.3.- RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN.

Respecto al ensayo de cristalización de sales podemos afirmar que:

El LR no muestra alteración hasta el décimo ciclo donde las probetas sin tratar y con consolidante se fracturan. No es hasta el ciclo decimotercero cuando la probeta tratada con consolidante más hidrofugante se fractura, por lo que podemos afirmar que este

tratamiento conjunto alarga la resistencia del ladrillo ante la acción de las sales.

El LA solo ha mostrado alteración en las probetas sin tratar, que en el décimo ciclo comenzaron a perder material y no fue hasta el decimoquinto cuando comenzó a disgregarse (sin fracturarse).

La diferencia de sintomatologías se debe al tamaño de los poros, los poros pequeños sufren unas tensiones bruscas y fuertes, mientras que los poros más grandes sufren tensiones lentas, esto da lugar a la fracturación por un lado y la disgregación por otro respectivamente.

“Esta morfología de deterioro se ha observado también en materiales pétreos con un volumen elevado de microporos, como es el caso de la piedra de Espera, empleada en la Catedral de Sevilla (22), la de Almería, en la Catedral de dicha ciudad (22), o la de Bácor, usada en la Catedral de Guadix (8). En ellas se aprecia igualmente que los tratamientos ejercen menor efecto, en algunos casos casi inapreciable, en la resistencia a la alteración y en la morfología de deterioro en las probetas sometidas al ensayo de cristalización de sales.”

4.- CONCLUSIONES.

La respuesta frente a la cristalización de sales es muy diferente, provocando fracturación en el caso del LR por las elevadas presiones que se generan en los microporos, mientras que en el LA las presiones son más bajas provocando la disgregación del material, además siendo esta alteración más tardía que en el LR.

La mínima diferencia de alteración en el LR con y sin tratamientos, no se puede considerar significativa, por lo que la aplicación de los tratamientos solo afectaría a la disminución de la absorción de agua, pero no a incrementar la durabilidad. Sin embargo, en el LA tanto el tratamiento con consolidante como con este mas hidrofugante, sí que incrementa la durabilidad. Hay que mencionar que el LA sin tratar sufre menos alteración que el LR sin tratar.

En conclusión, hay que recalcar la influencia de los microporos en la resistencia a la alteración y la eficacia de los tratamientos, antes mencionado.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 58: 115-128.

1.- INTRODUCCIÓN.

Desde la antigüedad se han aplicado tratamientos protectores a los materiales para ralentizar la alteración que producía el medio sobre los mismos, aunque no fuese hasta la revolución industrial en el siglo XVIII cuando se aplicaron las primeras técnicas con metodología científica, aún en día existe incertidumbre por saber que tratamiento escoger y cuál será el mejor.

La piedra monumental por excelencia de granada ha sido la Calcarenita Bioclástica de Santa Pudía, que es el objeto de estudio en este artículo.

Debido a su gran repercusión, podemos afirmar como ya se ha hecho con antelación que la Calcarenita Bioclástica tiene un elevado volumen de poros (llegando a veces al 30% de porosidad), que de esta característica morfológica derivan sus grandes problemas en cuanto aparición de costras por contaminación atmosférica y la elevada alteración superficial que se produce debido a las extremas variaciones de temperaturas locales (Granada).

Por los que contaremos con probetas extraídas de cantera y alteradas en laboratorio previa a la aplicación de diversos tratamientos consolidantes e hidrofugantes, para asemejar al máximo la realidad con el ensayo.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

La metodología seguida se puede resumir en cuatro fases:

- 1) Determinación de los parámetros hídricos de muestras de cantera.
- 2) Envejecimiento acelerado de las muestras de cantera y evaluación de los cambios de las propiedades hídricas.
- 3) Tratamiento de algunas de las muestras y posterior ciclo de ensayos de alteración acelerada.
- 4) Volver a estudiar los parámetros hídricos tras los ensayos de alteración acelerada.

Los parámetros hídricos se han hallado siguiendo los ensayos de absorción, desorción de agua y saturación en vacío.

Se han realizado ensayos de heladicidad, cristalización de sales y ensayo en atmósfera controlada con SO₂ entendiéndose que estos ensayos son los más representativos a la hora de simular la situación real de alteración en la localidad de Granada.

Durante los ensayos se han observado y evaluado las diferentes alteraciones macroscópicas, microscópicas (Microscopio de barrido) y cambios cromáticos (Colorímetro).

Los tratamientos aplicados han sido:

- Consolidante (Tegovakon V)
- Hidrofugantes (Tegosivin HL100 y Silo 111)
- Consolidante e hidrofugante (Estel 1100)

Se han ensayado un total de 84 probetas (3 sin alterar, 9 alteradas (3 por cada uno de los ensayos de alteración acelerada) aunque sin tratar y 72 alteradas y tratadas)

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1.- PARÁMETROS HÍDRICOS DE MUESTRAS DE CANTERA.

La Calcarenita de Santa Pudía presenta un volumen de saturación del 74%, llegando su porosidad abierta hasta el 21%. Se ha comprobado que, al saturarse, aumenta de peso un 18%, este proceso además no toma más de 1 min.

3.2.- PROCESO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE MUESTRAS DE CANTERA Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES HÍDRICAS.

Al finalizar los ciclos del ensayo de heladicidad las muestras se han presentado una leve disgregación, aunque no ha sido relevante en el peso.

Durante los primeros ciclos del ensayo de cristalización de sales las muestras ganaron peso, aunque al finalizar, sufrieron arenizaciones y redondeamiento de sus aristas que se tradujo en pérdida de peso.

Las muestras sometidas a la cámara atmosférica con SO₂ no han presentado variaciones macroscópicas, salvo el leve oscurecimiento de la superficie, lo cual indica el comienzo de la pátina de alteración de yeso.

En general las muestras no han visto variadas sus propiedades hídricas, salvo en el caso de las muestras sometidas a la cámara atmosférica con SO₂ dado que en este caso la velocidad de desorción de agua ha sido muy superior a las demás muestras.

3.3.- APLICACIÓN DE PRODUCTOS DE TRATAMIENTOS A LAS MUESTRAS ALTERADAS Y NUEVO PROCESO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO.

Los tratamientos han sido aplicados mediante inmersión y pulverización, notándose la gran diferencia de peso al polimerizar el producto, derivada de la diferencia de aplicación.

Al finalizar los ensayos de heladicidad, se ha comprobado que la muestra tratada con "Tegosivin HL100", ha sufrido la menor variación de peso, respecto a la muestra sin tratar ni alterar.

En el ensayo de cristalización de sales las muestras tratadas con "Tegosivin HL 100" y "Silo 111", no han sufrido alteración apreciable y han mantenido el peso.

En general, las muestras han sufrido leves disgregaciones y redondeamiento de aristas. Las muestras ensayadas en la cámara atmosférica con SO₂ no han sufrido variación significativa.

3.4.- OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS DE LAS CALCARENITAS TRATADAS Y ALTERADAS.

Mediante la visualización con el MEB se han podido verificar que las muestras alteradas mediante los ensayos de heladicidad y cristalización de sales pierden parte del tratamiento superficial a la finalización de los mismos, así como que estos últimos sufren gran volumen de eflorescencias superficial.

Además, se ha comprobado que la aplicación por inmersión adquiera mayor profundidad, mientras que la pulverización crea una capa uniforme superficial.

3.5.- PARÁMETROS HÍDRICOS DE LAS MUESTRAS TRAS FINALIZAR LOS ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO.

A simple vista la variación de los parámetros hídricos entre las muestras tratadas y envejecidas es sustancialmente diferente frente a las muestras en blanco (sin tratar). El hecho negativo es el aumento del tiempo de desorción de las muestras, llegando a duplicar en algunos casos los resultados de la muestra blanca.

Por lo tanto, en función de la resistencia que ofrecen a la absorción de agua respecto a la muestra blanca los productos de menor a mayor afecto han sido: Tegovakon V > Silo 111 = Estel 1100 > Tegosivin HL100.

Un hecho a destacar es que únicamente las muestras con Tegosivin HL100, consiguen una completa desorción de agua al finalizar los ensayos.

4.- COLORIMETRÍA.

La principal conclusión al estudiar la colorimetría es que todos los tratamientos tienden a oscurecer las muestras. Se han estudiados los valores cromáticos y de luminosidad.

Como ya hemos dicho todas las muestras con cada uno de los tratamientos tienden a oscurecerse (pierden luminosidad) con respecto a la muestra blanco, se debe recalcar que la muestra sin tratar ensayada en la cámara atmosférica con SO₂ de por sí ya pierde luminosidad, al crearse una pátina.

Los valores cromáticos en general son bastante parecidos a los originales, aunque tienden a aumentar acercándose a colores rojos-amarillentos.

5.- CONCLUSIONES.

Todos los tratamientos estudiados mejoran la durabilidad de la calcarenita, las aplicaciones mediante inmersión de las muestras reflejan una mayor profundidad de penetración que las pulverizadas y las variaciones cromáticas no son fundamentales (Ninguna llega a superar el 10%).

En cuanto a la aplicación de los hidrofugantes el más idóneo es Tegosivin HL100, dado que el producto Silo 111 tiene menos eficacia incluso que los productos consolidantes tras los ensayos de envejecimiento.

El producto mixto Estel 1100 produce efectos parecidos al Tegovakon V, aunque solo se distinguen en las propiedades hídricas. Debemos tener en cuenta que las muestras tratadas con Estel 1100 tras el ensayo en la cámara atmosférica con SO₂ retienen hasta un 10% más de agua en sus poros y sufren fisuras.

La posibilidad de combinar Tegovakon V y Tegosivin HL100 quizás sea la solución ideal dado que el fabricante, al pertenecer al mismo, recoge dicha posibilidad. Aunque dicha casuística no ha sido estudiada.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Evaluación de productos de tratamiento para la portada de la iglesia de Santiago de Guadix. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 51, nº261: 21-32.

1.- INTRODUCCIÓN.

La portada de la iglesia de Santiago de Guadix está constituida por rocas sedimentarias (calcarenitas), cubierta por una capa de oxalato cálcico. Esta capa más la combinación de decoración pictórica y la presencia de humedad por capilaridad ha provocado la meteorización de la piedra en las partes bajas y la disgregación en las partes altas de la misma, mediante procesos de heladicidad y criptoflorescencias. Como acción principal se refleja la necesidad de eliminar el paso del agua del subsuelo hacia las rocas.

2.- APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Las probetas utilizadas son cúbicas de 5x5 cm extraídas de la cantera de Bácor (Origen de la calcarenita utilizada en la portada). Se aplicaron diferentes productos consolidantes (Tegovakon, Consolidante OH, ARD 55050, Paraloid B72) mediante una inmersión de 10 minutos. Se convino la aplicación de consolidantes organosilícicos (Tegovakon y Consolidante OH) con un hidrofugante de su misma marca comercial (Tegosivin HL 100 y BS28) respectivamente.

3.- EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS. RESULTADOS.

Se ha evaluado la compatibilidad del tratamiento con el material, la eficacia del mismo y la resistencia a la alteración de la piedra tratada.

3.1.- COMPATIBILIDAD CON EL MATERIAL.

3.1.1.- POROSIDAD.

Determinado por la absorción de agua a vacío, los tratamientos acrílicos y organosilícicos reducen insignificamente el volumen de poros mientras que los hidrófugos organosilícicos reducen en gran cantidad el volumen de poros.

3.1.2.- VELOCIDAD DE DESORCIÓN DE AGUA.

Desarrollo del ensayo en dos fases: Saturación y atmosfera controlada hasta lograr un peso constante, se miden los decrementos de peso en todo el proceso.

Se observa que la velocidad de evaporación disminuye en los tratamientos hidrófugos, además de disminuir la permeabilidad de la probeta, lo que hace aumentar el contenido de agua crítico. Los demás tratamientos son inocuos en este aspecto.

3.1.3.- COLOR.

No hay variaciones significantes, aunque con los tratamientos ARD 55050 y Paraloid B72 las probetas se oscurecen.

3.2.- EFICACIA DEL TRATAMIENTO.

Evaluando si los hidrofugantes aumentan la impermeabilidad del material y si los consolidantes aumentan la cohesión del material.

3.2.1.- ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD.

Las aplicaciones de tratamientos hidrófugos disminuyen significativamente la entrada de agua, lo tratamientos acrílicos también, pero no tanto.

3.2.2.- ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN.

Al aumentar el tiempo de exposición al agua, los tratamientos pierden fuerza hidrófila, excepto el hidrofugante que mantiene sus propiedades.

3.2.3.- DUREZA SUPERFICIAL.

Ensayo dentro del campo de las propiedades mecánicas, evaluando con un durómetro el diferencial entre probetas tratadas y sin tratar. Los tratamientos que aumentaron la dureza fueron los consolidantes Tegovakon y Consolidante OH, relacionando este hecho con la porosidad y el contenido de agua crítico.

3.3.- RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN. ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA.

Se trata de someter a las probetas a condiciones de alteración, concentradas en el tiempo, para obtener los resultados de la eficacia de los tratamientos en plazos breves.

3.3.1.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.

En este ensayo se realizan fases sucesivas de inmersión en una solución de sulfato sódico al 10% (solubilizaciones) y de secado a 60°C (cristalizaciones) de 24 horas cada una, efectuando controles de peso y alteración macroscópica en cada ciclo, se han realizado 40 de estos ciclos.

Las probetas sin tratar y tratadas con consolidantes organosilícicos simulan un comportamiento muy parecido, aunque las primeras se

eliminan de los ensayos debido a su alto deterioro con el paso de los ciclos.

Las probetas tratadas con consolidantes organosilícicos e hidrofugantes tienen un comportamiento óptimo, mientras que los tratados con consolidantes acrílicos se asemejan a las anteriores, pero con el paso de los ciclos se desprende la capa protectora.

3.3.2.- ENSAYO DE HELADICIDAD.

En este ensayo se realizaron fases sucesivas de inmersión en agua (descongelación) de 4 horas y de congelación a -20°C durante 20 horas, se realizaron ensayos de absorción de agua por capilaridad e inmersión al final de los 50 ciclos realizados.

Los tratamientos acrílicos y el organosilícico con hidrofugante Tegovakon junto con Tegosivin HL 100, pierden totalmente su efecto después de los 50 ciclos. Los demás tratamientos no sufren alteración relevante en estas propiedades.

4.- CONCLUSIONES.

Teniendo en cuenta los resultados expuestos, se considera al tratamiento con Consolidante OH e hidrofugante BS 28, el idóneo para la portada de la iglesia de Santiago de Guadix. Dado que el tratamiento con consolidante únicamente no produce ningún efecto positivo al no frenar la entrada de agua desde el exterior y que los tratamientos acrílicos incluso empeoran el comportamiento de la piedra.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Evaluación de tratamientos de hidrofugación aplicados a piedras calizas de Catedrales Andaluzas. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 41, nº223: 19-27.

1.- INTRODUCCIÓN.

El artículo se basa en evaluar el resultado de aplicar seis diferentes tipos de hidrofugantes (con composiciones químicas diferentes) sobre tres tipos de rocas (las más usuales en la construcción de catedrales en Andalucía) como son las calizas, calcarenitas y dolomíticas. Entendiendo la aplicación de estos productos hidrófugos como una puesta a punto de los procesos de restauración, necesarios para la conservación del patrimonio.

2.- PIEDRAS Y TRATAMIENTOS ESTUDIADOS.

Las piedras estudiadas son Calizas (provenientes de las canteras de Espera "E" y Granada "G" y usadas en las catedrales de Sevilla y Granada respectivamente), Calcarenitas (provenientes del Puerto de Santa María "P" y Úbeda "U" y destinadas a las catedrales de Sevilla y Baeza respectivamente) y Caliza Dolomíticas (provenientes de Almería "A" para la construcción de la catedral de la ciudad).

Los productos hidrofugantes empleados son:

- BS 28 "V" de la casa Wacker y su agente activo es Organosilicio (Diluido al 5% en Xileno).
- 290 L "L" de la casa Wacker y su agente activo es Organosiloxamo oligómero (Diluido al 5% en Xileno).
- Baysilone "B" de la casa Bayer y su agente activo es Resina de silicona (Al 5% "Ready to use").
- Tegosivin HL 100 "T" de la casa Goldschmidt y su agente activo es Organosilicio monómero (Diluido al 10% en Xileno).
- Consolidante 55050 "A" de la casa ARD Raccanello y su agente activo es Resina Acrilsilicónica (Al 10% "Ready to use").
- Paraloid B72 "P" de la casa Röhm & Hass y su agente activo es Copolímero de metacrilato y etilmatacrlato (Diluido al 10% en Tricloroetano).

Con la aplicación de estos productos se pretende proteger la piedra de los agentes que la alteran.

3.- APLICACIÓN.

Las probetas utilizadas son cúbicas de 5x5 cm, se han limpiado, humedecido y dejado secar hasta alcanzar el equilibrio higroscópico dado que los productos hidrofugantes a base de organosilícicos mejoran sus prestaciones si se aplican en probetas con un contenido mínimo de humedad. Posteriormente se sumergieron 10 minutos en los productos para conseguir una impregnación total.

4.- PROPIEDADES DE LAS PIEDRAS Y RESULTADOS.

Para evaluar el efecto de los productos hidrofugantes se han realizados ensayos de porosidad abierta, tiempo de absorción de gotas, ángulo de contacto, absorción de agua por capilaridad y por inmersión y velocidad de secado antes y después de la aplicación de los mismos.

En las piedras (P, V, G) predomina la porosidad macroscópica, mientras que en (E, A) la microscópica. Estas características influirán en sus resultados.

- El tiempo de absorción de gotas pasa de varios minutos a más de una hora en la mayoría de los casos.
- El ángulo de contacto aumenta considerablemente en todas las probetas, a mayor ángulo mayor capacidad hidrofugante.
- La absorción de agua por capilaridad se convierte en inapreciable o inexistente.
- La absorción por inmersión disminuye, aunque no se vuelve nula, exceptuando las probetas de Almería que no disminuyen excesivamente.
- La velocidad de secado disminuye en un 50% en la mayoría de probetas.

5.- CONCLUSIONES.

La variación de las características de las piedras a base de la aplicación de los productos hidrofugantes se valoran muy positivamente dado que se cumple con el objetivo propuesto (Evitar la penetración de los agentes que degradan la piedra con el paso del ciclo de vida), pero en todos los tipos de piedras y con cada uno de los tratamientos la velocidad de secado disminuye por lo que evitamos que la piedra evapore rápidamente el agua que haya podido penetrar en su interior, es decir, impermeabilizamos la piedra pero perdemos capacidad de permeabilidad de la misma.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Evaluación del comportamiento de materiales empleados en la reintegración de materiales cerámicos de la Plaza de España (Sevilla). *Revista Materiales de Construcción* Vol. 55, nº278: 69-76.

1.- INTRODUCCIÓN.

La Plaza de España data de la Exposición Iberoamericana de 1992, su nivel de deterioro es alto, por lo que se están empleando metodologías científicas para evaluar la restauración que se llevan a cabo sobre las diferentes piezas cerámicas (Material más abundante en esta edificación, construida con fábrica de ladrillos y plaquetas cerámicas).

La reintegración de las piezas cerámicas se realiza con estucos o morteros comerciales, sobre muestras en frío, ambos terminados con una capa de impermeabilizante.

En la evaluación de estos productos se observará la compatibilidad con el material (Adherencia y cambio cromático) y la resistencia a la alteración de la probeta tratada.

2.- EXPERIMENTAL.

2.1.- MATERIALES.

Las probetas utilizadas serán bizcochos cerámicos de 15x15 cm, tratados con mortero de cemento (Mortero Tixotrópico, con 12 pigmentos cerámicos y orgánicos "M5" y resina Adit-6), de cal (Mortero de cal fina de Propansa, con 12 pigmentos cerámicos y orgánicos "M6" y Propam emulsión), estucos (Estuco PLM-S, con colores acrílicos y 12 pigmentos cerámicos y orgánicos "M2" y "M3" respectivamente y resinas Paraloid B-72 y Adit-6 respectivamente, Estuco Parrots N°5, con 12 pigmentos cerámicos y orgánicos "M4" y resina Adit-6). La muestra "M1" corresponde al azulejo vidriado sin alteraciones.

2.2.- ENSAYOS.

Se realizaron ensayos de alteración acelerada basada en el origen del deterioro de las piezas (Alto nivel freático y gran cantidad de sales en el subsuelo) como son:

-Ensayo de cristalización de sales por capilaridad -> Las piezas evaporaban una disolución de Na_2SO_4 (Sulfato sódico) por la superficie reintegrada, mientras la absorbían por la cara opuesta, con lo que consigue simular las presiones internas que sufren los poros en los ciclos de hidratación y cristalización de las sales.

-Ensayo termohigrométrico con radiación UV -> Determinando el efecto de los gradientes de temperatura, humedad relativa y la incidencia de las radiaciones UV. Este ensayo se realizaba en cámaras climáticas con ciclos de alta temperatura y humedad y baja temperatura y humedad, además se simulaba la lluvia y las radiaciones con agua pulverizada y radiaciones UV.

2.3.- CONTROL DE ENSAYOS.

-Ensayo de cristalización de sales por capilaridad -> Control visual de las probetas y su degradación.

-Ensayo termohigrométrico con radiación UV -> La adherencia mortero-bizcocho, la alteración cromática, la impermeabilización de la superficie reintegrada y la posible alteración de las resinas.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1.- CRISTALIZACIÓN DE SALES POR CAPILARIDAD.

Ordenando las muestras de mejor a peor comportamiento -> M3 > M6 > M4 > M5 > M2, de 14 días sin alteración a tan solo 2 días respectivamente, aunque el mortero M3 se levantó a los 21 días mientras que el M6 lo hizo pasado los 24 días.

3.2.- ENSAYO TERMOHIGROMÉTRICO.

3.2.1.- Adherencia.

Ordenando las muestras de mayor a menor adherencia -> M1 > M6 > M5 > M4 > M2 y M3, siendo la pieza cocida en horno la de mejor comportamiento.

3.2.2.- Capilaridad.

Ordenando las muestras de mayor a menor absorción -> M2 > M5 > M6 > M3 > M4 > M1.

3.2.3.- Colorimetría.

Estudiando los parámetros de luminosidad y rangos cromáticos mediante un colorímetro de la marca Neurtek, siendo las muestras M1 y M2 las más estables en ambos aspectos (Luminosidad y colorimetría).

3.3.- EXÁMEN MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA (SEM).

En las muestras M3 y M4 no se observa elevada fisuración además de que se muestra el barniz en buen estado (factor relacionado con su baja absorción por capilaridad), la muestra M5 es algo peor que las anteriores, pero no tanto como las M2 y M6, las cuales han perdido la totalidad del barniz y muestran el mortero es superficialmente (factor

relacionado con la alta absorción por capilaridad). La muestra M1 no fue estudiada.

4.- CONCLUSIONES.

El estuco se ha mostrado como el mortero de reconstrucción idóneo para la rehabilitación en la Plaza de España, el mortero de cemento también ha tenido buenos resultados, pero al llevar cemento Portland en su composición no podemos considerarlo apto en labores restauradoras.

Atendiendo a la colorimetría, las pinturas acrílicas son las que mejor resultado han dado frente a los pigmentos, por su debilidad al ser aplicados en frío.

La resina de copolímeros en dispersión acuosa (Adit-6) ha sido la de mayores prestaciones, logrando una protección casi inalterable en las muestras.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: La influencia de los productos hidrofugantes en la succión del ladrillo cerámico cara vista. *Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, Nota técnica: 15-18.

1.- INTRODUCCIÓN.

En el artículo desarrolla la investigación para determinar la influencia de los productos hidrofugantes sobre los ladrillos cerámicos cara vista, se estudiarán diferentes ladrillos según su fabricación y diferentes hidrofugantes según su composición. Estos productos tratan de disminuir la succión de agua, evitando disminuir la permeabilidad al vapor de agua.

2.- MATERIALES.

2.1.- CERÁMICA POROSA CARA VISTA.

Se utilizan cuatro tipos de ladrillos según los métodos de fabricación y se clasifican según su coeficiente de absorción:

- "Cerámica 1" Fabricación manual, Coef. Absorción = 20,08%
- "Cerámica 2" Fabricación prensada, Coef. Absorción = 7,43%
- "Cerámica 3" Fabricación extrusionada, Coef. Absorción = 12,08%
- "Cerámica 4" Fabricación extrusionada, Coef. Absorción = 6,25%

2.2.- PRODUCTOS HIDROFUGANTES.

Los productos hidrofugantes seleccionados son de naturaleza organosilícicos, que cubren la superficie del poro, pero no lo taponan. Con ello pretendemos cuantificar la diferencia entre absorción y nivel de agua superficial entre piezas tratadas y sin tratar. Los productos hidrofugantes se dividen en:

-Mono-componentes: "H1" Siliconatos, "H2" Silanos, "H3" Siloxanos Oligoméricos, "H4" Siloxanos Poliméricos y "H5" Siloxanos Fluorada.

-Bi-componentes: "H6" Silanos y Siloxanos.

3.- METODOLOGÍA.

Para la absorción de agua se sigue la normativa UNE-EN 772-11:2001, se trata de introducir los ladrillos tratados con hidrofugante en una lámina de agua que suba 2-3 mm por la cara de estos, se repite el proceso con diferentes

intervalos de tiempo tomándose fotografías y medidas del nivel de agua y la masa después de la inmersión.

4.- RESULTADO DE LOS ENSAYOS.

La tasa de absorción de agua en el primer minuto se dispara, sin embargo, a medida que avanza el tiempo de ensayo esta tasa tiende a cero en todos los ladrillos.

El nivel de agua comienza en 5 mm, pero a medida que se avanza el ensayo esta baja hasta los 2-3 mm y se mantiene en todos los ladrillos.

5.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Todos los hidrofugantes modifican los parámetros de absorción y nivel de agua superficial.

-Mayor reducción en la absorción de agua:

En la "Cerámica 1" el Hidrofugante "H4", en la "Cerámica 2" el Hidrofugante "H1", en la "Cerámica 3" el Hidrofugante "H4" y en la "Cerámica 4" el Hidrofugante "H1".

La reducción en la tasa de absorción de agua supera en 84% en cada uno de los ladrillos y con cada uno de los hidrofugantes.

-Menor nivel de agua superficial:

En la "Cerámica 1" el Hidrofugante "H1", en la "Cerámica 2" el Hidrofugante "H5", en la "Cerámica 3" el Hidrofugante "H1" y en la "Cerámica 4" el Hidrofugante "H1".

La reducción de nivel de agua superficial con los hidrofugantes "H1" y "H5", supera el 80% en cada uno de los ladrillos.

6.- CONCLUSIONES.

Todos los hidrofugantes rebajan la tasa de absorción de agua en más de un 84,37% y el nivel de agua superficial en más del 52,55%. La "Cerámica 1" es la que presenta un mayor porcentaje de reducción, aunque también era la que mayor porcentaje inicial poseía. El hidrofugante con mayores prestaciones ha sido el "H1" de tipo mono-componente Siliconatos.

RESUMEN DEL ARTÍCULO: La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación. *Publicaciones del IAPH, Boletín 33: 120-130.*

1.- INTRODUCCIÓN.

El presente estudio forma parte del Proyecto de Investigación e Intervención de la Puerta de Córdoba de la localidad de Carmona (Sevilla). El objetivo es caracterizar los materiales, evaluar su deterioro y determinar el tratamiento idóneo a aplicar.

Dicha puerta se encuentra al Noreste de la ciudad y data de la época Romana. El material más abundante son sillares de piedra calcarenita, procedente de Los Alcores, esta piedra se encuentra en gran estado de alteración (Alveolizaciones, fisuraciones y arenizaciones), además ha perdido gran parte de los morteros de las intervenciones anteriores.

Se han tomado muestras de la propia puerta, de la cantera y de los morteros existentes para determinar sus características físicas.

Los tratamientos protectores a aplicar se dividen en consolidantes, para mejorar la cohesión del material e hidrofugantes, para impermeabilizar la piedra sin comprometer la permeabilidad al vapor de agua de la misma.

2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

2.1.- TÉCNICAS EMPLEADAS.

Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía óptica de Polarización, Análisis Químicos, Estudio estratigráfico por microscopía óptica y microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersada de Rayos X y Saturación de agua al vacío (porosidad abierta).

2.2.- MATERIALES PÉTREOS.

2.2.1.- CONTEXTO GEOLÓGICO.

Carmona se encuentra en la Depresión del Guadalquivir, en concreto en el borde de la cornisa del Alcor, en esta situación se distinguen tres formaciones geológicas:

Margas Azules y Grises, Margas Azules y Grises con Calcarenita y la más superficial y sobre la cual se asienta la ciudad Calcarenitas, Areniscas y Limos amarillos.

2.2.2.- ESTUDIO PETROGRÁFICO.

Las muestras de piedra estudiadas corresponden con probetas extraídas de la propia puerta y otras procedentes de las canteras más representativas de las formaciones rocosas de los Alcores, posible origen de las anteriores.

Estas muestras tienen similares composiciones siendo los elementos más representativos la calcita (60-85%) y el cuarzo (15-30%). Debemos de tener en cuenta la presencia de yeso en las muestras extraídas de la puerta (5-15%), mientras que en las de canteras su contenido es despreciable.

La porosidad media de la piedra esta en torno a un 34%, la cual es bastante elevada, se puede atribuir a las características morfológicas de la piedra la cual presenta gran macroporosidad (observándola a simple vista).

2.3.- MORTEROS Y REVESTIMIENTOS.

Según su función constructiva y época los podemos diferenciar en:

-Morteros de unión (S. XVIII): Empleados para unir los diferentes sillares, estos estaban compuesto por calcita (65-75%) y cuarzo (8-15%) por lo que corresponderían a un Mortero bastardo de cal.

-Morteros de reparación (S.XVIII): De la misma composición que los anteriores, aunque utilizando albero como árido.

-Enfoscados y enlucidos (Romanos): Empleados como capa de terminación, compuesto en primer lugar por un mortero de cal muy pobre y en segundo lugar por una capa de estuco (que prácticamente ha desaparecido). Estas capas se caracterizan por su grossa granulometría, para nada uniforme.

-Enfoscado (Adscrito como Romano): Este al igual que el anterior se conforma por dos capas, pero de mucho menos grosor, la externa asimilable a una jabelga y la interna a un mortero de cal compuesto casi únicamente por este material.

Se han estudiado también diferentes revestimientos de color, estos se formaban a base cal y áridos con pigmentos naturales.

2.4.- HORMIGONES DE LAS MURALLAS.

La puerta de Córdoba presenta tramos de murallas a ambos lados que datan del Bajo Medievo y de la época Romana.

Los primeros están formados por tapias a base de "hormigones" de cal con áridos de granulometría muy dispares (desde finos hasta "gravas" de 40 cm de diámetro), la mineralogía de las muestras es calcita (60-70%), cuarzo (30-40%), feldespatos y filosilicatos.

Los segundos están compuestos por cascajos, albero y limos amarillentos, además la calcita (muy abundante en los anteriores) pero que en este caso no se encuentra en las mismas proporciones.

3.- EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN.

3.1.- METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS.

Basada en tres aspectos: Compatibilidad con el material, Eficacia del tratamiento y Resistencia a los agentes de alteración.

3.2.- TRATAMIENTOS ESTUDIADOS.

Se han estudiado 4 tratamientos, 2 consolidantes (Tegovakon V y Consolidante OH), un hidrofugante (Tegosivin HL 100) y un consolidante e hidrofugante (ARD 55050). Los tres primeros de composición organosilica y este último acrílico.

Se han tratado con ellos a diferentes probetas cúbicas de 5 cm de arista procedentes de los sillares de la puerta. Se comprobó el tiempo de secado de las aplicaciones, siendo de 15-20 días para los consolidantes (al tener que polimerizar en el interior de los poros) y de 6-7 días para los demás.

3.3.- ESTUDIO EXPERIMENTAL.

3.3.1.- COMPATIBILIDAD CON EL MATERIAL.

Debemos de comprobar que el tratamiento no altera las características intrínsecas del material como son la porosidad y la velocidad de evaporación de agua, o por lo menos, no en gran medida. En caso afirmativo, deberíamos de descartar el tratamiento.

3.3.2.- POROSIDAD.

Se ha estudiado mediante el ensayo de absorción de agua a vacío siendo el producto "Tegosivin HL 100" el que más ha reducido la porosidad del material (14%), los otros tratamientos han conseguido reducirlo entorno al 8-9%.

3.3.3.- DESORCIÓN DE AGUA.

La velocidad de desorción de agua se ha comprobado mediante el ensayo propuesto en el I.A.P.H, en él se ha verificado que los tratamientos organosilícicos se han comportado de igual forma que la muestra sin tratar y que en concreto el hidrofugante "Tegosivin HL 100" a incluso mejorado las características. Por el contrario, el tratamiento acrílico ha aumentado en gran medida tanto el tiempo de desorción como el contenido de agua crítico.

3.4.- EFICACIA DEL TRATAMIENTO.

Con los tratamientos se pretende aumentar la cohesión del material e impedir la entrada de agua. Esto se ha comprobado mediante ensayos de absorción de agua y midiendo las propiedades mecánicas.

3.4.1.- ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD.

El mejor comportamiento vuelve a ser el hidrófugo "Tegosivin HL 100" mostrándose muy por debajo de la muestra sin tratar de forma constante, los consolidantes consiguen disminuir la absorción, pero no tanto como el hidrofugante y el tratamiento acrílico muestra resultados idénticos al hidrofugante al comienzo, pero en un periodo prolongado pierde mucho de ese efecto hidrófugo.

3.4.2.- ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN.

Al igual que el caso anterior el tratamiento acrílico pierde las propiedades hidrófugas en contacto con gran cantidad de agua, los consolidante muestran una mejoría respecto a la muestra sin tratar, aunque vuelve a ser el hidrofugante el que mejor comportamiento muestra reduciendo de un 10 a un 2% de absorción.

3.4.3.- PROPIEDADES MECÁNICAS.

Se ha ensayado la dureza superficial de las muestras, dado que el efecto de los tratamientos en gran medida es de carácter superficial. Todos los tratamientos han incrementado la dureza superficial siendo el que más "Consolidante OH" (19%) y el que menos "Tegosivin HL100" (14%).

3.5.- RESISTENCIA A LA ALTERACIÓN. ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA.

Mediante estos ensayos se pretende evaluar la durabilidad de los tratamientos y/o las muestras, concentrado en el tiempo ciclos de alteración para obtener resultados a corto plazo.

3.5.1.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.

Se ha seguido el ensayo propuesto por el I.A.P.H sometiendo las muestras a ciclos de hidratación (24 horas sumergido) y cristalización (22 horas de secado en horno y 2 de atemperamiento) de una solución salina a base de sulfato sódico al 10% con capacidad de aumentar su volumen un 300%.

Los resultados fueron que, tras 5 ciclos, la muestra sin tratar y la tratada con "ARD 55050" debieron ser eliminadas del ensayo por su grado de alteración. Las muestras tratadas con los consolidantes organosilícicos superan los 11 ciclos, aunque ya se observa un leve deterioro y la muestra tratada con "Tegosivin HL 100", de nuevo, es la que mejor se comporta superando los 15 ciclos sin mostrar síntomas de alteración.

3.5.2.- ENSAYO DE HUMEDAD-SEQUEDAD.

Se ha seguido el ensayo propuesto por el I.A.P.H sometiendo las muestras a ciclos de humidificación (24 horas sumergido en agua) y secado (22 horas de secado en horno y 2 de atemperamiento).

Después de 20 ciclos se da por concluido el ensayo sin que se vieran afectadas las muestras.

4.- CONCLUSIONES.

La calcarenita amarilla de la que está conformada la puerta podría provenir de cualquiera de las canteras estudiadas, dada su similitud, por lo que no podemos documentar su origen.

El alto grado de alteración de la piedra puede deberse a variaciones de humedad junto con la presencia de arcillas expansivas y yesos.

Mediante la metodología aplicada podemos afirmar que el tratamiento con el consolidante e hidrofugante de composición acrílica "ARD 55050" ha sido el que peores resultados ha obtenido, mientras que los consolidante organosilícicos han mejorado bastante el comportamiento de la piedra, destacando el sobresaliente comportamiento del hidrofugante organosilícico "Tegosivin HL 100".

RESUMEN DEL ARTÍCULO: Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 37, nº206: 53- 60.

1.- INTRODUCCIÓN.

Los ensayos de alteración acelerada se usan para evaluar la resistencia de diferentes materiales ante los agentes de alteración o la idoneidad de determinados tratamientos.

Como objeto del artículo se revisará el ensayo de cristalización de sales sobre materiales rocosos. Este ensayo consiste en la repetición de ciclos de hidratación y deshidratación de una solución salina, sobre un determinado material, con el fin de que las sales cristalicen en él.

En sus orígenes, mediante soluciones de sulfato sódico, se pensó como un ensayo para conocer el comportamiento de los materiales ante los efectos de la heladicidad. Pero no fue hasta mitad del siglo XX cuando este ensayo fue tomado como referencia para evaluar el comportamiento de los materiales ante la cristalización de sales.

Hoy día existen ensayos normalizados, además podemos diferenciar el tipo de sal soluble según su alteración y hábito de cristalización.

2.- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Dependiendo del trabajo a realizar y las características del material se determina, el número y tamaño de las muestras, aunque como mínimo debamos de tener 3 por cada tratamiento, el tamaño más utilizado son probetas cúbicas de 5 cm de arista.

3.- VARIABLES QUE AFECTAN AL ENSAYO.

3.1.- NATURALEZA Y CONCENTRACIÓN DE LA SAL.

La sal más utilizada es el sulfato sódico seguida por cloruro sódico, sulfato magnésico y sulfato amónico.

El sulfato sódico presenta dos fases estables la anhidra y la decahidratada, cristalizando con temperaturas superiores a 32,4° C e inferiores respectivamente.

Las concentraciones suelen estar entre un 10 - 20% saturadas con sales, siendo la solución con concentraciones al 14%, la más común.

3.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA INMERSIÓN.

Las inmersiones pueden ser totales o parciales, en este caso ayudándonos de la absorción por capilaridad.

El tiempo varía entre 2 y 24 horas, aunque en estudios anteriores se ha verificado que las alteraciones no aumentan pasadas las 2 primeras horas. Además, en este estudio se ha observado que las probetas permanecían en peso casi constante a partir de las 3 horas. (Price, 1978; Cuttano et al., 1981)

La temperatura es una variable muy importante, dado que, por encima de 32,4° C se impide la hidratación de las sales.

3.3.- CARACTERÍSTICAS DEL SECADO.

El secado (temperatura y tiempo) es el factor más influyente en la generación de daños.

Las temperaturas varían entre los 105° C a los 60° C y los tiempos entre las 4 y 24 horas, siendo mayores cuanto más baja sea la temperatura de secado. En tiempos por encima de las 24 horas, podríamos dejar las muestras secar a temperatura ambiente.

En estudios anteriores se ha comprobado que la agresividad del ensayo a temperatura baja y largos periodos de secado es prácticamente nula. Al menos comparándola con procesos de secado a altas temperaturas. (Baronio, 1983; Binda y Baronio, 1984).

En lo referente a secados en hornos, es relevante la influencia de precalentar el horno antes del inicio del secado y mantener una humedad constante al comienzo del mismo, esto acentuará los daños.

3.4.- NÚMERO DE CICLOS.

El número de ciclos suelen variar entre 10 y 30, pero este dato no es muy relevante, dado que existen dos tendencias en cuanto a la realización de los ensayos que son:

- Realizar un determinado número de ciclos y observar los deterioros a posteriori.
- Realizar el número de ciclos necesarios hasta la degradación total de las muestras.

4.- DAÑOS GENERADOS POR EL ENSAYO.

Los principales daños que sufren las probetas en este ensayo son de tipo mecánico y derivan del incremento de volumen, hasta un 400%, que experimentan las sales de sulfato sódico al hidratarse en el interior de los poros, generando elevadas presiones.

Dependiendo de cada material, en concreto su porosidad y cohesión, variará el resultado de estas tensiones. Aunque podemos decir que en materiales superficialmente porosos y cuando las presiones superan la resistencia de estos poros, se manifiestan en forma de "picado".

Cuando el secado se realiza a temperatura ambiente, la solución se evapora en la superficie produciendo abundantes eflorescencias, por lo que disminuyen los daños al no cristalizar en el interior de poros.

5.- VALORACIÓN DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS.

5.1.- OBSERVACIÓN DE LAS SUPERFICIES.

En este aspecto, se buscan todo tipo de fisuras y descomposición superficial. Esta valoración debe ser documentada mediante fotos o MEB. Como ayuda a la valoración se pueden introducir muestras blancas o de referencia, que no hayan sido tratadas o alteradas, para su comparación.

5.2.- PÉRDIDA DE PESO DE LAS MUESTRAS.

Mediante el seguimiento y documentación del peso podemos ofrecer un análisis del resultado de los ensayos, en cuanto a la alteración sufrida, aunque deberá ser correlativo con las observaciones superficiales. Esta variación de peso se expresa en porcentaje respecto el peso de secado de la muestra sin alterar.

El peso en los primeros ciclos tendera a incrementarse con motivo de la aparición de sales en los poros e ira disminuyendo hasta el último de los ciclos.

5.3.- VARIACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.

Las propiedades físicas del material son valores intrínsecos a su composición y naturaleza. En este tipo de ensayos, la porosidad abierta no resulta un valor significativo, más allá de conocer el alcance del deterioro, aunque ya se notaría en las otras observaciones. Aunque en materiales superficialmente no poroso, es un indicador muy relevante de las posibles microfisuraciones del interior, así como la velocidad de propagación de ondas elásticas.

La variación de las propiedades mecánicas es un indicador de la pérdida de resistencia del material ante la alteración al seguir este ensayo, los valores más representativos son la resistencia a compresión, flexión o tracción, dependiendo de la forma y uso de la muestra.

6.- CONCLUSIONES.

El ensayo de cristalización de sales es de los más rápidos y sencillos de los ensayos de alteración acelerada, a la hora de comprobar la durabilidad de los materiales y de diferentes tratamientos protectores. Aunque resulta difícil comparar los procedimientos con la situación en un ambiente natural.

Desde el punto de vista práctico deberemos tener en cuenta estas observaciones:

- Las concentraciones de sales deben ser del 14% en las soluciones acuosas.
- El ciclo ideal de 24 horas sería: Inmersión total durante 4 horas a 20° C, Secado en horno 14 horas entre 60 y 105° C y enfriado de la probeta durante 6 horas a temperatura ambiente.
- Tener en cuenta la relación entre la pérdida de peso y los daños superficiales a la hora de valorar un comportamiento.

7.- BIBLIOGRAFIA.

BARONIO, G., BINDA, L. y SCIROCCO, F. (1983): *Accelerated aging and models for the progressive chemico-physical deterioration of bricks in the diagnosis of masonry structures. Material Science and Restoration, F. H. Wittman (Ed.), Proc. Int. Coll., Edition Lack and Chemie, pp. 391-395.*

BINDA, L. y BARONIO, G., (1984): *Measurement of the resistance to deterioration of old and new bricks by means of accelerated aging test. Durability of Building Materials, 2 (2), pp. 139-154.*

CUTTANO, M., MASTRONARDI, P. y ROSSI-MANARESI, R., (1981): *Alveolar weathering of the "tuff" of Matera mechanism of deterioration and effectiveness of preservation treatments. The Conservation of Stone II, R. Rossi-Manaresi (Ed.), Proc. Of the Int. Symp., Bologna, pp. 355-377.*

PRICE, C. A., (1978): *The use of the sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone. Proc. Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments, Paris, 3.6, 23 pp.*

6.- METODOLOGÍA.

6.1.- MATERIALES Y TRATAMIENTOS.

Las muestras de materiales cerámicos objeto del presente estudio han sido:

- Ladrillo Macizo (LM), comercialmente conocido como “Ladrillo Taco Valera Rojo”, es una pieza de arcilla cocida en horno y conformada mediante un proceso de extrusión y clasificada como HD. La forma es de paralelepípedo rectangular (24x11x4 cm), con un peso de secado medio de 1.900 g.

-Plaqueta Cerámica sin Vidriar (PC), comercialmente conocida como “Ladrillo Atoba Roja 14x28”, es una pieza de arcilla cocida en horno y conformada mediante un proceso de extrusión. La forma es de paralelepípedo rectangular (28x14x1 cm), con un peso de secado medio de 663 g.

-Plaqueta Cerámica Vidriada (PV), comercialmente conocida como “Azulejo 14x28 Liso Marrón Miel”, es una pieza de arcilla cocida en horno, conformada mediante un proceso de extrusión y con una capa superficial en la tabla superior de vidriado. La forma es de paralelepípedo rectangular (28x14x1 cm), con un peso de secado medio de 773 g.



Fig. 1 - Ladrillo Macizo



Fig. 2 - Plaqueta cerámica



Fig. 3 - Plaqueta Vidriada

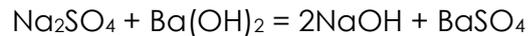
Se han aplicado diferentes tratamientos sobre las muestras cerámicas, para evaluar su durabilidad una vez aplicados los tratamientos.

Los tratamientos aplicados han sido:

-Sin tratamiento, a modo de muestra de referencia para comparar los resultados obtenidos entre muestras tratadas y sin tratar, con el fin de evaluar la influencia del tratamiento en la durabilidad de las muestras.

-Antisulfato, mediante una disolución en base acuosa de hidróxido de bario, $Ba(OH)_2$, de 30 g/l. Esta disolución ha sido aplicada mediante brocha en todas las caras de cada una de las muestras, excepto en la tabla vidriada de la PV. Este tratamiento tiene por objeto reaccionar químicamente con el sulfato sódico, Na_2SO_4 , de la solución salina utilizada en el ensayo de cristalización de sales, con la finalidad de insolubilizar los

sulfatos solubles, de manera que se eviten los procesos cíclicos de cristalización/solubilización.



En esta reacción la mezcla de sulfato sódico + hidróxido de bario (solubles en agua) se transforman en hidróxido de sodio + sulfato de bario (insolubles en agua).

-Hidrofugante, comercialmente conocido como "Aquashield Ultimate" del grupo TECNAN S.L. Es un producto superhidrofóbico de base nanotecnológica, disuelto en isopropanol. Ha sido aplicado al igual que el anterior tratamiento, mediante brocha en todas las caras de cada una de las muestras, excepto en la tabla vidriada de la PV. El objetivo de este es evitar la entrada de agua, en forma líquida, hacia el interior de la muestra y permitir la salida del agua, en forma de vapor, hacia el exterior, es decir, impermeabilizar la superficie sin comprometer la permeabilidad al vapor de agua.



Fig. 4 - Antisulfato



Fig. 5 - Hidrofugante

Los tratamientos se han aplicado por capas, por cada capa de tratamiento se aplicaban dos manos del producto. A cada muestra se le aplicaban dos capas tratamiento, es decir, cada muestra tratada lleva 4 manos del mismo. El tiempo de secado entre manos, ha sido el necesario para dar las manos a las demás muestras, aproximadamente, 1 o 2 horas, y el tiempo de secado entre capas ha sido de 24 horas.

Se han utilizado 3 muestras sin tratar de cada material cerámico (LM, PC y PV) para la realización de la caracterización mediante los ensayos previos. Posteriormente se han utilizado 9 muestras (una por cada ensayo de alteración acelerada y tratamiento) de cada material cerámico (LM, PC y PV) para la realización de los ensayos de alteración acelerada y los ensayos posteriores.

6.2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Se han caracterizado los materiales mediante diferentes ensayos, estos se han realizado tanto a las muestras sin tratar, con carácter de ensayos previos, como a las muestras tratadas a la finalización de los ensayos de alteración acelerada, con carácter de ensayos posteriores, a fin de comparar los resultados obtenidos.

Todas las muestras tanto las utilizadas en los ensayos previos como las muestras sometidas a los ensayos de alteración acelerada y posteriormente a los ensayos posteriores, fueron pesadas antes de la realización de los mismos con motivo de averiguar el peso de secado de las muestras, para ello se contó con una estufa con control termohigrométrico programada a una temperatura de 100° C (para desecar las muestras) de la casa Selecta, modelo Conterm y una balanza de la casa Mettler Toledo, modelo PB4002-S, para medir el peso de secado.

A continuación, se describen los ensayos utilizados a la hora de definir las características de los materiales:

Ensayos no destructivos

6.2.1.- ENSAYO DE SUCCIÓN DE AGUA.

Para determinar la absorción de agua por capilaridad de las muestras se ha seguido la normativa europea (UNE EN 772-11:2011).

El procedimiento del ensayo trata de sumergir una de las caras de las piezas cerámicas (en este caso la tabla inferior), durante un minuto en una bandeja de agua, alcanzando la muestra una profundidad de 5 mm \pm 1 mm bajo el nivel del agua, una vez transcurrido el tiempo de inmersión, las muestras se vuelven a pesar, para obtener su peso después de la inmersión.



Fig. 6 - Ensayo de Succión

Para realizar el ensayo se ha utilizado una bandeja de unos 7 cm de profundidad y base rectangular de 30x20 cm, en el fondo de la cual se colocó una barra metálica de 1 cm de \varnothing a modo de separador evitando el contacto directo entre la muestra y el fondo de la bandeja, garantizando un contacto constante entre el agua y la muestra durante la realización del ensayo, un cronómetro tipo Casio Hs-10w para medir el tiempo de ensayo y una balanza de la casa Mettler Toledo, modelo PB4002-S, para medir el peso después de la inmersión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se calcula la tasa de absorción de agua por capilaridad mediante la siguiente fórmula:

$$C_{w,l} = (m_{so,s} - m_{seco,s} / A_s \cdot t) \cdot 10^3 \text{ (Kg/(m}^2 \cdot \text{min))}$$

Siendo:

- $C_{w,i}$ = Tasa de absorción de agua por capilaridad.
- $m_{so,s}$ = Masa de la probeta después de la inmersión (g).
- $m_{seco,s}$ = Masa de secado de la probeta (g).
- A_s = Superficie bruta de la tabla de la probeta sumergida (mm²).
- t = Tiempo de inmersión (min).

6.2.2.- ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA.

Para determinar la absorción de agua por inmersión de las muestras se han seguido las normativas europeas (UNE EN 772-7:1999 y UNE EN ISO 10545-3:1997).

El procedimiento del ensayo trata de sumergir las muestras cerámicas, durante un periodo mínimo de 24 horas en un tanque de agua, con la capacidad suficiente para sumergir las piezas enteras y permitir la libre circulación del agua entre las mismas, una vez transcurrido el tiempo de inmersión, las muestras se sacan del tanque y se retira el exceso de agua con una gamuza húmeda y se vuelven a pesar, para obtener su peso saturado.

Para realizar el ensayo se ha utilizado unos tanques de agua de unos 30 cm de profundidad y base cuadrada de 35x35 cm y una balanza de la casa Mettler Toledo, modelo PB4002-S, para medir el peso después de la inmersión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se calcula la tasa de absorción de agua por inmersión mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = (m_s - m_d / m_d) \cdot 100 \text{ (%)}$$

Siendo:

- W_s = Tasa de absorción de agua por capilaridad.
- m_s = Masa de la probeta después de la inmersión (g).
- m_d = Masa de secado de la probeta (g).



Fig. 7 - Ensayo de Absorción

6.2.3.- ENSAYO DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ULTRASONIDOS.

Para determinar la velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas de las muestras no se ha seguido ningún ensayo normalizado, dado que no existe a tal efecto uno, que tenga como campo de aplicación, las piezas cerámicas.

El procedimiento del ensayo trata de medir las diferentes velocidades a las que pasan las ondas ultrasónicas a través del material. La funcionalidad del ensayo se basa en poder detectar defectos internos en muestras que aparentemente pueden resultar iguales a simple vista, dado que la interposición, en el recorrido de las ondas ultrasónicas, de un volumen de poros abundante, una fisura o una discontinuidad en la unión de dos materiales produciría un aumento notable en la velocidad frente a muestras que no tenga defectos internos. La velocidad de transmisión de ultrasonidos es, evidentemente, característica intrínseca de cada material, variando incluso dependiendo del lugar de origen o manufacturación.

Las principales ventajas de este ensayo es su carácter no destructivo, la sencillez de realización e inmediatez a la hora de obtener resultados.

Para realizar el ensayo se ha utilizado un equipo de emisión de ultrasonidos de la casa Krautkramer, modelo Tester BP7, que contaba con sus correspondientes palpadores (encargados de convertir la energía eléctrica en mecánica), un emisor y otro

receptor y el cableado eléctrico encargado de transportar la señal. Para garantizar un acople perfecto entre muestra y palpador, se incorporó masilla plástica sobre la superficie emisora y receptora de los palpadores.



Fig. 8 - Ensayo de Ultrasonidos

Los puntos geométricos de las muestras definidos para realizar las mediciones fueron:

-LM, se segmentó la muestra en 4 partes iguales, utilizando como puntos de medición los cuales se encontraban entre dos de dichos segmentos, es decir, en el caso del ladrillo macizo de 24 cm de tabla a 6, 12 y 18 cm respectivamente. Una vez situados dichos puntos geométricos se realizaron mediciones:

-A lo largo de la tabla (entre los puntos 6-12 cm y 6-18 cm, con un recorrido de onda de 6 y 12 cm respectivamente).

-A través de la tabla (enfrentando los palpadores al canto en cada uno de los puntos 6, 12 y 18 cm, con un recorrido de onda de 11 cm).

-A través del canto (enfrentando los palpadores a la tabla en cada uno de los puntos 6, 12 y 18 cm, con un recorrido de onda de 3,8 cm).

-PC y PV, al igual que con el ladrillo macizo, las muestras se segmentaron en 4 partes iguales, utilizando como puntos de medición los cuales se encontraban entre dos de dichos segmentos, es decir, en el caso de las plaquetas cerámicas y las plaquetas cerámicas vidriadas de 28 cm de tabla a 7, 14 y 21 cm respectivamente. Una vez situados dichos puntos geométricos se realizaron mediciones:

-A lo largo de la tabla (entre los puntos 7-14 cm y 7-21 cm, con un recorrido de onda de 7 y 14 cm respectivamente).

Ensayos destructivos

6.2.4.- ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A FLEXIÓN.

Para determinar la resistencia mecánica a flexión de las PC y PV se ha seguido la normativa europea (UNE EN ISO 10545-4:2015).

El procedimiento del ensayo trata de someter a las plaquetas cerámicas sin vidriar y vidriadas a esfuerzos de flexión. Estos esfuerzos se consiguen originar gracias a una prensa multiensayos de la casa Codein, modelo de 30 Tn, la cual dispone de una parte móvil, es decir, un pistón hidráulico el cual genera la carga necesaria para realizar el ensayo y de una parte fija, la cual ejerce la resistencia, la muestra objeto del ensayo se sitúa entre las dos partes de la prensa multiensayos hasta que colapsa.

Para la correcta ejecución del ensayo deben acoplarse 3 rodillos a la prensa, los cuales se encargan de garantizar la correcta transmisión y distribución de cargas a la muestra. Uno de ellos que hará contacto con el centro de la cara superior de la muestra, el cual se acopla a la parte fija de la prensa, y los otros dos que harán contacto en los extremos de la cara inferior de la muestra, que se acoplan a la parte móvil de la prensa. La luz entre estos últimos rodillos ha sido de 25 cm, apoyando cada rodillo, a 1,5 cm de los extremos de las plaquetas.



Fig. 9 - Ensayo de Flexión

La ejecución del ensayo se controla y monitorea desde un ordenador. El ensayo se divide en dos fases:

-Pre-carga: Durante esta fase el pistón hidráulico se mueve en sentido hacia la parte fija de la prensa, a una velocidad de carga y sensibilidad fijada para esta fase, hasta que la muestra entra en contacto con el rodillo superior, una vez esto ocurre, la resistencia que ofrece la muestra (situada entre ambas partes) es mayor que la sensibilidad, por lo que el ordenador que controla la prensa detiene el proceso, entendiendo que la muestra está en situación de ser puesta en carga.

-Carga: Durante esta fase el pistón hidráulico sigue moviéndose en el mismo sentido, aunque a una velocidad de carga y sensibilidad fijada para esta fase, siendo, mayor que la anterior, hasta que la muestra colapsa (dado que la resistencia que ofrecía era menor que la carga del esfuerzo actuante), en este punto el ensayo se da por concluido.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se calcula la resistencia mecánica a flexión mediante la siguiente formula:

$$R = 3 \cdot F \cdot l_2 / 2 \cdot b \cdot h^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Siendo:

- R = Resistencia mecánica a flexión.
- F = Carga de rotura (N).
- l_2 = Separación entre los rodillos de apoyo (mm).
- b = Ancho de la muestra (mm).
- h^2 = Espesor de la muestra, en la sección de rotura (mm).

6.2.5.- ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA A COMPRESIÓN.

Para determinar la resistencia mecánica a compresión del LM se ha seguido la normativa europea (UNE EN 772-1:2011 + A1:2016).

El procedimiento del ensayo trata de someter a los ladrillos macizos a esfuerzos de compresión. Estos esfuerzos se consiguen originar gracias a una prensa de rotura a compresión de la casa Suspekar, modelo de 120 Tn, la cual dispone de una parte móvil, es decir, un pistón hidráulico el cual genera la carga necesaria para realizar el ensayo y de una parte fija, la cual ejerce la resistencia, la muestra objeto del ensayo se sitúa entre las dos partes de la prensa de rotura a compresión hasta que colapsa.

Para la correcta ejecución del ensayo es necesario disponer del número determinado de pletinas metálicas necesarias para salvar

la distancia que separa la parte móvil de la parte fija de la prensa, dado que está especialmente diseñada para probetas de hormigón, con 10 veces más altura que el ladrillo macizo. Además, para garantizar un contacto lo más idóneo posible y al ser inviable el esmerilado, se deben refrentar las tablas de las muestras. Este refrentado se realiza con mortero de cemento CEM IV/B (V) 32,5 N-LH/SR y arena de González pasada por tamiz 2 mm, la aplicación se realiza utilizando una bandeja metálica sobre la cual se dispone una capa de mortero de unos 5 mm de espesor, posteriormente, se coloca sobre la capa de mortero el ladrillo macizo y se presiona sobre esta, una vez haya comenzado a endurecerse el mortero, se enrasa la capa de este con los cantos (eliminando el mortero sobrante que no se encontraba entre la bandeja y la tabla del ladrillo macizo). Una vez eliminado el mortero sobrante, se humedece la bandeja y se tapa con una lámina de polietileno, pasadas 24 horas, se refrenta la otra tabla siguiendo el mismo procedimiento. Las muestras refrentadas permanecen en una cámara de húmedo a 20° C y 65 % de humedad relativa, hasta realizar el ensayo.



Fig. 10 - Ensayo de Compresión

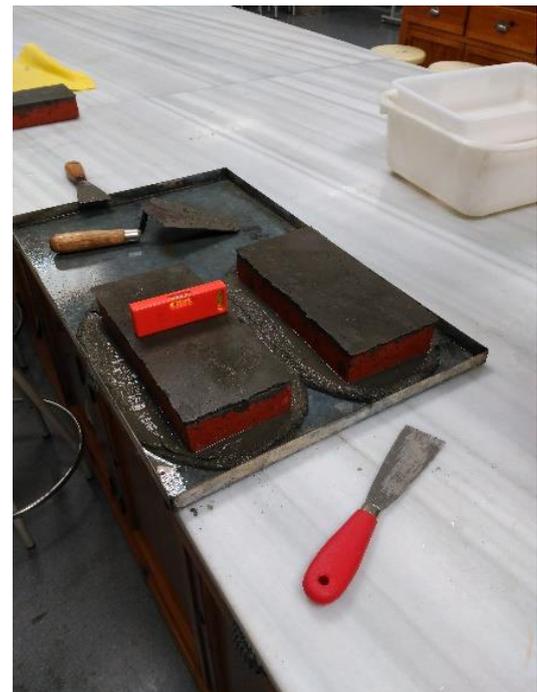


Fig. 11 - Refrentado

La ejecución del ensayo se controla y monitorea desde un ordenador. El ensayo se divide en dos fases:

-Pre-carga: Durante esta fase el pistón hidráulico se mueve en sentido hacia la parte fija de la máquina, a una velocidad de carga y sensibilidad fijada para esta fase, hasta que la muestra entra en contacto con la parte fija, una vez esto ocurre, la resistencia que ofrece la muestra (situada entre ambas partes) es

mayor que la sensibilidad, por lo que el ordenador que controla la prensa detiene el proceso, entendiendo que la muestra está en situación de ser puesta en carga.

-Carga: Durante esta fase el pistón sigue moviéndose en el mismo sentido, aunque a una velocidad de carga y sensibilidad fijada para esta fase, siendo, mayor que la anterior, hasta que la muestra colapsa (dado que la resistencia que ofrecía era menor que la carga del esfuerzo actuante), en este punto el ensayo se da por concluido.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se calcula la resistencia mecánica a compresión mediante la siguiente formula:

$$f_c = F / A \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Siendo:

- f_c = Resistencia mecánica a compresión.
- F = Carga de rotura (N).
- A = Área media de las tablas, sin descontar huecos (mm²).

Tanto la caracterización mediante microscopia electrónica de barrido como por difracción de Rayos X y la composición mineralógica de las muestras no se ha realizado, dado que no era objeto del PFG, pero según (12) podríamos afirmar, sin ningún carácter vinculante al presente estudio, que las mayorías de piezas cerámicas están compuestas por arcillas itílico-cloríticas o caoliníticas.

Los diferentes ensayos normalizados, reflejados anteriormente, han sido adaptados a la economía, sencillez y funcionalidad necesaria para realizar el PFG, además de ajustarse a la disponibilidad del laboratorio en cuanto materiales, útiles y herramientas, maquinaria, espacio, fechas, etc.

6.3.- ENSAYOS DE ALTERACIÓN ACELERADA.

De los diferentes ensayos de alteración acelerada estudiados y reflejados en la bibliografía, hemos optado por realizar los que entendemos eran más representativos a la hora de evaluar la durabilidad de los materiales utilizados. Además de tener en cuenta la viabilidad técnica y económica a la hora de realizar PFG, estos ensayos, incluido los normalizados, han sido adaptados a la disponibilidad del laboratorio y el diseño de los ensayos de alteración acelerada.

Con ellos hemos tratado de someter las muestras al efecto de los agentes de alteración de manera concentrada en el tiempo, lo que nos ha proporcionado resultados sobre la durabilidad del material y la influencia

de la aplicación de diferentes tratamientos protectores en plazos breves de tiempo.

Los ensayos realizados han sido de cristalización de sales, de heladicidad y termohigrométrico:

6.3.1.- ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES.

Para determinar la resistencia a la cristalización de sales de los LM, PC y PV no se ha seguido ningún ensayo normalizado, dado que no existe a tal efecto.

El procedimiento del ensayo trata de someter a las muestras de ladrillo macizo, plaqueta cerámica y plaqueta cerámica vidriada a una sucesión de ciclos de penetración forzada de sales mediante la hidratación y cristalización de una solución en base acuosa de sulfato sódico, Na_2SO_4 , de 20 g/l, esta solución salina es la más utilizada en este tipo de ensayos, debido al incremento de volumen que sufre al cristalizarse (entorno al 300%, sobre el volumen soluble). Se han realizado 40 de estos ciclos, que se han dividido en 4 fases, de 10 ciclos cada una.

La funcionalidad del ensayo se basa en la absorción por capilaridad de las muestras cerámicas.

Para la ejecución del ensayo, se han identificado las muestras (3 por cada material cerámico LM, PC y PV) mediante una numeración, esta numeración sigue el siguiente patrón. A las muestras sin tratamiento aplicado, se les ha identificado con el número 1, a las muestras con el tratamiento de antisulfato se les ha identificado con el número 2 y a las muestras con el tratamiento hidrofugante se les ha identificado con el número 3.



Fig. 12 - Preparación del Ensayo de Cristalización de sales



Fig. 13 - Plaquetas bajo luminarias infrarrojas

Para la ejecución del ensayo han sido necesarias 3 bandejas simples de (30x20x7 cm) y 3 bandejas dobles de (50x35x7 cm), a las

cuales se les ha incorporado un lecho de arena de González de 5 mm de espesor. Los ladrillos macizos han sido ensayados en las bandejas individuales y las plaquetas han sido emparejadas por tratamiento, utilizando una bandeja doble para cada pareja de plaquetas. Para forzar la penetración de sales se ha dispuesto de un sistema de iluminación mediante bombillas infrarrojas de la casa Philips con una potencia de 150 W, estas calientan cenitalmente las muestras provocando el secado de la tabla superior, lo cual motiva, el incremento de absorción capilar desde la tabla inferior, inmersa en la solución salina.

Los ciclos establecidos para el ensayo de cristalización de sales han sido de 24 horas, cada uno de estos ciclos se ha dividido a su vez en 2 estaciones de 12 horas.

En la primera estación, correspondiente con la cristalización de sales, las muestras se encuentran bajo la radiación del sistema de luminarias infrarroja (35° C), la cual provoca la penetración forzada de sales al interior de los poros y su posterior cristalización.

En la segunda estación, correspondiente con la hidratación de sales, se comprueba que el lecho de arena este lo suficientemente húmedo después de la primera estación, dado que, si estuviera seco, no sería posible la hidratación de las sales, si esto fuera así se añadiría solución salina. En este caso las muestras se encuentran expuestas al ambiente del laboratorio (25° C), al no estar bajo el efecto de las luces infrarrojas, las sales que habían cristalizado debido a la evaporación del agua se rehidratan por medio de la humedad ascendente, lo que da lugar al comienzo del proceso.

El ensayo se programó de modo que mientras los LM realizaban la primera estación, las PC y PV realizaran la segunda, dado que la disponibilidad de la luminaria infrarroja, con casquillo para 3 bombillas, no permitía la simultaneidad de las estaciones (por motivos de espacio).

En los días de fiesta o fines de semana, es decir, días no lectivos, durante los cuales la escuela y/o el laboratorio permanecían cerrados, se tomó la decisión de que las muestras que se encontraban en la segunda estación siguieran en ella durante estos periodos y que por motivos de seguridad y consumo, en el caso de las muestras que se encontraban en la primera fase, se configuraba un temporizador para apagar las luces infrarrojas tras pasar las 12 horas de la estación, pasando entonces el resto de dicho periodo en la segunda estación.

La fase ideal de 10 ciclos, teniendo en cuenta los fines de semana (no lectivos) sería el siguiente:

L 1 ^{er} ciclo	M 2 ^{do} ciclo	X 3 ^{er} ciclo	J 4 ^{to} ciclo	V 5 ^{to} ciclo	S	D
L 6 ^{to} ciclo	M 7 ^{mo} ciclo	X 8 ^{vo} ciclo	J 9 ^{no} ciclo	V 10 ^{mo} ciclo	S	D

6.3.2.- ENSAYO DE HELADICIDAD.

Para determinar la resistencia a la heladicidad de los LM, PC y PV se ha seguido las normativas europeas (UNE EN ISO 10545-12:1997 Y UNE 67028:1997).

El procedimiento del ensayo trata de someter a las muestras de ladrillo macizo, plaqueta cerámica y plaqueta cerámica vidriada a una sucesión de ciclos de hielo y deshielo. Al igual que con el ensayo de cristalización de sales, se han dividido los 40 ciclos realizados en 4 fases de 10 ciclos cada una, de los cuales, 5 son de deshielo y los otros 5 son de hielo.

La funcionalidad del ensayo se basa en la absorción por inmersión de las muestras cerámicas.

Para la ejecución del ensayo, se han identificado las muestras (3 por cada material cerámico LM, PC y PV) mediante una numeración, esta numeración sigue el siguiente patrón. A las muestras sin tratamiento aplicado, se les ha identificado con el número 4, a las muestras con el tratamiento de antisulfato se les ha identificado con el número 5 y a las muestras con el tratamiento hidrofugante se les ha identificado con el número 6.

Para la ejecución del ensayo han sido necesarios 4 tanques de agua de unos 30 cm de profundidad y base cuadrada de 35x35 cm, dos de los cuales 2 se han llenado de agua para el ciclo de deshielo y los otros 2 se han dejado sin rellenar para usarlos en el ciclo de hielo.



Fig. 14 - Ensayo de Heladicidad

Cada ciclo de deshielo o hielo ha tenido una duración de 24 horas.

En el ciclo de deshielo, las muestras se introducen en los tanques antes nombrados, durante el cual permanecen totalmente sumergidos en agua (20° C). Logrando con ello dos objetivos, la saturación de la muestra, si fuera el ciclo de comienzo de una fase y el deshielo y saturación de nuevo, si fuera un ciclo intermedio.

En el ciclo de hielo, las muestras, una vez saturadas de agua, se introducen en una cámara frigorífica (-15° C), permaneciendo en ella hasta la finalización del ciclo. Logrando con ello el objetivo de cristalizar el agua que se encuentra en los poros tanto del interior como del exterior de las muestras, provocando presiones internas.

El ensayo se programó para que todas las muestras de LM, PC y PV realizaran conjuntamente los ciclos, la única necesidad, para no requerir de un gran número de tanques de agua, fue la de coordinar la realización del presente ensayo con el siguiente (termohigrométrico), dado que también requería tanques de agua para su ejecución.

En los días de fiesta o fines de semana, es decir, días no lectivos, durante los cuales la escuela y/o el laboratorio permanecían cerrados, se tomó la decisión de que las muestras permanecieran en el ciclo que se encontraban realizando.

La fase ideal de 10 ciclos, teniendo en cuenta los fines de semana (no lectivos) sería el siguiente:

L 1 ^{er} ciclo (Deshielo)	M 2 ^{do} ciclo (Hielo)	X 3 ^{er} ciclo (Deshielo)	J 4 ^{to} ciclo (Hielo)	V 5 ^{to} ciclo (Deshielo)	S	D
L 6 ^{to} ciclo (Hielo)	M 7 ^{mo} ciclo (Deshielo)	X 8 ^{vo} ciclo (Hielo)	J 9 ^{no} ciclo (Deshielo)	V 10 ^{mo} ciclo (Hielo)	S	D

6.3.3.- ENSAYO TERMOHIGROMÉTRICO.

Para determinar la resistencia al choque térmico de los LM, PC y PV se ha seguido la normativa europea (UNE EN ISO 10545-9:2013).

El procedimiento del ensayo trata de someter a las muestras de ladrillo macizo, plaqueta cerámica y plaqueta cerámica vidriada a una sucesión de ciclos de humectación y secado. Al igual que con el ensayo de cristalización de sales y de heladicidad, se han dividido los 40 ciclos realizados en 4 fases de 10 ciclos cada una, de los cuales, 5 son de humectación y los otros 5 son de secado.

La funcionalidad del ensayo se basa en la absorción por inmersión de las muestras cerámicas.

Para la ejecución del ensayo, se han identificado las muestras (3 por cada material cerámico LM, PC y PV) mediante una numeración, esta numeración sigue el siguiente patrón. A las muestras sin tratamiento aplicado, se les ha identificado con el número 7, a las muestras con el tratamiento de antisulfato se les ha identificado con el número 8 y a las muestras con el tratamiento hidrofugante se les ha identificado con el número 9.

Para la ejecución del ensayo han sido necesarios 2 tanques de agua de unos 30 cm de profundidad y base cuadrada de 35x35 cm y una bandeja metálica de unos 5 cm de profundidad y base rectangular de 60x30 cm.



Fig. 15 - Ensayo Termohigrométrico

Cada ciclo de humectación o secado ha tenido una duración de 24 horas.

En el ciclo de secado, las muestras se colocan en la bandeja metálica y se introducen en una estufa de la casa Selecta, modelo Conterm, (150° C). Logrando con ellos dos objetivos simultáneamente, calentar las muestras a alta temperatura y que al finalizar el ciclo las muestras hayan perdido totalmente la humedad que acumulaban en su interior.

En el ciclo de humectación, las muestras se introducen en los tanques de agua antes nombrados, durante el cual permanecen totalmente sumergidos en agua (20° C). Logrando con ello dos objetivos simultáneamente, enfriar rápidamente la muestra desde una temperatura de 150° C, causando un gran estrés térmico y que al finalizar el ciclo las muestras se encuentren totalmente saturadas de agua.

El ensayo se programó para que todas las muestras de LM, PC y PV realizaran conjuntamente los ciclos

En los días de fiesta o fines de semana, es decir, días no lectivos, durante los cuales la escuela y/o el laboratorio permanecían cerrados, se tomó la decisión de que las muestras permanecieran en el ciclo que se encontraban realizando, aunque, por motivos de seguridad y consumo, si el ciclo que se estuviera realizando fuese el de secado mediante estufa a 150° C, se procedería a desconectarla dejando las muestras en su interior con el calor residual durante dichos periodos.

La fase ideal de 10 ciclos, teniendo en cuenta los fines de semana (no lectivos) sería el siguiente:

L 1 ^{er} ciclo (Secado)	M 2 ^{do} ciclo (Humectación)	X 3 ^{er} ciclo (Secado)	J 4 ^{to} ciclo (Humectación)	V 5 ^{to} ciclo (Secado)	S	D
L 6 ^{to} ciclo (Humectación)	M 7 ^{mo} ciclo (Secado)	X 8 ^{vo} ciclo (Humectación)	J 9 ^{no} ciclo (Secado)	V 10 ^{mo} ciclo (Humectación)	S	D

6.4.- EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO.

Durante la realización de los ensayos de alteración acelerada se han ido realizado inspecciones visuales con una frecuencia prácticamente diaria, documentándose y prestando especial atención a las posibles alteraciones macroscópicas, como fisuras y pérdidas de material, llegando incluso en el caso de las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales, a una limpieza de la superficie después de cada fase para eliminar las abundantes eflorescencias y poder observar nítidamente la superficie del material. Con la finalización de estos ensayos, se realizó una inspección minuciosa de las muestras, para ello, se limpiaron las muestras mediante brochas y gamuzas húmedas, eliminando la suciedad que derivaba del ensayo.

Con motivo de evaluar la durabilidad del material y la influencia de la aplicación de los tratamientos protectores, se volvieron a caracterizar todas las muestras realizando los ensayos previos, pero esta vez con carácter de ensayos posteriores.

A continuación, se exponen las alteraciones notificadas en las muestras, tanto en las inspecciones diarias como en las finales:

-Estado previo: Tras la aplicación y el periodo de secado de los tratamientos, se observa que las muestras a las que se le aplicó el tratamiento antisulfato mediante hidróxido de bario, no variaron de tono de color, aunque, mostraban un blanqueamiento de la superficie.

En cuanto a las muestras a las que se le aplicó el tratamiento hidrofugante mediante Aquashield Ultimate, el tono de color si varió, mostrándose más oscuro, notificándose más este efecto en los ladrillos macizos y en las plaquetas vidriadas que en las plaquetas cerámicas sin vidriar.

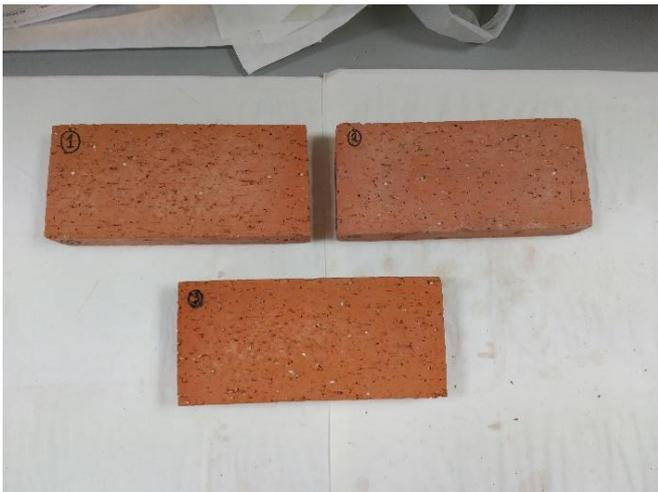


Fig. 16 - LM después del tratamiento

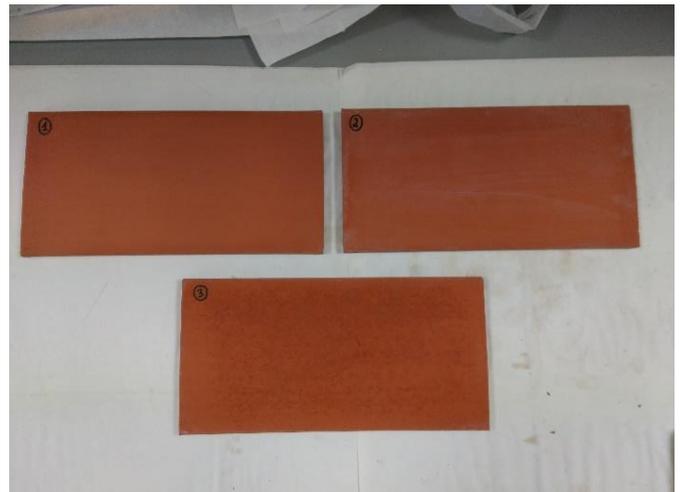


Fig. 17 - PC después del tratamiento



Fig. 18 - PV después del tratamiento

-Primera fase de ciclos: Desde el primer ciclo del ensayo de cristalización de sales se marcan en la superficie de las muestras machas y líneas típicas de humedad, aunque en este caso con un tono blanquecino. Durante el desarrollo de esta primera fase va aumentando el volumen de las eflorescencias de simples manchas superficiales a abundante acumulación de sales cristalizadas.

Durante esta primera fase no se notifica ninguna alteración macroscópica en las muestras sometidas a los ensayos termohigrométrico y de heladicidad, salvo que en este último se observa un blanqueamiento de la superficie de las muestras al sacarlas de la cámara frigorífica, debido al contraste térmico, con una diferencia de 40° C entre el interior de la cámara frigorífica (-15° C) y el ambiente del laboratorio (25° C).



Fig. 19 - Comienzo 1ª fase



Fig. 20 - Final 1ª fase



Fig. 21 – Blanqueamiento de muestras en ensayo de Heladicidad

-Segunda fase de ciclos: Al igual que en la primera fase, las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales continúan mostrando abundantes eflorescencias, a la finalización de esta segunda fase las mayorías de muestras se encuentran cubiertas bajo una espesa capa blanca de sal cristalizada. Al realizar la limpieza de las muestras se observa el descascarillamiento de los bordes del ladrillo macizo, correspondiente a la muestra LM número 3.

Durante esta segunda fase se notifica una fisuración bastante marcada en las muestras de ladrillo macizo sometidas al ensayo de heladicidad, correspondientes con las muestras de LM 4, 5 y 6.

Las muestras sometidas al ensayo termohigrométrico siguen sin presentar alteración macroscópica evidente.



Fig. 22 – Volumen de eflorescencias de los LM en la segunda fase de ciclos



Fig. 23 – Descascarillamiento de los bordes del LM nº 3



Fig. 24 – Fragmentos del LM nº 3 en el lecho de arena



Fig. 25 – Fisuración de las muestras de LM 4, 5 y 6

-Tercera fase de ciclos: Las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales no tardan, ni dos ciclos de cristalización, en volver a tener una abundante capa superficial de sales cristalizadas (como se observa en la foto de la derecha, tomada el segundo día de ciclos), aún después de haberlas limpiado superficialmente entre cada fase. Este hecho significa que las muestras tienen un volumen de sales en su interior bastante elevado. Al final de la fase, se notifica como el descascarillamiento de los bordes de la muestra de LM número 3 ha aumentado considerablemente, pudiendo ver incluso el efecto de las presiones internas, provocando este descascarillamiento.

Las muestras sometidas a los ensayos termohigrométrico y de heladicidad, no presentan variación sobre las alteraciones ya nombradas en la segunda fase.



Fig. 26 – Volumen de eflorescencias al segundo ciclo de la tercera fase



Fig. 27 – Criptoflorescencias del LM nº 3 (1)



Fig. 28 – Criptoflorescencias del LM nº3 (2)

-Cuarta fase de ciclos: Las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales continúan con las mismas patologías que la tercera fase.



Fig. 29 - Disgregación del LM nº 4



Fig. 30 - Disgregación del LM nº 5

Durante esta cuarta fase se notifica una proliferación de las fisuras en las muestras de ladrillo macizo sometidas al ensayo de heladicidad, así como pérdida de material por disgregamiento (principalmente en las esquinas de la muestra), correspondientes con las muestras de LM 4, 5 y 6.



Fig. 31 – Disgregación del LM nº 6



Fig. 32 – Material disgregado

Las muestras sometidas al ensayo termohigrométrico siguen sin presentar alteración macroscópica evidente

-Estado final: Las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales muestran una gran abundancia de eflorescencias, con hasta capas de 1 cm de espesor, después de limpiarlas superficialmente, se comprueba que además de las patologías ya conocidas del LM número 3, la plaqueta cerámica vidriada, correspondiente a la muestra PV número 3, ha sufrido una astillación de su tabla inferior, las demás muestras no sufren alteración macroscópica evidente más allá del blanqueamiento superficial derivado del ensayo. Hecho relevante a destacar es que después de la limpieza y fuera del ámbito del ensayo, las muestras seguían aflorando sales como se puede ver a continuación.



Fig. 33 – Estado antes de la limpieza



Fig. 34 – Estado después de la limpieza



Fig. 35 – Reafloramiento de las sales (1)



Fig. 36 – Reafloramiento de las sales (2)

Las muestras de ladrillo macizo sometidas al ensayo de heladicidad, han sufrido gran pérdida de peso, ya no solamente en las esquinas sino por todos los cantos y la tabla. Mientras que las muestras de plaqueta cerámica sin vidriar y plaqueta cerámica vidriada, no sufren ninguna alteración macroscópica evidente.



Fig. 37 - Perdida de material del LM nº 4



Fig. 38 - Perdida de material del LM nº 5



Fig. 39 – Perdida de material del LM nº 6



Fig. 40 – Disgregación total

Las muestras sometidas al ensayo termohigrométrico no presentan alteración macroscópica evidente.

7.- DATOS.

A continuación, se muestran mediante diferentes tablas los resultados obtenidos mediante la realización de los diferentes ensayos de caracterización. En ellas se reflejan los datos de las muestras previas ($T=i$) y de las muestras ensayadas ($T=f$), así como la comparación entre ambos.

Para favorecer una rápida comprensión de las tablas, se adjunta una tabla modelo como ejemplo donde se marcan los valores obtenidos y su significado.

Media de pesos de secado $T=i$ (g)												
1.897,50 1												
Pesos de secado $T=f$ (g) / Incremento pesos de secado $T=f$ vs $T=i$ (%)												
	Sin tratar			Antisulfato			Hidrofugante					
Cristalización de sales	Muestra 1	2.113,75	/	11,40	Muestra 2	2.140,45	/	12,80	Muestra 3	2.208,28	/	16,38
	Muestra 4	1.162,87	/	-38,72	Muestra 5	1.390,86	/	-26,70	Muestra 6	1.051,15	/	-44,60
Heladicidad	Muestra 7	2.037,90	/	7,40	Muestra 8	2.081,35	/	9,69	Muestra 9	2.080,68	/	9,65
	Termohigrométrico											

2
3

1 = Media de los valores obtenidos en los ensayos de caracterización (ensayos previos) por las muestras previas ($T=i$).

2 = Valores obtenidos en los ensayos de caracterización (ensayos posteriores) por las muestras sometidas a los ensayos de alteración acelerada ($T=f$).

3 = Porcentaje de incremento del valor obtenido en las muestras ensayadas versus las muestras previas.

Tabla 1.

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Ladrillo macizo (LM)

Media de pesos de secado T=i (g)	
1.897,50	

		Pesos de secado T=f (g) / Incremento pesos de secado T=f vs T=i (%)							
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante			
Cristalización de sales	Muestra 1								
		2.113,75	/	11,40	2.140,45	/	12,80	2.208,28	/
Heladicidad	Muestra 4								
		1.162,87	/	-38,72	1.390,86	/	-26,70	1.051,15	/
Termohigrométrico	Muestra 7								
		2.037,90	/	7,40	2.081,35	/	9,69	2.080,68	/

		Media absorción de agua por capilaridad T=i (Kg/m ² x min)	
Ensayo de Succión		0,39	

		Absorción de agua por capilaridad T=f (Kg/m ² x min) / Incremento tasa absorción de agua por capilaridad T=f vs T=i (%)							
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante			
Ensayo de Succión	Cristalización de sales	Muestra 1							
			0,52	/	31,85	1,18	/	199,19	1,54
Heladicidad	Muestra 4								
		2,05	/	419,78	2,42	/	513,59	2,75	/
Termohigrométrico	Muestra 7								
		0,83	/	110,45	1,92	/	386,82	2,29	/

		Media absorción de agua por inmersión T=i (%)	
Ensayo de Absorción		13,07	

		Absorción de agua por inmersión T=f (%) / Incremento tasa absorción de agua por inmersión T=f vs T=i (%)							
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante			
Ensayo de Absorción	Cristalización de sales	Muestra 1							
			7,04	/	-46,13	5,94	/	-54,55	3,89
Heladicidad	Muestra 4								
		9,91	/	-24,17	7,00	/	-46,44	11,01	/
Termohigrométrico	Muestra 7								
		7,76	/	-40,62	7,92	/	-39,40	8,05	/

		Media resistencia mecánica a compresión T=i (N/mm ²)	
Ensayo de Compresión		10,43	

		Resistencia mecánica a compresión T=f (N/mm ²) / Incremento resistencia mecánica a compresión T=f vs T=i (%)							
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante			
Ensayo de Compresión	Cristalización de sales	Muestra 1							
			5,54	/	-46,88	5,93	/	-43,14	5,22
Heladicidad	Muestra 4								
		-	/	-	-	/	-	-	/
Termohigrométrico	Muestra 7								
		30,30	/	190,51	6,45	/	-38,16	37,88	/

Muestras previas (T=i)

Muestras ensayadas (T=f)



Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas

Valores alterados por posible efecto de confinamiento de los LM

Tabla 1. (Continuación)

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Ladrillo macizo (LM)

		Media de velocidades de transmisión de ultrasonidos T=i (μs)			
		A lo largo		A través de	
		Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto
Ensayo de Ultrasonidos		20,93	39,37	11,50	41,90

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μs) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)							
		Sin tratamiento							
		A lo largo				A través de			
		Tabla 6 - 12 cm		Tabla 6 - 18 cm		Tabla		Canto	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 1							
		25,95 / 23,96	47,15 / 19,77	12,10 / 5,22	44,10 / 5,25				
	Heladicidad	Muestra 4							
		- / -	- / -	66,20 / 475,65	- / -				
	Termohigrométrico	Muestra 7							
		23,30 / 11,31	44,90 / 14,06	11,20 / -2,61	42,20 / 0,72				

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μs) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)							
		Antisulfato							
		A lo largo				A través de			
		Tabla 6 - 12 cm		Tabla 6 - 18 cm		Tabla		Canto	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 2							
		29,85 / 42,60	47,20 / 19,90	12,60 / 9,57	45,90 / 9,55				
	Heladicidad	Muestra 5							
		- / -	- / -	58,40 / 407,83	- / -				
	Termohigrométrico	Muestra 8							
		26,05 / 26,59	46,90 / 19,14	12,10 / 5,22	46,00 / 9,79				

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μs) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)							
		Hidrofugante							
		A lo largo				A través de			
		Tabla 6 - 12 cm		Tabla 6 - 18 cm		Tabla		Canto	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 3							
		28,90 / 38,06	48,80 / 23,96	12,20 / 6,09	44,60 / 6,44				
	Heladicidad	Muestra 6							
		- / -	- / -	60,10 / 422,61	- / -				
	Termohigrométrico	Muestra 9							
		30,10 / 43,79	48,80 / 23,96	12,20 / 6,09	46,40 / 10,74				

Muestras previas (T=i)

Muestras ensayadas (T=f)

 Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas

Tabla 2.

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Plaqueta cerámica sin vidriar(PC)

Media de pesos de secado T=i (g)	
662,68	

		Pesos de secado T=f (g) / Incremento pesos de secado T=f vs T=i (%)					
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Cristalización de sales		684,15	/ 3,24	703,50	/ 6,16	730,20	/ 10,19
Heladicidad		676,00	/ 2,01	677,35	/ 2,21	687,25	/ 3,71
Termohigrométrico		673,20	/ 1,59	670,00	/ 1,10	692,50	/ 4,50

		Media absorción de agua por capilaridad T=i (Kg/m ² x min)
Ensayo de Succión		0,35

		Absorción de agua por capilaridad T=f (Kg/m ² x min) / Incremento tasa absorción de agua por capilaridad T=f vs T=i (%)					
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Ensayo de Succión	Cristalización de sales	0,32	/ -7,35	0,22	/ -36,31	0,14	/ -59,47
Heladicidad		0,42	/ 21,60	0,42	/ 21,60	0,29	/ -16,04
Termohigrométrico		0,27	/ -21,83	0,27	/ -21,83	0,12	/ -65,26

		Media absorción de agua por inmersión T=i (%)
Ensayo de Absorción		10,64

		Absorción de agua por inmersión T=f (%) / Incremento tasa absorción de agua por inmersión T=f vs T=i (%)					
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Ensayo de Absorción	Cristalización de sales	9,40	/ -11,64	6,72	/ -36,83	4,97	/ -53,28
Heladicidad		11,34	/ 6,60	12,30	/ 15,63	13,13	/ 23,43
Termohigrométrico		12,05	/ 13,28	10,84	/ 1,90	12,03	/ 13,09

		Media resistencia mecánica a flexión T=i (N/mm ²)
Ensayo de flexión		9,20

		Resistencia mecánica a flexión T=f (N/mm ²) / Incremento resistencia mecánica a flexión T=f vs T=i (%)					
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Ensayo de Flexión	Cristalización de sales	3,21	/ -65,11	1,61	/ -82,50	2,95	/ -67,93
Heladicidad		Pre - carga	/ -	Pre - carga	/ -	5,09	/ -44,67
Termohigrométrico		6,16	/ -33,04	4,29	/ -53,37	1,61	/ -82,50

Muestras previas (T=i)

Muestras ensayadas (T=f)

 Pre - carga (La muestra colapso durante la fase de pre - carga)

Tabla 2. (Continuación)

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)

Media de velocidades de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s)		
A lo largo		
	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm
Ensayo de Ultrasonidos	18,37	36,37

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Sin tratamiento			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm		Tabla 7 - 21 cm	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 1			
		20,80	/	13,25	36,50 / 0,37
	Heladicidad	Muestra 4			
		20,00	/	8,89	37,00 / 1,74
	Termohigrométrico	Muestra 7			
		20,10	/	9,44	38,80 / 6,69

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Antisulfato			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm		Tabla 7 - 21 cm	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 2			
		22,10	/	20,33	39,50 / 8,62
	Heladicidad	Muestra 5			
		20,20	/	9,98	38,50 / 5,87
	Termohigrométrico	Muestra 8			
		19,20	/	4,54	38,20 / 5,04

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Hidrofugante			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm		Tabla 7 - 21 cm	
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 3			
		20,30	/	10,53	38,60 / 6,14
	Heladicidad	Muestra 6			
		21,10	/	14,88	59,00 / 62,24
	Termohigrométrico	Muestra 9			
		22,10	/	20,33	39,80 / 9,44

Muestras previas (T=i)

Muestras ensayadas (T=f)

Tabla 3.

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Plaqueta cerámica vidriada (PV)

Media de pesos de secado T=i (g)	
773,45	

		Pesos de secado T=f (g) / Incremento pesos de secado T=f vs T=i (%)								
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante				
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3				
Cristalización de sales		827,30	/	9,69	827,30	/	9,74	807,30	/	4,38
Heladicidad		781,50	/	1,04	781,50	/	2,26	775,35	/	0,25
Termohigrométrico		798,90	/	3,29	798,90	/	1,82	784,30	/	1,40

		Media absorción de agua por capilaridad T=i (Kg/m ² x min)	
Ensayo de Succión		1,51	

		Absorción de agua por capilaridad T=f (Kg/m ² x min) / Incremento tasa absorción de agua por capilaridad T=f vs T=i (%)									
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante					
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3					
Ensayo de Succión	Cristalización de sales		0,67	/	-55,58	0,31	/	-79,45	0,03	/	-98,01
	Heladicidad		1,48	/	-1,87	1,08	/	-28,39	0,02	/	-98,67
	Termohigrométrico		1,26	/	-16,46	1,24	/	-17,78	0,06	/	-96,02

		Media absorción de agua por inmersión T=i (%)	
Ensayo de Absorción		12,33	

		Absorción de agua por inmersión T=f (%) / Incremento tasa absorción de agua por inmersión T=f vs T=i (%)									
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante					
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3					
Ensayo de Absorción	Cristalización de sales		5,83	/	-52,73	5,12	/	-58,48	3,46	/	-71,94
	Heladicidad		12,09	/	-1,97	10,23	/	-17,05	12,75	/	3,38
	Termohigrométrico		11,19	/	-9,26	11,52	/	-6,59	11,31	/	-8,29

		Media resistencia mecánica a flexión T=i (N/mm ²)	
Ensayo de Flexión		7,50	

		Resistencia mecánica a flexión T=f (N/mm ²) / Incremento resistencia mecánica a flexión T=f vs T=i (%)									
		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante					
		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3					
Ensayo de Flexión	Cristalización de sales		3,48	/	-53,60	4,55	/	-39,33	2,68	/	-64,27
	Heladicidad		4,02	/	-46,40	4,55	/	-39,33	4,55	/	-39,33
	Termohigrométrico		Pre - carga	/	-	0,80	/	-89,33	3,48	/	-53,60

Muestras previas (T=i)



Pre - carga (La muestra colapso durante la fase de pre - carga)

Muestras ensayadas (T=f)

Tabla 3. (Continuación)

Resultados y comparación de los mismos obtenidos mediante los ensayos de caracterización muestras ensayadas vs previas
Plaqueta cerámica vidriada (PV)

		Media de velocidades de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s)			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm		
Ensayo de Ultrasonidos		22,73	44,53		

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Sin tratamiento			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm		
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 1			
		33,50	/	47,36	57,70 / 29,57
	Heladicidad	Muestra 4			
		22,20	/	-2,35	42,30 / -5,01
	Termohigrométrico	Muestra 7			
		20,00	/	-12,02	39,10 / -12,20

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Antisulfato			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm		
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 2			
		22,50	/	-1,03	50,50 / 13,40
	Heladicidad	Muestra 5			
		19,20	/	-15,54	39,60 / -11,08
	Termohigrométrico	Muestra 8			
		21,20	/	-6,74	40,00 / -10,18

		Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μ s) / Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)			
		Hidrofugante			
		A lo largo			
		Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm		
Ensayo de Ultrasonidos	Cristalización de sales	Muestra 3			
		32,70	/	43,84	43,75 / -1,76
	Heladicidad	Muestra 6			
		22,90	/	0,73	43,00 / -3,44
	Termohigrométrico	Muestra 9			
		22,10	/	-2,79	42,65 / -4,23

Muestras previas (T=i)

Muestras ensayadas (T=f)

8.- CONCLUSIONES.

Derivadas de los diferentes ensayos de caracterización, ensayos de alteración acelerada y de la evaluación del comportamiento de las muestras durante todo el proceso podemos extraer las siguientes conclusiones.

En cuanto a los ladrillos macizos:

- El peso de las muestras 4, 5 y 6 se ha reducido entorno un 25-45 % dependiendo de la muestra, a consecuencia de la alta disgregación que han sufrido por la acción del ensayo de heladicidad.

- Los tratamientos aplicados a todas las muestras no han denotado una mejora del comportamiento en cuanto la tasa de absorción de agua por capilaridad, sin embargo, sin han provocado un mejor comportamiento en cuanto la tasa de absorción de agua por inmersión.

- Los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia mecánica a compresión confirman un elevado deterioro interno de todas las muestras, que en el caso de las muestras 4, 5 y 6 se ve incrementado hasta el punto de que se tuvieron que descartar para este ensayo.

- Los resultados obtenidos mediante el ensayo de velocidad de transmisión de ultrasonidos confirman un elevado deterioro interno de las muestras, que en el caso de las muestras 4, 5 y 6 se ve incrementado hasta el punto de que solo se pudo evaluar su velocidad de transmisión de ultrasonidos a través de la tabla.

En cuanto a las plaquetas cerámicas sin vidriar:

- Los tratamientos aplicados a todas las muestras han mejorado el comportamiento de las mismas en cuanto a lo que se refiere a la tasa de absorción de agua por capilaridad, al contrario que en la tasa de absorción de agua por inmersión, donde no ha mejorado, con la excepción de las muestras sometidas al ensayo de cristalización de sales, dado que las sales cristalizadas obturan el sistema poroso disminuyendo el volumen de poros.

- Los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia mecánica a flexión, confirman un elevado deterioro interno de todas las muestras, hasta el punto de que, las muestras 4 y 5 colapsaron durante la fase de pre-carga del ensayo de resistencia mecánica a flexión.

- Los resultados obtenidos mediante el ensayo de velocidad de transmisión de ultrasonidos confirman un elevado deterioro interno de las muestras, aumentando con respecto a las muestras previas en un rango entre un 5-60% dependiendo de la muestra.

En cuanto a las plaquetas cerámicas vidriadas:

- Los tratamientos aplicados a todas las muestras han mejorado notablemente el comportamiento de las mismas en cuanto a los que se refiere a la tasa de absorción de agua por capilaridad e inmersión. Siendo las muestras 1, 2 y 3 sometidas al ensayo de cristalización de sales las que mejores resultados

han dado, quizás motivado por la capa impermeable vidriada que poseen en su tabla superior, la cual impide la evaporación del agua interior a través de la misma, obligando a que el agua recorra en sentido inverso el interior de la muestra, arrastrando consigo las sales solubles, hasta la tabla inferior o los cantos, donde pueda evaporarse, devolviendo las sales al lecho de arena.

-Los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia mecánica a flexión, confirman una elevada disminución de la resistencia mecánica de las muestras.

- Los resultados del ensayo de transmisión de ultrasonidos, sin embargo, marcan una estructura interna poco dañada.

Ante estas conclusiones cabe destacar los hechos ya citados anteriormente como la adaptación de los ensayos y normativa a la realización de un PFG basado en ensayos de alteración acelerada, la falta de normalización de los ensayos, pese a lo simple que puedan llegar a parecer y la utilización de una única muestra por ensayo y tratamiento, ajustándonos a la economía y tiempo que conlleva la realización de un PFG, hecho por el cual algunos resultados pueden encontrarse en distorsión ante una posible media con un mínimo de 3 muestras por ensayo y tratamiento, tal y como se recoge en la mayoría de la bibliografía estudiada.

9.- BIBLIOGRAFÍA.

- (1) ESCUDERO C., ORTIZ P., ORTIZ R., MARTÍN J.M., VÁZQUEZ M.A. Y GÓMEZ M.A. 2011. Análisis del Estado de Conservación de la Iglesia de Ómnium Sanctorum (Sevilla). *Revista Macla* nº15: 81-82.
- (2) MARTÍN PÉREZ A. 1993. Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. *Revista de edificación* nº12: 53-57.
- (3) ALEJANDRE F. J. Y VILLEGAS R. 2009. Estudio de alterabilidad y efecto de tratamientos de conservación para los ladrillos de la portada de la iglesia de Santa María de Jesús (Sevilla). *Revista Materiales de Construcción* Vol. 59: 85-103.
- (4) LUQUE A., CULTRONE G., SEBASTIÁN E. Y CAZALLA O. 2008. Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 58: 115-128.
- (5) VILLEGAS SÁNCHEZ R. Y ESPINOSA GAITÁN J. 2000. Evaluación de productos de tratamiento para la portada de la iglesia de Santiago de Guadix. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 51, nº261: 21-32.
- (6) VILLEGAS SÁNCHEZ R., VALE J. F. Y ALCALDE M. 1991. Evaluación de tratamientos de hidrofugación aplicados a piedras calizas de Catedrales Andaluzas. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 41, nº223: 19-27.
- (7) VILLEGAS SÁNCHEZ R., ALEJANDRE F. J. Y JURADO PÉREZ M. 2005. Evaluación del comportamiento de materiales empleados en la reintegración de materiales cerámicos de la Plaza de España (Sevilla). *Revista Materiales de Construcción* Vol. 55, nº278: 69-76.
- (8) CORONADO MARTÍN J. A., GARCÍA SANTOS A. Y PADIAL MOLINA J. F. 2013. La influencia de los productos hidrofugantes en la succión del ladrillo cerámico cara vista. *Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, Nota técnica: 15-18.

- (9) ESPINOSA GAITÁN J. Y VILLEGAS SÁNCHEZ R. 2000. La investigación científica aplicada a la caracterización de materiales y la selección de tratamientos de conservación. *Publicaciones del IAPH*, Boletín 33: 120-130.
- (10) ALONSO F. J., ORDAZ J., VALDEON L. Y ESBERT R. M. 1987. Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 37, nº206: 53-60.
- (11) VALE PARAPAR J. Y MARTÍN PÉREZ A. Ensayos de materiales en atmósferas controladas. *Servicio de publicaciones de la Universidad de Sevilla*, 1985. Serie ingeniería, nº7.
- (12) VILLEGAS SÁNCHEZ, R. Y SEBASTIÁN PARDO, E. Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. *Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y Editorial Comares*, 2003. IAPH Cuaderno Técnico, nº8.

10.- ANEXOS.

FEBRERO 2017 – LADRILLO MACIZO (LM)

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
	1	2	3	4	5	
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
COMIENZO 1ERA FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C		
27	28					

MARZO 2017

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
		1	2	3	4	5
		- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua		
6	7	8	9	10	11	12
- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	FIN 1 ^{ERA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	COMIENZO 2 ^{DA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C		- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua		
13	14	15	16	17	18	19
- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C		
20	21	22	23	24	25	26
- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	FIN 2 ^{DA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	COMIENZO 3 ^{ERA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C		- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua		
27	28	29	30	31		
- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	- (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C		

ABRIL 2017

ABRIL 2017						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
					1	2
3	4 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	5 FIN 3 ^{ERA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17 COMIENZO 4 ^{TA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	18 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	19 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	20 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	21 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	22	23
24 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	25 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	26 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	27 - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Sumergir agua - (7.8.9) Estufa a 145°C	28 FIN 4 ^{TA} FASE - (1.2.3) Luces ON/OFF - (4.5.6) Congelador a -15°C - (7.8.9) Sumergir agua	29	30

Tabla 4.
Datos obtenidos en la caracterización de las muestras previas

Pesos de secado T=i (g)								
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1.895,85	1.894,05	1.902,59	663,06	660,27	664,70	772,95	774,39	773,01

Media pesos de secado T=i (g)		
LM	PC	PV
1.897,50	662,68	773,45

Ensayo de Succión	Pesos "post" inmersión T=i (g)								
	Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	1.904,91	1.905,92	1.912,90	675,63	674,12	678,90	832,60	834,82	830,30

Ensayo de Succión	Media pesos "post" inmersión T=i (g)		
	LM	PC	PV
	1.907,91	676,22	832,57

Ensayo de Succión	Incremento de peso respecto al peso de secado T=i (%)		
	LM	PC	PV
	0,55	2,04	7,64

Ensayo de Succión	Media absorción agua por capilaridad T=i (Kg/m ² x min)		
	LM	PC	PV
	0,39	0,35	1,51

Ensayo de Absorción	Pesos saturados T=i (g)								
	Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	2.146,76	2.136,21	2.153,49	733,22	730,79	735,50	869,72	869,57	867,22

Ensayo de Absorción	Media pesos saturados T=i (g)		
	LM	PC	PV
	2.145,49	733,17	868,84

Ensayo de Absorción	Incremento de peso respecto al peso de secado T=i (%)		
	LM	PC	PV
	13,07	10,64	12,33

Ensayo de Succión	Media absorción agua por inmersión T=i (%)		
	LM	PC	PV
	13,07	10,64	12,33

Ensayo de Flexión	Carga de rotura a flexión T=i (Kg)								
	Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	-	-	-	33,00	33,00	37,00	34,00	15,00	35,00

Ensayo de Flexión	Media cargas de rotura a flexión T=i (Kg)		
	LM	PC	PV
	-	34,33	28,00

Ensayo de Flexión	Media resistencia mecánica a flexión T=i (N/mm ²)		
	LM	PC	PV
	-	9,20	7,50

Ensayo de Compresión	Carga de rotura a compresión T=i (Kg)								
	Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	29.950,00	29.250,00	23.390,00	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Compresión	Media cargas de rotura a compresión (Kg)		
	LM	PC	PV
	27.530,00	-	-

Ensayo de Compresión	Media resistencia mecánica a compresión T=i (N/mm ²)		
	LM	PC	PV
	10,43	-	-

Muestras previas (T=i)

Tabla 5.
Datos obtenidos en la caracterización de las muestras ensayadas

		Pesos de secado T _f (g)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	2.113,75	2.140,45	2.208,28	684,15	703,50	730,20	827,30	848,80	807,30	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	1.162,87	1.390,86	1.051,15	676,00	677,35	687,25	781,50	790,90	775,35	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	2.037,90	2.081,35	2.080,68	673,20	670,00	692,50	798,90	787,50	784,30	

		Pesos "post" inmersión T _f (g)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	2.127,56	2.171,65	2.249,06	696,67	712,00	735,70	853,55	860,80	808,45	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	1.216,88	1.454,80	1.123,74	693,60	693,85	698,45	839,65	833,30	776,20	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	2.059,90	2.132,10	2.141,05	683,78	680,76	697,10	848,25	836,20	786,60	

		Incremento de peso respecto al peso de secado T _f (%)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	0,65	1,46	1,85	1,83	1,21	0,75	3,17	1,41	0,14	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	4,64	4,60	6,91	2,60	2,44	1,63	7,44	5,36	0,11	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	1,08	2,44	2,90	1,57	1,61	0,66	6,18	6,18	0,29	

		Tasa absorción de agua por capilaridad T _f (Kg/m ² x min)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	0,52	1,18	1,54	0,32	0,22	0,14	0,67	0,31	0,03	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	2,05	2,42	2,75	0,45	0,42	0,29	1,48	1,08	0,02	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	0,83	1,92	2,29	0,27	0,27	0,12	1,26	1,24	0,06	

		Pesos saturados T _f (g)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	2.262,50	2.267,66	2.294,23	748,43	750,79	766,52	875,50	892,25	835,22	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	1.278,07	1.488,20	1.166,85	752,63	760,67	777,50	875,95	871,83	874,20	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	2.196,00	2.246,15	2.248,24	754,32	742,63	775,83	888,27	878,24	873,00	

		Incremento de peso respecto al peso de secado T _f (%)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	7,04	5,94	3,89	9,40	6,72	4,97	5,83	5,12	3,46	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	9,91	7,00	11,01	11,34	12,30	13,13	12,09	10,23	12,75	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	7,76	7,92	8,05	12,05	10,84	12,03	11,19	11,52	11,31	

		Tasa absorción de agua por inmersión T _f (%)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	7,04	5,94	3,89	9,40	6,72	4,97	5,83	5,12	3,46	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	9,91	7,00	11,01	11,34	12,30	13,13	12,09	10,23	12,75	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	7,76	7,92	8,05	12,05	10,84	12,03	11,19	11,52	11,31	

		Carga de rotura a flexión T _f (Kg)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	-	-	-	12,00	6,00	11,00	13,00	17,00	10,00	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	-	-	-	Pre-carga	Pre-carga	19,00	15,00	17,00	17,00	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	-	-	-	23,00	16,00	6,00	Pre-carga	3,00	13,00	

		Resistencia mecánica a flexión T _f (N/mm ²)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	-	-	-	3,21	1,61	2,95	3,48	4,55	2,68	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	-	-	-	Pre-carga	Pre-carga	5,09	4,02	4,55	4,55	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	-	-	-	6,16	4,29	1,61	Pre-carga	0,80	3,48	

		Carga de rotura a compresión T _f (Kg)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	14.620,00	15.660,00	13.780,00	-	-	-	-	-	-	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	> 80.000,00	17.020,00	> 100.000,00	-	-	-	-	-	-	

		Resistencia mecánica a compresión T _f (N/mm ²)								
		Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)		
		Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante
Cristalización de sales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	5,54	5,93	5,22	-	-	-	-	-	-	
Heladicidad	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Termohigrométrico	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
	30,30	6,45	37,88	-	-	-	-	-	-	

Muestras ensayadas (T_f)

- Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas
- Pre - carga (La muestra colapsa durante la fase de pre - carga)
- Valores alterados por posible efecto de confinamiento de los LM

Tabla 6.
Comparativa de datos obtenidos en la caracterización de muestras ensayadas versus muestras previas

Media pesos secado T=i (g)		
LM	PC	PV
1.897,50	662,68	773,45

Pesos de secado T=f (g)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
2.113,75	2.140,45	2.208,28	684,15	703,50	730,20	827,30	848,80	807,30	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
1.162,87	1.390,86	1.051,15	676,00	677,35	687,25	781,50	790,90	775,35	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
2.037,90	2.081,35	2.080,68	673,20	670,00	692,50	798,90	787,50	784,30	

Incremento pesos de secado T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
11,40	12,80	16,38	3,24	6,16	10,19	6,96	9,74	4,38	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-38,72	-26,70	-44,60	2,01	2,21	3,71	1,04	2,26	0,25	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
7,40	9,69	9,65	1,59	1,10	4,50	3,29	1,82	1,40	

Media pesos "post" inmersión T=i (g)		
LM	PC	PV
1.907,91	676,22	832,57

Pesos "post" inmersión T=f (g)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
2.127,56	2.171,65	2.249,06	696,67	712,00	735,70	853,55	860,80	808,45	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
1.216,88	1.454,80	1.123,74	693,60	693,85	698,45	839,65	833,30	776,20	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
2.059,90	2.132,10	2.141,05	683,78	680,76	697,10	848,25	836,20	786,60	

Incremento pesos "post" inmersión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
11,51	13,82	17,88	3,02	5,29	8,80	2,52	3,39	-2,90	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-36,22	-23,75	-41,10	2,57	2,61	3,29	0,85	0,09	-6,77	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
7,97	11,75	12,22	1,12	0,67	3,09	1,88	0,44	-5,52	

Media pesos saturados T=i (g)		
LM	PC	PV
2.145,49	733,17	868,84

Pesos saturados T=f (g)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
2.262,50	2.267,66	2.294,23	748,43	750,79	766,52	875,50	892,25	835,22	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
1.278,07	1.488,20	1.166,85	752,63	760,67	777,50	875,95	871,83	874,20	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
2.196,00	2.246,15	2.248,24	754,32	742,63	775,83	888,27	878,24	873,00	

Incremento pesos saturados T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
5,45	5,69	6,93	2,08	2,40	4,55	0,77	2,69	-3,87	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-40,43	-30,64	-45,61	2,65	3,75	6,05	0,82	0,34	0,62	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
2,35	4,69	4,79	2,88	1,29	5,82	2,24	1,08	0,48	

Media resistencia mecánica a flexión T=i (N/mm2)		
LM	PC	PV
-	9,20	7,50

Resistencia mecánica a flexión T=f (N/mm2)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-	-	-	3,21	1,61	2,95	3,48	4,55	2,68	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	Pre-carga	Pre-carga	5,09	4,02	4,55	4,55	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
-	-	-	6,16	4,29	1,61	Pre-carga	0,80	3,48	

Incremento resistencia a flexión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-	-	-	-65,11	-82,50	-67,93	-53,60	-39,33	-64,27	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-44,67	-46,40	-39,33	-39,33	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
-	-	-	-33,04	-53,37	-82,50	-	-89,33	-53,60	

Media resistencia mecánica a compresión T=i (N/mm2)		
LM	PC	PV
10,43	-	-

Resistencia mecánica a compresión T=f (N/mm2)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
5,54	5,93	5,22	-	-	-	-	-	-	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
30,30	6,45	37,88	-	-	-	-	-	-	

Incremento resistencia mecánica a compresión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-46,88	-43,14	-49,95	-	-	-	-	-	-	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
190,51	-38,16	263,18	-	-	-	-	-	-	

Muestras previas (T=i)
Muestras ensayadas (T=f)

Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas
Pre - carga (La muestra colapsa durante la fase de pre - carga)
Valores alterados por posible efecto de confinamiento de los LM

Tabla 7.
Comparativa de resultados obtenidos en la caracterización de muestras ensayadas versus muestras previas

Media pesos secado T=i (g)		
LM	PC	PV
1.897,50	662,68	773,45

Pesos de secado T=f (g)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
2.113,75	2.140,45	2.208,28	684,15	703,50	730,20	827,30	848,80	807,30	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
1.162,87	1.390,86	1.051,15	676,00	677,35	687,25	781,50	790,90	775,35	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
2.037,90	2.081,35	2.080,68	673,20	670,00	692,50	798,90	787,50	784,30	

Incremento pesos de secado T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
11,40	12,80	16,38	3,24	6,16	10,19	6,96	9,74	4,38	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-38,72	-26,70	-44,60	2,01	2,21	3,71	1,04	2,26	0,25	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
7,40	9,69	9,65	1,59	1,10	4,50	3,29	1,82	1,40	

Media absorción de agua por capilaridad T=i (kg/m2 x min)		
LM	PC	PV
0,39	0,35	1,51

Absorción de agua por capilaridad T=f (kg/m2 x min)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0,52	1,18	1,54	0,32	0,22	0,14	0,67	0,31	0,03	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
2,05	2,42	2,75	0,42	0,42	0,29	1,48	1,08	0,02	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
0,83	1,92	2,29	0,27	0,27	0,12	1,26	1,24	0,06	

Incremento tasa absorción de agua por capilaridad T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
31,85	199,19	290,47	-7,35	-36,31	-59,47	-55,58	-79,45	-98,01	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
419,78	513,59	597,26	21,60	21,60	-16,04	-1,87	-28,39	-98,67	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
110,45	386,82	480,63	-21,83	-21,83	-65,26	-16,46	-17,78	-96,02	

Media absorción de agua por inmersión T=i (%)		
LM	PC	PV
13,07	10,64	12,33

Absorción de agua por inmersión T=f (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
7,04	5,94	3,09	9,40	6,72	4,97	5,83	5,12	3,46	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
9,91	7,00	11,01	11,34	12,30	13,13	12,09	10,23	12,75	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
7,76	7,92	8,05	12,05	10,84	12,03	11,19	11,52	11,31	

Incremento tasa absorción de agua por inmersión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-46,13	-54,55	-76,36	-11,64	-36,83	-53,28	-52,73	-58,48	-71,94	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-24,17	-46,44	-15,76	6,60	15,63	23,43	-1,97	-17,05	3,38	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
-40,62	-39,40	-38,41	13,28	1,90	13,09	-9,26	-6,59	-8,29	

Media resistencia mecánica a flexión T=i (N/mm2)		
LM	PC	PV
-	9,20	7,50

Resistencia mecánica a flexión T=f (N/mm2)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-	-	-	3,21	1,61	2,95	3,48	4,55	2,68	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	Pre-carga	Pre-carga	5,09	4,05	4,55	4,55	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
-	-	-	6,16	4,29	1,61	Pre-carga	0,80	3,48	

Incremento resistencia mecánica a flexión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-	-	-	-65,11	-82,50	-67,93	-53,60	-39,33	-64,27	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-44,67	-46,00	-39,33	-39,33	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
-	-	-	-33,04	-53,37	-82,50	-	-89,33	-53,60	

Media resistencia mecánica a compresión T=i (N/mm2)		
LM	PC	PV
10,43	-	-

Resistencia mecánica a compresión T=f (N/mm2)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
5,54	5,93	5,22	-	-	-	-	-	-	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
30,30	6,45	37,88	-	-	-	-	-	-	

Incremento resistencia mecánica a compresión T=f vs T=i (%)									
Ladrillo macizo (LM)			Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)			Plaqueta cerámica vidriada (PV)			
Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	Sin tratar	Antisulfato	Hidrofugante	
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
-46,88	-43,14	-49,95	-	-	-	-	-	-	
Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	
190,51	-38,16	263,18	-	-	-	-	-	-	

Muestras previas (T=i)
Muestras ensayadas (T=f)

Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas
Pre - carga (La muestra colapsa durante la fase de pre - carga)
Valores alterados por posible efecto de confinamiento de los LM

Tabla 8.

Datos y comparación de los mismos obtenidos en la caracterización mediante ensayo de ultrasonidos de las muestras ensayadas versus muestras previas

Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=i (μs)																							
Ladrillo macizo (LM)												Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)						Plaqueta cerámica vidriada (PV)					
A lo largo			A través de			A lo largo			A través de			A lo largo			A lo largo			A lo largo			A lo largo		
Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm
Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3				Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
20,10	39,20	11,40	41,80	20,90	38,60	11,50	41,90	21,80	40,30	11,60	42,00	18,50	35,60	18,20	36,50	18,40	37,00	20,90	43,70	23,50	45,00	23,80	44,90

Media de velocidades de transmisión de ultrasonidos T=i (μs)							
Ladrillo macizo (LM)				Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)		Plaqueta cerámica vidriada (PV)	
A lo largo		A través de		A lo largo		A lo largo	
Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm
20,93	39,37	11,50	41,90	18,37	36,37	22,73	44,53

Velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f (μs)																							
Ladrillo macizo (LM)												Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)						Plaqueta cerámica vidriada (PV)					
Sin tratar				Antisulfato				Hidrofugante				Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
A lo largo		A través de		A lo largo		A través de		A lo largo		A través de		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo	
Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm
Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3				Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
25,95	47,15	12,10	44,10	29,85	47,20	12,60	45,90	28,90	48,80	12,20	44,60	20,80	36,50	22,10	39,50	20,30	38,60	33,50	57,70	22,50	50,50	32,70	43,75
Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6				Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
-	-	66,20	-	-	-	58,40	-	-	-	60,10	-	20,00	37,00	20,20	38,50	21,10	59,00	22,20	42,30	19,20	39,60	22,90	43,00
Muestra 7				Muestra 8				Muestra 9				Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9		Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9	
23,30	44,90	11,20	42,20	26,50	46,90	12,10	46,00	30,10	48,80	12,20	46,40	20,10	38,80	19,20	38,20	22,10	39,80	20,00	39,10	21,20	40,00	22,10	42,65

Incremento de la velocidad de transmisión de ultrasonidos T=f vs T=i (%)																							
Ladrillo macizo (LM)												Plaqueta cerámica sin vidriar (PC)						Plaqueta cerámica vidriada (PV)					
Sin tratar				Antisulfato				Hidrofugante				Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante		Sin tratar		Antisulfato		Hidrofugante	
A lo largo		A través de		A lo largo		A través de		A lo largo		A través de		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo		A lo largo	
Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 6 - 12 cm	Tabla 6 - 18 cm	Tabla	Canto	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm	Tabla 7 - 14 cm	Tabla 7 - 21 cm
Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3				Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
23,96	19,77	5,22	5,25	42,60	19,90	9,57	9,55	38,06	23,96	6,09	6,44	13,25	0,37	20,33	8,62	10,53	6,14	47,36	29,57	-1,03	13,40	43,84	-1,76
Muestra 4				Muestra 5				Muestra 6				Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6		Muestra 4		Muestra 5		Muestra 6	
-	-	475,65	-	-	-	407,83	-	-	-	422,61	-	8,89	1,74	9,98	5,87	14,88	62,24	-2,35	-5,01	-15,54	-11,08	0,73	-3,44
Muestra 7				Muestra 8				Muestra 9				Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9		Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9	
11,31	14,06	-2,61	0,72	26,59	19,14	5,22	9,79	43,79	23,96	6,09	10,74	9,44	6,69	4,54	5,04	20,33	9,44	-12,02	-12,20	-6,74	-10,18	-2,79	-4,23

Muestras previas (T=i) Muestras 4, 5 y 6 de LM, altamente deterioradas

Muestras ensayadas (T=f)