



Construcción con Tierra

Investigación y Documentación

XI CIATTI 2014

Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos
2014.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz
Guerra.

ISBN: 978-84-606-9543-1

D.L.: VA 758-2015

Impreso en España

Julio de 2015

Publicación online.

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

ESTABILIZACIÓN HIDROFUGANTE PARA REVOCOS DE TIERRA CON EXTRACTOS NATURALES.

XI CIATTI 2014. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra
Cuenca de Campos, Valladolid.

Gabriel Barbeta Solà, Dr.Arquitecto y profesor Univ. de Girona, España.

Francesc Xavier Janer Adrian, Arquitecto Técnico. Máster Construcción en Tierra Univ. de Girona. España.

Bjørn-Erik Berthelsen Molist, Arquitecto Técnico. Máster Construcción en Tierra Univ. de Girona. España.

E-mails: gabriel.barbeta@udg.edu, janad.xavi@gmail.com, bjorn.ebm@gmail.com

PALABRAS CLAVE: Revocos de tierra, hidrofugante, extractos naturales.

1. Introducción

Los revoques de tierra son aquellos revestimientos continuos, que se aplican en una o más capas sobre un paramento, conformados a partir de una pasta o mortero de barro con consistencia plástica, aplicados con la mano, herramientas manuales (paleta, llana, etc.) o mediante proyectado, generando así una tercera piel transpirable y saludable sin emisión de sustancias tóxicas propias, que mejora el confort y bienestar.

Uno de los inconvenientes es que la tierra se degrada en contacto con el agua y/o las

heladas. Por ello se han investigado distintos estabilizantes para dotar al barro de mayor hidrofugación, aunque una de las mejores soluciones para solventar dicho problema es utilizar sistemas constructivos para proteger los paramentos de barro, como aleros o zócalos para evitar la capilaridad.

Otra de las motivaciones al realizar este proyecto ha sido la creciente demanda de rehabilitación del patrimonio hecho con tierra, que debe ser reparado con técnicas adecuadas al material utilizado. Por eso el revoco aplicado es de vital importancia para proteger bien la estructura, ya que aplicar un revestimiento

no transpirable, como el cemento, puede provocar varias patologías en la construcción.

Esta investigación tiene como objetivo la mejora de la durabilidad al aumentar la resistencia al agua, hielo y viento que aportan algunos extractos naturales a los revocos de tierra exteriores. Para poder encontrar estos materiales con cualidades hidrofugantes se han seguido unas premisas de bioconstrucción:

- Hallar una sustancia natural, abundante y fácil de conseguir para cualquier persona en nuestra zona geográfica.
- Esta sustancia debe aportar propiedades hidrofugantes y mejorar la resistencia a durabilidad del mortero.

La investigación que se muestra a continuación se basa en una planta con propiedades cáusticas. Esta planta es la Celidonia majus (Chelidonium majus).

2. Antecedentes

Durante muchos siglos la humanidad ha utilizado muchas sustancias naturales hidrofugantes con efectos satisfactorios, como se muestra seguidamente. No se ha encontrado documentación previa sobre el uso de la Celidonia majus como hidrofugante para la arcilla.

- Baba de nopal.
- Impermeabilizante natural con base de cal: A-lu-ja (agua - alumbre de potasio - jabón).
- Cemento, cal, yeso, sosa cáustica.
- Lechada de cal.
- Aceite de linaza, oliva o girasol.
- Caseína en polvo o leche desnatada.
- Pintura de caseína con sales de bórax.
- Orina con cal.
- Pasta de almidón o engrudo.
- Baba de caracol.
- Algunas cenizas + sosa cáustica.
- Aceite de palmera.
- Resinas de árboles, particularmente del tipo conífera.
- Baba de Aloe Vera.
- La sabía y látex de algunas plantas.
- Azufre
- Estiércol de vaca.
- Goma arábiga.
- Resina de Manilla Copal.

- Resina de Wallaba.
- Colofonia: Se obtiene durante la destilación de la trementina de la resina de pino.
- Vinsol: Obtenido también de la disolución de la trementina.
- Lignina.
- Melaza.
- Yema de huevo.
- Sangre de animales.
- Adhesivos de origen animal.
- Aceites de pescados y grasas animales.

3. Metodología

Se ha tomado como material base la mezcla para revoco “argilfibra” que comercializa Argiles Colades, de la localidad la Bisbal d’Empordà. Esta capa base para revocos de tierra está formada principalmente de arena, chamota cerámica, arcilla y paja de trigo. Una vez caracterizada la *argilfibra* se realizó un estudio comparativo con extracto de Chelidonium Majus, jugo de chumbera, silicato potásico y silicato sódico.

Código	Descripción
O	Mezcla con fibras “argilfibra” + de 22 a 25% de agua
Osf	Mezcla sin fibras + 22% de agua
CA	Mezcla con fibras + 6% de cal hidráulica + de 25 a 28% de agua
CI	Mezcla con fibras + 6% de cemento portland + de 25 a 28% de agua
CH	Mezcla con fibras + de 22 a 25% de agua hervida durante 20 minutos con Chelidonia majus
X 1	Mezcla con fibras + de 22 a 25% de líquido (Líquido compuesto por 50% agua + 50% baba de Chumbera)
X 2	Mezcla con fibras + de 22 a 25% de líquido (Líquido compuesto por 70% agua + 30% baba de Chumbera)
SS	Mezcla con fibras + de 22 a 25% de líquido (Líquido compuesto por 70% agua + 30% silicato sódico)
SP	Mezcla con fibras + de 22 a 25% de líquido (Líquido compuesto por 70% agua + 30% silicato potásico)
O + CH	Son probetas O pintadas con dos capas de agua hervida con Chelidonia majus
O + X	Son probetas O pintadas con dos capas de baba de Chumbera
O + SS	Son probetas O pintadas con dos capas de una mezcla 50% agua + 50% silicato sódico
O + SP	Son probetas O pintadas con dos capas de una mezcla 50% agua + 50% silicato potásico

Tabla 1. Descripción detallada, con sus respectivos códigos, de las distintas muestras ensayadas.

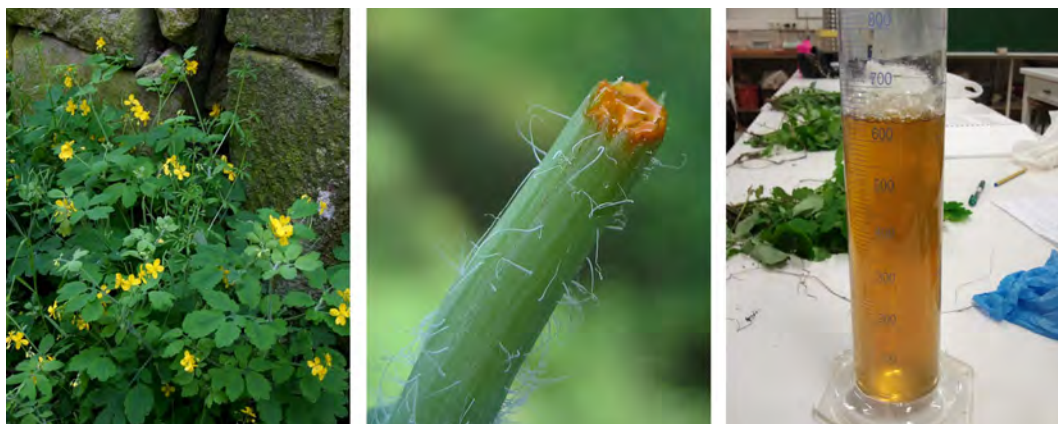


Figura 1. A la izquierda, planta de la *Celidonia majus*. Fuente: www.panoramio.com. Autor: Pepe Oliva. En el centro, detalle del látex anaranjado (savia) de la *Celidonia majus*. Fuente: www.actaplantarum.org. Autor: La presa del Canale Vacchelli (Merlino MI). A la derecha, extracto de *Celidonia* obtenido de la ebullición de la planta en agua. Autores: Francesc Xavier Janer Adrian y Bjørn-Erik Berthelsen Molist.

Estos extractos se incorporaron según dos métodos posibles: diluidos en el agua de constitución del mortero o aplicados como pintura hidrofugante posteriormente a su endurecimiento, a fin de demostrar que método es más eficaz y rentable. Siguiendo estos criterios finalmente se realizaron las distintas probetas que figuran en la *tabla 1*.

Al no existir una normativa europea específica para determinar las características de los revocos de tierra, con este estudio también se ha hecho una guía de buenas prácticas para analizarlos, tomado de referencia la *UNE-EN 998-1:2010* y la *41410*, adaptando los ensayos a los morteros de tierra y dando especial importancia a las pruebas de durabilidad, absorción y erosión.

La otra característica básica para la normalización y el control de morteros es la adherencia. Esta se ensayó en tres soportes habituales: el ladrillo cerámico, el bloque de hormigón y el bloque de tierra compactado (BTC). A su vez se analizaron muestras con y sin barbotina (lechada de arcilla), a fin de cuantificar numéricamente la posible mejora que esta capa de unión aporta entre el soporte y el revoco.

4. Estabilizantes hidrofóbicos utilizados

A continuación se describen las características de los tres diferentes estabilizantes con los cuales se ha elaborado el siguiente estudio comparativo en base a su capacidad de estabilizar las arcillas en presencia de agua.

CHELIDONIUM MAJUS: Planta originaria de Europa y la cuenca mediterránea. También es común en Norteamérica, ya que fue introducida por colonos europeos, quienes la usaban ya para fines curativos en 1672. Se encuentra en herbazales, escombreras, taludes, setos, en tapias, viejos muros, en lugares sombreados y frescos hasta los 1000 metros de altura, generalmente en sitios cercanos a asentamientos humanos.

Toda la planta produce un característico látex anaranjado. Dicho látex es cáustico y se utiliza en uso externo para ayudar a cerrar heridas y contra verrugas, callos y tumores; se utiliza en uso interno en disquinesias de vías biliares, bronquitis, asma, tos irritativa, etc. No existe información previa de su uso como hidrofugante para revocos de tierra.

CHUMBERA: Planta de la familia de las cactáceas que habitan desde el norte de Estados Unidos hasta la Patagonia, donde crecen de forma silvestre. Fueron introducidas en Europa por los conquistadores y se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea.

De entre sus amplios usos en campos como la medicina, permacultura, alimentación, etc. destacaremos sus aportaciones en la construcción. Desde hace tiempo se conocen las propiedades adhesivas de la chumbera y se ha hecho uso de ellas en aditivos y pinturas. El líquido resultante de la maceración de la paleta de la chumbera con agua se incorpora al barro, como aglutinante, imprimiéndole

más flexibilidad a los adobes. Debido a sus buenas cualidades, este líquido se usa como hidrofugante para la madera, cob, tapia, etc, se puede añadir a la arcilla de construcción, a la cal o utilizarlo a modo de pintura. Planta muy importante para la producción de biogás.

SILICATOS: Los minerales de silicatos son la clase más grande e importante de minerales que forman rocas, constituyendo cerca del 90% de la corteza terrestre. Una pintura de silicato no forma película como otras pinturas, sino que reacciona con el soporte de forma insoluble (silicatización), creando una unión sumamente resistente entre la pintura y su soporte. Además, el silicato potásico como ligante es altamente resistente a los rayos UV. Estos dos factores son las razones principales de la alta durabilidad de las pinturas al silicato.

El uso de silicatos es adecuado sobre superficies sin plástico o que no hayan sido tratadas, tales como morteros de cal y cemento, morteros de arcilla, piedras naturales y sintéticas y pinturas de silicato antiguas. Las superficies no adecuadas son los morteros de yeso, cartón-yeso, pinturas de dispersión y de dispersión de silicato, lacas, pinturas al aceite y para impresión, superficies de madera y metálicas y papeles de pared.

5. Ensayos realizados

Análisis de la tierra:

- Granulometría por lavado.
- Densidad con picnómetro.
- Sedimentometría.
- Límites de Atterberg.
- Retracción.

Análisis del mortero:

- Densidad por el método de la balanza hidrostática.
- Absorción por capilaridad.
- Erosión acelerada Swinburne (SAET).
- Ciclos de humectación-heladicidad-secado.
- Adherencia.
- Conductividad térmica.
- Compresión.
- Flexión.

Otros ensayos que pide la *UNE-EN 998-1:2010* son los de determinación a la permeabilidad al vapor de agua y reacción al

fuego. No son estrictamente necesarios pero también podrían figurar en una norma UNE para revocos de tierra.

5.1. Absorción por capilaridad

Este ensayo tiene por objeto especificar un método para determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad de los morteros endurecidos que contienen conglomerantes minerales y áridos normales y ligeros.

La normativa vigente es la norma *UNE-EN 1015-18*. Esta norma se modificó con la *UNE 41410*, que sigue el procedimiento descrito en la *UNE-EN 772-11:2011*.

Se determinó la tasa de absorción por capilaridad inicial, introduciendo la probeta dentro de la bandeja con agua a nivel constante. La probeta sólo se hundió entre 5 y 10 mm con soportes para que el agua esté en contacto con toda la superficie posible. El tiempo de inmersión fue de 1 minuto. Se repitió el ensayo con una duración de 10 minutos para determinar el coeficiente de absorción por capilaridad.

Se observó que en la tasa de absorción por capilaridad inicial sus valores son ligeramente superiores a los del coeficiente de absorción por capilaridad. Esta diferencia es debida a que la tierra absorbe el agua de manera exponencial.

El tiempo utilizado (de 1 a 10 minutos) no se corresponde con la norma original, ya que si se dejan las probetas 24 horas se disgregan en contacto con el agua, con su pérdida de masa correspondiente, dando valores de ensayo erróneos. Determinar la pérdida de masa durante el ensayo permitió obtener unos valores más exactos. La cantidad de masa perdida es muy variable en función del estabilizante hidrofóbico elegido, dato remarcable para ver el comportamiento y reacción de cada muestra, ya que no es proporcional ni sigue la misma tendencia en cada una de las distintas probetas.

No se puede afirmar que un mortero de arcilla funciona mejor porque tenga menor coeficiente de absorción, ya que puede tener más pérdida de masa que otro mortero con mayor absorción por capilaridad, a pesar de que son funciones inversamente proporcionales. En la

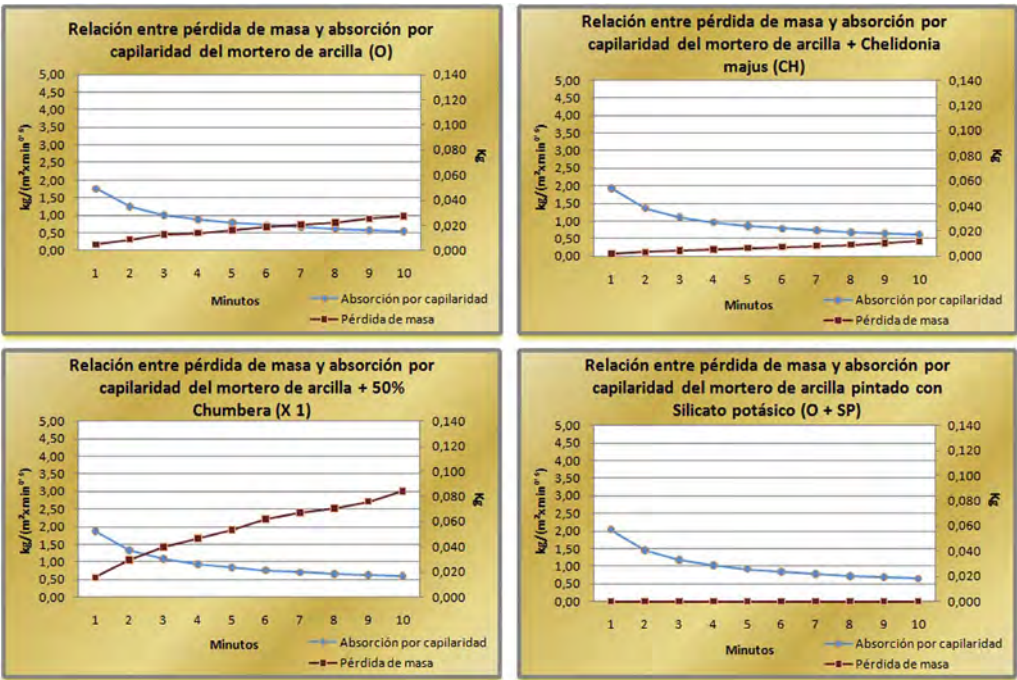


Imagen 2. Comparativa de la relación entre pérdida de masa y absorción por capilaridad. Destaca como la pérdida de masa se reduce a la mitad con la Celidonia, o casi nula con silicatos. Autores: Francesc Xavier Janer Adrian y Bjørn-Erik Berthelsen Molist.

imagen 2 se observa como distintas muestras con una absorción por capilaridad parecida sufren pérdidas de masa muy diferentes.

Muestra	Cw media (kg/m ² ·min ^{0,5})	Pérdida media de masa (%)
O	1,28	7,13
Os	1,60	17,05
CA	2,90	7,24
CI	2,78	0,00
CH	1,35	3,05
X 1	2,09	6,33
X 2	1,74	11,98
SS	4,54	11,30
SP	3,06	0,43
O + CH	1,47	4,92
O + X	1,52	6,05
O + SS	0,98	0,00
O + SP	0,92	0,00

Tabla 2. Resultados del coeficiente de absorción por capilaridad (Cw) y del porcentaje de pérdida de masa.

5.2 Erosión acelerada Swinburne

Este ensayo tiene por objeto estudiar la erosión por caída de agua durante 10 minutos sobre una superficie inclinada.

Después de haber consultado diferentes investigaciones se ha observado que en cada una de ellas se modifican los parámetros de la altura de caída de agua, el caudal, la inclinación del soporte y el tiempo de duración. Debido a esta discrepancia se ha seguido las instrucciones descritas en el apartado 8.4. Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) de la norma UNE 41410, y así seguir una normalización de la metodología para poder comparar los resultados.

Se deja caer una corriente continua de agua sobre la probeta a través de un tubo de cristal de diámetro interior 5 mm a 1 m de altura. La muestra se mantiene inclinada a 27º respecto a la horizontal. El caudal de la corriente de agua es de 360 ml/min.

De los resultados obtenidos del ensayo se analizan dos variables: la profundidad y el tipo de perforación provocada por el impacto del chorro de agua. La más importante

es la profundidad de la oquedad, la cual utilizaremos para establecer si la probeta es válida o no. El tipo de perforación es un indicador para determinar si la erosión es óptima, si corresponde a un suelo con exceso de agua en el amasado o si corresponde a un suelo con escaso contenido de arcilla.



Imagen 3. Gráfica correspondiente a la profundidad, según el ensayo Swinburne. Autores: Francesc Xavier Janer Adrian y Bjørn-Erik Berthelsen Molist.

La línea roja indica el límite de la profundidad para considerar si una probeta es válida o no. Las únicas muestras que superaron el ensayo, con unos resultados excelentes, fueron las estabilizadas con cal, cemento o silicatos. Las demás probetas, pese a considerarse no aptas, mejoraron notablemente respecto a la original. Las muestras con Celidonia majus aumentaron en un 50% la resistencia a erosión del mortero, mientras que en las probetas con chumbera se puede llegar hasta una mejora del 40%.

5.3 Ensayo sexacíclico de durabilidad

Este es un ensayo extraído de la tesis doctoral del Dr. Gabriel Barbeta Solà, *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*, que combina varios ensayos en uno solo. Está basado, sobre todo, en las normas americanas *ASTM D-559Y -82*, *NLT-303-72*, en las normas *UNE 7033* y *UNE 67028 EX: 1997*.

El objetivo es evaluar la durabilidad de las probetas, combinando en un mismo ensayo 6 ciclos de humectación, hielo y secado. De esta manera se llevan al límite las probetas simulando condiciones ambientales extremas.

Los ciclos corresponden en:

- Ciclo 1: 48 horas sumergido en agua + 24 horas en la estufa de desecación a 80°C.
- Ciclo 2: 8 horas gelifracción a -15°C + 8 horas en la estufa de desecación a 80°C.
- Ciclo 3: 8 horas sumergido en agua + 8 horas en la estufa de desecación a 80°C.
- Ciclo 4, 5 y 6: 8 horas sumergido en agua + 8 horas gelifracción a -15°C + 8 horas en la estufa de desecación a 80°C.

Una vez finalizado cada ciclo las muestras se sacan de la estufa y se cepillan, las 6 caras, con un cepillo que tenga un diámetro 50% mayor de la superficie de las caras de la probeta a una presión constante de 15 N. Una vez cepillado se vuelven a pesar y se pasa al siguiente ciclo.

Muestra	Pérdida media de masa (%)					
	1ºciclo	2ºciclo	3ºciclo	4ºciclo	5ºciclo	6ºciclo
O	1,73	6,80	100,00	-	-	-
Osf	14,23	22,37	100,00	-	-	-
CA	8,82	20,68	100,00	-	-	-
CI	0,08	14,16	23,69	43,40	50,42	59,73
CH	1,80	20,43	100,00	-	-	-
X 1	11,24	33,40	100,00	-	-	-
X 2	10,80	34,83	100,00	-	-	-
SS	1,47	19,42	100,00	-	-	-
SP	0,26	12,28	30,49	62,84	82,20	97,41
O + CH	3,84	9,02	100,00	-	-	-
O + X	5,66	10,45	100,00	-	-	-
O + SS	0,17	4,22	100,00	-	-	-
O + SP	0,25	4,00	100,00	-	-	-

Tabla 3. Pérdidas de masa obtenidas en el ensayo sexacíclico de durabilidad.

La primera observación que se hace de este ensayo es que de haber hecho los ciclos según el Dr. Barbeta, sólo habrían superado el primer ciclo las muestras estabilizadas con cemento y las de silicato potásico en su agua de constitución. Por ello sólo se tuvo las muestras sumergidas un minuto durante el ensayo de durabilidad, ya que de haberlas tenido más tiempo la pérdida de masa de la mayoría de probetas hubiese sido total, impidiendo la toma de cualquier dato comparativo.

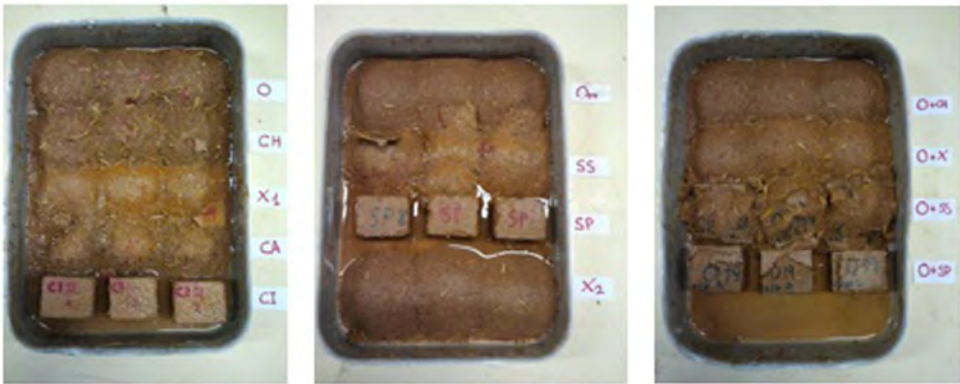


Imagen 4. Probetas durante el 3r ciclo, después de 8 horas sumergidas en agua. Autores: Francesc Xavier Janer Adrian y Bjørn-Erik Berthelsen Molist.

Al sumergirlas en el 3r ciclo las muestras se descompusieron, algunas más rápidamente que otras. Las probetas pintadas con silicato potásico, a pesar de no disgregarse completamente en el 3r ciclo, también se consideraron nulas ya que sufrieron grietas muy superiores a 1 mm. De todas las muestras ensayadas las únicas que resistieron todos los ciclos son las estabilizadas con cemento y las hidrofugadas con silicato potásico en su agua de constitución, pese a perder el 97% de su masa inicial.

6. Análisis de resultados

Todas las sustancias naturales utilizadas han proporcionado, en mayor o menor grado, mejoras en el comportamiento frente al agua, hielo y erosión respecto al mortero de arcilla original, tal y como se muestra en la *tabla 4*:

Las mejoras obtenidas de los diferentes estabilizantes son:

CHELIDONIA MAJUS: Disminuye ligeramente la relación entre el coeficiente de absorción de agua por capilaridad y la pérdida de masa del revestimiento. Mejora notablemente la resistencia a erosión del revestimiento. En su agua de constitución mejora ligeramente el comportamiento del mortero frente al agua; pintado ni mejora ni perjudica su comportamiento. Reduce la resistencia a flexión del mortero en un 50% y la resistencia a compresión en un 35%, aunque de todos los estabilizantes es la que afecta en menor grado a estas dos propiedades.

El extracto de Celidonia majus mejora las propiedades hidrofugantes de los

Muestra	Relación absorción por capilaridad / pérdida de masa	Erosión acelerada Swinburne	Ensayo sexacíclico de durabilidad
Osf	↓	↓	→
CA	↓	↑	→
CI	↑	↑	↑
CH	↑	↑	→
X 1	↓	↑	→
X 2	↓	↑	→
SS	↓	↑	→
SP	↑	↑	↑
O + CH	↑	↑	→
O + X	→	↓	→
O + SS	↑	↑	→
O + SP	↑	↑	→

↑	Mejora las propiedades del mortero de arcilla "argilfibra" (O)
→	Ni mejora ni perjudica las propiedades del mortero de arcilla "argilfibra" (O)
↓	Perjudica las propiedades del mortero de arcilla "argilfibra" (O)

Tabla 4. Indicadores de mejora de la mezcla "argil-fibra" con los diferentes estabilizantes hidrofóbicos analizados.

revestimientos hechos con mezcla para revocos de “argilfibra” de Argiles Colades. Es una planta fácil de encontrar y con un proceso de extracción del látex sencillo. Estos factores proporcionan buenas razones para utilizar esta substancia natural como pintura hidrofugante para proteger los revestimientos de arcilla. Aunque cabe utilizar un método mejorado para extraer dicho látex (concentrado y con mayor capacidad estabilizante).

CHUMBERA: El jugo de Chumbera, usado ya desde hace tiempo como hidrofugante para elementos hechos de tierra con resultados positivos, ha sido de las materias analizadas la que menos beneficios ha proporcionado al mortero de arcilla, independientemente de que su dosificación fuera del 50% o del 30%.

Un factor a considerar fue que el extracto utilizado estaba muy diluido en agua, con concentraciones lejos de las utilizadas por otros autores antecedentes.

SILICATOS: En general los valores obtenidos de las muestras pintadas o de las que contienen silicatos en su agua de constitución son similares; por este motivo y por el ahorro de producto, es mejor aplicar los silicatos pintados posteriormente sobre el revestimiento.

Entre silicato sódico y potásico, el que mejor comportamiento proporciona al aplicarse al mortero son los silicatos potásicos. Si al silicato sódico se le añade la aparición de eflorescencias blancas, correspondientes al sodio, se aconseja el uso de silicato potásico como hidrofugante para revocos de tierra. Si se trabaja con silicato sódico pintado sobre revestimiento, para remediar el problema de las manchas blancas basta con diluir en agua el silicato en una proporción de 1:1.

La principal ventaja de los silicatos es que reducen mucho la pérdida de masa de los morteros de arcilla, siendo nula en la mayoría de ensayos realizados. Esto hace que frente a erosión y durabilidad sean los hidrofugantes más adecuados. No reducen el coeficiente de absorción de agua, pero al no perder masa permiten que, una vez seco el revoco, estos queden intactos y sin ninguna patología. La desventaja más destacable es la pérdida de plasticidad que los silicatos proporcionan al mortero, haciendo que estos reduzcan la resistencia a flexión y a compresión hasta un

70% respecto al mortero original.

Cabe destacar también la mejora frente a la erosión y la durabilidad que el cemento y la cal aportan a los revocos, similar a los silicatos, por el proceso de cristalización de silicatos bicálcicos y tricálcicos. Escoger entre el cemento o la cal para estabilizar irá determinado por el tipo de arcilla (caolinita, ilita, montmorillonita,...) que contenga la tierra utilizada. Los resultados obtenidos nos muestran claramente como la mezcla para revocos “argilfibra” reacciona mejor con cemento portland que con cal hidráulica. La aportación de un 6% de cemento reduce la retracción, respecto al mortero original, en un 50%. Junto al silicato potásico es el que, en general, más ha mejorado las prestaciones del mortero. El único ensayo en el que las probetas estabilizadas con cemento han perdido masa ha sido el ensayo sexacíclico de durabilidad, siendo estas las que mejor comportamiento ha conseguido, llegando al final del 6o ciclo con una degradación del 60%; en los demás ensayos la pérdida de masa es nula. Pese a no degradarse, estas muestras sufren una absorción de agua por capilaridad doble que las probetas originales. Al igual que los silicatos, este tipo de estabilización no es adecuada para aspectos estructurales, ya que disminuye la resistencia a compresión y flexión en un 75%.

7. Conclusiones

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que mejoran las propiedades hidrofugantes y de durabilidad respecto al mortero original, pese a detectar pérdidas razonables en las resistencias a flexión y compresión de los morteros ensayados.

La adherencia es un factor importante en los revestimientos. El mortero analizado tiene una resistencia a adhesión aceptable, que no se ve alterada al aplicarle los hidrofugantes estudiados. Las muestras estabilizadas con cemento o cal son las únicas que reducen en un 50% esta propiedad. De los tres soportes ensayados, el que mejor adherencia proporciona es el bloque de hormigón, seguido por el BTC (Bloque de Tierra Compactado) y el ladrillo cerámico; cuanto más porosa es la superficie mejor es el agarre del mortero. En todos los casos la aportación de barbotina (lechada de arcilla) como capa de unión entre soporte y revoco es favorable; incrementa la

resistencia a adhesión del revoco un 30%, en el caso de utilizar un soporte de ladrillo cerámico, un 60% en el caso del BTC, y hasta un 100% con el bloque de hormigón.

El uso de sustancias hidrofugantes no altera el coeficiente de conductividad térmica de los revestimientos. Las únicas muestras que mejoran los valores del mortero original son las estabilizadas con cemento o cal y las formadas con silicatos diluidos en su agua de constitución. Esto se debe a la modificación de la estructura interna a más porosa. Ello confiere mayor cantidad de aire ocluido, lo cual reduce un 40% la conductividad térmica del revoco.

Agradecimientos.

A todos los profesores del Máster en Construcción Sostenible con Tierra y especialmente a Gabriel Barbeta i Solà, por confiar en nosotros y darnos la oportunidad de continuar investigando en el campo de la tierra. Por proporcionarnos tantos conocimientos para nuestro futuro profesional y poder crecer como técnicos en el mundo de la bioconstrucción y especialmente en la construcción con tierra.

A Albert Turné i Privat, amigo y gran experto

agrícola, cuyos consejos y motivación nos fue de gran utilidad para encaminar este proyecto.

A todos nuestros amigos de Terram con los que cada día compartimos conocimientos y buenas experiencias.

A Jordi y Àngel d'Argiles Colades, que siempre nos han atendido muy amablemente y no han tenido ningún inconveniente en subministrarnos los materiales para desarrollar nuestra investigación.

Bibliografía

BARBETA i SOLÀ, Gabriel. *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Tesis doctoral / Arquitectura; Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Tutor: GOMÀ i GINESTA, Ferran. Barcelona, 2002.

CASTILLA PASCUAL, Francisco Javier. *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Tesis doctoral / Arquitectura; Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid. Tutor: MALDONADO RAMOS, Luis. Madrid, 2004.

CID FALCETO, Jaime Jesús. *Durabilidad de los bloques de tierra comprimidos. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. Tesis doctoral / Ingeniería agrónoma; Departamento de Construcción y Vías Rurales de la Universidad Politécnica de Madrid. Tutor: CAÑAS GUERRERO, Ignacio. Madrid, 2012.

G. BEAS, Maria Isabel. *Traditional architectural renders on earth surfaces*. A tesis in the Graduate Program in Historic Preservation; University of Pennsylvania. Pennsylvania, 1991.

JANER i ADRIAN, Francesc Xavier y BERTHELSEN i MOLIST, Bjørn-Erik. *Reaprofitament dels fangs sobrants d'una central d'àrids per a la seva aplicació a la construcció*. Proyecto final de carrera / Arquitectura técnica; Universitat de Girona. Tutora: PARETA i MARJADENAS, Maria Mercè. Girona, 2012.

MASSÓ i ROS, Francesc Xavier. *Millora de la tàpia mitjançant l'ús d'encenalls de suro natural, un àrid amb propietats tèrmiques*. Proyecto final de carrera / Arquitectura técnica; Universidad de Girona. Tutor: BARBETA i SOLÀ, Gabriel. Girona, 2013.

SANTANA ROBAINA, Alejandro. *La tierra como material de construcción*. Proyecto / Ingeniería agrónoma; Universidad de las Palmas de Gran Canarias.

GONZALO SÁNCHEZ, Vanesa. *Morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos*. Trabajo fin de máster / Máster Universitario Innovación Tecnológica en Edificación; Universidad Politécnica de Madrid. Tutores: DEL RIO MERINO, Mercedes y SÁNCHEZ GÁLVEZ, Vicente. Madrid, 2012.

CARCEDO FERNANDEZ, Miguel. *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. Trabajo fin de máster / Máster Universitario Innovación Tecnológica en Edificación; Universidad Politécnica de Madrid. Tutor: GONZÁLEZ CORTINA, Mariano. Madrid, 2012.

MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Ed. EcoHabitar S.L.; ISBN: 978-84-614-2405-4. Teruel, 2010.

NITZKIN, Rikki y TERMENS, Maren. *Casas de paja. Una guía para autoconstructores*. Ed. EcoHabitar S.L.; ISBN: 978-84-614-2406-1. Teruel, 2010.