

SISTEMAS DE REPARACIÓN EN FÁBRICAS HISTÓRICAS DE TAPIAL

Jacinto Canivell¹, Paul Jaquin², Charles Augarde³, Christopher Gerrard⁴

¹EUAT / Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Av. Reina Mercedes s/n. 41012. Sevilla. España. *E-mail*: jacanivell@us.es

²Ramboll UK. St Andrew Square, Edinburgh, UK. *E-mail*: paul.jaquin@ramboll.com

³School of Engineering, University of Durham. South Road, Durham DH1 3LE, UK
E-mail: charles.augarde@dur.ac.uk

⁴Department of Archaeology, University of Durham. South Road, Durham DH1 3LE, UK
E-mail: c.m.gerrard@dur.ac.uk

Tema 2: Patrimonio y Conservación.

Palabras Clave: Patologías, técnicas de reparación, tapia.

Resumen

El desconocimiento de la tapia como sistema constructivo ha derivado en reparaciones inapropiadas que han terminado empeorando aun más su estado de conservación. Por ello un estudio más científico específico de su materialidad y evolución aportará soluciones técnicas más viables y adaptadas. El objetivo es clasificar los diferentes métodos de conservación en función de las lesiones con la finalidad de crear una herramienta útil de trabajo que sirva de apoyo para los técnicos que afronten estos tipos de intervenciones. Al mismo tiempo quiere servir de revisión crítica de algún tipo de reparaciones que se han demostrado no adecuadas e insistir en que el mantenimiento es un aspecto clave a tener en cuenta en la planificación de este tipo de fábrica, dada su especial debilidad ante la acción erosiva ambiental. La clasificación de sistemas de reparación obedece directamente a la tipología de lesiones y patologías que puede aparecer en la tapia.

Artículo

Antes de iniciar la reparación de la tapia, es necesario realizar una serie de tareas previas que preparen el objeto para una correcta restauración. Nos referimos a tareas de documentación y análisis acompañados de una limpieza inicial que encauzan el camino para el correcto uso de las técnicas de reparación más adecuadas en cada caso.

Existe una gran variedad de métodos de intervención aplicados a los casos de tapias, algunos con mayor acierto que otros. Los primeros se fueron empleando, sin mucha base científica, aplicando sistemas propios de intervención de otras tipologías constructivas, que a la postre se demostraron incompatibles. Las experiencias negativas sirvieron para reformular las técnicas más adecuadas y por esta razón se refieren en el texto. A continuación se presenta un catálogo de las actuaciones que han sido aplicadas para una intervención sobre una fábrica de tapia.

1. INTERVENCIONES PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Una fábrica de cualquier tipo puede entrar en un estado de inestabilidad debido a diversos factores: acción sísmica, empujes horizontales de los paños de cubierta o de otros forjados o pandeo por una compresión excesiva, provocando vuelcos y apariciones de grietas o aplastamientos de la fábrica. Ante esta casuística se proponen las siguientes medidas.

1.1. Apeos, atados y contrafuertes

Como medida urgente y provisional en la mayor parte de los casos se debe proceder a la colocación de estructuras auxiliares que frenen el deterioro de la fábrica así como su posible colapso. Se trata de apoyos que sirven para transmitir y canalizar adecuadamente las fuerzas y pesos de una estructura. Se deben mantener hasta que

se ejecute la solución definitiva de reparación, cuidando que la cohesión de la tapia sea suficiente para soportar las cargas puntuales de los apeos.

Cuando una estructura sufre un proceso de desestabilización por causas estructurales o por fallos a nivel de cimentación, podemos aplicar un atado de los elementos por medio de prótesis estructurales, generalmente metálicas. Consiste básicamente en la colocación de unos arneses que atan los paramentos dañados de la tapia, ya sea por medio de tirantes metálicos y placas de descarga o bien mediante el cosido de las esquinas afectadas (Pearson, 1997).

El contrafuerte fue un elemento muy usado antiguamente para evitar vuelcos de muros ya que no requería más materiales adicionales que los que se había usado para la ejecución del muro. Consiste en la ejecución de pequeños muros transversales al dañado que modifica el conjunto de resultante de fuerzas consiguiendo estabilizar el sistema. Los contrafuertes se pueden realizar con tapia o con cualquier otro material disponible. Véase por ejemplo el caso de la Muralla de San Juan de Aznalfarache (Sevilla), donde algunos tramos se reforzaron con contrafuertes de mampostería de piedra.

1.2. Reparaciones en la cimentación

Uno de los grandes problemas de las edificaciones realizadas con tapia y otras fábricas históricas es que pueden carecer de cimentación adecuada. Los muros arrancaban directamente de una zanja practicada en el terreno, con la misma masa y composición o con alguna mejora realizada con piedras y argamasa. Atendiendo al objeto de la intervención nos podemos encontrar con dos situaciones.

Cuando el suelo ha perdido alguna de sus propiedades existen varias alternativas para mejorar su situación. Si la causa ha sido el agua, el uso de drenes evita el acceso del agua a las proximidades de la edificación. Cuando la situación del suelo se ha deteriorado mucho habría que recurrir a mejoras del terreno.

Si el problema se centra en la propia cimentación se puede optar por un recalce, de la misma forma que se puede proceder para otros tipos de fábricas. Consiste en descalzar las zonas afectadas en pequeños tramos, ejecutando un apoyo provisional, para seguidamente actuar sobre el propio muro, consolidando o ampliando la cimentación existente.

2. REPARACIÓN DE LESIONES DEBIDAS A LA HUMEDAD.

Ya es de sobra conocida la gran susceptibilidad de estas fábricas ante el agua que debilita las estructuras internas de la tierra. Está demostrado que un aumento del contenido de humedad conlleva una disminución de resistencia y cohesión en las partículas de tierra (Jaquin, 2009) En general un muro de tapia protegido en sus caras suele tener dos accesos principales de agua: el pie y la cabeza del muro.

2.1. Pie del muro.

En primer lugar trataremos las humedades de **capilaridad**. Al ser la tapia un material muy higroscópico, succiona la humedad del suelo por efecto de la capilaridad. Para evitar la ascensión, si la tapia es de nueva construcción, se pueden disponer en la base láminas impermeables (Walter, 2005) que se comporten como barreras físicas. Sin embargo cuando la tapia ha de ser reparada existen barreras físicas que se inyectan por gravedad o por presión dentro de orificios practicados a tal efecto en el paramento a distancias uniformes, colmatan la red de poros y forman una barrera que frena el ascenso. Siempre suele ser mejor optar por una solución reversible, ya que en caso de no funcionar se podría retirar o modificar. Una solución óptima es colocar en el suelo junto al muro una franja de material más permeable que permita un

intercambio de humedad suelo-ambiente más fluido, evitando así que la red de poros de la tapia sea objeto del mencionado intercambio. Para evitar que el agua alcance la base del muro la instalación de un sistema de drenes y pendientes en el terreno puede ayudar junto con la recanalización de las corrientes de agua superficial. Existen soluciones muy sencillas y económicas que consisten en colocar un recrecio de mampostería de piedra a lo largo de la base del muro de forma que el agua que discorra por el paramento no se filtre directamente al terreno junto al muro, ya que la nueva pieza la desvía (Fig.1). Cuando se tratan muros internos o con poca ventilación se pueden usar sistemas de ventilación-desección en la base del muro (Macías, 2001). Consiste en la disposición de un canal de ventilación con una entrada en una parte baja y una salida más alta, que favorece una corriente de aire que renueva y extrae la humedad de la base del muro.



Fig. 1- Protección mediante recrecio de piedra en la base (crédito: J. Canivell, 2009)

Cuando hablamos de humedades de **filtración**, el agua accede directamente a la masa de la tapia a través de las fisuras y poros del material, ayudado por la acción de la gravedad o del empuje del viento. Las zonas bajas del muro se pueden proteger aumentando el vuelo de los tejados, para evitar el salpicado sobre la superficie. Pero al tratar con muros aislados es claramente imposible llevar a cabo esta tarea. Por lo tanto cualquier acción pasa por mitigar en parte los efectos. Si en lugar de un pavimento duro cerámico o de hormigón, se coloca junto al pie del lienzo una superficie blanda (Walter, 2005), se conseguirían un menor impacto del agua y una mayor permeabilidad en el entorno inmediato.

Si las humedades son de **condensación** habría que buscar fallos en el aislamiento del muro ya sea por exceso o defecto y ventilar generosamente las estancias.

2.2. Cabeza del muro

Las zonas altas de los muros suelen ser las más castigadas por las erosiones, ya que son las más expuestas a la acción de los agentes agresivos: agua, viento o temperatura. Disponemos de varios sistemas para garantizar el buen comportamiento de la tapia.

Tejados y cubiertas. Es el sistema más extendido para la protección, siempre y cuando la tipología edificatoria sea compatible con la colocación de esta estructura. Un buen diseño y conservación de las techumbres garantiza una vida larga a cualquier construcción de tierra.

Cubriciones. Siendo de concepción similar al anterior, nos referimos a estructuras de cubrición que se colocan generalmente sobre restos arqueológicos para garantizar su conservación, ya sea a corto plazo o largo plazo, según sean las estructuras provisionales o permanentes. Al ser elementos añadidos no auténticos tiene un impacto visual que debe ser controlado y equilibrado.

Edificaciones. Como caso más extremo de cubrición un objeto patrimonial puede verse totalmente engullido por otra edificación mayor, que a la vez lo proteja y permita un mejor entendimiento. Se trata de edificaciones donde la pieza patrimonial queda incluida y totalmente reservada y a la vez pasa a ser parte de un discurso museístico, que revaloriza el objeto al realzar sus significados (Fig.2).



Fig. 2- Centro de Interpretación de las Murallas de Murcia (crédito: J. Canivell, 2008)

Superficies y revestimientos en zona alta. Cuando el tipo de resto arqueológico o el tipo edificatorio no disponen de cubrición alguna, ya sea debido a que se ha perdido o porque nunca lo tuvo, la ejecución de un revestimiento o la colocación de un elemento compatible pueden mejorar la respuesta, sin verse muy afectada su integridad y autenticidad. Es también importante cuidar la pendiente de esta cubrición para evitar la acumulación de agua. Al mismo tiempo es importante que permitan una correcta circulación de la humedad dentro del muro.

Gárgolas, canalones, aleros. Como complemento a cualquiera de las soluciones descritas se pueden instalar estos sencillos elementos que evitan que el agua evacuada de las cubiertas dañe las zonas bajas del paramento debido al chorreo. Separan el agua de la tapia, la encauzan y evacuan por los canales adecuados.

2.3. Zona intermedia

Normalmente si la cabeza y la base del muro están protegidas frente a la humedad, la zona intermedia igualmente tiene asegurado un mejor comportamiento, aunque puede verse afectada en situaciones concretas, como cuando el muro se comporta como contención de tierras, ya que puede ser objeto de filtraciones de agua en todo el paramento. Ante esta situación se debe eliminar o limitar en lo posible la acumulación de agua y favorecer la evacuación rápida y eficaz mediante un dren o aperturas en el muro.

3. CONSOLIDACIÓN.

Entendemos por consolidación la acción por la que se estabiliza un proceso de degradación de un material, mejorando la cohesión y la adherencia de las partículas. Existe una gran variedad de formas de afrontarla; ya sea por medio de productos químicos industriales o con métodos más tradicionales. En general su éxito depende de la capacidad de penetración del producto en la zona afectada. Señalaremos en términos generales algunos de ellos:

3.1. Inorgánicos.

Silicatos de etilo. Es un tratamiento bastante extendido para la consolidación de la piedra. Entre sus características destacamos su permeabilidad al vapor, ausencia de variación del cromatismo y de efectos filmógenos y buena afinidad con materiales silíceos. Se puede aplicar mediante inyecciones, por medio de una pistola aerosol (Fig.3), en brocha o por inyección con presión controlada. Existen fuentes que acusan

a estos consolidantes de graves deterioros posteriores, desaconsejando su uso (Aymat, 2000), aunque se sigue aplicando en algunos casos.



Fig. 3- Aplicación de consolidante en la Muralla de Sevilla (crédito: J. Canivell, 2007)

Lechada de cal. La cal apagada, o hidróxido de calcio, en contacto con el dióxido de carbono atmosférico genera carbonato cálcico, que cristaliza como un mineral, cohesionando de nuevo las masas. María Goreti (2005) propone el uso de la cal como consolidante en forma de lechada de cal. Se caracteriza por una resistencia moderada y una gran permeabilidad. Se utilizan lechadas de cal o agua de cal (1:5; 1:7; cal/agua respectivamente) según la fluidez que se necesite y en sucesivas capas. De esta forma, en la restauración del Castillo de Reina en Badajoz (Rocha 2005), se procedió a dar un enjabelgado en toda la superficie para obtener un tono homogéneo y mayor protección.

3.2. Orgánicos

Las emulsiones asfálticas se han usado extensivamente como correctores de revocos para fábricas de tierra como el adobe. Consiste en la suspensión de partículas microscópicas de asfalto en agua. Al mezclarse con la tierra, cubre las partículas de arcilla, añadiendo unas propiedades hidrorrepelentes. Pero aplicadas a la restauración de fábricas impermeabilizan en exceso y cambian el color del paramento. Por ello es recomendable el uso sólo como corrector de revestimientos, y no en la masa de la fábrica.

Los consolidantes orgánicos como las resinas acrílicas o epoxídicas presentan buenas características de resistencia mecánica y de adherencia, por lo cual su uso está muy extendido en la construcción. Pero no suelen tener buena penetración, presentan excesiva hidrorrepelencia y susceptibilidad a los rayos UV. Aunque se aplicaron en los 70, no resultaron ser ideales para la consolidación de construcciones con tierra, pues además tienden a formar una película bajo la cual la tapia se degrada progresivamente.

En general no existe un consolidante que cumpla con todas las expectativas: aumento de resistencia física y a la erosión y que mantenga la permeabilidad de la fábrica. Por ello se recomienda un uso cauteloso de estas sustancias sintéticas comprobando con antelación los efectos directos sobre la fábrica antes de su aplicación masiva en los paramentos, ya que suelen ser tratamientos irreversibles que podrían dañar la fábrica.

4. RESTITUCIONES DE TAPIA

Se emplea cuando las pérdidas de masas originadas por la erosión adquieren grandes dimensiones e incluso pueden hacer peligrar la estabilidad del conjunto. El conocimiento de la antigua técnica constructiva (Canivell, 2008) ha aportado nuevos conceptos a incorporar en la reconstrucción de nuevos cajones de tapia. Es una opción mucho más destructiva que la consolidación, que implica además la pérdida de información disponible del antiguo paramento. Por ello podría estar encaminada a

garantizar la estabilidad en las zonas precisas más que a la reconstrucción de tramos completos.

4.1. Cajones completos

Cuando existen tramos que se han perdido completamente o la erosión ha eliminado alguna hilada en la cumbre de un muro se pueden reconstruir ciertos cajones o hiladas hasta completar un perfil hipotético o garantizar su estabilidad. Varios son los aspectos a analizar: la composición de la tierra, los sistemas de encofrado y el apisonado.

La composición de la tierra a utilizar de relleno puede ser muy variada y de hecho cada autor hace referencia a dosificaciones distintas. No existe una regla fija y en cada caso deberá analizarse la composición de la tapia de referencia y diseñar diferentes muestras hasta dar con la que mejor se adapte material, técnica y formalmente. Para la puesta en obra de la tierra se necesita diseñar un encofrado capaz de soportar las presiones debidas al apisonado y que a la vez sea de fácil manejo y colocación. Se emplean desde encofrados modernos hasta otros realizados ex profeso según la tapia original (Rocha, 2005). El apisonado debe hacerse de forma similar con la que se procede para tapias de nueva construcción, ya sea con medios manuales o mecánicos, vertiendo la mezcla con su grado óptimo de humedad en capas de 10-15 cm.

4.2. Tapia a una cara

Cuando los paramentos pierden masa en una cara debido a la erosión o por factores intrínsecos de la tapia, la restitución de dicha tapia a una sola cara se presenta como una buena opción para la conservación (Fig.4). El espesor mínimo suele ser de unos 30 cm para que la masa sea fácilmente apisonable. El nuevo factor clave a tener en cuenta es la adherencia de lo nuevo con el paramento existente. Teniendo en cuenta que la tapia trabaja principalmente en sentido vertical, hay que buscar o realizar los apoyos suficientes. Resolver la estabilidad del encofrado y el trabajo de apisonar la tierra dentro de un espacio que puede ser muy reducido son frecuentemente dos factores decisivos que definirán el sistema de reparación. Una de las primeras experiencias tuvo lugar en la restauración de las Murallas de Niebla y más tarde se han ido repitiendo en diversas fortificaciones como en Sevilla (García-Tapial, 1986), Murcia, Paderne y otras tantas, observando que la técnica tiende a ser más quirúrgica en lugar de ocupar grandes extensiones de paramento.



Fig. 4- Restitución de cajones a una cara en la Muralla de Sevilla (créditos: J. Canivell, 2007)

5. REVESTIMIENTOS

Generalmente la tapia suele disponer de un tratamiento final de protección, aunque existen evidencias de otras que nunca lo tuvieron. Debido a la baja resistencia a la erosión de las construcciones en tierra, la aplicación de un revestimiento ha sido indispensable para garantizar una conservación prolongada.

5.1. Reparación de morteros

Cuando una tapia posee un revestimiento y se encuentra en un estado aceptable de conservación, la mejor opción puede ser la reparación del mismo, por medio de consolidaciones de zonas abofadas o picado, saneado y reposición de las partes más dañadas. Podemos encontrar la situación en la que sea el mismo revestimiento de la tapia el que sea objeto de intervención. Destacables son las intervenciones como en la misma Puerta de Elvira (Granada) ó en la Torre del Oro (Sevilla), donde se trató mediante inyecciones de consolidantes inorgánicos para conservar y fijar el revestimiento de mortero de cal abofado o desprendido. Antes de una reparación sería indispensable el estudio y clasificación de los materiales antiguos, para posteriormente elegir en caso necesario un mortero compatible con el soporte y revestimientos existentes.

5.2. Morteros de cal

En ciertas ocasiones, cuando la base de tapia no sufre pérdidas de masa considerables, se puede optar por ejecutar un revestimiento de una masa en capas más delgadas para de proteger el paramento. La problemática que plantea es que la aplicación del revestimiento continuo se pierde parte de la identidad del objeto al ocultarse algunos matices de la tapia original. La adherencia del revestimiento se debe garantizar, estudiando en primer lugar la naturaleza de la base, determinando posibles materiales que sean incompatibles químicamente y puedan provocar reacciones no esperadas que desemboquen en el desprendimiento. Una limpieza profunda y el posterior humedecimiento de las superficies son indispensables para que un revestimiento pueda adherirse adecuadamente a la tapia. Adicionalmente se pueden aplicar lechadas de cal en sucesivas capas para aumentar la cohesión entre los diferentes niveles.

5.3. Proyección de tierra

En situaciones en la que la compactación tradicional no es posible, la nueva técnica propone un relleno de material por medio de una proyección de material contra el soporte, que en este caso es el paramento cajeado de la tapia. La compactación se consigue por medio de la presión ejercida al lanzar la tierra contra el soporte, de una manera similar a la del hormigón gunitado, consiguiendo una compactación en la dirección perpendicular. Es muy útil cuando la pérdida de masa es localizada y un sistema tradicional de encofrado y apisonado dificultaría en exceso la puesta en obra. Nuevamente la limpieza y preconsolidación son pasa importantes a tener en cuenta para garantizar un buen resultado. Las experiencias han sido variadas y de momento arrojan buenos resultados, como en las Murallas de la Alhambra (Valverde, 2004), en el Castillo de Paderne o en el Castillo de Monteagudo (López Martínez, 1996).

5.4. Relleno puntual con ladrillo

Las mismas cavidades que anteriormente se recuperaban con tapia también pueden rellenarse con otro material compatible, de hecho ha sido una técnica muy usada desde la antigüedad para reparar esta clase de lesiones. Como elemento de relleno se puede usar un ladrillo taco, de barro cocido, ladrillos BTC, adobes o incluso piezas preconformadas de tapial (1). Se trata de cerrar la cavidad mediante la ejecución de un fábrica de ladrillos. La cavidad debe moldearse lo suficiente para acoger cómodamente las piezas cerámicas humedeciéndose generosamente y tomando las piezas con mortero de cal o barro. Es una técnica sencilla que además permite diferenciar perfectamente las áreas añadidas de las originales.

5.5. Forros completos de otro material.

El desconocimiento de la tapia o la aparición de nuevos sistemas de artillería son causas por las que una fábrica de tapia se envolvió completamente por otro material. En otras ocasiones la piel de piedra o ladrillo se realizó durante el proceso constructivo

de la tapia, de tal manera que las fábricas exteriores eran además encofrados para la tapia del interior. No se trata de una técnica adecuada, pues tan sólo se logra ocultar las patologías de la tapia sin llegar a solucionar de raíz las lesiones pudiendo empeorar más aun el estado de conservación, sobre todo cuando dicho forro se ejecuta con materiales no compatibles (2).

6. GRIETAS

La fábrica de tapia es muy susceptible al agrietamiento, causado por fallos estructurales, de cimentación o bien cambios en el terreno que terminan afectando a la estabilidad de la fábrica. Un aspecto a tener en cuenta antes de decidir una intervención sobre la grieta es analizar su estado de evolución y decidir si se trata de una grieta activa o muerta. Al mismo tiempo se definiría si se trata de grietas estructurales o bien son simples fisuras en la cara de la tapia, ya que tendrán tratamientos diferentes. Las técnicas de reparación se pueden dividir en duras y blandas en función de si admiten cierta tensión o no. Es necesario puntualizar que la finalidad de estos sistemas no es la estabilización de los muros, y se deben cuando la estabilidad está garantizada (Pearson, 1997).

6.1. Sistemas blandos

La filosofía de este tipo de sistemas es tan sólo tapar o rellenar el vacío que se ha creado para evitar que los agentes externos como el agua, puedan acceder libremente y erosionar progresivamente el núcleo de la fábrica. Es por ello que el nuevo material debería tener unas características similares a la tapia, de forma que dilaten o contraigan coordinadamente. Antes de comenzar cualquier tipo de sellado en la grieta es necesario un saneado y limpiado y humedecimiento, de manera que la superficie donde se adhiera el relleno ofrezcan una correcta cohesión.

Las pequeñas fisuras tienen fácil solución mediante el empleo de sucesivas lechadas de cal (Goreti, 2005). Cuando la apertura es mayor sería necesario un material con más cuerpo para taponar el vacío. Para ello se pueden usar morteros de cal con una granulometría adecuada. Si la grieta presenta una gran abertura se podrían emplear ladrillos, adobes o BTC en las zonas más amplias para evitar un volumen acumulado excesivo de mortero. Pearson (1997) propone un sistema muy agresivo para sellar las grietas verticales. Consiste en picar la abertura y conseguir un volumen vacío suficiente como para poder ejecutar una nueva tapia, construyendo un encofrado exterior y trabajando desde abajo hacia arriba, a lo largo de la grieta. A medio camino entre las técnicas duras y blandas podemos disponer llaves formadas por troncos de madera dispuestas en regolas practicadas en la tapia y posteriormente rellenas con un mortero.

6.2. Sistemas duros

Si la grieta puede presentar cierto grado de movimiento que genere tensiones, será necesario reforzarla mediante un cosido. De esta manera aseguramos una limitada continuidad en la transmisión de esfuerzos. Al hablar de sistemas duros se quiere dar entender que conservan la adecuada elasticidad pero con un refuerzo extra que los sistemas blandos no poseen.

Otra solución consiste en realizar un cajeado con forma de U y rellenarlo con una fábrica de ladrillos alternando una tela gruesa de yute que arma el conjunto (Pearson, 1997). En lugar de crear grandes grapas de ladrillo también se han utilizado llaves de acero, perfiles UPN o barras de fibra de vidrio, dentro de cajeados y posteriormente rematados con morteros de cal y arena. Este último tipo de actuación podría utilizarse sólo cuando la tapia ofrece suficiente dureza y cohesión, ya que la grapa introducida es bastante más rígida y podría dañar la masa de tierra.

7. CONCLUSIÓN

Las técnicas se han descrito en términos muy generales y en cualquier caso siempre será necesaria una adaptación a las circunstancias particulares, siguiendo los criterios de intervención que dicten las Teorías de Restauración en vigor. Así mismo es necesario determinar un conjunto de técnicas diseñadas específicamente para la tapia y las construcciones de tierra, que ofrezcan al técnico no familiarizado suficientes garantías de éxito. Puntualizar además que cualquier intervención debe estar acompañada por un plan de mantenimiento que asegure la estabilidad de las soluciones adoptadas durante periodos amplios de tiempo.

Bibliografía

Aymat Escalada, C. (2000). *Patología y recuperación de fábricas de cajones de tapial. Cercha: Revista de los Aparejadores y Arquitectos Técnicos*, pp. 75-82.

Canivell G^a de Paredes, Jacinto. (2008), "Las técnicas constructivas del tapial en las fortificaciones". *Actas del IX Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Sevilla 9-12 Julio, 2008, CICOP.

García-Tapial y León, J. & Cabeza Méndez, J.M. (1986), *Restauración de la Murallas de la Macarena. Aparejadores: Boletín del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Sevilla*, vol. 20, pp. 9-17.

Goreti Margalha, M. (2005). *Cal como consolidante em alvenarias. Arquitectura de Terra em Portugal. Earth architecture in Portugal. Centro da Terra. Argumentum*, Lisboa, pp. 74-80.

Jaquin, P., Augarde, C., Toll, D.G. and Gallipoli, D. (2009). *The strength of rammed earth materials*. *Geotechnique* 59(5): 487-490.

Macías Bernal, J.M. & Espino Pérez, U. (2001). *Desecación de muros en edificaciones existentes. Otra alternativa. Aparejadores: Boletín del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Sevilla*, vol. 60, no. 60, pp. 54-59.

Pearson, G.T. (1997). *Conservation of Clay and Chalk Buildings*. Donhead Publishing, London.

Valverde Espinosa, I., Valverde Palacios, I. & Fuentes García, R.M. (2004). *Adecuación de la tierra para ser puesta en obra mediante la técnica de proyección. Tierra proyectada. VII Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*. CICOP, pp. 132.

Walker, P., Keable, R., Martin, J. & Maniatidis, V. (2005). *Rammed Earth. Design and construction guidelines*, BRE bookshop, Watford.

Notas

(1) Son piezas prismáticas que se han realizado apisonando la misma masa dentro de pequeños encofrados y que una vez endurecidas son desmoldeadas y usadas como bloques.

(2) Nos referimos por ejemplo a mamposterías de piedra, que al haber usado un mortero de cemento se hace rígidas y poco permeables.

Curriculum

Jacinto Canivell: Arquitecto (ETSA Sevilla, 2001). Está realizando el Doctorado por la Universidad de Sevilla, estudiando los tapiales históricos de la provincia de Sevilla. Actualmente está contratado como investigador dentro del Departamento de Construcciones Arquitectónicas II.

Paul Jaquin: Ingeniero en Ramboll UK. Su investigación en la Universidad de Durham se focalizó hacia las fábricas históricas de tapial, analizando un gran número de edificaciones en España. Propuso una explicación a cerca del comportamiento de la tapia en términos de la mecánica de suelos no saturados.

Charles Augarde: Charles es un Ingeniero colegiado y profesor en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Durham. Su principal interés investigador recae en el modelado numérico de problemas geotécnicos y estructurales mediante el método de elementos finitos no lineales.

Christopher Gerrard: Christopher Gerrard es profesor de Arqueología catedrático de Arqueología Medieval en la Universidad de Durham. Ha trabajado en Aragón y actualmente está desarrollando su labor en el Yacimiento Arqueológico de Moncayo en el Noreste de España, junto con la Universidad de Winchester y el Centro de Documentación Territorial de Aragón.