

Integración de tierra y cal en restauraciones arquitectónicas

Integration of earth and lime in architectural restorations

Luis Fernando Guerrero Baca

Arquitecto, Maestro en Restauración y Doctor en Diseño con especialidad en Conservación del Patrimonio. Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco donde además funge como Jefe del Área de Investigación en Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado. Autor de diversas publicaciones relacionadas con la conservación de técnicas tradicionales de edificación y sistemas sostenibles de bioconstrucción. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible". Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=5WMnfNwAAAAJ&hl=es> ORCID: 0000-0001-8256-4851

Francisco Uviña Contreras

*Maestro en diseño arquitectónico, planeación urbana y conservación del patrimonio edificado, arquitecto, Director de programa de Conservación de Patrimonio y Regionalismo, Investigador J.B. Jackson en The University of New Mexico, USA. Ha desarrollado investigación, docencia y prácticas sobre arquitectura de tierra y su conservación por más de 25 años habiendo publicado diversos artículos y ponencias, así como el libro *Adobe Conservation, A Preservation Handbook*. Miembro de la organización de Earth USA, New Mexico, de la Red Iberoamericana PROTERRA y del Taller Internacional de Conservación y Restauración de Arquitectura de Tierra (TICRAT). ORCID: 0000-0003-4077-3588*

Recibido: 04 de febrero de 2020 | Aceptado: 12 de junio de 2020 | Disponible en línea: 01 de agosto de 2020. © Luis Fernando Guerrero- Francisco Uviña Contreras 2020. Este artículo es una publicación de acceso abierto. CC BY-NC-SA.

Resumen

Cuando las obras de tierra presentan deterioros por faltantes en los volúmenes de muros, cubiertas o revoques, convencionalmente se han utilizado "injertos" de material en estado plástico como relleno. Aunque esta estrategia resuelve parte del problema, la realidad es que nunca se consigue una adecuada adherencia con los sustratos, debido a la retracción de las áreas integradas. Ante esta problemática, se ha desarrollado un procedimiento en el que, a partir del control de la humedad, el agregado de cal y los procesos de compactación, se generan componentes mucho más estables. Así se consigue una mejor liga al sustrato histórico, una mayor densidad, cierto ahorro de agua y se elimina la retracción y desprendimiento de las partes integradas. Además, con el paso del tiempo la cal reacciona con las arcillas y adquiere mayor resistencia y durabilidad. Este artículo describe algunas consideraciones teóricas y prácticas para la implementación de esta técnica de conservación y restauración, que tiene un alto potencial de aplicación por sus beneficios prácticos, económicos y ecológicos.

Palabras clave: arcillas, densidad, compactación, estabilización, hidróxido de calcio.

Abstract

When some volumes of walls, roofs or plaster of earthen architecture are lacking, conventional “grafts” made with plastic material have been used as fillers. Although this strategy solves part of the problem, the reality is that adequate adhesion with the substrates is never achieved due to the shrinkage of the integrated areas. Given this problem, a procedure has been developed in which, from the control of humidity, the addition of lime and compaction processes will generate much more stable components. Thus, a better link to the historical substrate, greater density, water saving is achieved and the retraction and detachment of the integrated parts is eliminated. In addition, over time the lime reacts with the clays and acquires greater strength and durability. This article describes some theoretical and practical considerations for the implementation of this conservation and restoration technique, which has a high application potential due to its practical, economic and ecological benefits.

Key words: clays, density, compaction, stabilization, calcium hydroxide.

Introducción

Entre las mayores complicaciones que se presentan cuando se hace necesario atender al patrimonio construido con tierra que ha sufrido daños o deterioros, destaca el singular comportamiento físico de sus componentes. La respuesta estructural de los materiales tradicionales de origen arcilloso es radicalmente opuesta a la que caracteriza a los productos industrializados que se usan en la construcción y restauración convencional, cuya lógica se basa en la resistencia mecánica, el reforzamiento, la rigidización, la impermeabilidad y la aspiración por evitar a largo plazo la necesidad de acciones de conservación preventiva.

La construcción histórica y tradicional de tierra desde su origen dependió de la vinculación con sus habitantes, quienes periódicamente le dieron mantenimiento, vigilaron su nivel de conservación y en caso necesario, la intervinieron (Guerrero, 2015). Se trata de una arquitectura fácilmente reparable, como respuesta a eventos perjudiciales tales como el desgaste, las tormentas o los sismos. La integración de componentes compatibles a estructuras de tierra posibilita su permanencia, con las ventajas adicionales de emplear recursos locales y los conocimientos técnicos que siempre han formado parte de las culturas tradicionales.

Es por ello que cuando se emprende la tarea de restaurar obras deterioradas de adobe, tapial, tierra modelada o bajareque, es vital entender el comportamiento natural que desarrollan sus sistemas constructivos y la manera en que históricamente sus habitantes las han preservado.

Se trata de obras que, a pesar de su aparente sencillez, son el resultado de atávicos procesos de ensayo y error que permitieron la depuración del manejo de recursos locales para su permanencia. Todo tiene un sentido en las construcciones tradicionales, y si se altera el equilibrio de los sistemas, se pone en riesgo el edificio completo.

Éste ha sido uno de los más graves problemas a los que se ha enfrentado la restauración del patrimonio construido con materiales tradicionales, y especialmente con tierra. La pérdida de conexión entre los saberes ancestrales que permitían el mantenimiento y reparación usando componentes de origen natural y la búsqueda a toda costa de respuestas “científicas y técnicamente probadas”, han conducido al empleo de materiales que en laboratorio pueden tener un comportamiento adecuado, pero que fallan cuando se aplican en condiciones naturales en las que los materiales históricos interactúan con la humedad presente en el aire, en estructuras vecinas y en los mantos freáticos.



Figura 1. Degradación de los adobes por el encapsulamiento de la humedad derivada del aplanado de cemento. Tepecoacuilco, Guerrero. (Foto: L. Guerrero).

Estos graves problemas se empezaron a manifestar a finales del siglo pasado, en estructuras que habían sido consolidadas o recubiertas con resinas plásticas o con cemento (Ver Figura 1). Esos materiales, que habían dado resultados aceptables en la construcción convencional, empezaron a mostrar efectos colaterales a consecuencia del sellado de los poros de las obras tradicionales y la resultante acumulación de agua y sales solubles en los sustratos, proceso que progresivamente provocó pérdidas lamentables en el patrimonio que se pretendía proteger (Guerrero, Correia y Guillaud, 2012).

Ante la problemática del olvido colectivo de los conocimientos atávicos, y la consecuente afectación del patrimonio edificado por la implementación de medidas incorrectas de protección y restauración, en la Unidad Xochimilco

de la Universidad Autónoma Metropolitana desde hace más de quince años se han venido desarrollando estudios que han permitido evaluar diferentes estrategias de construcción y conservación con tierra, basadas en el uso de recursos y procedimientos históricos y tradicionales.

El presente texto tiene como objetivo la difusión de los estudios que se han realizado recientemente para ser aplicados en edificios antiguos y tradicionales que se vieron afectados por los terremotos del 2017. Para su desarrollo, se partió de la hipótesis de que en la restauración del patrimonio construido con tierra resulta tan inconveniente insertar materiales incompatibles como el cemento, el concreto y los polímeros artificiales, como la incorporación de grandes volúmenes de componentes de tierra en estado plástico para reparar grietas y faltantes. Para evitar esto, se propone el uso de tierra adecuadamente compensada con arena, estabilizada mediante el uso de hidróxido de calcio, a fin de conferirle una textura que posibilite su compactación por capas, con lo que se puede densificar tanto como se requiera, y con ello conseguir integraciones resistentes desde el punto de vista mecánico e hídrico.

Se exponen los resultados que se han tenido al aplicar mecanismos que combinan el control hídrico, granulométrico y de compactación de tierra estabilizada con cal para generar componentes de tierra que se emplean para llenar faltantes, grietas y recuperar volúmenes en edificios dañados construidos con adobe, bajareque, muros de tapia o techos de terrado.

Se trata de un procedimiento que adquiere notable relevancia, porque permite conseguir la restauración de estructuras dañadas a partir de recursos totalmente locales, y de manera tan sencilla que cualquier persona sin conocimientos especializados la puede realizar. De este modo, las sociedades recobran su capacidad e

independencia para reparar y dar mantenimiento preventivo a los espacios que habitan o donde trabajan.

Es evidente que no hay país que tenga los recursos materiales, económicos y humanos necesarios para conservar todo su patrimonio edificado. Las instituciones encargadas de proteger los bienes culturales han sido rebasadas por la cantidad de inmuebles históricos por preservar para el disfrute de las generaciones futuras. Sin embargo, los habitantes, usuarios y herederos de este legado pueden apoyar estas labores si cuentan con estrategias económicas y al alcance de sus capacidades técnicas (Ver Figura 2).

En las siguientes líneas se dan a conocer algunas consideraciones teóricas y prácticas a tomar en cuenta en el desarrollo de esta línea de acción. Se muestran los resultados de su aplicación en diferentes contextos geográficos y culturales, en los que afortunadamente las comunidades están interesadas en mantener vivo su patrimonio, al igual que las tradiciones constructivas requeridas para su permanencia a largo plazo.

La tierra como recurso de restauración

De manera esquemática, y con base en la dimensión de las partículas que contiene la tierra, éstas se pueden agrupar dentro de cuatro categorías que se denominan gravas, arenas, limos y arcillas. Las gravas presentan partículas que miden entre 6 mm y 2 mm, las arenas entre 2 mm y 0.06 mm, los limos van de 0.06 mm a 0.002 mm y finalmente las arcillas poseen un tamaño menor a los 0.002 mm (Warren, 1999. P. 49).

En general se acepta que el papel que desempeñan estos componentes se puede categorizar en dos grupos. Las gravas, arenas y limos, se componen de cristales de diversas formas, pero con una elevada estabilidad físico química, de manera



Figura 2. Taller comunitario de restauración y recuperación de viviendas dañadas por los sismos del 2017, en Huehuetlán El Chico, Puebla. (Foto: L. Guerrero).



Figura 3. Los revoques realizados con tierras arcillosas que no son adecuadamente compensadas con arena, acaban por desprenderse. Chilón, Chiapas. (Foto: L. Guerrero).

que no se ven alterados ante la presencia del agua. Por ello son las partículas encargadas de mantener el equilibrio estructural de la tierra, al funcionar como una especie de “esqueleto” del sistema (Ver Figura 3).

En cambio, las arcillas son partículas que han sido reducidas a un tamaño minúsculo y a una configuración cristalina muy peculiar, a consecuencia de la acción de cambios de humedad y temperatura que tuvieron a lo largo de su historia geológica. Mediante un microscopio electrónico de barrido es posible reconocer que las arcillas

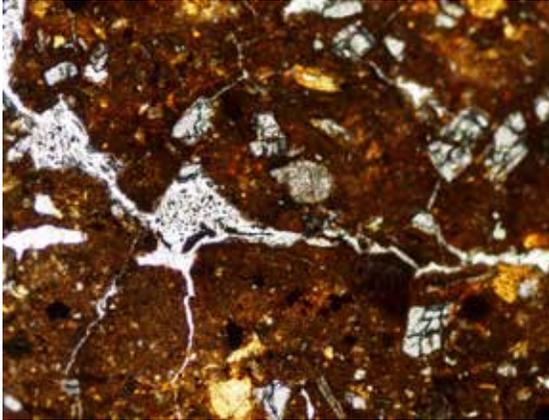


Figura 4. En esta imagen microscópica se observa cómo los volúmenes de tierra arcillosa se separan por pequeñas fisuras, que además generan poros. (Foto: L. Guerrero).

están formadas por diminutas plaquetas que se denominan “micelas”, compuestas básicamente de silicio, aluminio, oxígeno e hidrógeno, y que por su dimensión y organización molecular tienen un comportamiento electrostático similar a imanes planos.

Por eso desarrollan campos de fuerza tanto de atracción como de repulsión entre ellas, y con respecto a otros elementos químicos. La actividad electrostática se activa cuando se les agrega agua, que al ser una sustancia polar provoca la separación y dispersión de las partículas. Pero luego, al evaporarse, las arcillas paulatinamente recuperan su atracción polar y se fijan entre ellas, formando una especie de cadenas que envuelven a las arenas, limos y gravas para conformar un sistema estable.

Por ello se dice que las arcillas funcionan como “los músculos y tendones” del organismo, porque ligan a los áridos. Pero luego, a consecuencia de la acción del agua en estado líquido pueden volver a desarticularse y moverse para establecer nuevos nexos electrostáticos al momento de secarse otra vez. Por ello constituyen el componente esencial del suelo que permite su modificación formal en estado húmedo y la conformación de redes rígidas al deshidratarse.

Los materiales arcillosos tienen una composición cristalina que se desarrolla a partir de su proceso de humidificación, transformación y secado, durante el cual los componentes se agrupan e interactúan hasta alcanzar un punto de equilibrio con el medio ambiente, que se caracteriza por formar masas porosas y con microfisuras en su interior, derivadas de la retracción y la evaporación del agua de mezclado (Ver Figura 4). Ambos tipos de huecos son parte de la naturaleza de la tierra como material constructivo, y en gran medida garantizan su posibilidad de reacción ante las condiciones del medio ambiente.

Los poros y microfisuras articulan a la tierra y propician el intercambio cotidiano y estacional de vapor de agua con su entorno, lo que por una parte ayuda a la conservación de los materiales orgánicos con los que interactúan en los sistemas constructivos al evitar su pudrición, pero además se propicia el confort higrotérmico de los espacios (Minke, 2005).

Pero los materiales térreos, al endurecer, adquieren una condición muy singular, pues se vuelven “repelentes” a la recepción de capas adicionales. Si se requiere integrar componentes a estructuras de tierra o superponerles capas, será necesario humedecer la estructura preexistente, para que adquiera una condición plástica que admita la unión del agregado.

Sin embargo, siempre existirá una diferencia entre la organización cristalina del secado original y la que se adquiere en las siguientes etapas de transformación. Esto provoca que, para conseguir una buena adherencia de un componente sobre otro que ya existía, sea necesario procurar la mayor semejanza posible en su composición y textura. Aunque químicamente las tierras puedan ser muy similares, la realidad es que existe una amplísima variabilidad en su comportamiento, a partir de sus relaciones granulométricas y, sobre todo, de su proceso de aplicación.

Es por ello que cuando se intervienen estructuras antiguas, es fundamental el análisis de los comportamientos de los materiales nuevos y preexistentes, para que sean compatibles. Pero, además, resulta crucial la búsqueda de antecedentes que puedan ayudar a entender el procedimiento que se siguió durante su elaboración.

Como es sabido, el uso de la tierra compactada tiene un origen milenario y se ha empleado tanto para construir desde modestas habitaciones y templos, hasta grandes palacios y murallas a partir de la técnica denominada tierra amasada, o bien con el método de tapia o tapial, cuando se emplean encofrados para su compactación. Se trata de formas de manejar la tierra que combinan el uso de bajos volúmenes de agua con el complemento de la fuerza mecánica, para dar densidad a los componentes estructurales.

Pero esta estrategia constructiva puede resultar sumamente viable como medio para la reparación de edificios históricos de tierra, independientemente del sistema constructivo con el que hayan sido elaborados. Este hecho deriva de la posibilidad de poder regular la adhesividad, cohesividad, densidad y porosidad de los componentes integrados, mediante el adecuado control de su nivel de humedad, su granulometría y la fuerza mecánica requerida para su compactación por capas.

Existen métodos para mejorar las propiedades naturales de la tierra a fin de adecuarla al uso que tendrá en la conservación o restauración de bienes culturales edificados. Habrá áreas de las estructuras que requieran una mayor capacidad de carga, y por lo tanto una mayor densidad; otras capas tal vez necesiten, por ejemplo, un rápido escurrimiento de la lluvia, y finalmente, en otras secciones puede hacer falta una alta permeabilidad de vapor de agua a fin de conseguir frentes de secado que ayuden a contrarrestar la presencia de eflorescencias salinas producto de la absorción capilar de la napa freática.

Las estrategias de adecuación de las tierras, a partir del uso de los componentes que ésta tiene en su condición natural, recibe el nombre de compensación. En cambio, cuando a la materia prima se le agregan componentes ajenos a su naturaleza, entonces se habla de procesos de estabilización (Fernández, 1992).

La compensación de una tierra arcillosa con arena ayuda a hacerla más resistente a impactos, permeable al vapor de agua y a minimizar la fisuración producida por la retracción volumétrica durante el secado (Ver Figura 5). En el polo opuesto, una tierra arenosa puede ser compensada con arcilla para incrementar su cohesión, adherencia al sustrato y capacidad de carga.

Pero a lo largo de la historia se ha buscado dar mayor durabilidad, dureza y resistencia a las condiciones naturales de la arquitectura de tierra, por lo que adicionalmente se han utilizado diferentes tipos de aglutinantes o refuerzos mecánicos, como sucede por ejemplo con la paja, el estiércol, los aceites, las proteínas, azúcares o consolidantes químicos, que no sólo favorecen la adherencia, sino también le confieren a las obras la consistencia necesaria para resistir la erosión eólica, hídrica y antrópica (Avila y Guerrero, 2018).



Figura 5. Para recuperar la volumetría del adoratorio prehispánico del Mictlantecuhtli, en El Zapotal, Veracruz, la tierra aplicada mediante capas sucesivas sobre papel japonés se compensó con arena para aumentar su porosidad. (Foto: L. Guerrero).

Sin embargo, es importante insistir en que de ningún modo se pretende que los procesos de compensación o de estabilización hagan que la tierra sea impermeable, porque se sabe que ésta es una de las principales causas de la degradación de las estructuras.

Un compuesto utilizado frecuentemente como estabilizante de la tierra, en especial en el campo de la ingeniería civil y de caminos, es el hidróxido de calcio. Su eficacia ha sido puesta a prueba por siglos (Uviña y Guerrero, 2007).

Aunque existen documentos antiguos, tales como *Los Prolegómenos* de Ibn Jaldun, escritos en el siglo XIV, que hablan de la aplicación de cal en estructuras de tierra del sur de España (Monjo, 1998: 33), es evidente que su uso es mucho más remoto y tuvo difusión en todo el orbe en diversas culturas constructivas (Ver Figura 6).

La cal se ha introducido como consolidante de pavimentos de tierra, en cimentaciones, en cisternas, en la elaboración de adobes, muros de tapia y más recientemente en la fabricación de bloques de tierra comprimida (Oliveira, 2005).

Desde la segunda guerra mundial, los suelos estabilizados con cal han sido muy utilizados en

obras de ingeniería, principalmente en sub-bases de carreteras, vías del ferrocarril y presas. Por este motivo, se han desarrollado importantes investigaciones y prácticas sobre esta técnica, mismas que han derivado en la generación de normas y especificaciones técnicas probadas por más de cuarenta años en países tales como Estados Unidos, España, Francia, Alemania y Gran Bretaña, entre otros (Hoffman, 2002).

Pero, aunque se cuenta con datos históricos acerca de este tema y se han corroborado científicamente las cualidades de la aplicación de cal como estabilizante de la tierra, todavía quedan muchos datos por descubrir, sobre todo acerca de los fenómenos químicos que se desarrollan internamente en estas mezclas.

Se sabe de manera general que, en virtud de la dimensión y estructura laminar de las partículas de los minerales arcillosos del suelo, los cationes de calcio se insertan entre las micelas de las arcillas, incrementando su estabilidad. En estas mezclas se detectan formaciones de neo-silicatos y aluminatos hidratados de calcio, que son muy adecuadas para mejorar las propiedades de los suelos (Oliveira et Al., 1990).

Esto significa que la presencia de pequeños volúmenes de hidróxido de calcio agregados a la tierra, la modifican radicalmente tanto por la formación de carbonatos de calcio en las superficies que están en contacto con el bióxido de carbono del aire, como por reacciones de tipo puzolánico similares a las que caracterizaban la formación de los llamados “cementos romanos”. Es por ello que los suelos estabilizados con cal incrementan notablemente tanto su resistencia a la humedad como su capacidad de carga, así como la posibilidad de ser compactados a fin de aumentar su densidad.

Sin embargo, como fue demostrado desde los años sesenta, la cantidad de cal que se requiere para que funcione el sistema es mínima –nunca más del 10% en peso seco–, pues volúmenes



Figura 6. Las murallas medievales de Sagunto, España, se realizaron con la técnica llamada “tapia calicostrada” en la que se emplea tierra compactada con hidróxido de calcio. (Foto: L. Guerrero).



Figuras 7a y 7b. Probetas realizadas con tierra estabilizada con 6% de cal en peso seco y posteriormente compactadas por capas, han logrado subsistir su inmersión total en agua por más de 10 años. (Foto: L. Guerrero).

mayores “atrofian” la reactividad de las arcillas en los sistemas, y al final se pierden sus cualidades. La evaluación de la cantidad necesaria de cal para cada tipo de suelos puede ser fácilmente evaluada a partir de mediciones de su pH (Eades y Grim, 1966).

Ésta es la principal aportación de la técnica propuesta en el presente texto, la generación de mezclas de tierra que por su baja proporción de humedad interior se puedan utilizar como rellenos o recubrimientos, gracias a la estabilización con cal, y a la posibilidad de compactación que esta sustancia aporta al sistema. La reacción con el hidróxido de calcio modifica el índice de plasticidad de los suelos (Fernández, 1992), de manera que en un primer momento después de su humectación se comportan como si fueran materiales arenosos. De este modo, es mucho más fácil su manipulación y posterior proceso de densificación manual.

En experimentos realizados en la UAM-Xochimilco, se ha podido demostrar que, dependiendo el tipo de tierra utilizado, es posible incrementar más de diez veces su resistencia original a la compresión, combinando la estabilización con cal de tierras arcillosas que fueron posteriormente compactadas (Guerrero, Soria y García, 2010). Pero la principal cualidad de esta reacción, que se verifica después de varios meses de adecuado

curado, radica en la elevada resistencia a la humedad que presentan los especímenes, pero sin que se pierda su permeabilidad al vapor. (Ver Figuras 7a y 7b).

Prácticas de intervención

La tierra, como material constructivo, tiene un comportamiento altamente singular puesto que tiene dificultades para interactuar con otros compuestos, debido a que las arcillas que la conforman son sustancias muy activas que cotidianamente reciben y expulsan agua como resultado de los cambios de temperatura.

Este hecho provoca que las integraciones que se realizan a componentes de tierra utilizando materiales diferentes a ella, tiendan a ser “repelidos”. Es por ello que las consideraciones para la correcta intervención de las estructuras de tierra que han perdido parte de su comportamiento original, deben ser permeables y tener resistencias mecánicas de rangos similares.

De este modo, antes de tomar cualquier decisión acerca de los componentes a reparar, es fundamental llevar a cabo un diagnóstico adecuado que necesariamente habrá de partir de la observación de las fallas. En este sentido, es

indispensable empezar por un retiro cuidadoso de los recubrimientos que presenten daños, y con mayor razón si se trata de revestimientos de cemento.

Pero esta estrategia debe ser progresiva. Aunque es deseable retirar todos los recubrimientos que resulten potencialmente dañinos para los muros, pisos y techos de tierra, este proceso es riesgoso porque los sustratos “se han acostumbrado” a su presencia, y la acumulación de humedad en el interior podría ser causa de su colapso. Los recubrimientos y complementos volumétricos de cemento en ocasiones se convierten en “estructuras de carga”, por lo que su retiro puede provocar afectaciones en otras partes del inmueble.

Por ello se habrá de proceder de manera “quirúrgica”, retirando escrupulosamente los bordes de las grietas y fisuras que se presenten. Esta acción se efectúa sin demasiada fuerza y utilizando de preferencia cucharas de albañil o cinceles pequeños, evitando forzar la separación de los resanes en los puntos en los que se encuentren más adheridos. Sólo se debe desprender el material suelto.

Detrás de las grietas de los revoques de cemento o de cal casi nunca se observan fisuras en los muros de tierra, debido a que se trata de sustratos dúctiles. En caso de que existan, conviene ampliar un poco más el área retirada a fin de identificar la trayectoria real de las fallas. Una vez que ya sea visible el núcleo, se identificará el nivel de daños presente y se removerá paulatinamente la tierra que se encuentre disgregada (Ver Figura 8).

En el caso de los muros, cuando las fisuras no superan el ancho de 5mm y no se evidencie la fractura continua hacia pisos o techos, es posible simplemente volver a colocar un recubrimiento en la oquedad realizada, pero substituyendo el revestimiento dañado por capas de tierra hasta recuperar el nivel de paño perdido (Castilla, 2011).

El sustrato debe saturarse de humedad en varias ocasiones con un atomizador de mano, y luego se procede a colocar dos o tres capas sucesivas delgadas de tierra en estado plástico, siempre esperando a que sequen bien las anteriores.

No obstante, el daño que resulta más recurrente en muros de adobe, tapia o bajareque es la pérdida de su integridad volumétrica o su capacidad de carga. Como consecuencia de la acumulación de humedad, erosión o sobreesfuerzos mecánicos, la tierra se disgrega y genera oquedades. Con el paso del tiempo estas pérdidas se incrementan hasta que, después de varios años, llegan a un punto donde pueden conducir a colapsos mayores.

Es por esto que las actividades de conservación preventiva son cruciales, puesto que permiten identificar fallas en momentos en los que su restablecimiento es más sencillo e implica menor volumen de obra.



Figura 8. Taller de restauración organizado por Cooperación Comunitaria, en Ixtepec, Oaxaca. (Foto: L. Guerrero).

La mezcla de tierra que ya está lista para utilizarse como relleno de grietas y faltantes, se encuentra en estado plástico, y podría simplemente insertarse directamente, y luego con una cuchara de albañil o una llana presionarla para que se integre dentro del hueco.

Pero, como ya se mencionó, el problema es que la tierra colocada no alcanza una buena adherencia con los sustratos por la diferencia de humedad. Además, al irse secando el material integrado se retrae y se separa, llegando en algunos casos a colapsar por su peso.

Es por ello que la estrategia que se propone seguir para la recuperación de faltantes, consiste en la inserción de pequeños volúmenes de material estabilizado con cal, que previamente fueron modelados dándoles forma de esferas (Ver Figura 9).

La prefabricación de estas esferas ayuda a densificar parcialmente el material que se va



Fig. 9. Se elaboran esferas con tierra lo más parecida posible a la del sustrato original y sólo con la humedad necesaria para darles forma. Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (INAH). (Foto: L. Guerrero).

a integrar, pero, sobre todo, es el medio ideal para reconocer la cantidad de agua presente en la mezcla, gracias a la cual es posible su compactación. Con una mezcla demasiado seca o demasiado mojada no se pueden modelar las esferas. Asimismo, el amasado en pequeños volúmenes distribuye homogéneamente el agua, con lo que incluso se optimiza la cantidad de líquido necesario para mantenerlas estables.

Entonces se procede a rellenar las cavidades o grietas que previamente se humedecieron con un aspersor. Se debe proceder de manera paulatina para conformar capas sobrepuestas, que progresivamente se compactan, para unirse entre ellas y con los sustratos erosionados.

Cuando la primera capa se empieza a secar y aparecen fisuras, éstas son disueltas mediante un leve pero constante proceso de percusión que se ejecuta con una barra de madera. Su tamaño y peso será proporcional al hueco que se está llenando y al tamaño de las esferas. Una vez concluida esta etapa, se vuelve a humedecer la superficie y se acomodan nuevas esferas sobre la capa anterior, las cuales otra vez serán compactadas al ir secando. Se humedece nuevamente y se aplica la siguiente serie de esferas que constituyen el siguiente estrato y se repite la operación hasta llenar por completo el faltante. (Figura 10).

De este modo se mantiene la fuerza interna que le confiere la arcilla a la tierra, y la adherencia a las capas preexistentes, pero la retracción que generaría naturalmente su presencia, se controla a partir de la percusión mecánica. El “cierre de fisuras” garantiza la observación y el control de calidad de una adecuada densificación.

Finalmente, es importante hacer notar que las especificaciones de restauración desarrolladas y promovidas por las instituciones nacionales destinadas a la conservación del patrimonio edificado en los años setenta y ochenta, establecían que las grietas en los muros de

adobe se habrían de tratar de manera similar a los materiales pétreos, mediante inyecciones de morteros líquidos de cal y arena, a los que se les agregaba una pequeña proporción de cemento (SEDUE, 1984).

A treinta y seis años de existencia de esas especificaciones, se ha puesto en evidencia lo perjudicial de ese criterio, pues un material tan sólido introducido en una grieta de muros de tierra, funciona como una “especie de cuña” que rompe las áreas periféricas a las grietas, y provoca la aparición de fallas en zonas aledañas que perdieron su flexibilidad.

Esa fue una de las principales causas de colapsos en los recientes terremotos del 2017, en los que finalmente las instituciones encargadas de la conservación tomaron conciencia del grave error que representa la introducción de componentes incompatibles en la intervención del patrimonio edificado.

Bajo la lógica que sustenta el presente artículo, la idea es que cuando se presenten grietas continuas en muros cuyo grosor impida la introducción manual de esferas, entonces efectivamente será necesario realizar inyecciones, pero el material de relleno será simplemente tierra arcillosa estabilizada con pequeños volúmenes de hidróxido de calcio, con mayor cantidad de agua para que pueda fluir dentro de tubos y distribuirse por gravedad.

Para este procedimiento, será necesario que durante el relleno y compactación del área externa de la grieta se inserten “boquillas” hechas con tramos de tubos de plástico, PVC o mangueras delgadas, colocadas de forma equidistante en toda la extensión de la falla. Una vez que se cierra el exterior de la grieta, se inyecta la lechada fluida dentro de cada boquilla partiendo siempre de las inferiores, hasta llegar a las más altas conforme se observe que se va rellenando el interior del núcleo. Por último, se extraen las boquillas y se sella por completo la intervención.



Fig. 10. Compactación con un pequeño mazo de madera de esferas de tierra estabilizada con cal, durante la restitución volumétrica de la estructura de La Palangana en Kaminaljuyú, Guatemala. (Foto: L. Guerrero).



Figura 11. Inyección de lechadas de tierra, estabilizada con cal. Taller realizado en Huayapam, Oaxaca, durante el Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT-2019). (Foto: L. Guerrero).

Conclusiones

La conservación del patrimonio construido con tierra, enfrenta enormes retos por la dificultad de su compatibilidad material. Históricamente, el mantenimiento preventivo desarrollado mediante superficies protectoras, permitía que las estructuras permanecieran estables por largos periodos. Pero, el abandono de los sitios y el olvido de los saberes tradicionales, ahora han generado importantes pérdidas. Durante el siglo pasado muchos de ellos se restauraron con revoques de cemento, o bien, con polímeros, que a la larga han resultado nocivos por su excesiva impermeabilidad y rigidez.

Por otra parte, se cuenta con una amplia documentación histórica relacionada con las enormes ventajas que posee la aplicación de revoques de cal y arena como mecanismo de protección superficial de la mayor parte de los materiales porosos. Estos componentes, a diferencia de los de cemento o polímeros, tienen una mejor adherencia a los sustratos y, sobre todo, propician la adecuada evaporación del agua presente en los núcleos, aspecto clave para la preservación (Weissman, 2008).

No obstante, en diversas intervenciones de restauración realizadas los últimos años, se han cometido algunos excesos, por lo menos en el caso de México y algunos sitios de suroeste de Estados Unidos. Como consecuencia de la urgente necesidad de revertir el uso del cemento, diversas instituciones encargadas de la conservación del patrimonio, desde mediados de los años noventa se dieron a la tarea de difundir el empleo de revoques de cal y arena, en una amplia gama de edificios históricos de adobe, aunque estos nunca hubieran contado con este tipo de terminaciones, puesto que tradicionalmente se protegían con revestimientos de tierra.

Es importante considerar que, si bien es cierto que la cal es básica para la preservación del patrimonio edificado, su producción tiene un

elevado impacto ambiental como consecuencia de sus procesos de fabricación, en la que se calcina aproximadamente a 900°C durante largos periodos. Este gasto energético, sumado a la emisión de los contaminantes producidos por los combustibles para los hornos, hace necesario plantear procesos más juiciosos para su uso.

En este sentido, el presente texto expone las cualidades de diversos procedimientos para proteger y reparar estructuras utilizando tierra compactada y estabilizada con volúmenes mínimos de cal, con lo que además de conseguirse una óptima compatibilidad material, se reduce radicalmente la huella ecológica de las intervenciones.

La adecuada mezcla de tierras, la cantidad de agua, el espesor de las capas, la forma de aplicación y la compactación manual, permiten rellenar huecos y obtener acabados arquitectónicos capaces de resistir daños por impacto o lluvia con destacada eficiencia.

Y además de este efecto benéfico sobre el patrimonio construido con tierra, se ha podido demostrar que estas reparaciones y revestimientos pueden ser aplicados exitosamente también sobre sustratos de ladrillo o piedra, consiguiéndose una destacable reducción en el costo y huella ecológica de la restauración.

La salvaguardia del patrimonio requiere integrarse al debate global acerca del uso racional de los recursos, a fin de procurar no solamente la protección del medio cultural sino también el natural. Una perspectiva sostenible de la conservación patrimonial implica introducir en sus planteamientos teóricos y normativos temas sobre el uso racional del agua, los materiales de bajo impacto ambiental, el ahorro energético, la contaminación, la recuperación de saberes ancestrales y la participación comunitaria. Además, será necesario modificar la visión que impera en la disciplina, en la que se pretende realizar intervenciones de alta perdurabilidad

(Guerrero, 2015).

La sostenibilidad de una intervención pasa por la selección y uso de las materias primas más abundantes en cada localidad, cuya obtención, transformación y aplicación, no alteren el equilibrio ecológico del entorno. Pero, además, se debe prever que su realización garantice la futura participación de las comunidades locales para dar un mantenimiento continuo a su patrimonio. Los bienes culturales son colectivos, por lo que los conocimientos necesarios para su conservación y permanencia también deben estar al alcance de todos.

Bibliografía

Ávila, E. y Guerrero, L. (2018). El mucílago de *Opuntia Ficus* como estabilizante en recubrimientos de tierra. En *Memorias del SIACOT-2018* (pp. 115-126). Guatemala:



Figura 12. Implementación de la técnica de integración durante el Taller Internacional de Conservación y Restauración de Arquitectura (TICRAT-2018) en Pecos, New Mexico, USA. (Foto: L. Guerrero).

PROTERRA.

Castilla, F. J. (2011). Revestimientos y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. En *Informes de la construcción*, 63, pp.143-152. Castilla-La Mancha: Universidad de Castilla la Mancha: España.

Eades, J. y Grim, R. (1966). A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. Behavior characteristics of lime-soil mixtures. En *Highway Research Record*, (139), pp. 61-72. Illinois: Highway Research Board.

Fernández, C. (1992). *Mejoramiento y estabilización de suelos*. México D.F.: Limusa.

Guerrero, L. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Revista Apuntes*, Bogotá, 20 (2), pp.182-201.

Guerrero, L. (2015). Sostenibilidad y conservación del patrimonio edificado. En *Revista Palapa*, 3 (1), pp.73-84.

Guerrero, L. (2016). El papel de la humedad y la compactación en la elaboración de recubrimientos de tierra. En *Revista Construcción con Tierra CT7*, pp.11-22.

Guerrero, L., Correia, M. y Guillaud, H. (2012). Conservación del patrimonio arqueológico construido con tierra en Iberoamérica. En *Revista Apuntes*, 25 (2), pp. 210-225.

Guerrero, L., Soria, F. J. y García, A. B. (2010). La cal en el diseño y conservación de arquitectura de tierra. En *Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación*, pp. 177-186. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.

Hoffmann, M. (2002). Efeito dos argilo-minerail do solo na matéria prima dos sistemas

- construtivos com solo cal [Tesis de Maestría]. Salvador, Brasil: Universidade Federal da Bahia.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Uruguay: Fin de Siglo.
- Monjo, J. (1998). La evolución histórica de la arquitectura de tierra en España. En *Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales*, (pp. 31-44). Madrid: Ministerio de Fomento.
- Oliveira, M. (2005). O solo-cal: uma visão histórica e documental. En *Memorias del IV SIACOT-IIIATP*, (pp.106-110). Monsaraz: Escola Superior Gallaecia.
- Oliveira, M.; Santiago, C. y D’Affonseca, S. (1990). The Study of accelerated carbonation of lime-stabilized soils. In *Adobe 90 Preprints*, pp.166-70. Los Angeles, The Getty Conservation Institute.
- SEDUE, 1984, *Especificaciones generales de restauración*, México D.F.: SEDUE.
- Uviña, F. y Guerrero, L. (2007). *El uso de la cal en la conservación de estructuras de tierra. En Fourth International Adobe Conference of the Adobe Association of the Southwest* (pp. 40–45). Los Angeles, CA: Adobe USA 2007, El Rito.
- Warren, J. (1999). *Conservation of earth structures*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Weissman, Adam (2008). *Using natural finishes: Lime & earth based plasters, renders & paints*. Cambridge: UIT Cambridge Ltd.