

EL PAPEL DE LA HUMEDAD Y LA COMPACTACIÓN EN LA ELBORACIÓN DE REVESTIMIENTOS DE TIERRA

Luis Fernando Guerrero

RESUMEN

Una parte importante de las cualidades bioclimáticas y de la durabilidad de la arquitectura de tierra está asociada a sus procesos de recubrimiento, por lo que resulta indispensable su estudio sistemático. Este texto aborda la caracterización de las condicionantes de estos componentes constructivos y plantea una alternativa para su ejecución fundamentada en el control de la relación entre la cantidad de agua que se utiliza para su elaboración y los procesos de colocación. Se exponen los resultados de la aplicación experimental de revoques de tierra estabilizada con materiales puzolánicos y cal, que se compactan en forma manual para su terminado, con lo que se incrementa su resistencia mecánica y se reduce su vulnerabilidad ante la humedad, incluso en condiciones de inmersión total de componentes constructivos. Estos procedimientos resultan muy prometedores porque se logra una protección muy duradera de la arquitectura de tierra tanto de origen histórico como de nueva creación, a partir del uso sostenible de los recursos locales.

PALABRAS CLAVE: revoques, hidratación, capacidad de carga, porosidad, durabilidad.

INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de la construcción con tierra que ha recibido menor atención es el de los recubrimientos arquitectónicos. En la cada vez más amplia bibliografía con la que se cuenta en torno al diseño y conservación de obras térreas, suele haber una justificada preocupación por el análisis y descripción de los componentes estructurales de muros, entresijos y techos. Pero cuando se trata el tema de las superficies protectoras de las estructuras, los datos se tienden a exponer de una manera muy general, sin enfocar el análisis de su comportamiento como componentes orgánicos de los inmuebles.

A pesar de la evidencia que se tiene del invaluable papel que juegan los revoques como protección de los sistemas constructivos y complemento de su funcionamiento estructural y comportamiento higrotérmico, las referencias documentales asociadas a sus requerimientos materiales y de aplicación, en cierto modo han sido obviados, bajo la consideración de que se trata de un simple añadido o un aspecto decorativo cuya importancia solamente cobra sentido si posee cualidades estéticas, Figura 1.

Si bien es cierto que algunos inmuebles históricos y vernáculos han logrado sobrevivir sin recubrimientos gracias a la calidad de sus componentes constructivos, a la destreza de la mano de obra que los elaboró, o a las condiciones favorables del clima en el que se localizan, es indudable que la mayor parte de las culturas constructivas con tierra siempre tuvo una clara conciencia de la necesidad de la aplicación de revestimientos –aunque consistieran sólo en el empleo de “aguadas” o pinturas– como medio para la conservación preventiva y mecanismo para la configuración de sistemas que mantuvieran en equilibrio a las estructuras con su medio circundante.

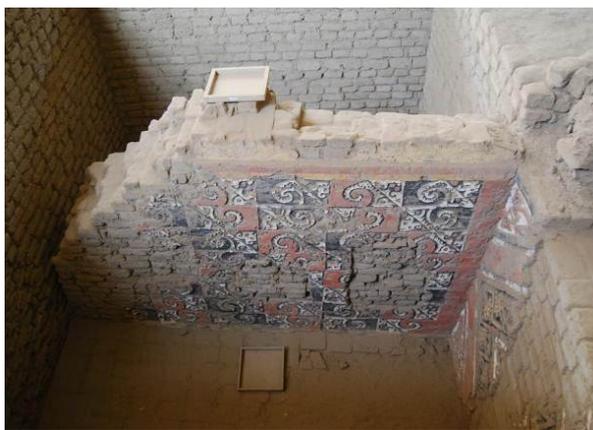


Figura 1. Los revestimientos y pinturas cumplían un amplio espectro de funciones dentro de la arquitectura prehispanica de tierra, Huacas de Moche, Perú.

Algunos estudios que se realizan con miras a recuperar los conocimientos constructivos tradicionales para su aplicación en la arquitectura contemporánea, han logrado reconocer el valor del empleo de sustancias agregadas como estabilizantes de los revoques, que les confieren mayor adherencia e impermeabilidad.

Además, como es comúnmente aceptado que estos componentes constructivos han de aplicarse siempre en estado plástico para facilitar su mezclado, adicionalmente se les agregan fibras vegetales finamente cortadas o bien, el estiércol de equinos o bovinos para controlar la retracción derivada del exceso de humedad.

Pero, a pesar del alto valor desde el punto de vista etnográfico de este tipo de procedimientos, como evidencia de la apropiación de recursos naturales locales para el mejoramiento de la construcción, se suele perder de vista su razón de ser y su funcionamiento físico y químico, considerándolos acríticamente como una especie de “recetario”. Muchos textos y páginas electrónicas dedican extensas descripciones a la difusión de sustancias “casi milagrosas” que permiten realizar revoques durables e impermeables, que “garantizan” la permanencia de la arquitectura de tierra.

Esta falta de conocimiento acerca del comportamiento de los componentes de los sistemas de revestimiento crea una fuerte dependencia y limitación tecnológica. Entonces los constructores o los habitantes suelen creer que si no se cuenta con determinados productos no es posible la elaboración de revoques. Consecuentemente, la dificultad de su obtención o su franca desaparición, conduce a la pérdida de diversas culturas constructivas.

Paralelamente, enfoques exclusivamente centrados en los “ingredientes de las recetas” tienden a dejar de lado el relevante tema de los procedimientos de ejecución y las herramientas empleadas, que en gran medida explican la calidad de los componentes constructivos, su adherencia, índice de retracción, comportamiento ante agentes climáticos y resistencia mecánica.

Por estos motivos se hace necesaria la búsqueda de explicaciones relativas al papel que cumplen los agregados dentro de los sistemas constructivos para revestimientos, analizando detalladamente sus procesos de incorporación y las necesidades que detonaron su demanda. De esta manera se pueden plantear soluciones alternativas que satisfagan dichos requerimientos en aquellos medios geográficos en donde algunos de estos recursos se vuelven cada día más escasos, como sucede en la actualidad en las zonas urbanas.

A partir de estas premisas, en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco en la Ciudad de México, desde hace varios años se ha venido estudiando el papel que juegan los diferentes componentes de los revoques de tierra, así como las formas tradicionales de su ejecución, a fin de generar conocimientos que permitan explicar su nivel de éxito, y que además, sirvan como soporte epistémico para el desarrollo de diferentes estrategias que protejan a los edificios de tierra, pero que resulten sostenibles en un espectro más amplio de contextos geográficos.

Se busca adaptar las respuestas tradicionales a las condiciones actuales, procurando hacerlas accesibles para su aplicación por personas no especializadas, que utilicen una menor cantidad de agua para ser más ecológicas y económicas, pero que, sobre todo, desarrollen una mayor resistencia y durabilidad.

En el presente texto se exponen algunos de los resultados que se han obtenido en laboratorio, en prototipos de edificaciones así como en intervenciones de restauración, ámbito en el que este tipo de revestimientos realizados con tierra compactada, abre un vasto abanico de actuación porque posibilitan prolongar por más tiempo las labores de mantenimiento preventivo de edificios patrimoniales.

CONDICIONANTES PARA RECUBRIMIENTOS DE TIERRA

Uno de los elementos constantes en la realización de revoques de tierra se fundamenta en la necesidad del uso de varias capas de morteros aplicados sobre los sustratos, que protejan al sistema de las afectaciones del medio ambiente, pero que permitan un flujo controlado de la humedad que garantice el equilibrio higrotérmico entre las estructuras y ese entorno.

Para lograr un adecuado comportamiento estructural, se busca cuidar la disminución progresiva del grosor de los revoques en concordancia con la granulometría de los morteros. Tradicionalmente se acostumbra integrar sobre las caras de los muros, una capa base de mezclas térreas con partículas de que pueden alcanzar los 3 o 4 mm y fibras largas.

Es frecuente que este embarrado se aplique lanzándolo a mano, o bien, con la ayuda de alguna herramienta que lo proyecte con mayor fuerza como puede ser una paleta de albañil (badilejo, bailejo, palustre, o cuchara de albañil, como se conoce en diferentes países).

Al irse secando, esta capa suele retraerse de manera diferencial a consecuencia de su grosor, pues la cara externa en contacto con el calor y el viento, endurece con mayor velocidad que la interna, provocando su agrietamiento.

Sin embargo, estas fisuras sirven como anclaje para una capa intermedia –más delgada que la primera– que incluye partículas más finas y fibras medianamente recortadas. Dependiendo de las tradiciones locales, esta segunda capa se incorpora con la mano, con una paleta de albañil, o bien, con una llana o fratacho, a fin de aplicarle cierta fuerza al deslizarlos sobre la superficie.

Cuando seca este segundo embarrado se recubre finalmente con una delgada protección de sacrificio realizada con mezclas de partículas finas, que también se integra a las superficies con la ayuda de una llana o un fratacho. A veces esta capa se substituye por una de pintura de tierra mezclada con algún aglutinante, o bien con cal y pigmentos minerales.

Este enlucido final se puede pulir o bruñir con una piedra lisa u otra herramienta, con lo que se cierran todavía más los poros y se orientan adecuadamente las micelas de las arcillas, para que puedan repeler de forma más eficiente al agua de lluvia, Figura 2.

Estos sistemas de protección han probado su eficacia por siglos en diferentes contextos y es digna de destacar la semejanza de sus procedimientos en diversas regiones del orbe. No obstante, estos componentes tienen una duración limitada que obliga a prever el diseño de acciones de mantenimiento periódico a fin de vigilar, reparar y reponer las capas perdidas.

Lamentablemente, con la intención de evitar estas acciones de conservación preventiva, durante el último medio siglo muchas comunidades cayeron en el error de aplicar sobre este tipo de enlucidos de tierra, capas adicionales realizadas con productos industriales que han tenido un resultado altamente perjudicial tanto para los revoques de tierra como incluso para los propios sustratos constructivos.

Diversos tratamientos superficiales que empleaban polímeros artificiales han demostrado ser muy nocivos. Frecuentemente causan migración de sales solubles que cristalizan en las superficies al contacto con el aire, las cuales finalmente caen por su propio peso, arrastrando partículas del recubrimiento (Warren 1999).

Una evidencia muy delicada de este problema se ubica en la ciudad prehispánica de El Zapotal, Veracruz, en el sureste mexicano en donde, al igual que en otras zonas arqueológicas de la región, se conservan imponentes restos de arquitectura térrea en condiciones ambientales sumamente adversas. El territorio se localiza en pleno trópico húmedo con precipitaciones pluviales constantes.

Hace varias décadas se descubrió en el sitio un singular altar policromado construido con tierra compactada y modelada, en torno a una escultura monumental del dios del inframundo. La particularidad de estos restos obligó a los restauradores de los años setenta a intentar conservarlo con diferentes medios, uno de los cuales fue el uso de consolidantes superficiales elaborados con polímeros sintéticos.

Esta intervención a la larga ha sido muy negativa porque se potenció la absorción freática y la generación de eflorescencias salinas que han ido degradando los sistemas constructivos, Figura 3.

La tierra presenta una enorme dificultad para relacionarse con otros materiales. Una vez que endurece, la organización cristalina de sus superficies no permite la adherencia de otros materiales, especialmente los que posean mayor rigidez y menor porosidad. Incluso hay casos en que capas de una misma tierra no llegan a integrarse (Guerrero 2008).

Un efecto igualmente nocivo se presenta en un elevado número de edificios de tierra antiguos y modernos que son “protegidos” mediante la incorporación de revoques de cemento que, también limitan el adecuado intercambio cíclico de aire y vapor de agua que realiza la tierra con el medio ambiente, con lo que la humedad se acumula en su interior y progresivamente se van disgregando tanto los recubrimientos como los componentes constructivos del núcleo de las estructuras (Guerrero, Correia y Guillaud 2012).



Figura 2. Recubrimientos de tierra y paja característicos de la obra de la Arq. Alejandra Caballero. Tlaxco, México.



Figura 3. Acumulación de sales asociadas a la impermeabilidad de la protección superficial del altar policromado de El Zapotal, Veracruz, México.

En casos todavía más graves, al no conseguirse una adecuada adherencia de los revoques de cemento, estos se han aplicado sobre mallas metálicas previamente clavadas a las superficies terreas. Además de la afectación que reciben los inmuebles con las múltiples perforaciones, el problema del encapsulamiento de la humedad se agrava al disfrazarse.

Las capas de cemento reforzadas con las mallas no permiten ver los procesos de desintegración interna de los sistemas y después de algún tiempo los componentes constructivos de tierra pierden su capacidad de carga y sobreviene su colapso.

La protección superficial de los edificios de tierra debe ser permeable al vapor de agua, pero resistente a la lluvia. Habrá de tener poros lo suficientemente pequeños para que las estructuras puedan “transpirar y respirar” sin que se acumule el agua en su interior pues ésta puede disolver los sustratos y, en climas muy fríos, congelarse en su interior con lo que se producen estallamientos derivados del incremento del volumen hídrico.

Por otra parte, los revestimientos habrán de contar con una densidad apropiada para resistir la abrasión e impactos mecánicos. Pero esta densidad no debe ser tan alta que haga que estos componentes resulten pesados con lo que paulatinamente pueden perder su adherencia y acabar desprendiéndose de las superficies que habrían de proteger.

Y finalmente, es importante que durante su elaboración se utilice la menor cantidad de agua que sea posible a fin de que no sufran retracciones volumétricas que generen agrietamientos excesivos que puedan ser causa de deterioros posteriores. Se sabe que entre más lentos y homogéneos sean los procesos de secado, se logra una mejor organización de los cristales al interior de las estructuras, con lo que se hacen más resistentes tanto a los esfuerzos mecánicos como a las posibles afectaciones climatológicas.

REVESTIMIENTOS CON TIERRA COMPACTADA

A partir de estas condicionantes, en el Área de Investigación en Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado de la UAM-Xochimilco, se han probado diferentes procesos físicos y químicos para estabilizar la tierra con fines constructivos. Se han realizado múltiples prácticas de laboratorio y desarrollado componentes y módulos experimentales para verificar su aplicabilidad, comportamiento higrotérmico, resistencia mecánica y ambiental (Soria, Guerrero y Roux 2013).

En fechas recientes, a partir de los valiosos resultados obtenidos en el caso concreto de la estabilización de suelos con cal (Guerrero, Roux y Soria 2011), se empezó a trabajar en una línea dirigida específicamente hacia la protección superficial del patrimonio edificado y de la arquitectura contemporánea.

En los diferentes experimentos que se desarrollan en el Laboratorio de Materiales se ha utilizado un mismo tipo de suelo a fin de tener resultados en los que las variables solamente sean los recursos de estabilización, la hidratación y los procesos de compactación. Se empleó una tierra que se vende comercialmente en la región de Tlaxco, Tlaxcala, cerca de la Ciudad de México, para la elaboración de adobes.

Los datos de laboratorio de Mecánica de Suelos revelaron que el 56 % de las partículas finas de este material pasaron por el tamiz No. 200 de las cuales se determinó un Límite Líquido de 32.1 y un Límite Plástico de 18.3 dando como resultado un Índice de Plasticidad de 13.8. Este dato permitió concluir que esta tierra corresponde al grupo “CL”, es decir, “Arcillas arenosas”, dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos “SUCS” (Juárez, E. y Rico, A. 2010).

Como se sabe, las tierras que tienen una elevada relación proporcional de arcillas de alta plasticidad en comparación con los limos y las arenas, permiten obtener componentes constructivos más densos y resistentes a la compresión. Sin embargo, tienden a sufrir retracción durante su secado con lo que se generan fisuras en sus superficies y, en el caso de los revoques, a veces se desprenden de los sustratos sobre los que se aplicaron. En el polo opuesto, las tierras con escasa proporción de estos tipos de arcillas son más estables durante su secado debido a que absorben y pierden menor cantidad de agua. Empero, la escasa fuerza ligante las hace menos resistentes a la abrasión, Figura 4.

Es por esto que uno de los factores determinantes de la durabilidad de los recubrimientos hechos de tierra está vinculado con el equilibrio de la textura de sus componentes (Guerrero, 2007). Como ya se mencionó, muchos procesos de estabilización tradicional emplean tierras arcillosas porque se adhieren bien a los sustratos pero, para controlar su retracción, se estabilizan agregándoles fibras de origen vegetal o animal, Figura 2. De este modo los revoques resultan ligeros y conservan la consistencia que les confiere la arcilla, manteniendo una apropiada porosidad que garantiza el intercambio de aire y vapor de agua de los sustratos con el medio ambiente.

Empero, a partir de los resultados obtenidos de experiencias anteriores (Guerrero, Soria, Roux, 2014) en los que se demostró el notable incremento en la resistencia estructural que se deriva de la aplicación de la tierra por capas y la compactación de los componentes constructivos de tierra, se planteó que una de las aportaciones del experimento con los revoques habría de derivar justamente de su proceso de elaboración, utilizando la menor cantidad posible de agua (menos del 25 %).



Figura 4. Pruebas preliminares para determinar la cantidad de áridos necesarios para evitar la retracción de los revoques. Laboratorio de Materiales de la UAM-Xochimilco.



Figura 5. Todas las probetas soportaron sin problema la temporada de huracanes del 2015 y permanecen estables a pesar de haberse colocado sobre una superficie lisa de hormigón. Laboratorio de Materiales de la UAM-Xochimilco.

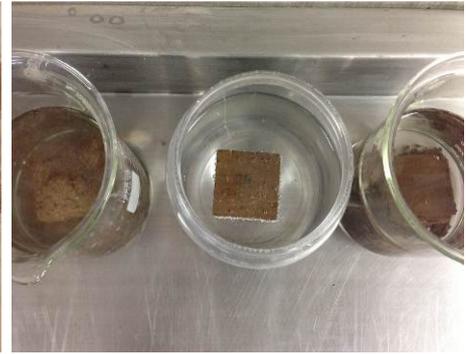


Figura 6. Probeta desintegrada a la izquierda, a la derecha la de tierra compactada y al centro se mantiene íntegra la probeta de tierra estabilizada y compactada. Laboratorio de Materiales de la UAM-Xochimilco.

Entonces, el uso de las fibras antes descrito se presentaba como una limitante puesto que condiciona la posibilidad de incrementar la densidad de los morteros por medios mecánicos, con miras a proveerlos de mayor resistencia. Cuando se pretende compactar un suelo que contiene material orgánico se presenta un punto en el que las herramientas rebotan y es imposible presionarlos más.

Fue por eso que en la toma de decisiones sobre las alternativas a probar, desde un principio se desechó esta estrategia, a pesar de que la tradición del uso de estiércol, pajas o pelo, permanece vigente en muchos sitios con arquitectura vernácula del país.

Con la idea de probar materiales que pudieran tener un comportamiento equivalente a las fibras pero que permitieran una correcta compactación, se decidió estabilizar la tierra con triturados de granulometría variada de materiales de origen volcánico que son abundantes en México. Estos áridos parecidos a la piedra pómez, que se conocen localmente como tepojal o tepetzil, son ligeros, porosos, permiten la permeabilidad de los revoques y la forma irregular de sus partículas desarrolla muy buena adherencia con la tierra.

A partir de diferentes ensayos se determinó que con volúmenes iguales de tierra y tepojal, adicionados con un 20 % de humedad era posible obtener morteros con la adhesividad necesaria para aplicarse sobre los muros de prueba, y ser posteriormente compactados con la ayuda de una pequeña herramienta percutora.

Entonces, los experimentos consistían en comparar revoques aplicados solamente con llana con otros que finalmente recibían procesos de compactación manual. Las muestras de 20 x 20 cm y 2 mm de grosor se aplicaron sobre un muro liso de concreto y el procedimiento de compactación se realizaba con trozos de madera de 20 cm de largo por 5 cm de ancho y 2.50 cm de grosor. Se golpeaban las superficies del revoque en el momento en que se notaba que empezaba a secar y a aparecer pequeñas fisuras en su superficie. Se cuidó compactar con una fuerza equivalente un número similar de veces (40 golpes en toda la superficie).

Se evaluó la maleabilidad, la adherencia y la resistencia a la lluvia, obteniéndose resultados muy superiores con los morteros estabilizados y compactados manualmente. Con estos resultados se decidió integrar una variable adicional que consistía en la adición de 5 y 10 % de cal hidratada en polvo, pues con base en experimentos previos en los que se desarrollaron muros con tierra vertida y compactada se alcanzaron resultados altamente satisfactorios tanto en la resistencia a la compresión como en la absorción capilar (Guerrero y Soria, 2014). Se aplicaron probetas de enjarres idénticas a las anteriores y se encuentran expuestas a la intemperie para su monitoreo cotidiano por más de un año.

Paralelamente se hicieron probetas cúbicas de 5 x 5 x 5cm de cada una de las muestras y se dejaron secar, para hacer evaluaciones de su resistencia a la compresión y a la humedad mediante inmersión total. Entre los resultados más relevantes se encuentra el hecho de que las probetas cúbicas de tierra compactada ya fuera natural, estabilizada con material de origen volcánico y del misma mezcla pero enriquecidas con cal, incrementaron su resistencia a la compresión en rangos de 40 a 52 %, con respecto a las probetas en las que el material se había incorporado sin presión alguna dentro de los moldes.

Por otra parte, la incorporación del material volcánico tanto solo como con cal, provocó una disminución de 20 a 25 % de la capacidad de carga con respecto a la tierra natural tanto en las tierras compactadas como en las que se trabajaron sin presión.

Finalmente, se realizó una prueba destructiva consistente en la inmersión de tres probetas cúbicas en recipientes llenos de agua y se filmó en video su proceso de degradación. El cubo de tierra con material volcánico sin compactar se desintegró bajo el agua en 46 minutos. El cubo de tierra con material volcánico pero que fue compactado por capas mantuvo su volumen por cerca de dos horas pero durante la tercera hora se disgregó lentamente hasta desintegrarse pasadas cuatro horas, Figura 6.

En cambio, la probeta que contenía tierra con material volcánico y 10% de cal en polvo sigue conservando íntegramente su forma y volumen, a más de un año de haberse realizado la prueba de inmersión.

Los diversos resultados que se fueron obteniendo en este proceso de investigación a nivel de laboratorio, permitieron la implementación de estrategias de protección superficial en dos ámbitos diferentes: en un módulo prototipo y en una intervención patrimonial.

El primero de ellos se realizó en una zona experimental que se localiza al norte de la Ciudad de México, en la cual desde hace varios años se han venido desarrollando diferentes análisis comparativos sobre estrategias bioclimáticas (García y Fernández, 2013), que han servido como base para estudios de maestría y doctorado dentro de la línea de Arquitectura Bioclimática de la UAM-Azcapotzalco.

Estos estudios se basan en la comparación de diferentes estrategias que se incorporan en módulos experimentales edificados con similares condiciones de orientación solar y relación con los vientos dominantes. Estos módulos tienen una geometría cúbica de 2.40 m de largo, ancho y alto interiores y con ventanas idénticas de 1.20 m de lado, localizadas una en cada muro en las orientaciones solares. Todos cuentan con igual exposición solar.

Además, el sistema constructivo de estos espacios también es análogo y está hecho a base de muros y cubierta de paneles prefabricados de malla y poliestireno expandido, con revestimientos y pintura de cal al exterior e interior. Esta condición permite desarrollar experimentos de diversas estrategias bioclimáticas diseñadas exprofeso.

En 2014 se construyó un módulo experimental anexo a los preexistentes, con las mismas condiciones dimensionales y de orientación del resto, pero realizado con muros de tierra vertida compactada y con recubrimientos de cal y arena similares al resto de los volúmenes. El comportamiento bioclimático de esta edificación fue evaluado y los datos ya han sido publicados. (Guerrero, Soria, García y Fernández, 2015).

Pero para obtener datos adicionales, en 2015 se substituyó el revestimiento de este módulo y se incorporó otro de tierra compactada, siguiendo las estrategias descritas en el presente texto. Su respuesta higrotérmica está siendo analizada, y se contará con la información respectiva al concluir el invierno. No obstante, es evidente que el procedimiento de aplicación fue muy exitoso habiendo sido realizado en tres días por alumnos de la UAM-Xochimilco, que no tenían ninguna experiencia previa de construcción, Figura 7.



Figura 7. Para la compactación de los revestimientos se usaron mazos de madera de aproximadamente 200g. Módulos experimentales en el norte de la Ciudad de México.



Figura 8. Horno Purépecha del área etnográfica del Museo Nacional de Antropología e Historia, una vez restaurado y recubierto de tierra compactada. Ciudad de México..

Se utilizó la tierra del propio emplazamiento estabilizándola con tepojal y cal, colocándose en dos capas, una gruesa y otra delgada que finalmente fueron pintadas a la cal para conservar las condiciones de comparación necesarias con el resto de los módulos del sitio.

Finalmente, también entre 2014 y 2015 se llevó a cabo la restauración de un horno vernáculo que se localiza en la sección etnográfica del Museo Nacional de Antropología e Historia. Este componente constructivo es parte de una vivienda indígena de origen Purépecha que se exhibe desde hace cincuenta años en el museo y que en su momento fue realizada por artesanos locales que fueron traídos desde Michoacán, al sur de México para darle autenticidad a la edificación.

Este horno para pan realizado con piedras asentadas con lodo, y recubierto con barro, sufrió diversos daños derivados de fuertes lluvias de años recientes, que llegaron incluso a inundar el área de exposición. Fue por eso que para la restauración del bien patrimonial se decidió incorporar las técnicas tradicionales de construcción, pero realizar en la capa superficial una serie de recubrimientos de tierra compactada, similares a los desarrollados en laboratorio.

El trabajo tuvo que ser realizado con gran minuciosidad a diferencia el módulo experimental, puesto que buena parte del horno tenía presencia de vegetación parásita y fauna nociva que tenía que ir siendo retirada progresivamente.

Asimismo, varias de las piedras de la mampostería original tuvieron que ser retiradas para su limpieza y posterior reintegración, porque los morteros originales habían sufrido diversas pérdidas de volumen y disgregaciones como consecuencia de la humedad. Después de un mes de trabajo el horno fue abierto a la visita pública como parte del Museo y la intervención realizada con tierra compactada está cumpliendo un año de probada eficacia, Figura 8.

CONCLUSIONES

La arquitectura de tierra enfrenta diversos retos de conservación derivados de su incompatibilidad material. Históricamente, el mantenimiento preventivo desarrollado mediante superficies protectoras, permitía que las estructuras permanecieran estables por largos periodos.

Empero, la pérdida de la tradición y la falta de tiempo para la realización de estas actividades inciden en su progresivo abandono o en la búsqueda de alternativas de protección superficial con materiales ajenos a la tierra. Durante el siglo pasado muchos inmuebles fueron recubiertos con revoques de cemento, o bien, con polímeros sintéticos, que a la larga han resultado nocivos por su excesiva impermeabilidad y rigidez.

Se cuenta con una amplia documentación relacionada con las 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 que se realizan a base de polímeros industriales o de cemento tienen una mejor adherencia a los sustratos y sobre todo, propician la adecuada “transpiración y respiración” de los núcleos, aspecto clave para su preservación.

No obstante, en diversas intervenciones de restauración realizadas los últimos veinte años, se han cometido algunos excesos, por lo menos en el caso de México y algunos sitios de sureste de Estados Unidos.

Como consecuencia de la urgente necesidad revertir el uso del cemento, diversas instituciones encargadas de la conservación se han dado a la tarea de difundir el empleo de gruesos revoques de cal y arena, en una amplia gama de edificios históricos, aunque estos nunca hubieran contado con este tipo de revestimientos que, como ya se mencionó, tradicionalmente se protegían simplemente con mezclas térreas. En los casos que se utilizaba cal, ésta se aplicaba en delgadas capas de enlucido o bien sólo como lechadas sobre los enjarres.

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 (Guerrero, 2014).

En este sentido el presente texto expone las cualidades de diversos procedimientos para enjarrar con tierra estabilizada, 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, la compactación manual, y en caso de que se requiera, la estabilización con un rango máximo de 5 a 10 % de cal en relación al peso seco de la tierra, permiten obtener acabados arquitectónicos capaces de resistir daños por impacto o lluvia con destacada eficiencia (Fernández, 1992).

Para que una obra de preservación sea realmente sostenible debe incluir estrategias de participación social que prevean planes para que los herederos del patrimonio, de manera colectiva, realicen labores de mantenimiento preventivo.

Ninguna restauración debería pensarse como un hecho consumado sino como un proceso continuo que habrá de proporcione trabajo a las personas, que les permita ampliar sus conocimientos constructivos y que estos sean aplicables para el mejoramiento de sus propias viviendas. Sólo así se podrá conseguir la apropiación social de este legado histórico y el mejoramiento en la calidad de vida de las comunidades.

REFERENCIAS

- Fernández, C. (1992), *Mejoramiento y estabilización de suelos*, Limusa, México D.F.
- García Chávez, J. R., Fernández, F. (2013), *Application of Combined Passive Cooling and Passive Heating Techniques to Achieve Thermal Comfort in a Hot Dry Climate*. Elsevier 2013 ISES Solar Energy World Congress, Procedia.
- Guerrero, L. (2007), *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva*, Apuntes 20 (2), 182-201, Bogotá.
- Guerrero, L. (2008), *La cal y el patrimonio edificado*, La Gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural, 12, pp.18-29, Oaxaca.
- Guerrero, L. (2014), *Arquitectura vernácula y conservación sostenible*, La Gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural, 27, pp. 26-32, Oaxaca.
- Guerrero, L.; Roux, R. y Soria, F. J. (2011), *Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México*, Revista Palapa, V-1 (10), pp. 45-57, Colima.
- Guerrero, L. y Soria, F. J. (2014), *Estabilización de suelos con cal y puzolanas*, Construcción con Tierra 6, pp.15-24, Buenos Aires.
- Guerrero, L.; Soria F. J. y Roux, R. (2014), *Edificación de muros de tierra vertida estabilizados con cal y puzolanas*, Memorias del 14°SIACOT, pp. 192-197, PROTERRA-FUNDASAL, San Salvador.
- Guerrero, L., Correia, M. y Guillaud, H. (2012), *Conservación del patrimonio arqueológico construido con tierra en Iberoamérica*, Apuntes V- 25 (2), pp. 210-225, Bogotá.
- Guerrero, L.; Soria, F.J.; García, J.R. y Fernández, F. (2015), *Comportamiento Térmico de un Módulo Experimental Construido con Tierra Vertida Compactada en la Ciudad de México*, Proceedings of EURO ELECS 2015, pp. 739-746, Guimarães.

- Juárez, E. y Rico, A. (2010), *Mecánica de suelos, en Tomo I, Fundamentos de la mecánica de suelos*, Limusa, México D.F.
- Soria, F.; Guerrero, L. y Roux, R. (2013), *Alternative earth building techniques and their experimental applications*, Proceedings-EARTH USA 2013, pp. 406-410, Adobe in action, Santa Fe, N.M.
- Warren, J. (1999), *Conservation of Earth Structures*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.