

# El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe

[Go to English version](#)

JULIO-DICIEMBRE 2020  
JULY-DECEMBER 2020

DOI: 10.30763//Intervencion.236.v2n22.15.2020 · AÑO 11, NÚMERO 22: 133-160

Postulado: 22.03.2019 · Aceptado: 08.09.2020 · Publicado: 21.12.2020

**Luis Fernando Guerrero Baca**

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X), México

[luisfg1960@yahoo.es](mailto:luisfg1960@yahoo.es) | ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8256-4851>



## RESUMEN

El artículo analiza procesos de restauración y conservación cuyo origen proviene del antiguo sistema constructivo conocido como *tierra amasada* o *modelada*. La técnica fue mejorada mediante la estabilización del suelo con hidróxido de calcio y su posterior densificación. Fue probada a compresión, retracción, absorción e intemperización en la UAM-X, y mostró destacables resultados en el incremento en su resistencia y durabilidad. El procedimiento fue aplicado en diversos talleres nacionales e internacionales, y, recientemente, en actividades comunitarias de restauración de viviendas de adobe dañadas por los terremotos que afectaron el sur de México en septiembre del 2017. La estrategia propuesta es fácil de aprender y aplicar, además de que utiliza un mínimo de recursos técnicos y materiales.

## PALABRAS CLAVE

arcillas; cal; capacidad de carga; compactación; conservación sostenible; compatibilidad de materiales; ductilidad estructural

## INTRODUCCIÓN

Entre los campos de la construcción con tierra que menor atención han recibido en publicaciones y trabajos de investigación, destaca el estudio de las actividades de mantenimiento y reparación de daños. La interacción que los usuarios han tenido históricamente con su hábitat tiene un notable impacto en su preservación. Las labores de conservación preventiva de estructuras patrimoniales que individual, familiar o grupalmente

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



realizaban de manera periódica las comunidades tradicionales garantizaban su durabilidad e implicaban una inspección habitual de sus componentes.

Además, los saberes asociados con la edificación se mantenían vivos gracias a la continuidad de la participación intergeneracional durante esas acciones. Las culturas constructivas con tierra siempre se basaron en la transferencia de tecnologías y la enseñanza informal derivadas de la práctica rutinaria de la edificación y la reparación (Guillaud, 2014, p. 21).

Sin embargo, con el correr del tiempo, el cambio de la organización sociocultural, la migración hacia los grandes centros de población y, principalmente, la introducción de materiales industrializados, alteraron de manera irreversible esos saberes. A la gente se le convenció erróneamente de que el uso de materiales “científicamente probados”, como el ladrillo, el cemento y el acero, así como los recubrimientos y las pinturas plásticas, garantizaba una larga duración y evitaba el mantenimiento rutinario de los edificios (Guillaud, 2014, p. 24).

Esa tendencia, promovida por los fabricantes y apoyada de manera consciente o inconsciente por diferentes instancias de gobierno, ha modificado la construcción histórica y tradicional, al introducirle componentes constructivos ajenos a su diseño original. El uso de materiales industrializados que resultan química y mecánicamente incompatibles no sólo ha acarreado deterioros derivados de la pérdida de la interacción de los habitantes con sus viviendas, sino que ha llevado al paulatino olvido de la sabiduría ancestral (Guerrero, 2015, p. 74).

En dos o tres generaciones las sociedades delegaron los trabajos de revisión y conservación de sus espacios habitables a albañiles y técnicos que, generalmente, no están vinculados con la edificación de tierra, puesto que su práctica se basa en el uso de materiales comerciales.

A los habitantes de viviendas con muros de tierra compactada, bajareque o adobe se les convenció de que esos materiales no son suficientemente resistentes, y de que, por lo tanto, requieren refuerzos verticales y horizontales de concreto armado, como los que se emplean en la edificación convencional. Adicionalmente, en décadas recientes el proceso de densificación de los asentamientos humanos que se ha dado conduce a la subdivisión de los espacios y al incremento en el número de niveles. En ambos casos, al no contarse con conocimientos apropiados acerca de la capacidad de carga de los muros de tierra, pero, primordialmente, por razón de que los albañiles y autoconstructores que ejecutan esas obras

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



no conocen más que los procesos de construcción modernos, sustentados en el uso del concreto armado, les incorporan losas de entrepiso, techos y paredes divisorias anclados en refuerzos “dallas y castillos” que seccionan los muros preexistentes.

De ese modo se pierde la importante cualidad de la continuidad que, combinada con el grosor de los muros de tierra, define su estabilidad y resistencia. Al interrumpirse su unidad estructural, esos conjuntos no responden adecuadamente ante deformaciones derivadas de deslizamientos de terreno, hundimientos diferenciales y movimientos telúricos (Guerrero, Correia y Guillaud, 2012, p. 219).

Por otra parte, la incorporación de sustancias impermeables como “protección superficial” ha demostrado ser muy nociva para las obras realizadas con materiales porosos, como la piedra, el ladrillo, la cal, la madera y, ante todo, la tierra; su presencia provoca la migración de sales solubles que cristalizan en las superficies de contacto, desarrollando fuerzas mecánicas de separación.

Ese efecto dañino se extiende con notable velocidad en los edificios tradicionales que han sido revocados con mezclas de cemento, las cuales limitan el adecuado intercambio cíclico del aire y el vapor de agua que la tierra realiza con el medio ambiente. Entonces, la humedad atrapada en el interior supera paulatinamente sus niveles de consistencia naturales y causa su segregación y lixiviación. La arena se separa de la arcilla y se precipita detrás de los recubrimientos, con lo que los componentes constructivos pierden su unidad y capacidad de carga (Warren, 1999, p. 75).

En casos todavía más graves, para conseguir la adherencia de los revestimientos de concreto, se aplican sobre mallas metálicas previamente clavadas a las superficies térreas. Además de la afectación que los inmuebles reciben con las múltiples perforaciones de los clavos, el problema del encapsulamiento de la humedad, al disfrazarse, se agrava. Los repellos ocultan los procesos de desintegración interna de los sistemas y después de algún tiempo los componentes constructivos de tierra pierden volumen, densidad y resistencia. La humedad acumulada en el interior va disgregando progresivamente el núcleo de las estructuras, volviéndolas fácil presa de afectaciones derivadas de vibraciones y deformaciones.

Tanto el “reforzamiento estructural” como la “protección superficial con cemento” estuvieron entre las principales causas de las afectaciones que sufrió la arquitectura patrimonial del centro y sur de la República mexicana a raíz de los dos intensos terremotos ocurridos en septiembre del 2017 (De Anda, 2017, p. 1).

Desde tiempo inmemorial la arquitectura tradicional de adobe ha contado con un diseño depurado para enfrentar de manera

## Intervención

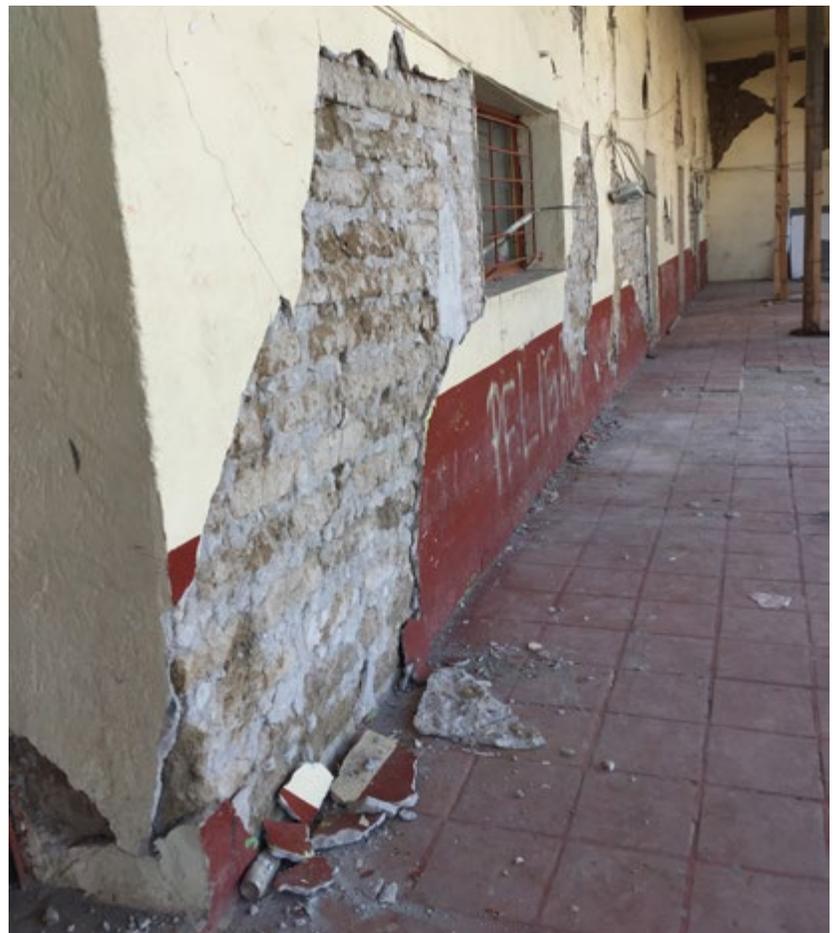
JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 1. Las grietas que mostraban los muros de adobe recubiertos con morteros de cemento sólo eran superficiales. Ayudantía Municipal de Hueyapan, Morelos, México (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2017).

adecuada diferentes eventos climatológicos así como movimientos sísmicos (Guerrero, 2019, p. 102), pero los recientes fenómenos geológicos chocaron con edificios alterados con crecimientos irregulares, con desarrollos en altura y con revoques con morteros de cemento, y desarticulados por componentes de concreto armado que acabaron dañándolos gravemente o incluso haciéndolos colapsar (De Anda, 2017, p. 1).

Sin embargo, es importante llamar la atención acerca de que, en realidad, la mayor destrucción de ese patrimonio tradicional ocurrió varios días después de los sismos. La falta de conocimiento sobre el comportamiento natural de la arquitectura de adobe y la presencia de revestimientos de cemento aparatosamente fracturados hicieron pensar a los inspectores, brigadistas y aun a los propios habitantes que las estructuras presentaban daños tan graves que ponían en peligro su seguridad. Entonces, cientos de casas fueron demolidas de manera sistemática sin que nadie se hubiera tomado la molestia de retirar los recubrimientos de cemento y verificar que, la mayor parte de las veces, los núcleos de adobe estaban intactos (Figura 1).



## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



Un inconveniente adicional, que no se había manifestado de manera tan dramática, se deriva del hecho de que, cuando se presentan los movimientos sísmicos, las superficies de concreto se agrietan con gran facilidad debido a su rigidez, mientras que al interior los adobes se mantienen estables, pues tienen mayor ductilidad. Además, al estar unidos con morteros realizados también con tierra, aceptan importantes deformaciones sin llegar a agrietarse (Guerrero y Vargas, 2015, p. 64).

Cuando las estructuras de concreto armado están bien calculadas y se construyen adecuadamente, responden sin problema a los sismos, porque se equilibran las capacidades de los dos materiales: el concreto resiste los esfuerzos de compresión y el acero de refuerzo soporta la tensión, la torsión y la flexión. Pero sin sus armados, el concreto funciona sólo si su espesor es amplio. Una capa delgada de recubrimiento de cemento resulta un componente frágil, por su incapacidad de permitir deformaciones.

Adicionalmente, cuando se fractura, su elevada dureza y su impermeabilidad se convierten en obstáculos insalvables al intentar pegarlo. Aunque se han desarrollado diversos productos químicos que se comercializan como adhesivos, una vez que se rompen capas delgadas de concreto, nunca recuperarán su unidad original.

En el polo opuesto, si la intensidad de los esfuerzos de un sismo supera la capacidad de deformación de los muros de adobe, las separaciones, fisuras o grietas que se presenten serán fácilmente reparables con un mínimo de recursos técnicos y materiales. Éste es el aspecto central en torno del que gravita el presente artículo: la posibilidad de recuperar estructuras de tierra dañadas con base en la introducción de materiales plenamente compatibles.

La destrucción de la incalculable cantidad de inmuebles históricos y tradicionales sufrida durante los últimos dos años pudo haberse evitado si sus habitantes o los técnicos que realizaron las evaluaciones posteriores a los sismos hubieran sabido que la mayor parte de sus daños y deterioros tenía soluciones sencillas y baratas. Ésta es una de las cualidades más destacables del patrimonio construido con tierra.

Se trata de obras plenamente sostenibles desde el punto de vista ecológico, económico y sociocultural, porque se ejecutan y conservan con materiales muy abundantes y fáciles de transformar por sus propios habitantes. Incluso su materia prima puede reciclarse cuantas veces sea necesario con el fin de reemplazar componentes faltantes, erosionados o rotos por cualquier causa.

Por esos motivos, desde hace varios años en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



(UAM-X), y, más recientemente, en el Laboratorio de Tecnología Tradicional y Sostenibilidad de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM), se ha venido estudiando el papel que cumplen los diferentes componentes de los sistemas constructivos de tierra así como las formas atávicas de su ejecución y mantenimiento, con la finalidad de generar conocimientos que permitan explicar su grado de éxito y que, además, sirvan como soporte epistémico del desarrollo de estrategias para la conservación de obras antiguas o modernas.

Se han realizado múltiples prácticas de laboratorio, y desarrollado componentes y módulos experimentales con diversas tierras y métodos de estabilización, con el propósito de verificar su aplicabilidad, comportamiento higrotérmico y resistencia mecánica y a fenómenos atmosféricos (Guerrero, 2016, p. 18).

Se busca adaptar las respuestas tradicionales a las condiciones actuales, procurando hacerlas accesibles para que las implementen personas no especializadas, y que se utilice menor cantidad de agua y de materiales ajenos al sitio, de modo que las acciones sean más ecológicas y económicas y, principalmente, incrementen su resistencia y vida útil.

En el presente texto se exponen algunos de los resultados que se han obtenido en laboratorio, tanto en prototipos a escala como en intervenciones de restauración, ámbito en el que el empleo de la tierra abre un vasto abanico de actuación, porque hace posible espaciar por más tiempo las labores de mantenimiento preventivo de edificios patrimoniales (Figura 2).

### TIERRA, AGUA Y COMPACTACIÓN

A lo largo de la historia la transformación de los suelos naturales en materiales constructivos ha tenido diferentes procedimientos, derivados de los recursos naturales locales, de las condicionantes medioambientales y de procesos de ensayo y error ancestrales. La mayor parte de las comunidades que emplearon la tierra para edificar se dio cuenta de que era posible mejorar sus condiciones originales a partir de la interacción de dos factores: la humedad y la densidad.

El agua es la base de la transformación de la tierra en material constructivo, pues tiene la propiedad no sólo de alterar la polaridad de las arcillas que la constituyen sino de propiciar que se desplacen dentro de las mezclas. Entonces, mediante determinadas condiciones de fluidez, pueden ser ajustadas para su empleo en infinidad de formas.

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020

FIGURA 2.  
 Restauración  
 de un muro de  
 adobe durante el  
 curso-taller para  
 conservadores del  
 Centro INAH Chiapas.  
 San Cristóbal de  
 Las Casas, México  
 (Fotografía: Luis  
 Fernando Guerrero  
 Baca, 2018).



Como se sabe, la reacción que explica la composición de las mezclas de tierra obedece más a fenómenos físicos que químicos (Guerrero, 2007, p. 125). Las micelas que componen las arcillas desarrollan fuerzas de atracción y repulsión electrostática que propician su reacomodo e interacción con componentes de mayores dimensiones, como los limos, arenas, gravas y agregados adicionales, como las fibras.

La cantidad de arcillas habida en los suelos y la reactividad que se deriva de la presencia de elementos adicionales al silicio, aluminio, oxígeno e hidrógeno que las componen determinan la fuerza que adquirirán al hidratarse y, después, al secarse (Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux, 1996, p. 49).

La misma tierra puede variar radicalmente su posibilidad de manejo y durabilidad simplemente si se le pone más o menos agua. Si, por ejemplo, se le incorpora alrededor de 35%, adoptará un

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



estado líquido; con 25% tendrá una condición plástica que, si bien le permite fluir, será capaz de conservar su forma si se coloca en un molde. Sin embargo, si se intentara compactar dentro de éste, no se conseguiría densificarla, por ser demasiado dúctil.

Si a esa tierra se le agregara solamente 15% de agua, alcanzaría una consistencia semisólida que también haría posible que mantuviera la forma del molde en el que se vertiera, pero, en ese caso, sí podría ser compactada, con ayuda de un pisón (Hoffmann, Negrini y Falleiros, 2011, p. 51). Finalmente, un suelo con 5% de humedad no conservaría la forma del molde en el que se le colocara ni podría ser compactado, por carecer de cohesión, aunque, paradójicamente, estaría en posibilidad de “fluir”, al deslizarse unas partículas sobre las demás.

Al porcentaje de agua que se requiere para que una tierra pase de la consistencia plástica a la líquida se le denomina *límite líquido*, y al necesario para que pase del estado plástico al semisólido, *límite plástico*. La diferencia entre ambos límites se llama *índice de plasticidad*, que brinda la posibilidad de reconocer la respuesta predecible de una tierra para ser transformada en material constructivo (Juárez y Rico, 2010, p. 127). Esos datos y los estudios de granulometría se usan como un referente internacional. A pesar de la infinidad de combinaciones de las tierras existentes en la naturaleza, su comportamiento ante el agua permite categorizarlas, de una manera bastante precisa, dentro de 15 grupos generales que conforman el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (sucs).

Como se sabe, las tierras que tienen, en comparación con los limos y las arenas, una elevada relación proporcional de arcillas de alta plasticidad, generan componentes constructivos más densos y resistentes una vez que secan. No obstante, al hacerlo, tienden a disminuir su volumen, con lo que se generan fisuras en sus superficies o, en caso de haberse empleado como recubrimientos, se desprenden de los sustratos sobre los que se aplicaron (Figura 3).

En el polo opuesto, las tierras con baja proporción de ese tipo de arcillas son más estables durante su secado, debido a que absorben y pierden menor cantidad de agua. Empero, su escasa fuerza cohesiva puede hacerlas menos resistentes a la abrasión.

Por eso uno de los factores determinantes de la durabilidad de los sistemas constructivos de tierra, así como de sus recubrimientos, está vinculado con el equilibrio de la granulometría de sus componentes (Guerrero, 2007, p.187).

La tierra con la que se conforman los revoques debe tener alta plasticidad para desarrollar una adecuada adherencia a los sustratos, pero, como demanda un grado de humedad elevado para

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 3. El uso de tierras arcillosas permite generar acabados menos permeables, pero su agrietamiento obliga a un mantenimiento periódico. Almenas de la Mezquita de Djenné, Mali (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2008).



poderse aplicar, al endurecer seguramente tendrá problemas de retracción y agrietamiento. Para enfrentar esa condición, debe aplicarse en capas delgadas. En cambio, para hacer adobes se utiliza un material menos plástico que, además de requerir menor cantidad de agua, debe poder verse en moldes o gaveras y desmoldarse rápidamente, conservando su forma y volumen.

Finalmente, una tierra que habrá de ser compactada necesita tener menor cantidad de agua y plasticidad, por lo que es preferible que su constitución sea más arenosa. Una mezcla plástica o con exceso de humedad no admite ser densificada mecánicamente, porque “rebota” la herramienta de compresión. En cambio, la presencia de granos de diferentes tamaños genera oquedades entre aquellos, y mediante percusión o presión externa se pueden intercalar, con lo que se logra la densificación del sistema.

Las comunidades tradicionales descubrieron en algún momento de su evolución que era posible combinar tierras para desarrollar

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 4.  
 Decantación de tierra para extraer su arcilla después de que los limos y arenas se sedimentaron en el fondo del recipiente (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2018).



las reacciones esperadas en función del sistema constructivo que habrían de realizar.

Los suelos naturales pueden ser modificados mediante el procedimiento que se conoce como *compensación*. De ese modo, las fracciones granulométricas que se consideren deficitarias pueden ser agregadas en dosificaciones prediseñadas, dependiendo del componente constructivo del que habrán de formar parte. Por ejemplo, una tierra altamente plástica que será utilizada para conformar muros de tierra compactada se podrá mezclar con un suelo arenoso, o bien, se le podrán agregar volúmenes conocidos de arena y grava con el fin de propiciar su posible densificación mecánica (McHenry, 1996, p. 70).

En el polo opuesto, una tierra excesivamente arenosa puede ser mezclada con pequeños volúmenes de tierras arcillosas para hacerla más plástica. También es posible extraer por sedimentación y decantación la fracción arcillosa de un suelo y agregársela directamente a un material arenoso para, de ese modo, adecuarlo a las necesidades constructivas (Figura 4).

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



Pero, además, como sucede con los revoques, un mismo componente constructivo suele estar constituido por estratos con diferente plasticidad. Para la primera capa se necesita un suelo arcilloso que habrá de fijarse bien al sustrato. Esto, aunque pueda presentar problemas de retracción y agrietamiento al secado, no se considera un problema, porque posteriormente recibirá una segunda aplicación con material más arenoso. Incluso, éste se incrustará mejor sobre la capa fisurada y, además de uniformizarla, al acabado le conferirá mayor resistencia mecánica e hídrica. La presencia de arenas en esa siguiente capa generará una superficie con más porosidad que, aunque reciba cantidades importantes de agua en estado líquido, proveniente de la lluvia por ejemplo, estará en posibilidad de dejarla evaporar a una velocidad adecuada (Cerro y Baruch, 2011, p. 68).

Desde el 2009, en la UAM-X se han practicado diferentes tipos de experimentos con el objeto de evaluar el papel que desempeña la relación entre la compensación, la densificación y la cantidad de agua presente en mezclas de tierras (Guerrero, Roux y Soria, 2011, p. 48). En esas investigaciones se demostró el notable incremento en la resistencia estructural derivado de la aplicación de la tierra por capas y su posterior compactación. Esos procedimientos permiten realizar recubrimientos y edificar muros delgados para obras convencionales.

Se diseñaron diferentes mezclas en laboratorio para aplicar como revoques en probetas de 20 x 20 cm de superficie y 3 mm de grosor. Intencionalmente se eligieron condiciones extremas, que consistieron en colocarlas sobre un sustrato de concreto pulido y con una orientación en la que recibieran directamente los rayos solares, el viento y la lluvia.

Además de las muestras testigo, que tenían tierras en condiciones naturales, se variaron las dosificaciones de arena y el acabado final. Todas se aplicaron con llana metálica, pero la mitad de las muestras recibió un tratamiento de compactación posterior. Éste consistía en que la superficie, al momento de empezar a secarse y a aparecer pequeñas fisuras de retracción, se percutió con una herramienta ligera de madera de 20 cm de longitud y una sección de 2.5 x 2.5 cm. Se cuidó compactar con la cara larga de la barra y con una fuerza equivalente durante un número similar de veces (40 golpes cada probeta).

Se evaluaron el tipo, la cantidad y la profundidad de las fisuras presentadas, así como la resistencia a la abrasión antrópica y, principalmente, a la lluvia. Como era de suponerse, las tierras con poca arena se retrajeron y cayeron a los dos o tres días; las com-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



pensadas con 100% de arena resistieron mejor. Las que tenían entre 150 y 200% de arena no presentaron fisuras, pero se volvieron deleznable y, al rozarlas con la mano, se erosionaban. Pero las muestras arenosas que además fueron compactadas lograron permanecer durante más de un año.

A partir de esos resultados se decidió integrar una variable adicional a los experimentos, que consistió en incorporar 5 y 10% de cal hidratada en polvo a la misma tierra que había sido compensada con 100% de arena en volumen. Se aplicaron, con el mismo criterio del experimento anterior, probetas de revoques expuestos a la intemperie para su monitoreo cotidiano y, consecuentemente, las tierras estabilizadas con cal y posteriormente compactadas estuvieron adheridas al muro de concreto del laboratorio después de tres años, resistiendo intensas lluvias y varios días de granizo.

Paralelamente se hicieron probetas cúbicas, de 5 x 5 x 5 cm, de cada una de las muestras y se dejaron secar para hacer, mediante inmersión total, evaluaciones de su resistencia a la compresión y a la humedad.

Entre los resultados más relevantes se encuentra el hecho de que las probetas de tierra compactada natural, compensada con arena, y la misma mezcla, pero enriquecida con cal, incrementaron su resistencia a la compresión en rangos promediados de 40 a 52% con respecto de especímenes de los mismos materiales, pero incorporados sin presión alguna dentro de los moldes (Guerreiro, 2016, p. 18).

Finalmente, con las mismas materias primas se realizó una prueba destructiva consistente en la inmersión de tres probetas cúbicas en recipientes llenos de agua y se filmó el proceso. El cubo de tierra sin compactar se desintegró bajo el agua en 46' (Figura 5). El cubo que fue compactado por capas mantuvo su volumen por cerca de dos horas, pero, durante la tercera hora, se disgregó lentamente hasta, pasadas cuatro horas, desintegrarse. En cambio, la probeta con la tierra estabilizada con 10% de hidróxido de calcio en polvo sigue conservando íntegramente su forma y volumen, a más de cinco años de estar inmersa en agua.

Con base en esta serie de resultados, se planteó la posibilidad de redirigir esa tecnología a la reparación de muros agrietados así como a cubrir oquedades en edificios patrimoniales.

### CONSTRUCCIÓN CON TIERRA MODELADA

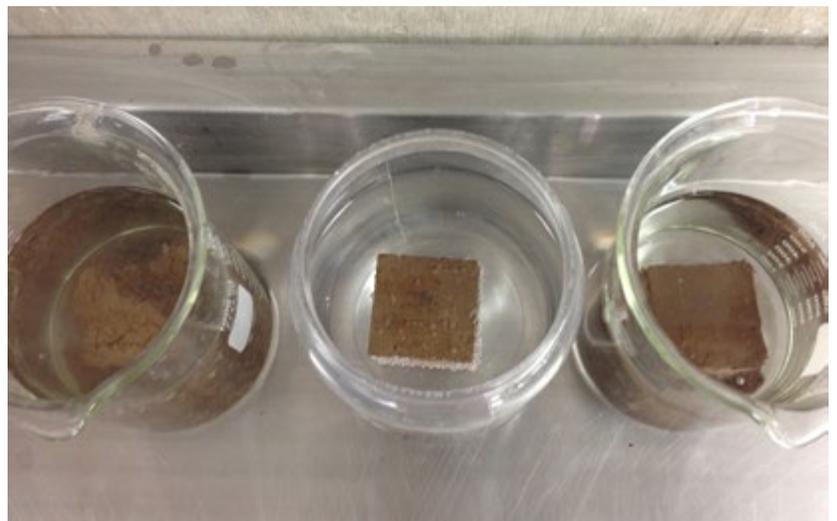
Para comprender el funcionamiento de la estrategia propuesta en el presente texto, es importante partir del conocimiento de un sis-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 5. Probeta desintegrada, a la izquierda; a la derecha, la de tierra compactada, y al centro, la probeta de tierra estabilizada y compactada se mantiene íntegra. Laboratorio de Materiales de la UAM-X (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2015).



tema constructivo que, a pesar de la proliferación de su empleo en la antigüedad, muy poco se ha analizado, e incluso frecuentemente se ha confundido con otros procesos. Se trata de la técnica que seguramente fue precursora del resto de los sistemas de construcción con tierra en muchas partes del orbe y a la que en España se le llama *pared de mano* (Rocha y Jové, 2015, p. 97), *tierra apilada* o *tierra amasada* (Pastor, 2017, p. 46).

Es un sistema que se caracteriza por utilizar tierra hidratada y reposada con una consistencia similar a la que se emplea para hacer adobes o revoques. Los constructores toman porciones del material manejables y modelan cúmulos casi esféricos de 10 a 20 cm de diámetro que se apilan protegidos de la intemperie para posteriormente llevarse a la obra.

Aunque parezca un dato irrelevante, a diferencia de otros procedimientos constructivos que requerían medios e implementos para desplazar la materia prima al lugar de construcción, las esferas que se emplean en esta técnica pueden lanzarse de mano en mano. A partir de una organización de trabajo colectivo y mediante la formación de “cadenas humanas”, son trasladadas desde la distancia que se requiera, salvando obstáculos en el terreno e incluso elevándolas a alturas superiores a la de la construcción. Conforme los constructores reciben los cúmulos de barro en la obra, los arrojan con fuerza sobre la cimentación o las capas inferiores, asentándolas para formar hiladas que se ligan por su propia humedad, sin necesidad de usar mortero aglutinante.

Al irse secando el material, se golpea con la mano, con los pies o con una herramienta de madera para densificarlo y hacer una masa continua que se transforma en un estrato que quedará adherido al resto de la construcción, conformando componentes mo-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020

nolíticos. Aunque la técnica se ha empleado para edificar principalmente basamentos, muros, alfardas y escalinatas, también sirvió para entresijos y techos soportados por estructuras de madera en algunas regiones, como sucedió, por ejemplo, en las Casas en Acantilado de la sierra Tarahumara así como en la antigua ciudad de Paquimé, en Chihuahua (Figura 6).



FIGURA 6. Ruinas de Sírupa, Chihuahua, México (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2007).

Existe un sinnúmero de sitios en el mundo que erróneamente han sido caracterizados como estructuras de adobe o de tapia, pero cuya manufactura en realidad se desarrolló a partir de tierra en estado plástico, trasladada a pie de obra en amasijos densificados manualmente. Algunos de esos sitios son Paquimé, en Chihuahua, la Huaca Bellavista y el Camino del Pando en Perú, así como Joya de Cerén en El Salvador (Guerrero, 2018, p. 127).

Como se explicó líneas arriba, para que una tierra pueda ser compactada se requiere que esté en condiciones de muy baja humedad. El sistema constructivo conocido como *tapia* o *tapial* utiliza sólo 12 o 15% de humedad, y para lograr la adecuada conforma-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 7.  
 Restauración  
 de una capilla  
 patrimonial de tapia  
 en Chuquiribamba,  
 Ecuador (Fotografía:  
 Luis Fernando  
 Guerrero Baca,  
 2014).

ción de componentes estructurales depende del empleo de una cimbra o encofrado (Doat *et al.*, 1996, p. 49), recurso que, además de confinar una tierra que tiende a fluir por su escasa humedad, es indispensable para densificarla por capas sobrepuestas mediante los golpes de un pisón. El resultado después de varias horas de compactación es un bloque muy sólido, junto al que a continuación se levantan otros subsiguientes que progresivamente van armando las hiladas de los muros.

Existen ejemplos notables de inmuebles de tapia en el norte de África, la India, China, el sur de España, Alemania y Francia, pero erigidos con un sistema mucho más reciente que el de tierra amasada y modelada. Además, es importante hacer notar que a la fecha no se han encontrado ruinas precolombinas de muros de tapia, por lo que parece que la técnica llegó al continente a partir del siglo XVI, durante la Conquista (Guerrero, 2018, p. 136) (Figura 7).



## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



Las civilizaciones precolombinas desarrollaron basamentos, templos, palacios, depósitos de granos así como gran cantidad de viviendas aisladas y en conjunto mediante capas de tierra que se densificaba, pero sin el empleo de cimbras o encofrados, por lo que esa técnica no corresponde enteramente con la lógica constructiva de la tapia. Para evitar que la materia prima se dispersara, el papel del molde se suplía por la cantidad de agua agregada y la prefabricación de amasijos en condiciones plásticas (Guerrero, 2018, p. 130).

Lógicamente, en estructuras de grandes dimensiones el sistema de esferas lanzadas de mano en mano no resultaba eficiente, por lo que es probable que se optara por realizar cúmulos de mayores dimensiones que se llevaban a la obra en cestos o esteras para ser densificados con manos y pies durante el proceso de edificación.

La elaboración de amasijos, esferas o *panes* no solamente posibilita el traslado y la colocación, sino además constituye el medio de control de calidad respecto de la humedad, homogeneidad y consistencia requerida por el sistema. Una mezcla a la que le falta o le sobra agua, al carecer de la cohesividad necesaria para conservar su forma, simplemente no puede ser modelada. Luego, al lanzarse de mano en mano, el material sigue siendo amasado hasta que, finalmente, al integrarse a la obra, los constructores caminan sobre las capas parcialmente endurecidas y las golpean para dar uniformidad a las caras laterales, así como para verificar y corregir su verticalidad y la nivelación de su trazo (Weismann y Bryce, 2010, p. 150).

La calidad de los muros, su disposición por hiladas y la aparente presencia de bloques produce muros notablemente parecidos a las estructuras de tapia. No obstante, en realidad las líneas verticales de separación que aparecen de forma regular en toda su extensión son grietas de retracción. Ésta es la mejor prueba de que los componentes fueron realizados con tierra en estado plástico que se retrajo al haberse secado, puesto que ese fenómeno no se presentaría si se tratara de muros de tapia, debido a que, como se explicó líneas arriba, para poderse compactar se emplea tierra arenosa y casi seca (Figura 8).

La técnica constructiva de la tierra amasada o apilada no ha sido adecuadamente documentada, porque no es fácil identificar su proceso de construcción. Las esferas o amasijos que constituyeron su núcleo desaparecieron durante su transformación en una masa uniforme prácticamente monolítica. A pesar de sus valores patrimoniales para todo el continente americano, por tratarse de una técnica ancestral ampliamente utilizada no se suele reportar

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 8. Los muros arqueológicos del sitio de Bellavista, en Lima, Perú, daban la falsa impresión de haber sido construidos con la técnica de tapia, pero sus patrones de deterioro evidencian el uso de tierra amasada en estado plástico (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2017).



en informes arqueológicos, al grado de que ni siquiera tiene un nombre reconocido en la región. En fechas recientes, cuando ese proceso constructivo se ha “puesto de moda” en el medio de la bioconstrucción, se le conoce con el nombre en inglés: *cob*.

Finalmente, es importante subrayar que, en muchas regiones del planeta con alta sismicidad, como Iraq, la India, Chile y Perú (Vargas, Gil, Jonnard y Montoya, 2015, p. 286), este sistema constructivo tuvo una amplia difusión como resultado de su ductilidad, de la que se habló anteriormente.

#### APLICACIÓN DE TIERRA MODELADA EN RESTAURACIÓN

Uno de los elementos clave para la realización de reparaciones en inmuebles de adobe se fundamenta en la necesidad de usar varias capas aplicadas sobre los sustratos. Los huecos, roturas, erosio-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



nes, grietas o fisuras pueden ser rellenados con suelos reciclados o compensados para que se vuelvan similares a los originales, pero siempre cuidando su aplicación gradual.

La estabilidad de las obras de tierra, como muchos componentes de la edificación tradicional —e incluso de la naturaleza—, se basa en la interacción de superficies sobrepuestas. Al igual que los estratos edafológicos, los anillos de crecimiento de los vegetales o las membranas epiteliales de los animales, la acumulación de capas permite comportamientos flexibles que garantizan el equilibrio de los sistemas.

Una estructura rígida siempre será más vulnerable ante fuerzas externas que una que es dúctil. Esa propiedad puede derivarse de la forma de los componentes, de su materialidad y, en el caso de las estructuras, puede ser conferida mediante una apropiada organización de los sistemas, a pesar de que éstos de manera natural no tengan plasticidad. Eso es lo que sucede como resultado de la superposición de capas. A pesar de que éstas presenten diferencias en resistencia o flexibilidad, si se articulan de manera adecuada pueden interactuar y conformar sistemas que se comportan como si fueran dúctiles.

Este principio es clave para entender el comportamiento de las estrategias de intervención que se detallan en el presente texto. La arquitectura de tierra en general, y la de adobe en particular, tiene la cualidad de basarse en un intercambio de esfuerzos en planos de acción prácticamente infinitos. Aunque para fines prácticos se acostumbra analizar, por ejemplo, la capacidad de carga de un adobe como si éste sólo recibiera fuerzas alineadas con la gravedad, el hecho es que todos los componentes de su interior, que están unidos por la adherencia de las arcillas, transfieren los empujes en todas direcciones.

Por ello, los datos de laboratorio que miden la resistencia a la compresión de piezas de adobe unitarias son poco representativos de la realidad constructiva de estos sistemas. A diferencia de lo que sucede con materiales convencionales, como el ladrillo, la piedra o los bloques de cemento, los adobes y sus morteros de lodo se amalgaman como una especie de estructura monolítica que adquiere unidad pero que, al mismo tiempo, es dúctil (Figura 9).

Datos sobre resistencia a la compresión de fracciones de adobes que se han analizado en el Laboratorio de Materiales de la UAM-X y que indican capacidades de carga de 4 a 7 kg/cm<sup>2</sup> pueden dar la idea de una aparente debilidad. Sin embargo, resulta que esas piezas habían conformado muros de edificios históricos de Calpan, Puebla; Ixtepec, Oaxaca; Hueyapan, Morelos, y Cocóspe-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 9.  
 Los adobes, a diferencia de otros mampuestos, tienen la capacidad de deformarse dentro de ciertos límites. Huehuatlán El Chico, Puebla, México (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2018).



ra, Sonora, y resistieron empujes gravitatorios y esfuerzos accidentales durante siglos.

Si se compara de manera aislada un adobe que resiste menos de  $10 \text{ kg/cm}^2$  con un ladrillo que carga  $60$  o  $70 \text{ kg/cm}^2$ , se piensa que aquél es un componente endeble. Pero la realidad es que en los muros cada pieza está rodeada por lo menos por otros seis adobes y, además, está unida con un mortero de lodo que integra al conjunto como un todo.

Entonces, los empujes que hipotéticamente recibiría una pieza dentro del muro se reparten entre todos los componentes “débiles” y se genera una estructura que puede resistir potentes esfuerzos a lo largo de cientos de años. Ésa es la razón por la que suele ser difícil explicar desde la ingeniería estructural convencional la permanencia, con destacable integralidad, de estructuras milenarias de adobe en sitios con tan elevada sismicidad como los que caracterizan zonas arqueológicas de Perú, Turquía, Irán, la India y China (Dipasquale, Omar y Mecca, 2014, p. 236).

Las fallas que pueden presentarse en muros de adobe por empujes laterales, hundimientos diferenciales o en eventos sísmicos normalmente los conducen a una nueva condición de equilibrio en la que pueden permanecer por mucho tiempo gracias a su respuesta dúctil. De este modo, si se realizan intervenciones de restauración basadas en la lógica de trabajo de los materiales rígidos convencionales, es muy probable que se cometan errores, al pretender confinar su comportamiento estructural natural o trasladar en una sola dirección la diversidad de esfuerzos divergentes que caracteri-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



za a la transmisión de cargas en la arquitectura de tierra (Guerrero y Vargas, 2015, p. 65).

Cuando se introducen elementos “de refuerzo” más duros en estructuras flexibles como las de adobe, tierra amasada, bajareque o tapia, se genera una competencia de fuerzas incompatibles en la que la pérdida se manifiesta en el elemento dúctil.

Es por ello que la metodología de intervención que se propone en este texto se centra en la reconexión de elementos que, por efecto de diferentes procesos naturales o antrópicos, perdieron continuidad o volumen a partir del uso de tierra estabilizada y modelada.

La mezcla de tierra que ya está lista para utilizarse como relleno de grietas y faltantes de muros de adobe se encuentra en estado plástico y podría, simplemente, insertarse de manera directa y luego, con una cuchara de albañil o una llana, presionarla para que se integre a la superficie.

Sin embargo, lo que provoca este procedimiento es que la masa de tierra colocada no logre una buena liga con los sustratos pre-existentes, por la diferencia de humedad que presenta, a pesar de que se haya cuidado de rociar agua antes de colocarla. Pero, además de esa falta de adherencia, conforme el volumen integrado empieza a secarse se retrae y se separa con mayor intensidad, hasta que finalmente cae por su propio peso.

En cambio, si se insertan pequeños volúmenes de material que fueron modelados y densificados previamente al darles forma de esferas, contarán con el mínimo de agua necesaria para mantenerlos estables y conservar su cohesividad. De ese modo se van conformando capas sobrepuestas dentro de las oquedades, que progresivamente se aplastan para unirse entre ellas y con los núcleos.

El control de la humedad interna es fundamental para evitar retracciones volumétricas que generen agrietamientos excesivos que puedan ser causa de deterioros posteriores. Pero, en el polo opuesto, un material demasiado seco nunca podrá integrarse a los sustratos preexistentes. 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.

Esos pequeños volúmenes de relleno se acomodan cuidadosamente en las cavidades previamente humedecidas y, en cuanto empiezan a endurecerse, son densificados mediante una percusión realizada con una simple barra de madera. Cuando esa capa

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 10. Relleno de grietas durante un taller del Programa de Inmersión en la Bioconstrucción. Proyecto San Isidro, Tlaxco, Tlaxcala, México (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2019).



En caso de que los daños en los muros sean muy profundos, como los que se suelen presentar en grietas continuas, durante el proceso de relleno y compactación se pueden insertar en toda su extensión “boquillas” tubulares equidistantes. Una vez que se concluye con el cierre de la grieta, se inyecta una lechada fluida de arcilla estabilizada con 5 a 10% en volumen de hidróxido de calcio, que se distribuirá por gravedad en el interior de los núcleos. Finalmente, se extraen o se cortan las boquillas y se sella por completo la intervención.

Cuando, por motivos estructurales, se requiera incrementar la capacidad de carga del elemento dañado o existan problemas de afectaciones derivadas de la lluvia o de ascensión capilar de humedad freática, es posible enriquecer la tierra para las esferas con pequeños volúmenes de hidróxido de calcio (nunca más de 10% en peso). Si la mezcla de tierra se hará en seco, es recomendable usar la cal en polvo para poder verificar su correcta distribución en todo el volumen. Pero si la tierra ya fue humedecida, entonces es

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



preferible agregar la cal en forma de lechada, con el fin de evitar que se hagan grumos, como sucede frecuentemente cuando se pretende mezclar cal en pasta.

Como se sabe, el hidróxido de calcio modifica de manera muy favorable el comportamiento resistente e higroscópico de la tierra sin afectar su compatibilidad con los sustratos preexistentes (Guerrero, 2016, p. 17). Además, se consigue modificar su índice de plasticidad, haciéndola parecer “más arenosa” (Fernández, 1992, p. 130). Con ello se facilita el proceso de compactación sin que se pierdan las cualidades: adherencia, cohesividad y dureza al seco, derivadas de contar con un material arcilloso. Así se mantienen tanto la fuerza interna que le confiere la arcilla a la tierra como la adherencia a las capas preexistentes, pero la retracción que naturalmente generaría su presencia se controla a partir de la percusión mecánica. Esto significa que el “cierre de fisuras”, además de tener una función estética o preventiva de daños, garantiza la adecuada densificación de un material que, si se hubiera dejado secar libremente, terminaría fraccionado.

Pero, en el extremo opuesto, si por cuestiones estructurales o criterios conceptuales se procura la reversibilidad de la intervención, en lugar de agregarle un refuerzo químico como el hidróxido de calcio, se puede incrementar la cantidad de arena presente en la tierra, con el fin de restarle resistencia e incluso permitir su posterior retiro. De ese modo, cuando se presenten nuevos eventos telúricos, el material de relleno servirá como “componente de sacrificio”.

Esa misma idea opera en el caso de que se decida utilizar esta técnica como recubrimiento. A partir del uso de hidróxido de calcio o del incremento en la dosificación de arena, es posible aumentar o reducir la resistencia y durabilidad previstas para acabados destinados a proteger estructuras expuestas a la intemperie.

Por último, es importante hacer notar que, aunque estos procedimientos fueron previstos originalmente para la reparación de componentes con sustratos térreos, a lo largo de diferentes prácticas también se han utilizado con éxito como relleno y protección de muros de ladrillo y de piedra (Figura 11).

## CONCLUSIONES

La arquitectura de tierra enfrenta variados retos de conservación derivados de las dificultades que presentan las arcillas para trabajar de manera compatible con otros materiales constructivos. Se trata de minerales que requieren mantener rangos de humedad

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 11.  
 Restauración de un  
 horno patrimonial  
 durante un  
 curso-taller para  
 conservadores de  
 la Escuela Taller de  
 Boyacá, en Villa de  
 Leyva, Colombia  
 (Fotografía: Luis  
 Fernando Guerrero  
 Baca, 2018).



muy específicos para conservar la forma y las propiedades mecánicas de los componentes constructivos que constituyen. La falta o el exceso de agua provocan su disgregación, por lo que la interacción que deben tener con las sustancias que las rodean debe permitir el equilibrio que las arcillas desarrollan con su entorno, a partir de procesos cotidianos de ingreso y salida de vapor (Minke, 2005, p. 19).

Por otra parte, los sistemas constructivos de tierra se sustentan en el trabajo orgánico de sus componentes, de manera que los esfuerzos se repartan equitativamente entre todos ellos con la finalidad de evitar concentraciones de cargas. Las estructuras se componen de elementos que interactúan de manera dinámica, por lo que no resultan mecánicamente compatibles con elementos rígidos ni con uniones que limiten su autonomía de movimiento.

Por esos motivos, las estructuras históricas de tierra siempre se diseñaron para tener libertad de desarrollar procesos de evapo-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



transpiración y, además, interactuar con componentes constructivos cuya resistencia sea comparativamente baja, para que no les provoquen daños en caso de que se presenten desequilibrios de esfuerzos como los que resultan de hundimientos diferenciales y sismos.

Además de esas claves del diseño histórico y tradicional, otro de los factores de éxito de las estructuras de tierra se deriva de los procesos de mantenimiento preventivo que recibieron durante siglos de ocupación. Las sociedades siempre contaron con los conocimientos necesarios para revisar los componentes constructivos y periódicamente, cuando fuera necesario, colocarles superficies protectoras, sustituir faltantes o reparar elementos dañados. Eso explica por qué ciudades como Kaminaljuyú en Guatemala, Huacas de Moche en Perú o La Joya en Veracruz, México, tuvieron ocupaciones que, en condiciones geográficas altamente complejas, superaron 10 o 15 siglos en edificios construidos por completo con tierra.

Empero, la pérdida de la tradición y la falta de tiempo para la ejecución de estas actividades han incidido en su progresivo abandono y en la búsqueda de alternativas de protección con materiales ajenos a la tierra. A finales del siglo pasado, y en el presente con mayor intensidad, los inmuebles históricos y tradicionales han sido alterados en su estructura y se han recubierto con morteros de cemento, con pinturas y acabados sintéticos que a la larga han resultado sumamente nocivos.

Ante esa pérdida cultural, se hace necesaria la búsqueda de los conocimientos olvidados y su implementación como medios de intervención de inmuebles dañados o abandonados, con el fin de conservarlos y, de ser posible, adaptarlos para darle mejores condiciones de vida a sus herederos.

Existen diferentes procedimientos dirigidos a la recuperación del comportamiento estructural de edificios de adobe, pero la mayor parte de ellos resultan complicados, caros y requieren la participación de especialistas. Ese hecho impacta fuertemente las labores de preservación de este tipo de patrimonio, el cual suele ser demolido, en vez de reparado.

Las técnicas de intervención que se reseñan en el presente artículo se basan en investigaciones emprendidas desde hace casi 10 años, en las que se ha buscado incrementar la resistencia y durabilidad de componentes constructivos de tierra. Se ha comprobado que la incorporación de capas sucesivas de suelos modelados que son estabilizados con cal y posteriormente densificados de forma manual permite restablecer la unidad visual y estructural de mu-

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



FIGURA 12. Práctica de consolidación y reenterramiento usando tierra modelada en las clases de la Maestría en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles de la ENCRYM-INAH (Fotografía: Luis Fernando Guerrero Baca, 2019).



Con este procedimiento, además de conseguirse una óptima compatibilidad material, se desarrollan intervenciones planamente sostenibles desde el punto de vista económico, ecológico y sociocultural, al emplear materiales abundantes en la región, bajo consumo de agua, cantidades mínimas de hidróxido de calcio y mano de obra local, contribuyendo a la recuperación de saberes de origen ancestral que, al haber sustentado la vida de sociedades complejas en todo el orbe, han demostrado su eficiencia (Guerrero, 2015, p. 81).

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
JULY-DECEMBER 2020



Para que una obra de preservación sea realmente sostenible debe incluir estrategias de participación social que prevean opciones para que sus habitantes, de manera colectiva, realicen labores de mantenimiento preventivo.

Ninguna restauración debería pensarse como un hecho consumado que durará para siempre. Se trata de procesos continuos que habrán de proporcionar trabajo a sus herederos, permitiéndoles ampliar sus conocimientos constructivos para aplicarlos en sus propias viviendas. Sólo así se podrá conseguir la apropiación social del patrimonio edificado y el mejoramiento en la calidad de vida de las comunidades que lo han recibido como legado.

### REFERENCIAS

Cerro, M. y Baruch, T. (2011). *Enduits terre & leur décor, mode d'emploi*. París: Eyrolles.

De Anda, F. (6 de diciembre de 2017). Intervenciones de mala calidad causaron colapso de monumentos: INAH. *El Economista*. Recuperado de <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Intervenciones-de-mala-calidad-causaron-colapso-de-monumentos-INAH-20171002-0082.html>

Dipasquale, L., Omar, D. y Mecca, S. (2014). Earthquake resistant systems. En M. Correia, L. Dipasquale y Saverio M. (Eds.), *VerSus. Heritage for Tomorrow* (pp. 233-239). Florencia: Firenze University Press.

Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. y Vitoux, F. (1996). *Construir con tierra, Tomo II*. Bogotá: CRAterre-Fondo Rotatorio Editorial.

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

Guerrero, L. F. (2019). Comportamiento sísmico de viviendas tradicionales de adobe, situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, *Gremium*, 6(11), 104-117.

Guerrero, L. F. (2018). Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazso"*, 48(1), 125-141.

Guerrero, L. F. (2016). El papel de la humedad y la compactación en la elaboración de revestimientos de tierra. *Revista Construcción con Tierra*, 7, 11-22.

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020



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

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

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

Guerrero, L. F., Roux, R. y Soria, F. J. (2011). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. *Revista Palapa*, 1(10), 45-57.

Guerrero, L. F. y Vargas, J. (2015). Local Seismic Culture in Latin America. En M. Correia, P. Lourenço y H. Varum (Eds.), *Seismic Retrofitting: Learning from Vernacular Architecture* (pp. 61-66). Londres: Taylor & Francis Group.

Guillaud, H. (2014). Prólogo. En L. F. Guerrero (Comp.), *Reutilización del patrimonio edificado en adobe* (pp. 15-25). México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Hoffmann, M., Negrini, F. y Falleiros, A. (2011). Tapia. En C. Neves y O. Faria (Eds.), *Técnicas de construção com terra* (pp. 46-6). Bauru: FebUnesp/ProTerra.

Juárez, E. y Rico, A. (2010). *Mecánica de suelos, Tomo I, Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.

McHenry, P. (1996). *Adobe. Cómo construir fácilmente*. México: Trillas.

Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Montevideo: Fin de Siglo.

Pastor, M. (2017). *La construcción con tierra en arqueología. Teoría, método, técnicas y aplicación*. Alicante: Universitat D'Alacant.

Rocha, M. y Jové, F. (2015). *Técnicas de construcción con tierra*. Lisboa: Argumentum.

Vargas, J., Gil, S., Jonnard, F. y Montoya, J. (2015). Camino prehispánico Pando. En C. Neves (Ed.), *Tierra, sociedad, comunidad. 15° Seminario*

## Intervención

JULIO-DICIEMBRE 2020  
 JULY-DECEMBER 2020

*Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 284-297).  
 Cuenca, Ecuador: ProTerra/Universidad de Cuenca.

Warren, J. (1999). *Conservation of Earth Structures*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Weismann, A. y Bryce, K. (2010). *Construire en terre facilement. La technique du cob*, Sète. París: La Plage.

**SÍNTESIS CURRICULAR DEL AUTOR**

**Luis Fernando Guerrero Baca**

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X), México

[luisfg1960@yahoo.es](mailto:luisfg1960@yahoo.es)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8256-4851>

Arquitecto, maestro en Restauración y doctor en Diseño con especialidad en Conservación del Patrimonio. Profesor-investigador de la UAM-X. Jefe del Área de Investigación y Cuerpo Académico en Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado de la UAM-X. Miembro de la Red Iberoamericana ProTerra y de la Chaire UNESCO, Architectures de terre, cultures constructives et développement durable.

