

Isadora Hastings García, Luis Fernando Guerrero Baca

Transference of sustainable preservation techniques for building adobe dwellings in Ixtepec, Oaxaca, Mexico

Transferencia de técnicas sostenibles de conservación para la construcción de viviendas de adobe en Ixtepec, Oaxaca, México

Transferência de técnicas sustentáveis de conservação para a construção de moradias de adobe em Ixtepec, Oaxaca, México

Keywords | Palabras clave | Palavras chave

Built heritage, Earthen architecture, Restoration, Seismic zones, Self-build

Patrimonio edificado, Arquitectura de tierra, Restauración, Zonas sísmicas, Autoconstrucción

Património edificado, Arquitectura de terra, Restauração, Zonas sísmicas, Autoconstrução

Abstract | Resumen | Resumo

Restoration of adobe structures faces problems such as the loss of traditional building knowledge. This loss has led to using materials which are incompatible with those buildings, such as the use of cement for finishings and reinforced concrete for repairing structures. In a research and action program for Oaxaca, Mexico, measures were put in place to restore adobe houses damaged during the 2017 earthquakes. These measures involved recouping vernacular construction techniques that predominantly use natural materials. The Cooperación Comunitaria civic association organized workshops in which the people of Ixtepec could learn low-cost methods of repairing structural damages in buildings. They were trained in the construction procedures used in historical and vernacular buildings of Mexican and Peruvian seismic zones. Besides the efficiency of timber reinforcements, injecting with clayey soil, and restoring walls with rammed earth and lime, attention was drawn to the viability of transferring technologies for application in self-build projects.

La restauración de estructuras de adobe enfrenta, entre otros problemas, el de la pérdida de conocimientos constructivos tradicionales que condujo al empleo de materiales incompatibles con ellas, como los revestimientos de cemento y los refuerzos de hormigón armado. A partir de procesos de investigación y actuación en Oaxaca (México) se han puesto en práctica medidas para restaurar casas de adobe que fueron dañadas durante los terremotos del 2017. Estas medidas han tomado como base el rescate de técnicas vernáculas de construcción que emplean básicamente materiales naturales. La asociación civil Cooperación Comunitaria llevó a cabo talleres que permitieron a los habitantes de Ixtepec aprender a reparar con muy bajo costo los daños estructurales sufridos por sus edificios. Para ello, fueron formados en técnicas

constructivas ya utilizadas en edificios históricos y vernáculos localizados en zonas sísmicas de México y Perú. Además de comprobar el adecuado comportamiento de refuerzos de madera, inyecciones de tierra arcillosa y restitución de volúmenes de muros con tierra compactada y cal, se puso en evidencia la viabilidad de la transferencia de tecnologías aplicables a la autoconstrucción.

A restauração de estruturas de adobe enfrenta, entre outros problemas, a perda de conhecimento construtivo tradicional. Conseqüentemente, isto motivou o emprego de materiais incompatíveis com essas estruturas, como os revestimentos de cimento e os reforços de betão armado. A partir dos processos de investigação e actuação em Oaxaca (México) puseram-se em prática medidas para a restauração de casas de adobe danificadas durante os terremotos de 2017. Estas medidas tiveram como base o resgate de técnicas vernáculas de construção que empregam apenas materiais naturais. A associação civil Cooperação Comunitária realizou cursos de formação que permitiu aos habitantes de Ixtepec aprender a reparar os danos estruturais sofridos nos seus edifícios com um custo bastante reduzido. Assim, os habitantes foram formados em técnicas construtivas que já tinham sido utilizadas em edifícios históricos e vernáculos localizados em zonas sísmicas de México e Peru. Para além de comprovar o adequado comportamento de reforços de madeira, injeções de terra argilosa e a restituição de volumes de paredes com terra compactada e cal, também se evidenciou a viabilidade da transferência de tecnologia aplicável à autoconstrução.

Introducción

El Istmo de Tehuantepec, en México, presenta un clima tropical cálido, con temperaturas de hasta 43°C en verano. Tiene un suelo lacustre en la zona sur y terrenos rocosos hacia el norte, junto a una cadena montañosa. Su geomorfología hace que sea una de las regiones del país con los vientos más fuertes, y todos los años se ve afectada por ciclones y huracanes provenientes de los océanos Atlántico y Pacífico (Fig. 1). Además, según la Regionalización de Sismicidad de México, se encuentra localizada en la región "D", que es la más vulnerable (CENAPRED 2014).

Sin embargo, a pesar de las adversas condiciones naturales, desde hace milenios las sociedades locales lograron desarrollar procedimientos constructivos que permanecen vigentes en sus manifestaciones vernáculas gracias a la transferencia de los saberes ancestrales de generación en generación.

Tanto las viviendas tradicionales como la infraestructura donde las mujeres realizan sus actividades domésticas y productivas dependen principalmente de dos bienes naturales: la madera y la tierra, ya sea cruda o transformada en ladrillos y tejas. Sin embargo, la alta deforestación y la

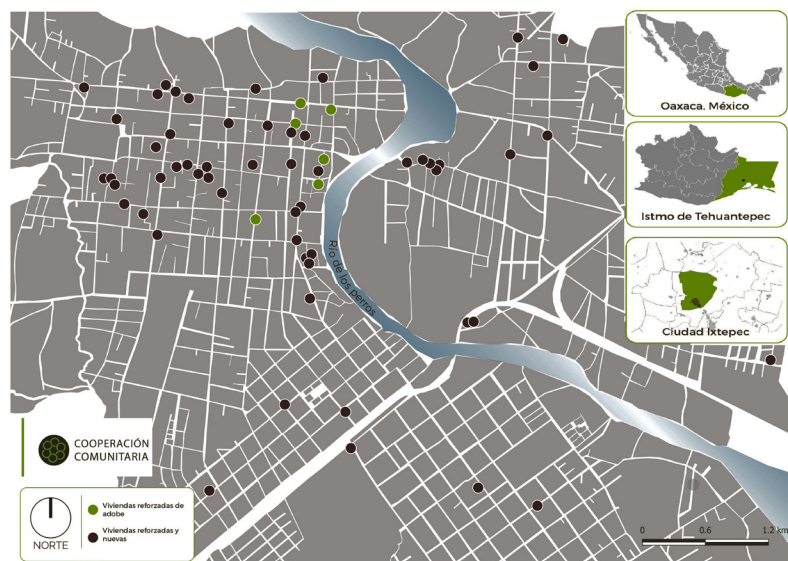


Figura 1. Localización de las intervenciones de reconstrucción y refuerzo de viviendas tradicionales istmeñas en Ixtepec, Oaxaca (Cooperación Comunitaria)

erosión del suelo por el uso de agroquímicos, además de la creciente conexión con las ciudades, han generado la pérdida de las prácticas constructivas originarias, el incremento del uso de materiales industrializados y, en consecuencia, la alteración de un funcionamiento estructural probado secularmente.

El 7 de septiembre de 2017 un sismo con magnitud de 8,2 con epicentro en Chiapas (México) afectó gravemente a comunidades de los estados de Oaxaca y Chiapas. Se trató del sismo de mayor magnitud registrado en México en cien años (CNN Español 2017). En el caso de Oaxaca, los principales efectos ocurrieron en el Istmo de Tehuantepec, donde muchas de las comunidades indígenas de origen *binnizá* (zapoteca) e *ikoot* (huave) quedaron severamente dañadas. La situación se volvió crítica el 23 de septiembre, cuando el sitio fue el epicentro de un nuevo sismo de 6,3 grados.

En este contexto interviene la organización Cooperación Comunitaria A.C., fundada en 2010 con la misión de realizar acciones dirigidas hacia la reducción de la vulnerabilidad y a mejorar las condiciones de habitabilidad de las comunidades rurales de México, mediante el fortalecimiento de sus capacidades constructivas y productivas. Este colectivo busca facilitar la autogestión desde los ámbitos sociocultural, ambiental, territorial y económico, recuperando y preservando los saberes tradicionales (Cooperación Comunitaria 2020).

La metodología de trabajo de Cooperación Comunitaria es integral, participativa y formativa, está dirigida a que las poblaciones rurales sean más autónomas, y se basa en la Producción y Gestión Social del Hábitat. Este procedimiento consta de seis etapas, que se llevan a cabo colectivamente, y está dirigido a la recuperación de prácticas de ayuda mutua y a la formación, tanto técnica como para la autogestión. Además, propone un cambio profundo a través del aprendizaje constante, como una estrategia de resistencia y de transformación (Fig. 2).

Figura 2. Participación de las mujeres de la comunidad en la construcción, Ixtepec, Oaxaca (Cooperación Comunitaria)



Se realizan acciones en dos vertientes. En primer lugar, la mencionada “Producción y Gestión Social del Hábitat”, en la cual se trabaja con grupos organizados para fortalecer sus procesos de autogestión, mediante el aumento de capacidades productivas y constructivas, siempre en concordancia con su cultura y en relación con el hábitat.

La segunda línea de trabajo, denominada “Reconstrucción Integral y Social del Hábitat”, se lleva a cabo con poblaciones afectadas por desastres socio-naturales con el fin de reducir su vulnerabilidad y de contribuir a su reconstrucción de manera integral, tanto material como socialmente (Cooperación Comunitaria 2013).

La vivienda tradicional istmeña y su recuperación

Cuando Cooperación Comunitaria llegó a la zona afectada por los terremotos del 2017, su trabajo comenzó con una serie de recorridos para analizar los daños constructivos existentes y sus diversas causas.

La mayor parte de las viviendas tradicionales estaban construidas con muros de albañilería de ladrillo, morteros de cal y cimentaciones profundas de piedra de río (Fig. 3). Los techos cubiertos de teja alcanzaban de 5 a 6 metros de altura y estaban estructurados mediante vigas de madera que soportaban una tablazón realizada con un material leñoso conocido localmente como *biliguana*, que se extrae en forma de duelas del núcleo seco de un cactus local. En un número menor, se conservaban viviendas más antiguas construidas con muros de adobe de 80 centímetros de espesor y tejados de la misma altura que en las casas de ladrillo. Finalmente, en la periferia de los asentamientos pervivían algunas casas con muros de *bahareque* y techos también de teja. Un rasgo destacable de la forma de vida regional es la disposición de las cocinas como espacios separados del resto de las habitaciones. Estos recintos tienen muros de *bahareque* con amplios vanos para su

Figura 3. Casa de tradicional que no fue afectada por los terremotos, Ixtepec, Oaxaca (Cooperación Comunitaria, 2020)



adecuada ventilación, ya que se conserva la tradición del empleo de fogones y hornos de leña.

De este modo, en paralelo al análisis y el diagnóstico de los daños detectados en los distintos sistemas constructivos, así como de la vulnerabilidad que estos daños imponían sobre los habitantes de cada casa, se pudo realizar un estudio de la tipología de la vivienda tradicional istmeña, que hasta ese momento había sido muy poco documentada.

Para Cooperación Comunitaria es indispensable el conocimiento y el respeto de la arquitectura tradicional de las poblaciones originaria son indispensables en cualquier intervención. Su trabajo reconoce que esta arquitectura produce los espacios y las condiciones de habitabilidad adecuadas para las necesidades y las formas de vida de cada comunidad. Así, en el caso de la vivienda tradicional istmeña, su materialidad, sus dimensiones, su orientación y estructura están adaptados al ecosistema local, al clima cálido, a la elevada humedad, a las temporadas de lluvias torrenciales y a los fuertes sismos. Además, la conformación de la vivienda local es indisoluble de las prácticas culturales de la comunidad. Las amplias habitaciones cuentan con un espacio para un altar familiar, en el que pervive un sincretismo de creencias ancestrales y católicas. También es indispensable el corredor o pórtico, generalmente definido por cuatro columnas que, según la cultura Binnizá, representan los pilares que sostienen la tierra (Fig. 4). En ese espacio de transición entre el interior y el exterior los habitantes desarrollan la mayor parte de sus actividades sociales y familiares, al ser el lugar de la casa donde mejor corre el viento.

El diagnóstico del sitio permitió verificar que, si bien los sismos afectaron gravemente las estructuras de las viviendas, incluso en aquellas que tenían mamposterías confinadas por refuerzos de hormigón armado, el 90%

de estos daños eran reparables. Desafortunadamente, por diversos motivos sociales, políticos y económicos, esta condición fue el pretexto perfecto para que las empresas inmobiliarias y constructoras privadas hicieran negocio de la demolición de las casas tradicionales, que fueron sustituidas por viviendas pequeñas, de techos bajos y delgados muros, totalmente inadaptadas a las condiciones climáticas y a la cultura local.

Desde el inicio de los trabajos, el gran reto para Cooperación Comunitaria fue proponer un proceso de reconstrucción que integrara lo social y lo técnico, al tiempo que fomentara el trabajo colectivo y comunitario, y reconociera la relación de la arquitectura con el territorio y sus bienes naturales.

Después de realizar el diagnóstico, el levantamiento y el análisis tipológico, se procedió a diseñar una campaña para evitar que prosiguieran las demoliciones. Para ello, se buscó que las personas damnificadas valoraran más su patrimonio. Se insistió en la necesidad de que no siguieran permitiendo dictámenes erróneos, acompañados de la vorágine mercantil que condujo a la demolición de cientos de inmuebles y la contaminación del río al que se fueron arrojando los escombros resultantes de ella. En este proceso de destrucción, ni siquiera se separó la gran cantidad de materiales que podían haber sido reutilizados en nuevas construcciones, tales como vigas, morillos y planchas de madera, ladrillos con mejores resistencias que los actuales, tejas que ya no se fabrican en la localidad, y puertas y ventanas de valiosas maderas tropicales.

Esta campaña llevó algunas semanas, mientras se avanzaba en los diagnósticos técnicos y la elaboración de las propuestas de refuerzo y reconstrucción para cada sistema constructivo de la localidad, a fin de mejorar su comportamiento ante los sismos, la lluvia y los vientos.



Figura 4. Casa tradicional de bahareque en la periferia de Ixtepec, Oaxaca (L. F. Guerrero, 2018)



Figura 5. Inicio de intervención en una casa monumental de adobe (Cooperación Comunitaria, 2019)

Para aquellas viviendas que fueron demolidas, se realizó un diseño a partir de la tipología tradicional de casa de ladrillo cocido que, con dimensiones espaciales ligeramente menores, mantuviera las condiciones de habitabilidad y el confort bioclimático requeridos. A partir del estudio de los motivos por los que las estructuras tradicionales habían fallado, se propusieron refuerzos en los que se empleara el mínimo posible de componentes de hormigón armado y acero. El resto de la materia prima era local, y casi siempre reutilizada de las demoliciones. En el caso de las viviendas que fueron rescatadas, el 98% de los materiales usados en las intervenciones de restauración eran reutilizados de las construcciones preexistentes.

A través de esta campaña se lograron rescatar 87 viviendas de la demolición. Sin embargo, sólo se trabajó en la restauración de 56 de éstas, mientras que en los 22 casos restantes los habitantes optaron por la realización de viviendas nuevas según la tipología local. En el caso de las casas rescatadas, sólo tres tenían muros de *bahareque* y dos los tenían de adobe (Fig. 5).

Al comenzar las labores de reconstrucción y restauración de las viviendas se propuso la capacitación de los albañiles locales y otros miembros de la comunidad en la construcción con tierra, así como al propio personal de Cooperación Comunitaria. Se aprovechó el proceso de reparación de las viviendas para generar actividades de transferencia de tecnología tanto a los habitantes de las estructuras dañadas como a otros vecinos que tuvieran interés en aprender estrategias que les permitieran reparar construcciones de tierra con un mínimo gasto y procedimientos sencillos de autoconstrucción.

La restauración de estructuras de adobe en zonas sísmicas

Los principales problemas hallados en la restauración de edificios de adobe están vinculados a la pérdida de la tradición constructiva. Entre ellos, destaca la falta de mantenimiento preventivo durante las últimas décadas. Los habitantes y los artesanos locales ya no practican la construcción con tierra y en sólo dos generaciones los saberes ya se han diluido. Además, la situación se complica con la pérdida de confianza en los materiales naturales a la que ha llevado ese proceso de deterioro del conocimiento.

Aunque la construcción con tierra ha sido históricamente la principal forma de construir en el país, la llegada de materiales industrializados tuvo un profundo impacto tanto en la restauración del patrimonio como en la edificación vernácula y tanto desde el punto de vista material como desde el inmaterial. Los habitantes de estas arquitecturas y las diversas instituciones encargadas de la protección de inmuebles antiguos creyeron el mensaje difundido por los productores de cemento, acero y polímeros industrializados: que sus productos podían ser incorporados a todo tipo de edificios para conseguir una protección superficial y un refuerzo estructural de muy larga duración. Con ello, se fueron olvidando los saberes ancestrales asociados a la edificación y el mantenimiento de las obras de tierra, un patrimonio intangible de notable significado cultural.

De este modo, a partir de la segunda mitad del siglo XX, estructuras patrimoniales de todo tipo, desde los grandes monumentos arquitectónicos y sitios arqueológicos, hasta las pequeñas viviendas rurales, han sido “reforzadas o protegidas” con materiales incompatibles con sus propias estructuras y sistemas constructivos que, además de

modificar su relación con la humedad y la temperatura circundantes, los hicieron más vulnerables ante los sismos que afectan de forma frecuente a una parte importante del territorio mexicano.

En este contexto, los terremotos de gran magnitud que sacudieron el territorio de siete entidades de la República Mexicana en septiembre del 2017 tuvieron un efecto devastador en dos sentidos. Por un lado, dañaron gravemente inmuebles antiguos cuya integridad estructural había sido alterada con modificaciones como desarrollos en altura, subdivisiones y refuerzos con estructuras y materiales inapropiados. Por otro, generaron una gran desconfianza en los habitantes de los inmuebles históricos afectados, sobre todo como consecuencia de la alarmante forma en que se fracturan los rígidos revestimientos de cemento que han sido aplicados sobre muros de tierra.

Ante esta situación, una parte fundamental del proceso de recuperación de las viviendas que llevó a cabo Cooperación Comunitaria fue la comunicación a la sociedad de la combinación de causas que incidió en la aparición de este tipo de daños. Se procuró en todo momento que se entendiera la relevancia y la coherencia de los materiales y los sistemas constructivos tradicionales utilizados en la arquitectura local, así como las consecuencias derivadas de la alteración de esa coherencia. Así, por ejemplo, se enfatizó el hecho de que, bajo los revocos de cemento gravemente fracturados por su rigidez, los muros de adobe mantenían un notable nivel de integridad, y la mayoría de los daños identificados en ellos podían ser fácilmente reparados (Fig. 6).

Cuando un muro de adobe se rompe como resultado de sismos, hundimientos diferenciales o empujes laterales, en las normas y especificaciones de restauración vigentes hasta finales del siglo pasado se recomendaba la “inyección de

grietas” con morteros fluidos de cal y arena “enriquecidos con 6 a 10% de cemento” (SEDUE 1984: 54). Esta solución fue aplicada en gran cantidad de monumentos de México y a la larga ha mostrado no sólo ser ineficaz para la reparación de sus estructuras, sino incluso dañino para ellas. Cuando se rellenan los huecos de un muro que fue construido con tierra utilizando morteros y lechadas de cal con cemento, además de que normalmente no se consigue la adecuada adherencia entre los materiales nuevos y los existentes, el volumen integrado tiene un comportamiento estructural rígido, ajeno a la ductilidad que caracteriza a las obras de adobe. Tras intervenciones de este tipo, en caso de sismo, el material de relleno que a través de las grietas recorre los muros de manera vertical o diagonal, va a comportarse como una “cuña” rígida que rompe los adobes que están en torno a ella. Además, las vibraciones a lo largo del muro cambian su resonancia al chocar contra la pieza rígida conformada por el volumen de mortero con cemento y provocan grietas en partes sanas de las estructuras (Fig. 7). Este efecto se puso de manifiesto en forma dramática en el terremoto del 2017 en monumentos de gran relevancia, tanto en los construidos con tierra como en los de mampostería de piedra (González 2019).

Otra alternativa que se suele utilizar en la reparación de muros que fueron afectados por grietas o fisuras es la que se conoce como “costura”, que consiste en sustituir algunos de los adobes rotos por piezas nuevas (DECON UC. 2010.). Sin embargo, aunque esta técnica ha probado su eficiencia en diversos países en los que se conserva la tradición constructiva con adobe, y es mucho más eficiente que la inyección con morteros de cal, tiene al menos dos inconvenientes. El primero surge de la necesidad de golpear o perforar las estructuras para retirar los adobes rotos, con lo que se pueden generar daños colaterales si esta práctica no se realiza con suficiente cuidado. El segundo es que

Figura 6. Al retirar los revestimientos se observó que los daños en las viviendas de adobe no fueron graves (Cooperación Comunitaria)



Figura 7. Reparaciones realizadas décadas atrás con materiales incompatibles que incidieron en el colapso de las bóvedas del convento del siglo XVI tras el terremoto del 2017, Jantetelco, Morelos (L. F. Guerrero)



los adobes reintegrados, si tienen la misma resistencia que el resto del conjunto, ésta ya había demostrado no ser suficiente, puesto que los muros ya fallaron; mientras que, si se colocan piezas con resistencias mayores a las de los adobes existentes, esto puede provocar que en futuros sismos las fallas se presenten en otras zonas de los muros, con lo que la estructura se iría debilitando paulatinamente (Correia, Guerrero y Crosby 2015).

Un recurso que actualmente está siendo muy utilizado para consolidar y “reforzar” muros afectados por grietas a consecuencia de movimientos sísmicos es la incorporación de mallas metálicas, bien en una de sus caras o bien en ambas (Barcaza Soto 2010). Ese procedimiento llegó a ser recomendado a nivel institucional en México y a aplicarse en varios edificios patrimoniales dañados por los sismo del 2017, si bien (Torres y Jorquera 2018: 8):

Cabe mencionar que en Chile, el uso de mallas metálicas lleva unas décadas de aplicación (las malla hexagonales galvanizadas fueron las primeras en ser usadas), usualmente se usaban con morteros de cemento. Sin embargo, en el terremoto del 2010 se demostró que estos recubrimientos de cemento con malla en tabiques de madera (usualmente de roble o pino oregón) fallaron, principalmente, porque las cargas debidas al espesor de los morteros fueron excesivas, pero también por la incompatibilidad mecánica de los materiales (...) Debido a ello actualmente, se usan revoques de tierra, de mejor compatibilidad mecánica con el muro. No obstante, se cuestiona la compatibilidad química del acero de la malla con las arcillas de los revoques, las cuales pueden incidir en el proceso corrosivo del metal y la pérdida de su capacidad resistente.

La colocación de las mallas metálicas, además de resultar costosa y complicada, daña de manera irreversible a los muros, que tienen que recibir cientos de perforaciones por las que se pasan puentes que fijan o unen las mallas al muro. Si bien es cierto que este recurso evita el colapso de las paredes ante un sismo, también hacen que queden en condiciones irreparables tras él, ya que el comportamiento que adquiere el muro reforzado no se corresponde con la lógica dúctil del adobe. Con esta práctica, se debilita tanto el núcleo de los muros como las uniones con otros muros y, sobre todo, de los muros con la cimentación, a consecuencia de la nueva condición estructural que adquieren al haber sido rigidizados (Fig. 8). Al presentarse un sismo, en vez de que cada adobe transmita los esfuerzos de manera discreta al resto de la estructura, este tipo de “refuerzo” hace que el muro se comporte masivamente y tenga movimientos pendulares para los que nunca fue diseñado, por lo que aparecen grietas horizontales por volteo o por golpe de ariete en los cambios de dirección de las estructuras o en torno a puertas y ventanas.

Por estos motivos, el criterio seguido en las reparaciones que se reseñan en este texto parten del conocimiento secular de la construcción con tierra y de las formas tradicionales de intervenir en ella, que tienen como característica fundamental el evitar oponerse a los movimientos telúricos mediante la rigidización de las estructuras. Las culturas constructivas tradicionales y su herencia, decantada en las obras vernáculas, han hecho evidente que la lógica para que este tipo de construcciones puedan superar con éxito los fenómenos sísmicos ha de partir en la adecuada articulación de los componentes de forma que permitan el movimiento de los edificios dentro de determinados límites (Guerrero y Vargas 2015).

Figura 8. Refuerzo con mallas metálicas en un edificio patrimonial de Coinco, Chile (Foto: L. F. Guerrero)

Figura 9. Colocación tradicional de los núcleos de las plataformas en “paquetes” de adobes en Huaca Pucllana, Perú (I. Hastings, 2019)



Además del empleo de los métodos convencionales de restauración de grietas y faltantes, que consisten en la sustitución de adobes en las secciones de muro que sufrieron colapsos, se introdujeron tres procedimientos de intervención tomados de las culturas constructivas ancestrales. Estas estrategias de construcción y refuerzo han sido documentadas en sitios arqueológicos y viviendas vernáculas de diversas zonas sísmicas, y puestos en práctica para su evaluación desde hace más de veinte años en el “Taller de Materiales Constructivos Tradicionales de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco”, en la Ciudad de México (Guerrero, Soria y Roux 2015). Estos procedimientos consistieron en la integración de elementos de Tierra Amasada y Compactada (TAC), la introducción de refuerzos horizontales de madera y la aplicación de recubrimientos de tierra estabilizada con cal (Guerrero y Uviña 2020).

Otro de los conceptos en los que se apoyaron las propuestas de intervención en estructuras de adobe afectadas por sismos que se pusieron en práctica en Ixtepec, es el de las estructuras articuladas prehispánicas, documentadas en diversos hallazgos arqueológicos. Se trata de sistemas en los que el diseño de los muros, los entrepisos y las cubiertas está concebido para permitir su desplazamiento durante los terremotos. En vez de conformar componentes masivos y unitarios, presentan siempre piezas o bloques separados entre sí. De esta forma, las fuerzas derivadas de los empujes laterales inducidos por el sismo son interrumpidas por las múltiples “juntas constructivas” existentes y la energía se disipa en forma de calor al presentarse mecanismos de fricción entre los propios componentes constructivos.

El diseño de estructuras de adobe con estas características parasísmicas puede observarse en sitios como las Huacas de Moche y la Huaca Pucllana, en Perú (Fig. 9), y en las pirámides de Teotihuacán, en México. En estos lugares es notoria la determinación de no realizar los núcleos de los basamentos y las plataformas piramidales mediante la disposición de hiladas continuas con traslapes o contrapeos a lo largo de toda su masa. Por el contrario, lo que se ha podido documentar es la generación de “paquetes” de adobes que son periódicamente interrumpidos por juntas constructivas verticales.

En las intervenciones que se practicaron mediante talleres de Ixtepec, en lugar de reemplazar los adobes rotos se optó por rellenar las grietas con pequeñas esferas de tierra amasada y compactada, de manera que se conservara la continuidad en la transmisión de cargas normales de los muros, pero también funcionaran como posibles articulaciones en los futuros terremotos que afecten a la región.

Además, el procedimiento de reconexión de elementos separados entre sí u horadados requiere tener en cuenta el problema de adherencia que generan las arcillas (Ávila y Guerrero 2018). La mezcla de tierra, una vez lista para rellenar grietas y faltas en muros de adobe, se encuentra en estado plástico y podría simplemente insertarse de manera directa y ser compactada con una cuchara de albañil o una llana para que se integre dentro del hueco a rellenar. Sin embargo, este procedimiento provoca que la masa de tierra colocada no logre una buena adherencia con los sustratos preexistentes por la diferencia de humedad entre ambos, a pesar de que previamente se haya saturado de agua la

Figura 10. Se elaboraron esferas con tierra tan parecida como fue posible a la del sustrato original y con la mínima humedad necesaria para darles forma (Cooperación Comunitaria).

Figura 11. Grapa de madera inserta bajo los adobes dañados (L. F. Guerrero)



cavidad. Además, conforme el volumen integrado empieza a secarse, el material nuevo se retrae y se separa con mayor intensidad del preexistente, hasta que finalmente cae por su propio peso (Minke 2005).

Por ello, la estrategia que se debe seguir para recuperaciones volumétricas de este tipo consiste en la inserción de pequeños cúmulos de material que previamente fueron modelados para dotarlos de forma esférica (Fig. 10). Este proceso de prefabricación, al que se la ha llamado Tierra Amasada Compactada (TAC), además de ayudar a dar consistencia a la masa de reposición, permite controlar el nivel óptimo de humedad requerido (Guerrero 2018). Si la tierra está demasiado seca o demasiado mojada, simplemente no se puede modelar con las manos para hacer las esferas. El amasado distribuye homogéneamente el agua en el interior de las micelas que conforman las arcillas, con el mínimo volumen necesario para mantenerlas estables y conservar su cohesividad. Se procede entonces a rellenar las cavidades o grietas que previamente se humedecieron con un aspersor, pero procediendo de manera paulatina, de forma que se conformen capas superpuestas, que progresivamente se presionan para ir uniéndolas entre sí y con los sustratos preexistentes. De este modo, los muros ya tienen “prevista” una junta que facilite un comportamiento similar al de las juntas constructivas de origen prehispánico. Además, la adecuada implementación de este sistema permite la reconexión de muros que han sufrido agrietamientos sin que sea necesario retirar las piezas dañadas, con lo que se ahorra mucho tiempo y dinero, al conservarse las piezas originales.

Las culturas que habitaron la zona durante siglos se dieron cuenta, gracias a la continuidad de procesos de ensayo y error, de que resultaba imposible realizar estructuras rígidas y pesadas que se opusieran a los sismos, de manera que desarrollaron diferentes recursos para procurar que los espacios habitables tuvieran envolventes ligeras y flexibles, capaces de moverse armónicamente con el suelo cuando fuera necesario. En las regiones con recursos forestales o con presencia de vegetación de bambúes se utilizaron sus componentes de manera integral o por secciones, pues maderas, cañas y sogas poseen notable flexibilidad y capacidad de deformación en diferentes sentidos. Además, existen destacables restos arqueológicos, como los de Caral (Perú), donde la madera, las cañas y las fibras vegetales se combinan con estructuras de tierra para conformar sistemas que no solamente cumplieron de manera adecuada su labor estructural durante el tiempo en el que estuvieron en uso, sino que han logrado conservarse hasta nuestros días, más de 4.500 años de haber sido ejecutados (Shady 2009).

En las intervenciones realizadas en Ixtepec, en las partes altas de los muros y en secciones críticas por las dimensiones de las grietas producidas por el sismo, con el fin de evitar desplazamientos que pudieran poner en peligro la integridad del sistema constructivo completo, se intercalaron alternamente en las juntas de mortero entre

los adobes “llaves” o “grapas” de madera que interconectan los elementos del sistema sin rigidizarlo. Este recurso constructivo, derivado de los estudios arqueológicos antes referidos, hace posible que con una intervención mínima, en la que se retiran pequeñas secciones de mortero de las juntas entre los adobes rotos, se genere un refuerzo que no compite ni en rigidez ni en capacidad de carga con el resto de la estructura (Fig. 11). Para la realización de este tipo de refuerzos, conviene insertar dos o tres tramos de madera o rajas de bambú, para lograr un mejor reparto de los esfuerzos. Estas piezas se asientan sobre un mortero de tierra en estado plástico aplicado después de humedecer perfectamente las caras que van a recibirlo y percutido después con una herramienta de madera para densificarlo. Tras la primera pieza, se colocan la segunda y la tercera, aplicando mortero entre ellas y repitiendo la misma operación. Esta actuación concluye con la realización de una protección superficial de la junta similar a la descrita para el resto de las grietas. Al final de este procedimiento, se continúa con el relleno de cavidades con pequeñas esferas, que se compactan progresivamente capa sobre capa hasta que el muro recupera su volumen y su continuidad original. Al igual que en el resto de los métodos de intervención utilizados, el desarrollo lento de las actividades es fundamental tanto para cuidar el adecuado llenado de oquedades como para que mediante la compactación manual continuada se evite la retracción volumétrica de la materia de relleno y su consecuente separación del sustrato y de las capas circundantes (Fig. 12). La compactación del relleno garantiza que el muro no solamente recupere su integridad original, sino también que adquiera la capacidad

Figura 12. Relleno de grieta y saneamiento de revestimiento con tierra estabilizada con hidróxido de calcio (Cooperación Comunitaria, 2019)



de carga necesaria como para soportar posibles esfuerzos sísmicos en el futuro. Como se ha repetido a lo largo del texto, se trata de una forma de intervención que no busca rigidizar ni reforzar en exceso una parte del todo, sino que se respeta su condición dúctil.

Finalmente, las intervenciones concluyen con la realización de revestimientos de tierra estabilizada con hidróxido de calcio (Fernández 1992). A pesar de que muchas de las viviendas históricas de Ixtepec ya habían perdido sus revestimientos originales y habían recibido otros de mortero de cal y arena, estas actuaciones permitieron recuperar su volumetría perdida y propiciar su continuidad. Además, una vez endurecidos los nuevos revestimientos, éstos pudieron ser pintados con lechadas de cal, como tradicionalmente se había hecho. De este modo, los muros no sólo recuperaron su comportamiento estructural original, sino también su imagen, con lo que se favoreció que la población local recuperara la confianza en su propia tradición constructiva (Fig. 13).

Reflexiones finales

Es importante mencionar que, además de las actuaciones de restauración y refuerzo estructural frente a sismo que se presentan en este texto, se desarrolló un proyecto de reconstrucción integral que incluyó la adaptación para uso cultural de algunos edificios.

En paralelo, se llevó a cabo un análisis de los riesgos territoriales y ambientales y una evaluación medioambiental general enfocados al cuidado del entorno. Así, se identificaron, cartografiaron e integraron en un programa de reforestación las maderas utilizadas en las distintas estructuras.

Se propuso también la reactivación de labores productivas de las mujeres, al reconstruir cocinas y hornos tradicionales y, finalmente, se edificó un espacio colectivo a través de un programa formativo-participativo mediante la técnica denominada *bahareque cerén*, que utiliza varas como refuerzo estructural en las esquinas de los inmuebles a diferencia de los horcones que tradicionalmente se han empleado para este fin. Esto contribuye a reducir la deforestación y promueve un uso más racional de los recursos existentes.

El rescate y la conservación de los saberes tradicionales de construcción adquieren relevancia cuando se materializan en la mejora de la calidad de vida de las comunidades que son las herederas directas de estas culturas constructivas. Además, las ventajas de conservarlos y promoverlos hoy en día, especialmente en las zonas rurales, son numerosas, ya que contribuyen a reactivar la economía local, a diversificar los conocimientos y las soluciones constructivas disponibles, a reducir el gasto energético tanto durante la construcción como durante la vida útil de los edificios, a reducir las emisiones de CO₂ y, en estos tiempos de crisis climática sin precedentes, también a paliar la vulnerabilidad de las poblaciones más sensibles a estas circunstancias.

Figura 13. Interior de una de las viviendas de adobe al concluir la intervención (Cooperación Comunitaria, 2019)

Figura 14. Fachada de vivienda restaurada (Cooperación Comunitaria, 2019)



Bibliography | Bibliografía | Bibliografia

- Ávila, Esmeralda; y Guerrero, Luis Fernando. 2018. El mucílago de *Opuntia Ficus* como estabilizante en recubrimientos de tierra. En Neves, Célia; Salcedo, Zazanda; y Borges, Obede (eds.). *Memorias del SIACOT-2018*, 115-126. Ciudad de Guatemala: PROTERRA.
- Barcaza Soto, Santiago (ed.). *Documentos técnicos: Tierra Cruda. Manual de Terreno*, 32. Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.
- CENAPRED. 2014. *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos geológicos*. Ciudad de México: SEGOB.
- CNN Español. 8 de septiembre de 2017. *El terremoto más fuerte en 100 años en México deja decenas de muertos*. <https://cnnespanol.cnn.com/2017/09/08/sismo-de-magnitud-80-sacude-costa-sur-de-mexico/> (consultado el 13/09/2020).
- Cooperación Comunitaria. 2013. *Producción y gestión social del hábitat con grupos organizados*. <https://cooperacioncomunitaria.org/2013/09/produccion-y-gestion-social-del-habitat-con-grupos-organizados/> (consultado el 13/09/2020).
- Cooperación Comunitaria. 2020. *¿Quiénes somos?*, <https://cooperacioncomunitaria.org/quienes-somos/> (consultado el 13/09/2020).
- Correia, Mariana; Guerrero, Luis; y Crosby, Anthony. 2015. Technical Strategies for Conservation of Earthen Archaeological Architecture. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 17, 3: 224-256.
- DECON UC. 2010. *Manual para la reparación de viviendas dañadas. Programa de reconstrucción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil.
- Fernández, Carlos. 1992. *Mejoramiento y estabilización de suelos*. Ciudad de México: Limusa.
- González, Alejandra. 2019. *Construcción y destrucción de conventos del siglo XVI. Una visión posterior al terremoto del 2017*. Ciudad de México: FONCA.
- Guerrero, Luis; y Vargas, Julio. 2015. Local Seismic Culture in Latin America. En Correia, Mariana; Lourenço, Paulo; y Varum, Humberto (eds.). *Seismic Retrofitting: Learning from Vernacular Architecture*, 61-66. Londres: Taylor & Francis Group.
- Guerrero, Luis. 2016. El papel de la humedad y la compactación en la elaboración de recubrimientos de tierra. *Revista Construcción con Tierra*, 7: 11-22.
- Guerrero, Luis; Correia, Mariana; y Guillaud, Hubert. 2012. Conservación del patrimonio arqueológico construido con tierra en Iberoamérica. *Revista Apuntes*, vol. 25, 2: 210-225.
- Guerrero, Luis. 2018. Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido en tierra modelada. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazzo"*, vol. 48, 1: 125-141.
- Guerrero, Luis; Soria, Francisco Javier; y Roux, Rubén. 2015. Puzzolanic materials for restoration of earthen architecture. En Mileto, Camilla; Vegas, Fernando; García Soriano, Lidia; y Cristini, Valentina (eds.). *Earthen Architecture: Past, Present and Future*, 175-180. Londres: Taylor & Francis Group.
- Guerrero, Luis; y Uviña, Francisco. 2020. Integración de tierra y cal en restauraciones arquitectónicas. *Revista Gremium*, vol. 7, 14: 137-150.
- Minke, Gernot. 2005. *Manual de construcción en tierra*. Montevideo: Fin de Siglo.
- SEDUE. 1984. *Especificaciones generales de restauración*. Ciudad de México: SEDUE.

Shady, Ruth. 2009. *Caral. La civilización más antigua de las Américas: 15 años develando su historia*. Lima: Zona Arqueológica Caral-Supe, Ministerio de Cultura del Perú.

Torres, Claudia; y Jorquera, Natalia. 2018. Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe. *Informes de la Construcción*, vol. 70, 550: 1-11, doi.org/10.3989/ic.16.128.

Weissman, Adam. 2008. *Using natural finishes: Lime & earth based plasters, renders & paints*. Cambridge: UIT Cambridge Ltd.

Warren, John. 1999. *Conservation of earth structures*. Oxford: Butterworth Heinemann.

Biography | Biografía | Biografia**Luis Fernando Guerrero**

Es Arquitecto, Maestro en Restauración y Doctor en Diseño con especialidad en Conservación del Patrimonio. Es Profesor-Investigador y Jefe del Área de Investigación en Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado en la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México. Es autor del libro *Arquitectura de tierra en México* (1994) y editor de *Patrimonio Construido con Tierra* (2007), *Reutilización del Patrimonio Edificado con Adobe* (2014), *Arquitectura de Tierra en América Latina* (2016) y *Bioconstrucción a detalle* (2019). Luis Fernando es miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible".

Isadora Hastings

Es Máster en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México y la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 2010 es miembro, fundadora y directora de Cooperación Comunitaria México A.C, organización que trabaja con una metodología integral para mejorar las condiciones de vida y aumentar la adaptabilidad de las comunidades rurales e indígenas. Desde la organización que lidera promueve procesos de desarrollo comunitario para la recuperación del hábitat en zonas rurales de México, y su trabajo se articula con el de otras organizaciones para centrarse en la producción social del hábitat, la construcción con materiales locales y la autogestión del territorio.