Gremium©| Volumen 11 | Número 23 | Agosto 2024 | pp. 59-76
Revista de acceso abierto editada por Editorial Restauro | ISSN: 2007-8773 | Ciudad de México
https://gremium.editorialrestauro.com.mx/ | contacto@editorialrestauro.com.mx

Sección: Técnica / Technique
Tipo de contribución: Artículo Metodológico / Methodological Article
https://www.doi.org/10.56039/rgn23a05

Sistemas de tierra entramada para la conservación de patrimonio edificado

Wattle and daub systems for the conservation of built heritage

Luis Fernando Guerrero-Baca[a]
Florencia Tatiana Azul Ultramar Ramírez Rodríguez[b]
[a]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco: e-mail, ORCID, Google Scholar, Research Gate
[b]Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco: e-mail, ORCID

Recibido: 30 de enero del 202 | Aceptado: 01 de julio del 2024 | Publicado: 31 de agosto de 2024

Resumen

El artículo analiza los valores bioculturales del empleo de la tierra entramada como estrategia de preservación de patrimonio edificado. Se parte de la caracterización general del sistema constructivo y algunas de las variantes que se han desarrollado en diferentes regiones y etapas de la historia. Posteriormente se detallan los procedimientos llevados a cabo a partir de la investigación-acción en diversos contextos. Se expone una cuidadosa explicación de los pasos que se han seguido en inmuebles patrimoniales, pero planteando alternativas en función de los problemas específicos a resolver y, sobre todo, de los medios disponibles. Se concluye con una serie de reflexiones acerca del potencial económico y ecológico de la tierra entramada como recurso de edificación, de restauración y como proceso de recuperación de saberes que desde tiempo inmemorial han formado parte de las culturas constructivas de muchas áreas del mundo y que, por lo tanto, conforman un patrimonio intangible que merece salvaguardarse y activarse.

Palabras clave: fibras naturales, consolidación, sostenibilidad.

Abstract

The article analyzes the biocultural values of the use of wattle and daub as a preservation strategy for built heritage. It starts from the general characterization of the construction system and some of the variants that have developed in different regions and stages of history. Subsequently, the procedures carried out from action-research in various contexts are detailed. A careful explanation of the steps that have been followed in heritage properties is presented, but alternatives are proposed depending on the specific problems to be solved and, above all, the available means. It concludes with a series of reflections on the economic and ecological potential of wattle and daub as a resource for building, restoration and as a process of recovery of knowledge that since time immemorial has been part of the construction cultures of many areas of the world and that, Therefore, they make up an intangible heritage that deserves to be safeguarded and activated.

Keywords: natural fibers, consolidation, sustainability.

1. Introducción

El uso de tierra como componente constructivo de sistemas en los que se combina con paja, carrizo, bambú y madera, tiene una larga trayectoria en la edificación histórica y tradicional. Sin embargo, por tratarse de técnicas que han sido poco apreciadas desde el punto de vista patrimonial, se cuenta con escasas evidencias de procesos de reparación de obras preexistentes porque se tiene la creencia generalizada de que, por incorporar material de origen vegetal, tienen limitada resistencia y durabilidad. Incluso, en el caso de México, desde hace décadas han sido considerados por instancias gubernamentales como componentes constructivos "en precariedad" (CONEVAL, 2010), por lo que en muchos casos los inmuebles han sido abandonados o incluso sistemáticamente destruidos.

En los escasos ejemplos en los que se han intervenido muros antiguos de tierra entramada, a los que se les conoce regionalmente como bajareque, bahareque, embarro, jacal, jaulilla, "pajarete", taquezal, fajina o quincha (Caicedo, 2020), se ha hecho uso de otras técnicas como las mamposterías, a las que se les tiene mayor confianza, porque su

© Luis Fernando Guerrero-Baca, Florencia Tatiana Azul Ultramar Ramírez Rodríguez 2024
Este artículo es una publicación de acceso abierto. CC BY-NC-SA

implementación no ha perdido vigencia en muchas partes del mundo.

Uno de los problemas que está en la raíz del desconocimiento generalizado sobre la construcción con entramados en nuestro país, deviene del hecho de que desde su origen hace miles de años, fue aplicada por sus propios habitantes trabajando en comunidad, para elaborar viviendas y componentes auxiliares como graneros, corrales y cocinas, casi siempre localizadas en la periferia de las aldeas y en emplazamientos aislados en sus solares. Es decir, se trataba de obras anónimas, dispersas y de pequeñas dimensiones. En cambio, los inmuebles más destacados de las poblaciones prehispánicas, e incluso aquellas que todavía se desarrollaron después de la conquista, se situaban en zonas céntricas, vinculadas a vialidades, conformando agrupaciones y materializadas con mamposterías de adobe o piedra.

Estas condiciones han hecho que la mayor parte de los estudios arqueológicos e históricos normalmente no identifiquen restos de inmuebles entramados, puesto que además de haberse perdido la materia prima con la que fueron elaborados, no están localizados en las áreas urbanas destacadas en las que regularmente se llevan a cabo las exploraciones.

En algunos casos, se ha documentado la presencia de huellas en los terrenos, dejadas por los postes con los que tradicionalmente se han confinado los sistemas de muros entramados, pero tratándose de evidencias tan someras, han recibido escasa atención (Pastor et al., 2019).

En otras ocasiones, los arqueólogos han reportado el hallazgo de restos calcinados (Mateu, 2019) en los que la vitrificación de las arcillas permite reconocer la impronta de varas, carrizos y a veces hasta sus amarres (Pastor, 2017), con lo que es posible observar el parecido que presentan esos sistemas con los componentes constructivos correspondientes a edificaciones vernáculas que están todavía en pie.

En el norte de México afortunadamente se conservan algunos vestigios prehispánicos de conjuntos habitacionales con componentes entramados que, gracias a las condiciones de su emplazamiento dentro de abrigos rocosos, han sido muy poco alterados por efectos ambientales. Ejemplos destacados se localizan en el estado de Chihuahua, dentro de las llamadas “casas en acantilado” de la Sierra Tarahumara (Gamboa y Guerrero, 2013), así como en la Cueva del Maguey en Durango (Punzo, 2013). Estos restos arqueológicos evidencian el dominio generalizado de la combinación de varas y troncos atados, que se protegían con lodo tanto en muros como en entrepisos y techos (Figura 1).



Figura 1. Conjunto habitacional de tierra entramada en la Cueva del Maguey, Durango. Foto: L. Guerrero.

La construcción con tierra entramada es un testimonio de la habilidad arquitectónica de sus creadores, y portadora de la identidad cultural de las comunidades que a lo largo de milenios alcanzaron destacables condiciones de equilibrio con su entorno.

Actualmente, en diversos países se muestra un creciente interés por documentar y valorar las obras o vestigios hechos con estos sistemas, y por desarrollar alternativas para su aplicación en la edificación contemporánea. En estos estudios se han podido reconocer las cualidades resistentes y flexibles de las estructuras (Cuitiño et al., 2020), su adecuada respuesta ante esfuerzos dinámicos derivados de movimientos sísmicos o de ciclones y huracanes (Rivera, 2012), sus cualidades ecológicas por su bajo consumo de energía, agua y menores emisiones de CO2 al medio ambiente que otros sistemas constructivos (Lima et al., 2016; González y Guerrero, 2022), su comportamiento higrotérmico (Cuitiño et al., 2015) e incluso, su respuesta ante el fuego (Acevedo, et al., 2019).

Estas investigaciones que afortunadamente continúan avanzando, han logrado demostrar que, contrariamente a lo que se ha pensado durante siglos, estas sencillas obras hechas de "tierra y varas" tienen un destacable potencial de desarrollo por resultar económicas[1], fáciles de realizar ya sea de manera tecnificada o por autoconstrucción y que pueden abonar en la remediación de los daños que la edilicia contemporánea provoca al medio ambiente.

Sin embargo, un campo de investigación que ha sido poco explorado es el de las aplicaciones de la tierra entramada como recurso de reparación de inmuebles de adobe, tapia y tierra apilada, o incluso, edificados con otros materiales (Figura 2), por lo que en este artículo se incluye esta perspectiva debido a que, a partir de la práctica, se ha podido demostrar la viabilidad de esta estrategia de intervención sostenible del patrimonio edificado.

2. La conservación del patrimonio construido con tierra

La riqueza arquitectónica de México y gran parte de América Latina se manifiesta de manera destacable en sus construcciones de tierra, estructuras que han resistido el paso del tiempo, llevando consigo siglos de historia y cultura. La evolución de las civilizaciones de la región no se explica sin la experimentación del empleo de la tierra como material constructivo, la cual involucraba la vinculación de los saberes derivados de la agricultura, con los de la cerámica, la cestería e incluso de la cocina. Saber hacer y dar mantenimiento a una casa integraba experiencias de diferentes campos, desarrollándose progresivamente mediante ensayos y errores atávicos asociados al intercambio entre comunidades de diferentes contextos.



Figura 2. Integración de componentes entramados durante la restauración de una casa tradicional de adobe en Cuenca, Ecuador. Foto: L. Guerrero.

Sin embargo, a pesar de su importancia cultural e histórica, esta herencia arquitectónica se encuentra actualmente en una encrucijada y enfrenta amenazas significativas que ponen en riesgo su permanencia a largo plazo.

El crecimiento urbano no planificado y la expansión de las ciudades han llevado a la degradación y pérdida de muchas estructuras de tierra. La presión por desarrollar nuevas áreas urbanas a menudo resulta en la demolición de edificios históricos para dar paso a construcciones modernas, ajenas a las tradiciones y necesidades bioclimáticas locales.

Se tiende a pensar que la recuperación de edificios antiguos hechos de adobe, tapia o bajareque es complicada y costosa por lo que sus propios habitantes, así como las instituciones encargadas de la conservación patrimonial o del desarrollo urbano, consideran más viable su desaparición.

La falta de conciencia sobre el valor cultural de estas construcciones derivada de la especulación inmobiliaria y la presión de las empresas fabricantes de cemento, acero y demás insumos de la edificación comercial, ha llevado a la desestimación de su singularidad e importancia. La percepción errónea de que las estructuras de tierra son menos duraderas o valiosas que las que se realizan con materiales de origen industrializado, contribuye a la falta de esfuerzos de conservación. ¿Para qué preservar edificios hechos con un material “deleznable” cuyos gruesos muros “consumen” metros cuadrados de valiosos terrenos ubicados en zonas céntricas?

Adicionalmente, los diferentes efectos de fenómenos naturales como terremotos, deslaves, inundaciones y huracanes pueden tener un impacto devastador en las estructuras de tierra, especialmente aquellas que, además de carecer de mantenimiento a consecuencia del olvido de las tradiciones, están emplazadas en zonas de riesgo o han sido alteradas en sus dimensiones y comportamiento estructural. La percepción de que los componentes modernos son más duraderos ha contribuido a su preferencia sobre los de origen natural, al momento de realizar adecuaciones en los espacios preexistentes, a pesar de la rica historia que encierran y la evidencia de su exitosa continuidad de uso.

Esta preferencia se complica en el caso de las acciones de conservación, ampliación o reparación de inmuebles patrimoniales de adobe, tapia, tierra amasada y tierra entramada puesto que, cuando se combinan con estructuras rígidas, se ponen en riesgo al enfrentar fenómenos geológicos o atmosféricos que las pueden dañar irreversiblemente (Figura 3).



Figura 3. Daños provocados por la dala de concreto colocada sobre los muros de adobe del templo de San Lorenzo de Tarapacá, Chile, tras un terremoto en 2005. Foto: L. Guerrero.

La incorporación de columnas, dalas, entrepisos y techos de concreto armado, compromete la capacidad de absorción y disipación interna de la energía asociada a los movimientos sísmicos o hundimientos diferenciales, resultando en fisuras, grietas y hasta colapsos en los puntos de contacto (Warren, 1999). Asimismo, la introducción de refuerzos metálicos altera el equilibrio del conjunto debido a las diferencias de resistencia comparativa y al desarrollo de cargas puntuales que al concentrar esfuerzos detonarán fisuras, aplastamientos o disgregaciones en los componentes térreos, que presentan una naturaleza prácticamente opuesta a las armaduras, vigas, losas y marcos de acero.

Por otra parte, el empleo de acabados cementicios y pinturas realizadas con polímeros sintéticos, tiene una afectación degenerativa de las estructuras de tierra que los habitantes no prevén. Esta situación se vuelve crítica como consecuencia de acciones de diferentes instancias de gobierno que, al no conocer estos efectos nocivos, realizan campañas de “mejoramiento” de viviendas y poblados enteros con componentes incompatibles, que a la larga son más perjudiciales que si se dejara al patrimonio deteriorarse de manera natural.

La construcción con tierra, practicada durante siglos en diversas culturas, posee propiedades únicas que requieren enfoques particulares para su intervención. La arcilla, componente clave de estos sistemas, interactúa con su entorno de manera dinámica, respondiendo a cambios en la humedad, la temperatura y otros factores ambientales. Por lo tanto, toda integración en acciones de conservación y restauración debe considerar estas interacciones para garantizar la longevidad del sistema de manera unitaria.

La evapotranspiración, es un proceso fundamental para las estructuras de tierra, que puede verse afectada negativamente por materiales que no permiten el libre paso del vapor de agua (Maskell et al., 2018). La introducción de capas aislantes, revestimientos de cemento o pinturas de origen plástico alteran la respuesta higrotérmica natural de las arcillas, lo que conlleva la acumulación de humedad, desarrollo de moho y la disgregación de los sustratos a mediano plazo (Figura 4).



Figura 4. La gruesa capa de cemento con la que se recubrió esta casa tradicional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en los años setenta, provocó la acumulación de agua al interior del muro y la degradación de su entramado. Foto: L. Guerrero.

Gremium©| Volume 11 | Issue 23 | August 2024 | ISSN: 2007-8773 | Mexico City | CC BY-NC-ND
This article is an open access publication | Retrieved from https://gremium.editorialrestauro.com.mx/

Parecería lógico suponer que, si un edificio fue realizado con recursos locales y tradiciones derivadas de experiencias del pasado, éstas deberían ser las premisas para la ejecución de acciones de conservación, pero la realidad es opuesta. Acorde con los procesos de industrialización que se presentan en prácticamente todas las actividades humanas contemporáneas, se admite que la restauración de edificios históricos de tierra requiere de materiales y métodos de aplicación sofisticados, derivados de la "alta tecnología".

La investigación continua sobre técnicas de construcción tradicionales y la documentación detallada de las estructuras existentes en cada edificio o región, son esenciales para evitar caer en la estandarización de soluciones. Aunque existen enormes semejanzas en las características y comportamiento de los edificios de tierra de diferentes contextos, se presentan formas, dimensiones, combinaciones e interrelaciones con otros materiales que están enraizadas en bioclimas específicos y, si se copian o pretenden incorporar en otras geografías, se pueden detonar efectos colaterales tan perjudiciales como si se usaran componentes de origen industrializado. La información sobre los sistemas más adecuados para cada región surge de la historia propia de su cultura constructiva, por lo que es urgente desarrollar acciones de documentación y registro de los sistemas que afortunadamente se conservan todavía, para poder aprender de ellos y llevar a cabo intervenciones plenamente situadas.

Este es precisamente el caso de la diversidad de sistemas a los que genéricamente se les conoce como tierra entramada, los cuales tienen origen y evolución milenaria en prácticamente todo el orbe, pero cuya articulación está directamente conectada con los recursos disponibles en cada localidad (Figura 5).



Figura 5. El uso de madera aserrada permitió el desarrollo de estructuras entramadas conocidas regionalmente como "taquezal". Restauración de un edificio patrimonial en Granada, Nicaragua. Foto: L. Guerrero.

3. La construcción con tierra entramada

Componentes de origen vegetal como la paja, el carrizo, el bambú y la madera, se han utilizado en sinergia con la tierra para crear sistemas de construcción que, a lo largo de los siglos, han demostrado su durabilidad y eficacia. Es muy probable que el origen de la construcción con tierra entramada supere los seis o siete mil años de antigüedad, y que haya surgido cuando las comunidades iniciaron su paso de la vida nómada a la sedentaria. Como reseñaba Vitruvio (1986: 36-37) desde principios de nuestra era:

> *"los hombres han recibido de la naturaleza (…) la aptitud de hacer con gran facilidad con sus manos y los órganos de su cuerpo todo cuanto se proponen, comenzaron unos a procurarse (…) recintos donde poder guarecerse imitando los nidos de las golondrinas con barro y ramas. (…) Al principio plantaron horcones, y entrelazándolos con ramas, levantaron paredes que cubrieron con barro (…) Podemos explicarnos que esto pasó así en sus orígenes, como hemos dicho, porque hoy mismo lo vemos en algunas naciones, como en Galia, en España, en Lusitania y en Aquitania. Por su parte los Frigios, que habitan una región llana y carente de bosques, como por esta razón no disponen de madera, buscan altozanos a los que van excavando interiormente (…) y poniendo pértigas unidas unas con otras, hacen conos que revisten con cañas y paja que cubren con gran cantidad de tierra. Logran con esta especie de cubierta proporcionarse viviendas calientes en invierno y frescas en verano…" (Vitruvio,1986, p.p. 36-37).*

Se trata de estructuras que emplearon seguramente procesos evolutivos que les permitieron depurar una tecnología que unía tierras arcillosas con pastos secos y secciones de madera o bambúceas entretejidas o amarradas con fibras, para conformar sistemas altamente complejos con los que se edificaban muros, entrepisos y techos. Se sabe que la gran mayoría de las viviendas populares de la época prehispánica y virreinal de México se edificaba de la misma manera (Guerrero, 2017), la cual pervive con diferentes grados de integralidad en algunas regiones (Figura 6).

Se sabe que una de las propiedades de la construcción entramada radica en la sinergia que se desarrolla entre la tierra que, además de unir a componentes fibrosos y leñosos, resiste los esfuerzos de compresión, mientras que esos materiales vegetales enfrentan la tracción y flexión. La tierra ocupa la mayor parte del volumen edificado y requiere tener una adecuada capacidad de carga, pero también una buena adherencia, porque de esta cualidad depende su correcto enlace con los materiales entretejidos. Asimismo, las arcillas desarrollan un adecuado intercambio higrotérmico con el entorno, de manera que se regulan las condiciones de conservación de los materiales vegetales contenidos, con lo que se evita su deterioro por pudrición.



Figura 6. Ruinas de una casa vernácula de bajareque cerca de Mérida, Yucatán. Foto: L. Guerrero.

Las arcillas son minerales que contienen básicamente silicio, aluminio, hidrógeno y oxígeno, y están organizadas dentro de una estructura cristalina basada en pequeñas plaquetas o micelas que, dependiendo de su antigüedad y coexistencia con otros elementos químicos, pueden presentar formas planas y lisas, o rasgos más amorfos (Lima et al., 2020).

Estos componentes no reaccionan con las arenas y gravas de la tierra, sino que simplemente las envuelven al "encadenarse" entre ellas por interacción electrostática combinada con fuerzas de Van Der Waals. La presencia del agua les permite desarrollar fenómenos de atracción o repulsión, dependiendo de la cantidad presente de dicho líquido. El material en estado seco puede permanecer estable a lo largo de milenios, pero al momento en que los volúmenes de agua se incrementan, las arcillas se "desencadenan" y es posible modificar la forma del sistema para amasarlos y combinarlos con otros ingredientes a fin de alterar sus cualidades originales.

En las estructuras de tierra entramada es fundamental la presencia de arcillas de alta plasticidad que, con pequeñas cantidades de agua, pueden incrementar notablemente su volumen y ser modeladas para envolver al resto de los componentes del sistema. Sin embargo, durante su proceso de secado se reduce su volumen, por lo que se corre el riesgo de agrietamientos que pueden ser causa de futuros deterioros. Es por ello que la mayor parte de las culturas constructivas llegaron a la solución derivada de la incorporación de fibras a las mezclas, las cuales fortalecen la trama interior por fricción y el conjunto se robustece. Paralelamente, esos componentes que pueden provenir de tallos de trigo, cebada, centeno, avena, arroz, pasto, etc., disminuyen la densidad del sistema, lo que abona en un mejor comportamiento higrotérmico al contener más aire, que es aislante y, además, intercambian vapor de agua con el exterior a través de las microfisuras presentes entre la tierra y las fibras.

La incorporación de componentes de tierra confiere a los espacios propiedades termorreguladoras naturales. Dependiendo la densidad de los volúmenes o superficies integradas es posible generar comportamientos aislantes o de retardo térmico, en función de las necesidades a satisfacer dentro de los diferentes espacios (Figura 7). Paralelamente, las arcillas equilibran las condiciones interiores de humedad relativa. Cuando se incrementa la cantidad de vapor de agua de las habitaciones, ésta es absorbida y adsorbida por las superficies térreas. Y, en el polo opuesto, si el ambiente se seca, las arcillas dejan salir humedad y de este modo se regulan los niveles de confort de las habitaciones sin necesidad de depender de sistemas de climatización artificial (Bruno et al., 2017).



Figura 7. Diferencial de temperatura de 8.7 °C medidos en el mismo momento fuera y dentro de una casa de Bajareque Cerén realizada por Cooperación Comunitaria en Ixtepec, Oaxaca. Foto: I. Hastings.

La escala mayor del sistema de entramado lo conforma el emparrillado integrado dentro de las capas de lodo que se colocan gradualmente durante la ejecución de la edificación. Existe una enorme diversidad de formas de armar esta trama, así como de atarla o entretejerla, pero los principios de funcionamiento estructural interno son similares.

En algunas partes, las varas, ramas, rajas de bambú o carrizos se colocan paralelamente en forma vertical, pero en otros sitios se atan de manera horizontal a pies derechos anclados al suelo. Incluso hay regiones donde se combinan las orientaciones de estas "costillas" y se diseñan sistemas con retículas ortogonales o en rombos. En función de la flexibilidad de las piezas, se realizan complejos entretejidos que se sostienen por sí mismos sin necesidad de amarres adicionales, sin embargo, para agilizar la edificación lo más común es el atado de los nodos de encuentro mediante cuerdas provenientes de fibras de agaves, yute, juncos, lianas o incluso cortezas de árboles que se vuelven flexibles y correosas si se humedecen durante un tiempo (Álvarez y Ortíz, 2009).

Aunque podría pensarse que el conjunto queda mejor reforzado entre más cerca se entretejan o amarren las varas o carrizos, la realidad es que la separación entre componentes juega un papel importante porque, por una parte, se facilita la aplicación del lodo por ambas caras, pero, además, el hecho de que éste, en combinación con las fibras atraviesen al conjunto, ayuda a unificar el sistema. Al secar, todo alcanza una notable unidad y ningún componente tiene posibilidades de desplazarse (Figura 8).

Hay entramados en cuadrícula en los que las varas se llegan a separar hasta 10 o 15cm. Éste es el caso de las estructuras tradicionales de Japón en las que la trama conformada por delgadas tiras de madera o listones extraídos de culmos de bambú se entretejen formando una retícula modulada, confinada dentro de marcos de madera de secciones mayores. Esta técnica, que se conoce con el nombre de tsuchikabe o komaikabe tiene como rasgo destacable el hecho de que la mezcla de lodo y paja de arroz que se emplea para rellenar la retícula se suele dejar reposar por más de seis meses antes de aplicarse, de modo que se fermentan las fibras en combinación con las arcillas fuertemente disgregadas por la presencia del agua. Esta pasta se vuelve sumamente pegajosa por lo que se puede colocar en delgadas capas sobre el entramado con la ayuda de una llana, consiguiéndose acabados lisos y delgados, lo que lógicamente hace que los muros resulten muy ligeros (Fukada, 2021).

Como se ha mencionado a lo largo del texto, las estructuras entramadas configuran esquemas muy estables que, gracias a la flexibilidad de sus componentes y la articulación de sus nodos, son altamente eficientes en regiones sísmicas. El "esqueleto" que soporta las cargas del conjunto permite un amplio rango de deformaciones, de manera que, al presentarse un terremoto, los edificios oscilan, pero difícilmente colapsan.



Figura 8. Estructura con entramado reticular para un sanitario seco realizado durante un taller infantil en Zautla, Puebla. Foto: L. Guerrero.

4. Procedimientos de implementación

Teniendo en mente las enormes cualidades que presenta la construcción con tierra entramada y la ubicuidad de sus expresiones en prácticamente todo el mundo desde épocas muy remotas, se ha explorado la posibilidad de su aplicación como relleno en faltantes de estructuras deterioradas o como medida de refuerzo, en el caso de solicitaciones no contempladas en el diseño original de edificios históricos de tierra, en cualquiera de sus formas de empleo.

Pero, a pesar de la ligereza y ductilidad de los sistemas entramados, resulta fundamental la consecución de un procedimiento cuidadoso de integración a fin de conseguir una adecuada compatibilidad entre los componentes nuevos y las estructuras de tierra preexistentes.

En primer lugar, las superficies que se habrán de intervenir deben despojarse de partículas ajenas a su composición original y que puedan interferir con la correcta adherencia de las secciones integradas.

Se habrá de limpiar de manera mecánica pero delicadamente el contorno de la zona afectada para remover basura, hojas secas, detritos de animales, telarañas, etc. Dependiendo de la forma y del nivel de disgregación de los componentes térreos originales, se habrán de tomar decisiones sobre su retiro o consolidación, siempre teniendo como premisa la mínima intervención, y considerando que todas las fisuras y separaciones de componentes existentes que estén fuera de su lugar son susceptibles de unificarse a la estructura, simplemente humedeciéndolos, inyectándolos, compactándolos o, en caso necesario, reforzándolos con material vegetal.

Incluso el polvo y terrones pequeños presentes en torno a los volúmenes faltantes o grietas a reparar pueden permanecer en su sitio puesto que la primera fase de la intervención, una vez realizada la limpieza de los restos ajenos, consistirá en una cuidadosa humectación del sistema, gracias a la cual, se reactivarán las arcillas de la tierra suelta y se conseguirá su colaboración en la consolidación e integración.

La humectación de la zona de trabajo tiene que ser llevada a cabo con mucho cuidado y durante un periodo relativamente extenso. Dependiendo de las condiciones climáticas existentes y del nivel de asoleamiento que reciban los vestigios, es recomendable una humectación por aspersión realizada varias veces en los días previos y, además, durante todo el tiempo en que se restaura (Figura 9). Hay ocasiones en las que la humectación previa requiere de la ayuda de películas plásticas o lonas ahuladas para mantener hidratada la zona por más tiempo y para evitar la acción directa de los rayos solares o de corrientes de aire, que son factores que pueden afectar desfavorablemente la intervención.

No es apropiado el uso de chorros de agua para la humectación de las estructuras, por el riesgo que se corre de que el impacto mecánico disgregue los materiales, pero también porque se dificulta el adecuado control del momento de saturación del sistema. Se tienen que emplear atomizaciones lentas pero continuas, intercaladas con algunas horas de absorción hasta que se tenga la seguridad de haber alcanzado el equilibrio hídrico de la zona dañada, sin que ésta alcance su estado plástico.



Figura 9. Humectación periódica durante una intervención realizada en un edificio patrimonial en Valle de Santiago, Guanajuato. Foto: L. Guerrero.

Una vez que se ha impregnado de manera apropiada la estructura preexistente, lo cual se nota por su cambio prolongado de color, temperatura y textura, se inicia la aplicación de las capas de tierra estabilizada que servirán como puente de la intervención.

La tierra que se habrá de emplear tiene que poseer una adecuada presencia de arcillas pues son éstas las que harán posible la interacción con las superficies preexistentes y la adherencia a los componentes vegetales del entramado. Las tierras que pertenecen a las categorías “CL” o “CH” del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) suelen tener una respuesta adecuada.

Como la tierra que se habrá de aplicar requiere ser estabilizada con pequeños volúmenes de hidróxido de calcio es necesaria su reacción con las arcillas. Se ha documentado desde hace décadas que la estabilización de suelos con cal se lleva a cabo mediante un proceso similar a las reacciones puzolánicas que caracterizan a los llamados cementos romanos, de manera que se detonan cambios químicos que dependen de la presencia del óxido de silicio que conforma las arcillas (Taha et al., 2014).

La cal tiene reconocidas cualidades como sustancia estabilizante de la tierra, pero para los fines de las aplicaciones que se analizan en el presente artículo es de interés el hecho de que, aunque se sabe que la capacidad de carga de las mezclas se reduce cuando no se realiza un adecuado curado de las mezclas (Faria et al., 2016) una ventaja notable es que se consigue limitar el proceso de fisuración natural de las tierras, derivado de la retracción volumétrica.

Además, al cambiar el índice de plasticidad de las mezclas comportándose como si fueran más “arenosas”, se facilita enormemente la posibilidad de que sean compactadas como se detallará más adelante. Aunque la adherencia de la tierra se reduce al contener cal, esta substancia ayuda a que las mezclas endurezcan con mayor velocidad, con lo que se consigue disminuir la espera para la progresiva aplicación de las capas durante las intervenciones (Guerrero y Uviña, 2020).

Finalmente, una ventaja adicional de este tipo de estabilización radica en la reducción de la potencial degradación de la tierra en presencia del agua. Sin que las mezclas pierdan sus propiedades permeables al vapor, la formación de cristales de silicato y aluminato de calcio hidratado en su interior garantiza la estabilidad de las intervenciones aún en condiciones de saturación total de agua (Elert et al., 2008).

Además de la estabilización química descrita, como sucede en la mayor parte de las obras de tierra entramada, las mezclas requieren de la presencia de fibras, normalmente de paja picada, la cual conforma la escala menor de la trama que habrá de confinar al conjunto (Gomes et al., 2018). La cantidad y la longitud de la paja estará en función de las características de las tierras empleadas, del tamaño del elemento faltante que se habrá de restituir y del tipo de emparrillado que se pretenda emplear en la intervención. A mayores huecos harán falta pajas más largas que se enreden en los componentes de anclaje y que equilibren el comportamiento estructural del sistema (Figura 10).



Figura 10. Estabilización de tierra con 5% de cal y fibras picadas, durante un taller comunitario en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca. Foto: L. Guerrero.

Con el mortero preparado y la zona de trabajo perfectamente humectada, se procede a insertar el sistema de empotramiento del entramado el cual se define a partir de los materiales leñosos disponibles. Es posible emplear varas delgadas, regletas de bambú (llamadas latas), carrizos, o tiras de madera aserrada. Estos componentes se diseñan a modo de parrilla para cubrir toda la zona faltante y se cuida que sus puntas queden correctamente ancladas en el sustrato. Normalmente se tiene que recurrir al uso de un taladro para hacer las perforaciones necesarias a fin de conseguir suficiente penetración de estos componentes.

Las piezas del emparrillado se pueden intercalar para conformar un tejido similar al de una canasta, o bien simplemente atarse en los puntos de encuentro entre piezas verticales, horizontales y, de ser necesario, diagonales (Figura 11). Conviene hacer este amarre con cuerdas de material vegetal como yute, cáñamo, fique, cabuya, henequén, "ixtle" o el equivalente que se consiga en cada región. De no ser posible contar con estos recursos será necesario atar los nodos con alambre galvanizado.

Una vez fijo el esqueleto del sistema se procede a colocar capas sucesivas de la tierra estabilizada con cal y fibras sobre el sustrato húmedo. Estos morteros deben aplicarse en estado plástico, pero con una humedad tal que haga posible la conformación de esferas de 5 a 10cm de diámetro. Como se ha explicado en otros textos (Guerrero, 2018) la intención de la prefabricación de estas esferas radica en verificar las condiciones de humedad de la mezcla y de proporcionarle una compactación previa que le confiera unidad y cuerpo para ser asentada sobre las capas previas.

No es recomendable que los estratos que se coloquen sean demasiado gruesos porque seguramente se desarrollarán fisuras por retracción volumétrica y es muy probable que se desprendan por su propio peso. Las esferas se lanzan con fuerza o se colocan y enredan en los anclajes de material leñoso siempre en capas no mayores a los 3 o 4 cm de grosor. Luego, es necesario esperar el tiempo suficiente para que la capa endurezca a tal punto que sea posible compactarla con un pequeño trozo de madera. Si al realizar esta acción se observan huellas profundas de la herramienta o se desprende la mezcla de las capas anteriores será necesario esperar más tiempo para que la compactación sea eficiente (Guerrero, 2020).

Una vez efectuada esta percusión de la capa seca se humedece de nuevo con un atomizador y se procede a agregar la siguiente capa de esferas que se acomodan dentro de las oquedades cuidando de llenarlas de manera uniforme.



Figura 11. Colocación y atado de un emparrillado hecho de bambú. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Foto: L. Guerrero.

Si los faltantes por completar o rellenar son muy voluminosos, es importante prever la colocación de anclas también en profundidad para generar una trama tridimensional que no solamente sirva de soporte al material de relleno, sino que establezca una adecuada transmisión de esfuerzos en todas direcciones. Cuando se ha rellenado un volumen con una profundidad de 5 a 10 cm es recomendable clavar la mayor cantidad posible de estacas hechas del mismo material leñoso disponible, pero con un diámetro similar al de un lápiz. Conviene que se prefabrique un número importante de estas anclas conforme va avanzando la intervención porque habrá que introducirlas en separaciones en torno

a los 10 cm. Es conveniente insertarlas en diversas direcciones, ya sean perpendiculares al plano o con inclinaciones hacia la parte superior, para garantizar que no se resbalen las esferas que recibirán en capas sucesivas (Figura 12).



Figura 12. Aplicación de las esferas sobre las varas ancladas al contorno de un hueco derivado de la erosión de adobes, Lagos de Moreno, Jalisco. Foto: L. Guerrero.

La operación se repite progresivamente sin olvidar la necesaria humectación previa a cada capa, su secado y compactación final. Lógicamente, si la intervención es muy amplia es posible interrumpirla en cualquier momento y regresar posteriormente hasta concluirla, siempre reiniciando con la humectación de la superficie inconclusa.

Esta estrategia ha demostrado ser eficiente en faltantes de muros hechos con adobe, tierra amasada (cob), tapia pisada y lógicamente cualquier tipo de entramado. Pero si se hace un adecuado diseño de los anclajes, es posible emplearla para rellenar huecos o complementar sistemas de mampostería de piedra o ladrillo. Incluso es un recurso muy adecuado para conformar puentes entre diferentes materiales presentes en los edificios (Figura 13).



Figura 13. Conexión entre un muro de ladrillo y uno de adobe, realizada en una casa tradicional durante un taller en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Foto: L. Guerrero.

5. Reflexiones finales

Durante los últimos años, se han llevado a cabo diversas estrategias de intervención en el patrimonio construido, haciendo uso de sistemas de tierra entramada. Estas maniobras abarcan desde la recuperación volumétrica, el relleno de faltantes y el recubrimiento de superficies, hasta el reforzamiento y techado de estructuras. Los resultados obtenidos muestran la versatilidad y eficacia de estos sistemas en diversas aplicaciones, destacando su capacidad para adaptarse a las necesidades específicas de cada intervención.

Las estructuras construidas con tierra entramada son notables por su ligereza y flexibilidad. Estas características las hacen plenamente compatibles con la mayoría de los sistemas constructivos existentes, ofreciendo la ventaja adicional de tener una respuesta sumamente eficiente a las vibraciones, deformaciones y asentamientos diferenciales. Cuando se recubren con protecciones superficiales de tierra estabilizada, estas estructuras pueden resistir a la intemperie durante largos períodos sin requerir procesos frecuentes de mantenimiento.

Uno de los aspectos más destacados de la incorporación de tierra entramada en intervenciones patrimoniales es su contribución a la sostenibilidad en varios aspectos. Desde el punto de vista económico, la utilización de materiales locales y la aplicación de técnicas tradicionales reducen los costos asociados a la conservación y restauración. Desde la perspectiva ecológica, el bajo impacto ambiental y la capacidad de utilizar recursos renovables posicionan a estos sistemas como alternativas ecoamigables (Figura 14).

Adicionalmente, estas acciones tienen un impacto sociocultural significativo. Al emplear materiales locales y seguir tradiciones constructivas arraigadas, se fomenta la apropiación social de los procesos de salvaguardia. Las comunidades herederas del patrimonio adquieren la capacidad de darle mantenimiento y de repararlo de ser necesario, contribuyendo a la preservación de su identidad.

Los valores bioculturales de la aplicación de este tipo de técnicas se manifiestan desde la propia elección de materiales. La recolección y preparación de la tierra, la selección de fibras vegetales, su tratamiento, mezclado y aplicación, surgen de saberes y rituales transmitidos de manera intergeneracional a partir de su implementación (Guerrero y Martínez, 2022). La puesta en práctica se convierte en el equivalente a los procesos de "control de calidad" que, en el caso de los materiales y sistemas de origen industrial, son resultado de estudios de laboratorio expresados, difundidos y, en algunos casos, hasta impuestos dentro de normas y estándares.

La ejecución de estrategias derivadas de la tradición va más allá de la mera reparación de daños o deterioros para convertirse en un acto cultural que contribuye a la regeneración de los sistemas socioambientales. Así, se promueve la conservación de los ecosistemas locales al minimizar la extracción de materiales no renovables y, con acciones adecuadamente concertadas, es posible incluso mejorar las condiciones del entorno al favorecer la siembra de especies que sirven a la edificación y a la biodiversidad (Toledo et al., 2019).

Se trata de sistemas dúctiles no solamente desde el punto de vista de su comportamiento estructural sino también de su adaptabilidad en el tiempo. Construir o reparar con entramados de tierra ayuda a enfrentar condiciones imprevistas en los edificios, no como resultado de su rigidización, como lo hacen los refuerzos de acero o de concreto, sino como un recurso resiliente que permite prolongar en el tiempo la estabilidad de las estructuras y que se transforma en un vínculo cultural arraigado en la relación de las comunidades con la tierra que pisamos y en la que están enraizados los inmuebles.



Figura 14. Integración de un tramo de muro entramado en un hueco de la barda perimetral de adobe de la antigua estación del ferrocarril de Oaxaca. Foto: L. Guerrero.

Por tratarse de estrategias constructivas de sencilla apropiación y adaptación a diferentes condiciones, incluso personas que las desconocen por completo, las pueden llevar a cabo sin grandes esfuerzos, como se ha demostrado en los diversos talleres en los que han sido puestas en práctica.

La base para la conservación sostenible se asienta en el diálogo de saberes que requiere ser parte de programas educativos que destaquen la importancia cultural, histórica y medioambiental de la bioconstrucción. Esto no implica trabajar únicamente con arquitectos y profesionales del patrimonio, sino involucrar a las comunidades locales para que se conviertan en guardianas de su propio legado y

que se den cuenta de que existen alternativas de conservación sencillas.

La puesta en valor de estos sistemas refuerza a los inmuebles y también la identidad de las sociedades, sus vínculos comunitarios y el aprecio de sus saberes ancestrales. Los valores bioculturales de la construcción con tierra entramada son una expresión viva de la relación entre las sociedades y su entorno. Al reconocerlos y activarlos se preserva una técnica arquitectónica valiosa y se promueve un futuro sostenible en armonía con la naturaleza (Figura 15).

6. Agradecimientos

Parte de la documentación experimental y de campo para el desarrollo de este texto se realizó gracias al apoyo del proyecto de Ciencias de Frontera CF2023□G□584 del CONAHCYT, así como del proyecto AZ 14/BE/23 de Gerda Henkel Foundation.



Figura 15. Intervención de una casa tradicional de bajareque en Huamelula, Oaxaca. Foto: L. Guerrero.

7. Referencias

Acevedo R., O. Carrillo y J. Broughton (Eds.) (2019). *Construcción con quincha liviana. Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial*. Ministerio de vivienda y urbanismo. Santiago de Chile, Chile. Disponible en: https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/CONSTRUCCION_CON_QUINCHA_LIVIANA_1a_edicion.pdf

Álvarez, L e H. Ortíz (2009). Tradición constructiva de la Sierra Gorda. En *De tierra y varas*. Querétaro: Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas.

Bruno, A.W., D. Gallipoli, C. Perlot & J. Mendes (2017). Effect of stabilization on mechanical properties, moisture buffering and water durability of hypercompacted earth. *Construction and Building Materials Journal*, 149 (2017) 733–740, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.182

Caicedo, R. (2020). La Quincha en Chile. Restauración de Monumentos Nacionales, Freirina, Región de Atacama. *Revista Gremium*, 7(14), 105-124. https://doi.org/10.56039/rgn14a09

CONEVAL (2010). *Medición de la Pobreza. Calidad y espacios en la vivienda* https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Calidad-y-espacios-en-la-vivienda.aspx

Cuitiño, G.; A. Esteves, A.; Maldonado, G. y Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, 67 (537): e063, http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082

Cuitiño, M. G.; Rotondaro, R. y Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 22(1), 138-151. http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2020.2348

Elert, K.; Sebastián, E.; Valverde, I.; Rodriguez-Navarro, C. (2008). Alkaline treatment of clay minerals from the Alhambra Formation: Implications for the conservation of earthen architecture. *Applied Clay Science*, 39,122–132. https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.05.003

Faria, P., T. Santos, & J.-E. Aubert. (2016). Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(1):04015085. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001363

Fukada, Makoto (2021). A Traditional Japanese House with a Jointed Wooden Frame and Tsuchikabe Walls: the Kamogawa House in Chiba. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism*, 2, p.p. 38-57. https://doi.org/10.51303/jtbau.vi2.501

Gamboa, E. y L. Guerrero (2013). Condicionantes para la puesta en valor de las casas en acantilado de la Sierra de Chihuahua, México. digitAR - *Revista Digital de Arqueologia Arquitectura e Artes*, 1: 5-13. Disponible en: http://www.uc.pt/uid/cea/downloads/digitar_1_comp

Gomes, M. I., P. Faria, & T. D. Gonçalves (2018). Earth based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers. *Journal of Cleaner Production*, 172:2401–14. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170

González, A. y L. Guerrero (2022). Bajareque tecnificado. Evaluación de energía incorporada y emisiones de CO2 en comparación con la edificación convencional. *Vivienda y comunidades sustentables*, 6(11), 9-22. https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.177

Guerrero, L. (2017). Pasado y porvenir de la construcción con bajareque. *Revista Gremium*, 4(8), 69-80. https://doi.org/10.56039/rgn08a07

Guerrero, L. (2018). Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazzo"*, 48(1), 125-141. Disponible en: https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/anales/article/view/235/421

Guerrero, L. (2020). El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe. *Revista Intervención*, 11(22),131-187. https://doi.org/10.30763//Intervencion.236.v2n22.15.2020

Guerrero, L. y F. Uviña (2020). Integración de tierra y cal en restauraciones arquitectónicas. *Revista Gremium*, 7(14),137-150. https://doi.org/10.56039/rgn14a11

Guerrero, L. y M. Martínez (2022). Patrimonio biocultural y conservación sostenible. *Revista Americana de Urbanismo y Medio Ambiente para Juristas y Técnicos*, 5(8), 60-101. Disponible en: https://www.rdu.es/articulos/revista/RADU

Lima, J., P. Faria & A. Santos (2016). Earthen plasters based on illitic soils from barrocal region of algarve: Contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials*, 678:64–77. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.678.64

Lima, J., P. Faria & A. Santos (2020). Earth Plasters: The Influence of Clay Mineralogy in the Plasters' Properties. *International Journal of Architectural Heritage*, https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064

Maskell, D., A. Thomson, P. Walker & M. Lemke (2018). Determination of optimal plaster thickness for moisture buffering of indoor air. *Building and Environment*, 130:143–50. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.045

Mateu, M. (2019). *El bajareque en techos de La Joya, México, y Sant Jaume, España*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337048022_El_bajareque_en_techos_de_La_Joya_Mexico_y_Sant_Jaume_Espana

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

Pastor, M., F. Knoll y F. Jover (2019). ¿Adobes, terrones o bolas de barro amasado? Aportaciones para el reconocimiento arqueológico de las distintas técnicas constructivas que emplean módulos de tierra. *Arqueología*, 25(2), 213-234. https://doi.org/10.34096/arqueologia.t25.n2.6868

Pérez, C.U. (2022). *Análisis del sistema constructivo de bajareque como apoyo a la vivienda sustentable en la CDMX*. Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM.

Punzo, J. L. (2013). *Los moradores de las casas en acantilado de Durango*. Tesis doctoral de la ENAH. Ciudad de México. Disponible en: https://www.academia.edu/6095805/Punzo_Jos%C3%A9_Luis_Los_moradores_de_las_casas_en_acantilado_de_Durango_Rememorando_el_mundo_de_la_vida_de_los_grupos_serranos_en_el_siglo_XVII

Rivera, J. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Apuntes. Revista de Estudios sobre patrimonio cultural*, 25(2). 164-181. Disponible en: https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8763

Taha, Ibtehaj; Raihan, Mohd; Hameed, Zaid & Khan, Tanveer (2014). Soil stabilization using lime: ad-

vantages, disadvantages and proposing a potential alternative. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(4): 510-520. https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1000

Toledo, V., N. Barrera-Bassols y E. Boege (2019). *¿Qué es la diversidad biocultural?* UNAM. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337387343_Que_es_la_Diversidad_Biocultural

Vitruvio (1986). *Los diez libros de la arquitectura*. Traducción directa de latín de Agustín Blánquez. Barcelona: Iberia.

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

8. Notas

1. Pérez (2022, p.89) documentó que viviendas realizadas con sistemas de bajareque tendrían un costo 34% menor a las realizadas con materiales convencionales en el sur de la Ciudad de México.

Gremium©| Volume 11 | Issue 23 | August 2024 | ISSN: 2007-8773 | Mexico City | CC BY-NC-ND
This article is an open access publication | Retrieved from https://gremium.editorialrestauro.com.mx/

Gremium