Arquitectura en tierra.
Hacia la recuperación de una cultura constructiva

Luis Fernando Guerrero Baca

APUNTES vol. 20, núm. 2 (2007): 182-201

La edificación con tierra se ha desarrollado básicamente a partir de la transmisión de conocimientos de origen popular que, como todo saber tradicional, consisten en la manifestación de respuestas lógicas a necesidades locales, así como a las condicionantes y recursos que ofrece el medio natural.

Se trata de una cultura constructiva que ha logrado avances inigualables gracias a la atávica sucesión de ensayos y errores que por milenios desarrolló la sociedad a través de procesos de "selección artificial", en donde las experiencias exitosas trascendían y los fracasos eran reemplazados. La elección de materias primas, procesos de transformación, acarreo y almacenamiento, las dimensiones de los elementos constructivos, sus formas de disposición, unión o ensamble, entre muchos otros factores, obedecen a una lógica en la que se han logrado optimizar los recursos disponibles, estableciendo límites de acción precisos que son conocidos y heredados entre los miembros de la comunidad que comparte la sabiduría regional.

No obstante, los conocimientos tradicionales presentan el inconveniente de que, por haber sido transferidos oralmente y mediante experiencias vivenciales de una generación a otra, rara vez se cuenta con documentos que permitan su caracterización y difusión. Además, como sucede con otras costumbres populares, es común que con el paso del tiempo vayan recibiendo influencias externas o alteraciones que en ocasiones acaban por desvirtuar sus bases originales.

En cierta medida este problema ha incidido en el hecho de que en la actualidad, especialmente en los ámbitos académicos, este bagaje conceptual sea despreciado como fuente de aprendizaje por investigadores y profesionales que fueron formados mediante procesos educativos y de investigación convencional. En estos ámbitos, para que las explicaciones de los fenómenos sean aceptadas como verdaderas, han de ser demostradas de manera racional y cuantificable.

Esta visión parcial de la realidad no comprende cabalmente los conocimientos edilicios tradicionales por ser difíciles de verificar y, aunque las evidencias materiales muestran, por ejemplo, la resistencia de las estructuras a lo largo de los siglos, como en el caso de muchos sitios patrimoniales, por no ser considerados procesos reproducibles y mensurables, rara vez se aceptan como informaciones válidas para fundamentar respuestas de diseño contemporáneo.

Pero, desde otro punto de vista, nadie puede cuestionar la invaluable serie de conocimientos sistematizados a partir de la racionalización de los sistemas constructivos. Desde el siglo XVIII, evolucionaron diversos procedimientos que permitieron traducir los datos edilicios a modelos geométricos y posteriormente algebraicos, de manera que se pudieran proyectar estructuras con base en supuestos puramente abstractos.

Aunque este proceso de sistematización del diseño en algunos casos se ve limitado por la inexistencia de suficientes datos de alimentación, como sucede por ejemplo con los materiales térreos, tiene la gran ventaja de facilitar la comprensión integral de los sistemas de edificación y la posibilidad de predecir su comportamiento dentro de rangos específicos.

Este artículo presenta resultados del proyecto de investigación "Compatibilidad de materiales en la reutilización del patrimonio construido con tierra" que desde 2006 está siendo realizado por el Cuerpo Académico de Conservación y Reutilización del Patrimonio Edificado y la División de Ciencias y Artes para el Diseño, unidades académicas de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México. Su objetivo es documentar los procesos constructivos utilizados históricamente en el patrimonio construido con tierra, como fundamento para la generación de criterios para su mantenimiento, conservación y restauración patrimonial, empleando de manera sustentada técnicas modernas y tradicionales. Todas las figuras son propiedad de autor.

Figura 1: *Valor de conjunto del patrimonio construido en tierra. Villa de Leyva, Colombia.*

Figura 2: *Conservación de tramos de murallas medievales de tapia. Córdoba, España.*

Figura página anterior: *Antigua ciudad de Paquimé, Chihuahua. Zona arqueológica mexicana incluida en la Lista de Patrimonio Mundial, construida en su mayor parte con tierra.*

Se sabe que una buena parte de estas nociones de cálculo estructural también surgieron del análisis, identificación y búsqueda de explicación de las fallas de los materiales o sistemas constructivos preexistentes, es decir, de la experiencia empírica. Los problemas que han sufrido los edificios por la acción del paso del tiempo y la consecuente fatiga y deterioro de sus componentes, o bien los embates de eventos dañinos como pueden ser los terremotos o huracanes, son fuente inestimable de información. La evidencia de los efectos de fenómenos naturales ha permitido aprender tanto de los fracasos de estructuras históricas, como de los éxitos que alcanzaron.

Pero hay que decir que ni la visión tradicionalista ni la postura puramente racionalista pueden ser tomadas de manera aislada. Para que la tecnología constructiva esté en posibilidad de evolucionar, se hace indispensable partir de la óptica convergente de ambas perspectivas.

Es aquí donde adquiere sentido el presente texto en el que se plantea una serie de datos y criterios específicos para la construcción con tierra, a partir tanto de la recopilación y sistematización de la experiencia constructiva tradicional, como de su convalidación desde el campo del diseño estructural contemporáneo.

Después de muchos años de desprecio hacia la arquitectura de tierra por ser considerada símbolo de pobreza y retraso cultural, desde hace cerca de tres décadas se ha ido construyendo un importante bagaje conceptual que permite sustentar la práctica edilicia actual. Este acervo surge de la experiencia y de investigaciones desarrolladas en diferentes instituciones de todo el orbe que trabajan con el objetivo común de mejorar la calidad de vida de la sociedad mediante la materialización de un medio construido económica y ecológicamente sustentable.

Este artículo es parte de una investigación más amplia que busca estructurar una tipología de la construcción con tierra basada en la caracterización del patrimonio edificado, la recuperación de la cultura edilicia tradicional y las aportaciones contemporáneas al diseño sustentable. Por razones de espacio, solamente se incluye, de manera general, información referente a los tres sistemas constructivos que mayor nivel de difusión presentan en nuestras regiones y que, además, han sido analizados por estudios que permiten su validación. Se trata del adobe, la tapia y el bahareque.

Aunque los datos que sustentan este trabajo parten de la investigación práctica y documental especializada, se ha intentado exponerlos de una manera que pueda resultar accesible a los estudiantes y profesores de disciplinas relacionadas con el diseño arquitectónico, a profesionales de la construcción y también a autoconstructores. No obstante, este artículo no pretende hacer las veces de un "manual", sino simplemente presentar una visión panorámica de los casos de estudio. Por esto se ha decidido incluir los elementos que de forma más destacada sería conveniente tomar en cuenta como apoyo para la generación de estructuras térreas contemporáneas, así como para la comprensión de los problemas que impactan al patrimonio construido en tierra y el posible planteamiento de acciones de conservación y restauración.

Las materias primas

Bajo el término de arquitectura de tierra se engloba toda la serie de estructuras en las que el suelo natural es acondicionado mediante procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol, para edificar elementos constructivos que hagan posible la habitabilidad de los espacios.

La base de este proceso tecnológico radica en la capacidad de las partículas que integran la tierra de ser alteradas mediante mecanismos muy sencillos que permiten modificar la forma del conjunto y que le confieren solidez y estabilidad fisicoquímica dentro de rangos de equilibrio específicos.

Obtención del suelo

El material básico para la edificación con tierra cruda proviene de la excavación del terreno a la profundidad adecuada. Es necesario partir del hecho de que, debido a la historia geológica del planeta, no todas las capas que conforman la corteza terrestre tienen las mismas posibilidades de ser utilizadas como materia prima constructiva.

El estrato más profundo que se encuentra en contacto con la roca madre, presenta el inconveniente de ser prácticamente inerte, por lo que no posee la adherencia necesaria para conformar estructuras.

La capa intermedia, que normalmente se encuentra entre los 50 cm y los 2 m de profundidad, es la más adecuada por poseer una variedad granulométrica que permite mantener estables los suelos al modificar sus condiciones de humedad.

Finalmente, se debe evitar a toda costa el empleo de la capa más externa del terreno y que es conocida como suelo orgánico, ya que en él se entremezcla todo tipo de restos de origen animal y vegetal cuyo comportamiento futuro resulta imposible de predecir.

Por una parte, puede suceder que la materia orgánica se descomponga y genere vacíos en los elementos constructivos debilitándolos hasta provocar su colapso. Pero, por otra parte, también es frecuente el caso de que el material vegetal o animal esté vivo y se active con los cambios de temperatura y humedad generados durante los procesos edilicios. Por ejemplo, si en el suelo se encuentran semillas, esporas, huevecillos o larvas, seguramente en algunos meses, como consecuencia de la alteración de su medio, dejarán su estado latente y pasarán a convertirse en agentes bióticos de deterioro de los inmuebles.

La tierra constructiva suele ser "fértil" como resultado de la cantidad de nutrientes que conserva, por lo que sirve como campo de cultivo de hongos, líquenes, algas, gramíneas o hasta vegetación mayor, si no se tiene el debido cuidado.

Lo mismo sucede con huevecillos o larvas de insectos, arácnidos o hasta reptiles, que progresivamente se desarrollan como fauna nociva que forma nidos y galerías en el interior de las estructuras, llegando con los años a presentar verdaderas colonias y hasta cadenas alimenticias que compiten por el uso del espacio, socavando pisos, muros o terrados.

Además, desde un punto de vista ecológico, hay que pensar que esta capa externa del suelo constituye un valioso recurso del planeta que debería destinarse a la producción de alimentos y a la preservación de especies vegetales y animales. Se debe evitar la degradación y erosión de los terrenos fértiles mediante el uso de los estratos que no han sufrido la interacción con microorganismos y agentes atmosféricos, y que son los más adecuados para la construcción con tierra.

Se debe evitar, asimismo, el uso de suelos con altos contenidos de sales solubles que tienen la propiedad de "migrar" en el interior de los materiales al entrar en contacto con el agua y provocar la aparición de eflorescencias en las superficies así como el debilitamiento de las estructuras. Tejeda (2001, p. 32) considera que la proporción máxima aceptable de sales solubles no debe ser superior al 2%. El autor propone que para probar la presencia de estas substancias se aplique al suelo una solución de ácido nítrico al 5%, cuyo burbujeo es indicio de la presencia de sales. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que esta prueba bien podría señalar la acción de sales no solubles que normalmente son menos riesgosas, por lo que ante la duda se hace necesario realizar ensayos más detallados.

Figura 3:
Problemas de vegetación parásita en las ruinas de adobe de una hacienda colonial. Aguascalientes, México.

Composición del suelo

Por cuestiones didácticas podemos esquematizar diciendo de manera general que la tierra está formada por proporciones diversas de grava, arena, limo, arcilla, agua y aire. Justamente esta relación proporcional es la que hace posible que la transformación del suelo en material constructivo pueda resultar más o menos adecuada.

La clasificación granulométrica de la tierra, que es más aceptada a escala internacional, parte de los siguientes criterios. Se denomina grava a las partículas con un tamaño superior a los 2 mm. La arena está en un rango de entre 0.06 mm (60 μ) y 2 mm. El limo va de 0.002 mm (2μ) a 0.06 mm (60 μ) y las arcillas son partículas menores a 0.002 mm (2μ) (Houben, 2001, p. 25).

Aunque cada componente juega un papel importante dentro del conjunto del suelo y éste vaya a variar en función del sistema constructivo que se utilice, el rol que desempeña la arcilla es clave por tratarse del material aglomerante, mientras que la grava, la arena y el limo dan estructura y estabilidad al sistema.

El agua constituye otro elemento fundamental dentro del proceso constructivo ya que cumple dos funciones sustantivas. En primer lugar, permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño. Y en segundo lugar, activa las propiedades adhesivas de la arcilla (Rodríguez, 2001, p. 84).

La singularidad de la arcilla radica en el hecho de estar formada por sílicoaluminatos hidratados que provienen de la milenaria desintegración geológica de rocas. Está constituida por cristales –micelas– que, debido a su forma plana y lisa, presentan la cualidad de desplazarse fácilmente entre el resto de las partículas y establecer relaciones electrostáticas que las ligan en conjunto. Este desplazamiento depende de su contacto con el agua y, a nivel macroscópico, se evidencia en la transformación del suelo en un material plástico, coloidal o hasta líquido, que recupera su estado sólido original al secar (Warren, 1999, pp. 40-41).

Figura 4: *Desintegración paulatina de muros hechos con tierra arenosa. Chan Chan, Perú.*

Pero no todas las arcillas tienen comportamientos similares pues, en función de la dimensión de la separación de sus micelas y de la serie de elementos químicos que las conforman, cambia su grado de actividad. Esto hace posible clasificar los tipos de arcillas a partir de rangos que van desde las que tienen un comportamiento muy inestable, con lo que su adherencia y mutabilidad de volumen al hidratarse puede ser muy fuerte, hasta el límite opuesto, formado por aquellas que resultan casi inertes y, por lo tanto, mucho más estables en contacto con el agua.

Dentro del primer grupo se encuentran las arcillas conocidas como "expansivas" que en general pertenecen al grupo de las esmectitas –tales como las montmorillonitas, nontronitas y saponitas, así como sus lodos derivados conocidos como bentonitas– y que tienen la particularidad de permitir la entrada de mucha agua entre las láminas de su estructura, con lo que manifiestan potentes procesos de hinchamiento que suelen tener efectos muy nocivos en la construcción.

Las propiedades de los suelos lógicamente estarán en función de la presencia de tales tipos de arcillas pero, sobre todo, de las proporciones relativas de sus componentes. Si la tierra es *arenosa*, a pesar de poseer gran estabilidad ante los cambios de humedad o temperatura, la falta de actividad de la arcilla la hará frágil y será presa fácil de la erosión. En cambio, una tierra *arcillosa* tiene una alta cohesión, pero cuando se presentan fenómenos de humidificación y secado continuos, sufre cambios volumétricos capaces de generar fuertes agrietamientos en su constitución (Guerrero, 2002, p. 5).

La mayor parte de los textos que estudian la arquitectura de tierra hacen un fuerte énfasis en los rasgos granulométricos del suelo. Los estudios geológicos y la mecánica de suelos han aportado datos fundamentales en este campo, que han sido traducidos en normas y especificaciones dirigidas a la edificación contemporánea con tierra. Entre estos documentos se puede citar la guía "Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra" que elaboró PROTERRA en 2005, en la que, además de presentarse aplicaciones a trabajos de campo sumamente

didácticas, se exponen sus procesos de validación experimental (Neves, 2005).

Sin embargo, es muy importante decir que, aunque la mayoría de las pruebas de caracterización de suelo y dosificaciones que proponen resultan muy relevantes, cuando se intentan utilizar como guía de trabajo presentan diversos inconvenientes. No se está diciendo que tales ensayos estén mal hechos o que no tengan sentido; lo que sucede es que poseen rangos de aplicación sumamente específicos, por lo que puede ser contraproducente tratar de utilizarlos de manera generalizada.

Sólo por poner un ejemplo, diversos textos recomiendan proporciones ideales de arcilla para ser utilizadas en la fabricación de adobes. McHenry (1996, p. 65) propone el 15%; Doat *et al.* (1996, p. 143) hablan de entre 15 y 18%; Houben y Doat (1982, p. 7) especifica un 20%; Tejeda (2001, p. 31) dice que "en ningún caso se aceptarán suelos con más de 18% de arcillas"; y Bardou (1981, p. 11), con un criterio igualmente impreciso, dice que tal composición "debe ser menor a 20%". Sin embargo, y a pesar de la semejanza de los rangos planteados, se han pasado por alto dos aspectos fundamentales. En primer término, no se indica si se trata de un porcentaje considerado en peso o en volumen, hecho que para el caso de los suelos es fundamental, debido a su variación por humedad y nivel de compactación. Y en segundo lugar, tampoco se explica si tal medida corresponde a los resultados de las pruebas de sedimentación en agua o si se trata de procesos de tamizado en seco. Estos aspectos son tan importantes que pueden hacer variar los resultados de manera radical.

Pero probablemente el criterio que hace más endeble esta serie de informaciones, se deriva de la diversidad en el comportamiento de las arcillas que ya se mencionó y que, asociada a sus posibles formas de interrelación con los demás componentes del suelo, generan una variedad casi infinita de comportamientos. Así, se puede dar el caso, por ejemplo, de tierras con relaciones granulométricas idénticas en las que la composición mineral de las arcillas les confiere reacciones totalmente diferentes y hasta opuestas.

Además, se debe tener presente el sistema constructivo que se va a emplear, puesto que, por ejemplo, si se pretende edificar tapias, es conveniente que el contenido de arcilla sea mayor debido a que se requiere poca agua para su elaboración. En cambio, para hacer adobes o bahareque se utiliza mucha mayor cantidad de agua –aproximadamente 350 litros por cada metro cúbico de suelo seco–, por lo que una tierra demasiado arcillosa seguramente desarrollará fisuras como manifestación de la retracción que se verifica durante el secado.

De este modo, mientras que es posible aceptar –dentro de ciertos límites– los rangos máximos de presencia de arcillas, los parámetros mínimos son muy difíciles de marcar. Puede suceder que se presente un suelo con arcillas muy activas y que con proporciones menores al 10% se tenga un material constructivo excelente y, por tanto, que si se siguieran las recomendaciones antes citadas, se tendrían resultados inapropiados.

En la bibliografía existente se evidencia un interés muy destacado por incorporar diversos experimentos de laboratorio y pruebas de campo que permiten caracterizar los suelos para su uso edilicio. Si el lector desea conocer estos procedimientos, se cuenta con un gran número de textos en los que se explican muchos ensayos.

No obstante, con base en la experiencia acumulada a lo largo de los siglos en la práctica constructiva desarrollada en todo el mundo, resulta evidente que la mayor parte de los suelos sirve para construir y, en los lugares donde esta tradición continúa, es común la pervivencia de pobladores que conocen perfectamente la existencia de fuentes apropiadas de material. De cualquier modo, la forma más segura para verificar la calidad de un suelo en lugares donde no se tengan experiencias previas de selección de materias primas, consiste en la elaboración de modelos lo más semejantes que sea posible a los que se manejarán en la obra.

Si se preparan algunos adobes con la misma dimensión que se utilizará para construir, o se apisonan dos o tres capas de tierra dentro de una tapialera, se puede estar en condiciones de ver el nivel de retracción, agrietamiento, fragilidad de manejo y capacidad de carga del suelo en un par de semanas. Lo mismo sucede con los recubrimientos de barro o los morteros de asiento cuya adherencia y límites de retracción se pueden comprobar aplicándose *in situ*.

Estabilización

Cuando se han llevado a cabo ensayos con las tierras que se pretende utilizar para construir y

Figura 5:
Pruebas comparativas de revestimientos de barro. San Ysidro, New Mexico.

sus características no resultan apropiadas, pero tampoco se cuenta con otras fuentes cercanas de obtención, entonces es posible emprender acciones para su mejoramiento a través de lo que se conoce como procesos de estabilización.

Se trata de métodos que a través de siglos de experiencia han permitido la alteración de la respuesta constructiva de la tierra mediante el agregado de componentes adicionales que subsanan su posible vulnerabilidad. Además, estas técnicas pueden dar un beneficio adicional al incrementar las capacidades de suelos cuyas relaciones granulométricas sean de por sí adecuadas (Guerrero, 1994, pp. 23, 75).

Por cuestiones didácticas en este texto se han agrupado los métodos de estabilización dentro de dos conjuntos, en función del origen de los materiales que se agregan y de su interrelación con el suelo original. Se trata de los procesos denominados homogéneos y los heterogéneos.

Procesos homogéneos

Los métodos de estabilización de tipo homogéneo consisten en la modificación de las proporciones relativas de la granulometría natural del suelo a través de agregado de los componentes deficitarios.

En un extremo, se presenta por ejemplo el caso de un tipo de tierra considerada inerte, lo que se evidencia en su falta de cohesión y su desmoronamiento al presionarla entre las manos. Esta condición se puede deber a que las arcillas que contiene son muy inactivas, o que resultan proporcionalmente escasas en comparación con la cantidad de limo y arena del conjunto.

Para lograr un equilibrio en este caso, se puede estabilizar el suelo agregando una mayor cantidad de arcilla hasta lograr su acondicionamiento óptimo.

En el polo opuesto, se presenta un tipo de suelo excesivamente inestable, lo que se evidencia por la aparición de fisuramiento durante el secado, como consecuencia de las fuertes modificaciones derivadas del hinchamiento y la retracción volumétrica. Esta condición se puede deber a que el tipo de arcilla que contiene es muy activo o a que posee demasiada arcilla en comparación con la cantidad de limo y arena.

Para lograr un equilibrio en este caso lo que puede hacerse es estabilizarla agregando estas últimas cargas para obtener una reacción estable del conjunto.

En ambos métodos la estabilización se debe realizar mediante la adición en seco del material estabilizante y, como se explicó anteriormente, se hace necesario desarrollar series de pruebas a partir de modelos de aplicación para determinar las proporciones óptimas.

En la medida de lo posible se ha de procurar que los materiales incorporados sean semejantes a los del suelo natural, hecho que se evidencia con la simple observación de su textura y color.

Los procedimientos son sumamente sencillos y económicos, y los resultados son muy evidentes casi de manera instantánea a través de la verificación del aminoramiento de los fenómenos de agrietamiento derivado de la retracción o del desmoronamiento después del secado.

Procesos heterogéneos

Los métodos de estabilización de tipo heterogéneo consisten en agregar al suelo componentes ajenos a su condición natural, los cuales le confieren propiedades estables ante la presencia del agua. Estos procesos se pueden dividir en tres subgrupos en función de su forma de actuación sobre el suelo: los estabilizantes por consolidación, los estabilizantes por fricción y los estabilizantes por impermeabilización.

Consolidantes

Los estabilizantes por consolidación proporcionan ayuda a las arcillas en la acción aglutinante que ejercen sobre las partículas inertes del suelo. Es decir, forman cadenas con los limos y arenas para mantenerlas unidas, con lo que se complementa el trabajo de las arcillas.

El mejor estabilizante por consolidación con que se cuenta y cuya eficacia ha sido probada a lo largo de los siglos en todo el mundo, es la cal. Como es sabido, durante el proceso natural de carbonatación de esta substancia, que se denomina químicamente hidróxido de calcio, sirve de liga a las partículas del suelo aumentando su resistencia a la comprensión y cortante, además de disminuir sus niveles de absorción hídrica y, por lo tanto, su posible retracción al secado.

La cal presenta la cualidad adicional de no modificar la porosidad de la tierra, con lo que se mantiene tanto su capacidad de adherirse a otros materiales constructivos como su virtud de permitir el intercambio de aire y vapor de agua con el medio ambiente, que la hacen funcionar como un sistema natural de control higrotérmico.

Es importante hacer notar que se requiere muy poca cantidad de cal para estos procesos. Se ha comprobado que agregar volúmenes excesivos no incrementa la resistencia del material resultante e incluso puede generar efectos imprevistos al inhibirse la forma natural de trabajo de las arcillas.

En una serie de estudios llevados a cabo en la Universidad Federal de Bahía con miras a determinar el efecto de la composición mineralógica de las arcillas dentro de sistemas compactados de suelo-cal, se han logrado establecer interesantes comparaciones entre tipos de mezclas con distribuciones granulométricas similares. En esas investigaciones se desarrollaron diversos ensayos con probetas en las que se agregaron como estabilizantes fracciones de cal que variaban entre 0 y 12%.

Entre los resultados obtenidos destaca el hecho de que, para determinados tipos de suelos, se pudieron obtener incrementos en la resistencia de la compresión simple que pasó de 6 hasta 15 kg/cm^2. Además se puso en evidencia la disminución de la contracción de las mezclas debido al secado, así como la limitación en la acumulación de agua. Las mejores respuestas se consiguieron agregando solamente entre 4 y 8% de cal (Hoffman, 2002, p. 72).

Por otra parte, existe un sinnúmero de substancias de origen orgánico que también pueden cumplir funciones aglutinantes y que incluso se han aplicado en paralelo al uso de hidróxido de calcio a lo largo de la historia. Este es el caso de los polímeros extraídos de vegetales como las cactáceas o las suculentas, así como las proteínas animales provenientes de la leche, la sangre o el huevo.

Estos productos se han utilizado desde tiempo inmemorial, pero debido a la escasez de información documental y de trabajos experimentales en su aplicación, es difícil proponer su manejo en sitios donde la tradición que les dio origen se ha perdido o nunca existió.

En el caso de México y Perú todavía pervive la costumbre de usar la pulpa del cactus de tuna –baba de nopal– que desde la época prehispánica formaba parte de los adhesivos tanto para el manejo de la tierra utilizada como material constructivo como para el caso de los revoques y pinturas a la cal.

Fibras

Los estabilizantes por fricción sirven para conformar una especie de "red" a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Asimismo, modifican los patrones de agrietamiento derivados de cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de microfisuras que no afectan la estabilidad del conjunto.

Esta "red" se desarrolla mediante la introducción de materiales fibrosos que pueden ser de origen vegetal como es el caso de la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal. También existen sitios en los que históricamente se han empleado materiales de origen animal provenientes de la lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano.

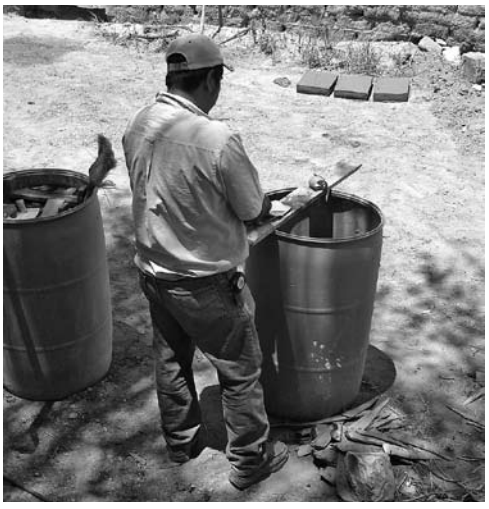

Figura 6:
Extracción tradicional de la pulpa de sábila –Aloe vera– *para elaborar adobes. Tula, Tamaulipas, México.*

Igualmente, existe una tradición muy difundida de utilizar estiércol de caprinos, camélidos, bovinos o equinos, argumentando que estos materiales mejoran la maleabilidad y adherencia de las mezclas. Sin embargo, su principal función desde la perspectiva de la estabilización radica en la incorporación de fibras vegetales que han sido trituradas por el ganado y que son de fácil obtención en los sitios rurales.

Es importante hacer notar que las fibras han de utilizarse en condiciones secas ya que de lo contrario se corre el riesgo de que se pudran con lo que, además de disminuir todas sus cualidades, son causa de deterioros posteriores en las estructuras por los microorganismos que generan.

Desde luego que la elección de la fibra va a depender de la disponibilidad regional. En este sentido, la que mayor difusión ha alcanzado por su extensivo uso en el medio rural es la paja, principalmente de trigo o arroz.

Este material ha sido estudiado con bastante rigor y se ha puesto en evidencia que presenta amplias cualidades de durabilidad, plasticidad y resistencia. Se recomienda utilizar paja cortada en tramos de aproximadamente 10 cm de longitud y en una proporción de alrededor de 1% en peso, lo que significa una relación de un volumen de paja por dos de tierra, ambas en estado seco y sin comprimir. Lógicamente, la dimensión de la paja va a variar según la especie de gramínea de la que procede, el proceso agrícola que la produce en cada región y la tradición constructiva local.

La paja o cualquier otra fibra que se utilice para estabilizar la tierra, cumple su función principal en el momento de la elaboración de elementos constructivos, que es cuando se busca evitar la aparición de fisuras. No obstante, estos agregados siguen trabajando en los edificios con el paso del tiempo, al funcionar como "articulaciones" que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos. Asimismo, las fibras modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incremente notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos.

Figura 7: *Comparación entre la retracción de un revestimiento de barro con paja y sin paja. Lo Vicuña, Chile.*

Hidrofugantes

Los estabilizantes por impermeabilización tienen la función de conformar una especie de capa protectora en torno a las partículas de arcilla que regula su contacto con el agua y, por lo tanto, las consecuencias de sus cambios dimensionales.

Las substancias que históricamente han mostrado mejores resultados como "repelentes" son las grasas tanto de origen animal como vegetal o fósil, según la disponibilidad regional. Las grasas animales que se han documentado son el sebo de res y la leche, las de origen vegetal son los aceites de girasol, linaza y oliva, y finalmente, los materiales bituminosos como el asfalto.

Al igual que sucede con el resto de los estabilizantes, la cantidad que se utilice debe ser muy moderada para que no se interfiera el comportamiento normal de las arcillas. Por ejemplo, si se agregara demasiado impermeabilizante en una mezcla de barro, las arcillas no se activarían y dejarían de funcionar como aglomerante del conjunto.

Para el caso del aceite de linaza y del asfalto –conocido comercialmente como RC-250 o RC2– existen especificaciones que consideran que una proporción de 0.5 a 2% en peso de la tierra seca funciona bastante bien para la mayoría de los suelos. Sin embargo, debemos insistir en que estos datos, al igual que las relaciones "óptimas" de arcillas, no deben ser tomados como "receta". Simplemente se trata de parámetros que pueden servir como referencia, pero es indispensable hacer los ensayos necesarios en función del tipo de suelo con el que se vaya a trabajar.

Estos tipos de estabilizante se suelen utilizar a temperatura ambiente haciendo una emulsión en el agua que posteriormente se adicionará para hidratar el barro. Es obvio decir que entre más eficiente sea el mezclado, los resultados serán más homogéneos y duraderos.

Finalmente, hay que recordar que la tradición constructiva ha demostrado que estos sistemas de estabilización pueden ser utilizados de forma aislada o en conjunto, por lo que, si se manejan en las proporciones adecuadas, son plenamente compatibles.

Cuando se decida utilizar fibras además de las grasas, cal o mucílagos, es importante realizar la mezcla con estas substancias primero y posteriormente agregar las fibras, para evitar que se adhieran a ellas y lograr además una distribución adecuada.

También sucede que una misma substancia estabilizante puede cumplir varias funciones de manera simultánea, como en caso del mucílago de tuna o el hidróxido de calcio que, aparte de servir como adhesivos y fluidizantes de las mezclas, evitan en cierta medida la penetración de la humedad.

Sistemas constructivos

Como ya se ha mencionado, la arquitectura de tierra ha estado presente en los asentamientos humanos localizados en diversas latitudes, desde las etapas más primitivas hasta las más complejas del desarrollo de la cultura.

En función de este desarrollo, así como de los recursos existentes en cada localidad, se generaron técnicas constructivas que emplearon la tierra con diversos grados de exclusividad y en combinación con otros materiales, para configurar lo que se conoce como sistemas constructivos.

El hecho de que muchas de estas técnicas se encuentren aún vigentes y que hayan permanecido prácticamente inalteradas con el paso de los siglos, es una muestra fehaciente de su capacidad para resolver los problemas de habitabilidad de importantes sectores de la sociedad.

La evolución tecnológica se ha basado en el equilibrio entre la satisfacción de las necesidades sociales y la previsión de las condiciones de riesgo de los edificios.

Son muchos los factores que han incidido en el perfeccionamiento o abandono de diversas técnicas constructivas entre los que se encuentran las formas de organización comunitaria, la disponibilidad de recursos naturales, los sistemas de división del trabajo, los intercambios comerciales y la geografía local, entre otros. Sin embargo, los sismos y el agua son los principales agentes de vulnerabilidad de las estructuras térreas, por lo que la búsqueda de resistencia a sus embates en gran medida ha guiado la generación de respuestas formales, materiales y dimensionales.

Una constante en el desarrollo de los sistemas constructivos de tierra es la conciencia de sus limitaciones en cuanto a sus capacidades de carga, las cuales han conducido a lo que se conoce como el funcionamiento "orgánico" de las estructuras.

Habida cuenta de la fragilidad de las piezas de tierra que trabajan de manera aislada, las técnicas edilicias han buscado la manera de desarrollar formas, dimensiones y acomodos que interrelacionen todos los componentes constructivos para que "colaboren" unos con otros.

Los edificios térreos se comportan como un sistema complejo en el que cada uno de sus componentes tiene su razón de ser y que si llegan a presentar alteraciones, el equilibrio del sistema se perturba en su totalidad. Por ejemplo, si determinada sección de un entrepiso empieza a sufrir una concentración puntual de cargas, es muy posible que el sobrepeso rebase la capacidad del material en el punto en cuestión y paulatinamente lo disgregue. Entonces el desequilibrio se incrementa y empieza a afectar al resto de la estructura que, aunque normalmente se va adaptando a estas alteraciones por la flexibilidad del conjunto, llega un momento en que se sobrepasan los límites de adecuación y los inmuebles se colapsan (Guerrero, 2002, pp.7-8).

Por esta razón son fundamentales el análisis y conocimiento no sólo de los componentes específicos de las estructuras sino, sobre todo, de las relaciones que normalmente mantienen y para las que históricamente fueron diseñados y probados generación tras generación. De poco sirve, por ejemplo, tener adobes prensados, bien dosificados y con capacidades de carga superiores a los 50 kg/cm^2, si la presión con la que se hicieron les cierra los poros y les disminuye su capacidad de adherirse a los morteros de asiento, de modo que se debilita el muro como conjunto. Se requiere tener, en este caso, un rango que permita conciliar resistencia con adherencia óptima. Algo parecido sucede cuando se elaboran tapias bien moduladas con respecto a la localización de puertas y ventanas, pero cuyas dimensiones no permiten el trabado apropiado de las esquinas de las habitaciones y las cargas no se transmiten adecuadamente.

De ahí la necesidad de conocer tanto la caracterización física de los materiales constructivos, como el origen tradicional de su localización, tamaño e interrelación con otros componentes. Bajo esta lógica, a continuación se exponen algunos aspectos generales de las tres técnicas constructivas más desarrolladas en nuestras regiones.

El adobe

Como es conocido por todos, el adobe constituye la técnica que mayor nivel de difusión ha tenido tanto por la semejanza que presenta con el resto de los sistemas constructivos mampuestos, como por la posibilidad de prefabricar, almacenar y transportar las piezas para su uso posterior.

Héctor Gallegos consigna la existencia de adobes modelados a mano en la ciudad de Jericó, que datan del octavo milenio antes de nuestra era. Asimismo, se sabe de adobes encontrados en el valle de Casma en el Perú de hace cinco mil años, poco antes de que aparecieran casi simultáneamente los moldes de madera en los poblados de Erudi en Sumeria y en el valle peruano de Chicama (Tejeda, 2001, p. 23).

El uso de moldes o gaveras de geometría regular propició, por una parte, el aumento en la velocidad de producción constructiva, pero, sobre todo, influyó directamente en el incremento en la resistencia de las estructuras, con lo que se estuvo en posibilidad de realizar construcciones más altas y sofisticadas.

El proceso de moldeado permitió mantener el control de la calidad de las piezas en forma, tamaño y capacidad de carga, además de facilitar su aparejo y trabado en las uniones de los muros, que han hecho posible preservar estables a los edificios por siglos.

La técnica consiste básicamente en el moldeado de bloques de barro de dimensiones que varían según la tradición local, que se secan al sol y posteriormente permiten construir estructuras portantes de muros, arcos, bóvedas o cúpulas por hiladas sobrepuestas.

Figura 8:
Taller infantil para elaboración de adobes. San Isidro, Durango, México.

La tierra para elaborar los adobes se tiene que dejar perfectamente humedecida en el "pisadero" por un periodo no menor a los dos días, protegiéndola de la intemperie bajo una cubierta o con una cama de paja para conservar su nivel de humedad.

Este paso que se conoce tradicionalmente como "dormido", "fermentado" o "podrido" del barro es fundamental ya que garantiza la correcta hidratación de todas las partículas de arcilla presentes y su "activación" como aglomerante. Se recomienda que, en el caso de que se desee agregar fibras como estabilizante, la operación se realice en seco por la facilidad del mezclado y posteriormente se lleve a cabo la hidratación.

Sin embargo, el proceso se invierte si además se desea utilizar adhesivos o hidrofugantes, puesto que, como ya se mencionó, conviene incorporarlos antes que las fibras para su mejor distribución. En este caso es importante aclarar que los estabilizantes como el asfalto o las grasas se han de agregar siempre a la tierra que ya ha sido perfectamente humedecida y "dormida", porque de lo contrario se interfiere su proceso natural de hidratación.

Para la elaboración de las piezas se coloca el molde o gavera, previamente humedecido, sobre el piso del tendal que ha sido rociado con arena. El barro hidratado y en estado plástico se arroja con fuerza dentro del molde y se comprime con la mano o los pies, repartiéndolo perfectamente hacia las esquinas hasta el llenado total. Posteriormente se enrasa la superficie con la mano humedecida o con la ayuda de una regla de madera. Finalmente se saca la gavera cuidando levantarla verticalmente y con decisión para evitar la deformación de las aristas.

Después, los adobes se dejan a la intemperie para lograr un secado homogéneo. En regiones con climas demasiado extremos y con asoleamiento intenso, será necesario proteger las piezas con una cubierta liviana o bajo una cama de paja durante las dos o tres primeras horas para evitar que se deformen o agrieten por un secado diferencial. Dependiendo de las condiciones del sitio, se podrán poner de canto para que se ventilen adecuadamente en tres o cuatro días, y en un par de semanas se podrán almacenar, cuidando que tengan la separación suficiente para que el aire circule entre ellos.

Existen aspectos enraizados en la tradición cuyo olvido ha incidido en la alteración de la

correcta edificación. Sólo por mencionar un tema relativo al secado, se citan los conocimientos expuestos por Vitruvio en el capítulo tercero de su Libro Segundo, de *Los diez libros de la Arquitectura*, donde menciona que los adobes:

> ...se deben hacer en primavera o en otoño, con objeto de que se vayan secando por todas partes de una manera uniforme: en cambio los que se hacen durante el solsticio son defectuosos, porque el sol ardiente seca pronto su corteza, dándoles apariencia de secos, pero luego, cuando efectivamente se han secado, se contraen y, resquebrajándose su superficie, se estropean completamente. Los mejores serán los hechos dos años antes, puesto que pueden secarse preferentemente por su parte interna antes de este tiempo. Con los que se utilizan en fresco y no secos del todo, resulta que el revoque que se les da encima y que adquiere una consistencia rígida permanece invariable; ellos, en cambio, no pueden conservar la misma rigidez que el enlucido, no se adhieren a él y por la contracción se separan. De suerte que los enlucidos separados de la pared, en razón de su escaso espesor, no son capaces de sostenerse por sí mismos y terminan por soltarse, y hasta la propia pared se resquebraja de manera desigual y acaba por estropearse. Por eso en Útica no se permite construir sino con adobe seco hecho cinco años antes y aceptado por el magistrado (Vitruvio, 1986, pp. 40-41).

Las dimensiones de los adobes están relacionadas con el posible manejo de las piezas y la velocidad de avance de la obra. Muchos edificios de la época colonial tenían adobes de 60 x 45 x 10 cm, pero debido a que llegaban a pesar más de treinta kilos, en muchos sitios tradicionales se han disminuido las dimensiones a 48 x 24 x 8 cm.

Estas medidas tienen una incidencia directa en la forma en que se alinearán por hiladas para lograr un reparto uniforme de esfuerzos. Existen diferentes aparejos o maneras de acomodar los adobes para constituir muros. El más frecuente es el aparejo "en soga", es decir, con las piezas alineadas con su lado largo paralelo al desarrollo del muro. Sin embargo, esta colocación es la menos aconsejable debido a la inestabilidad de la estructura como resultado de su relación de esbeltez. Los aparejos más recomendables para lograr muros de por lo menos 36 cm de ancho suelen ser "a tizón", o sea con el lado largo de los

Figura 9:
Elaboración de un muro de adobe colocado en soga. Aguascalientes, México.

adobes perpendicular al desarrollo del muro o en hiladas alternas a tizón y doble soga –aparejo americano–.

Este hecho es fundamental para este sistema constructivo ya que incide directamente en la forma en que se transmiten orgánicamente los esfuerzos y en la posibilidad de trabar o "amarrar" adecuadamente las esquinas, que son puntos muy vulnerables.

Otro aspecto de alta relevancia en la estructuración de los muros y que también incide en su posibilidad de funcionar monolíticamente, es el mortero de junta. Es fundamental tener una mezcla lo más parecida posible a los adobes, tanto en sus características granulométricas como en su proceso de estabilización. Además, se debe seguir el mismo proceso de "dormido" de la mezcla, al menos dos días antes de ser utilizada.

Finalmente, se ha de cuidar que durante el proceso constructivo se eleven las hiladas de adobes de manera paulatina, dejando que el mortero seque perfectamente. Conviene construir un máximo de seis hiladas por día y continuar hasta el siguiente la obra. De lo contrario, el mortero de las hiladas bajas se comprime más que el de las altas, con lo que se provoca un aspecto y un comportamiento menos homogéneo de muros, bóvedas o cúpulas.

La tapia

La técnica conocida como tapia, tapial, tapia pisada o tierra apisonada, presenta ciertas diferencias con respecto al adobe. Se trata de un sistema en el que la transformación del suelo y la edificación constituyen un mismo proceso, por lo que la selección de la materia prima y la organización del trabajo son piezas clave.

Se tienen evidencias de construcciones de tapias desde hace milenios en regiones tan distantes como la India, China, Egipto, Siria, Líbano, Bolivia y Perú.

Figura 10: *Construcción de una vivienda de tapia. Alentejo, Portugal.*

En China existen referencias sobre el uso de esta técnica para realizar fortificaciones y palacios desde la remota dinastía Shang, que data del periodo comprendido entre 1766 y 1045 a.C. Desde entonces se mantuvo el desarrollo del sistema constructivo cuya manifestación más potente se materializó en diversos tramos de la Gran Muralla que se edificaron entre el quinto y tercer siglo antes de nuestra era, pero cuyos 6000 km de longitud fueron completados hasta los tiempos de la dinastía Ming, entre los siglos quince y diecisiete (Houben, 2001, p. 13).

La tapia también se utilizó para la construcción de las villas púnicas cuando los fenicios diseminaban su cultura a lo largo del Mediterráneo. Plinio describe este método constructivo en su *Historia Natural* al decir con asombro: "... qué podemos decir acerca de los muros de tierra compactada que hemos visto en Barbaria (Cartago) y en España donde se han llamado *paredes moldeadas* ya que la tierra es moldeada entre dos placas (...) y no hay cemento ni mortero que sea más fuerte; (...) las torres de vigía y murallas construidas por Aníbal en España son de tierra comprimida". Se han encontrado restos en estas regiones correspondientes al año 820 a.C. (Houben, 2001, p. 10).

En nuestro continente destaca el caso de las ciudades andinas construidas desde el periodo Mochica, entre el siglo segundo y octavo de nuestra era, en donde se muestra un vasto desarrollo en el manejo de combinaciones de técnicas constructivas de tierra entre las que se encuentra la tapia. Este sistema sirvió para hacer canales de irrigación, basamentos de templos y murallas.

Los conquistadores españoles utilizaron masivamente la tapia en zonas rurales de nuestro continente, aunque también existen ejemplos de su manejo en estructuras tan destacadas como la antigua catedral de Santo Domingo en República Dominicana.

Sin embargo, la sistematización y difusión a escala internacional de la tapia se debe a constructores franceses durante el siglo XIX, quienes desarrollaron manuales que fueron traducidos a diversas lenguas, en donde se detallan varias alternativas de este proceso constructivo.

A diferencia de otros sistemas térreos, en la tapia la propiedad cohesiva de las arcillas se complementa con la compresión mecánica del material. Por esto, el grado de humedad del suelo se convierte en una variable crítica.

Una tierra demasiado húmeda no puede ser compactada adecuadamente, se adhiere al pisón impidiendo el trabajo y genera alteraciones o deformaciones en las estructuras a lo largo de la fase de secado. Sin embargo, un material demasiado seco tampoco va a funcionar aunque se compacte de modo correcto. Se necesita una proporción de agua suficiente para activar las arcillas y propiciar su acción aglutinante (Doat, 1996, p. 25).

La tierra no pasa por el proceso de "dormido" que se requiere para construir con adobes, porque éste lleva al barro a un estado plástico que no funciona para hacer tapias. Se recomienda el uso de suelo recientemente extraído de su fuente, para que mantenga parte de su humedad natural. De no poderse dar esto, es posible humedecerlo ligeramente con una regadera antes de proceder a su compactación. Sin que se trate de una regla estricta, normalmente los rangos de humedad que se requieren para la realización de tapias giran en torno a un valor de 10%.

> Se puede hacer una simple prueba durante la marcha, para determinar qué tan lista está una tierra para usarse. Primero se debe ver húmeda pero no empapada. Se debe poder apretar fácilmente, a mano, un puñado de la tierra hasta formar una bola firme. En esta prueba, una tierra con un contenido de humedad demasiado alto se sentirá pegajosa y no formará una bola firme y sólida al apretarla. Por otra parte, si hay poca presencia de humedad, la tierra no se compactará ni permanecerá ligada en absoluto. La bola de tierra exitosamente compacta será firme y sólida, no dura o pegajosa. La tierra compactada a mano se puede dejar caer sobre una superficie firme desde

una distancia de aproximadamente un metro. Si la bola se rompe, el contenido de humedad es adecuado, si no, hay demasiada humedad presente (McHenry, 1996, p. 112).

Existen muchas maneras de realizar muros de tapial, aunque la diferencia básica entre cada método está en función de las características de la cimbra o encofrado que se utiliza. Normalmente estos moldes hechos de madera mediante tablones reforzados por barrotes, miden entre 1.5 y 2.5 metros de largo por 80 centímetros de alto y 45 de ancho. Sin embargo, al igual que sucede con los adobes, estas dimensiones varían dependiendo de las tradiciones locales.

Los dos procedimientos básicos de construcción en que se puede dividir esta técnica, se diferencian en la manera de soportar y desplazar las cimbras. En el primero, se fijan mediante una serie de estacas clavadas en el suelo que son reforzadas por puntales y horcones atados en la parte superior para evitar su separación, y con barrotes transversales en el interior, con el objeto de mantener un grosor uniforme del muro. En el segundo procedimiento, el cajón queda libre para ser desplazado y se soporta por su propio peso mediante travesaños a los cimientos o a la hilada de tapias ya terminada.

Los muros se levantan sobre una cimentación de piedra, ladrillo u hormigón fijando la cimbra a partir de una esquina de la construcción y verificando el plomo y nivel de sus paños. Se recomienda que antes de echar la primera capa de tierra se extienda un poco del mortero utilizado en la cimentación para nivelar su corona y evitar que al comenzar a compactar se salga la tierra entre las juntas.

Posteriormente el pisador entra en la cimbra y recibe baldes con tierra que extiende con los pies para proceder a compactarla en capas de 15 a 25 cm de espesor. El pisón tradicional se hace con una madera dura pero que no sea demasiado pesada, pues lo que se requiere en el apisonado no es fuerza sino uniformidad. Es importante que los golpes de pisón comiencen en los bordes del muro, al paño de la cimbra y continúen hacia su centro pero procurando pegar en todos sentidos para lograr una presión homogénea.

Después de repetir esta operación hasta llenar la cimbra, ésta se desarma para colocarla a continuación del bloque recién concluido para lograr una adecuada unión en las piezas. Se verifica nuevamente el plomo y nivel y se repite la operación de llenado y compactación por capas, hasta cerrar el perímetro de la primera "hilada" de la construcción. En ese momento el secado del material será suficiente como para que soporte el peso de los obreros, la cimbra y la siguiente hilada que se elabora repitiendo el procedimiento, con una nueva serie encima de la anterior, hasta completar la altura de muro requerida (Easton, 1996, pp. 140-141).

Resulta fundamental que las juntas verticales entre los bloques no coincidan con las de la hilada ya terminada, por lo que se debe desplazar hasta la mitad de la pieza inferior, bajo la misma lógica de traslape de todo tipo de mamposterías.

La instalación para puertas y ventanas se debe prever antes de la colocación de las hiladas de tapias, buscando el respeto a la modulación de las piezas.

Una vez que se han concluido los muros es posible construir la techumbre que, debido a la capacidad de carga del sistema, bien puede ser resuelta con viguería, bóvedas, en techo plano, con una o más vertientes, dependiendo de las condiciones climáticas locales.

Vale la pena mencionar finalmente que estudios de resistencia de materiales realizados en años recientes, han demostrado que los muros de tapia soportan en promedio un 40% más esfuerzos de compresión, tensión y cortante que aquellos edificados con base en mampostería de adobe, los cuales, a pesar de su frecuente uso y difusión en todo el mundo, llegan a desarrollar fallas estructurales debido a la falta de homogeneidad entre las piezas y el mortero que las une (Vargas, 1993, p. 507).

El bahareque

La técnica conocida como bahareque, bajareque, quincha, enjarre o embarrado, es un sistema mixto, en el que la mayor parte de los esfuerzos constructivos que recibe la tierra son absorbidos por una estructura hecha de material vegetal que le sirve como esqueleto.

Es muy probable que el origen de la arquitectura de bajareque se remonte a la época en que se inicia la sedentarización de las comunidades hace más de siete mil años. En efecto, cuando el hombre primitivo tenía que vivir de la persecución de las manadas de animales para procurarse el sustento, habitaba refugios provisionales cons-

truidos con materiales que transportaba en cada desplazamiento como esteras, pieles y troncos o componentes locales de fácil obtención y transformación como las varas, la paja y las hojas.

Paulatinamente y de manera paralela a la evolución de la cestería, fue mejorando la tecnología de las uniones materiales de sus chozas mediante el entretejido y amarre de elementos vegetales.

En el momento en que el hombre se estableció para cuidar sus cultivos y rebaños, estuvo en posibilidad de mejorar las técnicas constructivas de sus viviendas. Seguramente uno de sus primeros pasos fue la adición de barro en la superficie de sus muros entramados para lograr su mejor hermeticidad, generándose así la técnica de bahareque.

Aunque los datos materiales que permiten fechar la evolución de esta técnica son escasos, estudios específicos para la zona de Mesoamérica evidencian que durante la Época Preclásica, es decir, desde unos 1700 años antes de la era cristiana, "las tribus vivían en pequeños poblados rústicos formados por chozas desparramadas. Estas habitaciones primitivas eran rectangulares y construidas con el sistema conocido bajo el nombre de bajareque" (Bernal, 1984, p. 30).

En el poblado de Etla en el estado de Oaxaca, al sur de México, se han encontrado restos de habitaciones desarrolladas hacia el año 1250 a.C. Se trata de "construcciones de un solo cuarto con un altar y recubrimientos de lodo y limo en los pisos, los escalonamientos de acceso y una parte de las paredes hechas con la técnica de bajareque" (Fernández, 1997, p. 20).

Otro caso muy destacable es el de Joya de Cerén, en El Salvador, una aldea que fue sepultada por una capa de 4 a 6 metros de ceniza proveniente de la erupción del volcán llamado Loma Caldera, alrededor del año 600 d.C. Esta ceniza, al igual que sucedió con las ciudades italianas de Pompeya y Herculano, selló completamente la villa. De este modo se preservaron herramientas y cerámica de los pobladores que se vieron obligados a abandonar el lugar, además de diversos materiales orgánicos tales como madera, palma, semillas y plantas de los cultivos, que fueron carbonizados, mineralizados parcialmente o dejaron improntas como "moldes" en las cenizas que los cubrieron antes de desintegrarse.

En este ambiente se conservaron diversas viviendas en las que se evidencia que el sistema constructivo predominante para los muros era el bahareque, apoyado sobre una plataforma de adobe, con columnas del mismo material en cada una de las esquinas que recibían la estructura de los techos de madera, palma y zacate.

Sin lugar a dudas, esta técnica fue ampliamente desarrollada en la mayor parte de la construcción habitacional de la época prehispánica de nuestro continente y, aunque con ciertas especificidades locales, logró subsistir y evolucionar gracias a su facilidad constructiva, economía de materiales y confort térmico logrado, por lo que permaneció casi inalterada a la llegada de los españoles, como lo confirman los textos de diversos cronistas.

> Los indios (...) eran más diestros en edificar de maderas que de mazonería, porque una gran parte de sus casas, tanto en el Imperio Mexicano como en las Provincias de Tlaxcala, Cholula y las demás eran de madera revocadas de lodo por dentro y fuera y blanqueadas (Kubler, 1984, p. 154).

En el territorio que conformaba el virreinato del Perú y debido a la influencia generada como reacción a las destrucciones sufridas en Lima, como consecuencia de los fuertes terremotos de 1666, 1687 y 1746, se inició una campaña para modificar los componentes estructurales que trabajaban a compresión pura como bóvedas o cúpulas, y substituirlos por elementos de bahareque. En muchas poblaciones de raigambre colonial se conservan todavía importantes ejemplos de edificios en los que la planta baja es de adobe y los niveles superiores son de quincha, habiendo resistido innumerables sismos con una respuesta altamente eficiente.

Afortunadamente este sistema constructivo ha llegado hasta nuestros días sin demasiadas alteraciones, por lo que es posible analizarlo a través de las diversas estructuras que se conservan como parte del patrimonio edificado.

En esencia, se puede decir que el bahareque consiste en la realización de una estructura de pies derechos de madera que se empotran a la cimentación o al suelo natural, a la cual se le fijan travesaños del mismo material pero de menor sección con separaciones de entre 80 y 120 cm. Posteriormente se incorpora el tejido de varas, cañas, carrizos u otro tipo de bambúseas que, según su diámetro, se pueden entramar enteras o seccionadas en toda su longitud. Esta estructura es revestida por ambas caras con lodo adicionado

con fibras vegetales en dos o tres capas sucesivas de espesor decreciente.

En algunos casos las superficies embarradas son cubiertas con una mezcla aguada del mismo barro, a veces enriquecido con hidróxido de calcio, que finalmente se pinta también con cal para su mejor aspecto y protección.

Con el objeto de evitar la deformación o el agrietamiento de las superficies, antes de iniciar la aplicación del barro, la estructura portante de la construcción se arma por completo, procediéndose incluso a su techado, de modo que exista una protección ante la intemperie durante el enjarre. Debido al alto nivel de humedad que contiene el revestimiento, lo más conveniente es que se vaya secando de manera paulatina.

Una variante de esta técnica con diversas aplicaciones regionales consiste en la construcción de dos armaduras reticulares de carrizo en vez de una sola, que son fijadas paralelamente con una separación de aproximadamente 10 cm y que se rellenan con lodo y guijarros desde su base hasta la techumbre. Posteriormente se aplica el revestimiento de barro, con el mismo acabado que en el bahareque sencillo, o en ocasiones solamente se pinta el entramado directamente con cal de color natural o pigmentada.

Tradicionalmente se ha cuidado casi como un rito cada paso del proceso constructivo, desde el corte del carrizo que debía hacerse siempre por sus nudos, evitando astillamientos y "en noches de luna llena" (Prieto, 1987, p. 113), sus procesos de secado, y hasta la forma de realizar los amarres, la fermentación del barro, su aplicación en capas, etc.

Aunque el nombre de la técnica se aplica principalmente para el caso de muros, existen muchos sitios en los que el mismo sistema constructivo es empleado para hacer entrepisos, techos planos, inclinados, bóvedas y cúpulas.

Hoy en día la arquitectura de bahareque sigue siendo ampliamente utilizada sobre todo en las costas y regiones tropicales, especialmente en zonas sísmicas, debido a que, como ya se comentó, la flexibilidad de su conjunto presenta un comportamiento muy adecuado ante empujes y movimientos no axiales. Además, este sistema constructivo genera estructuras sumamente livianas que para el caso de terrenos con baja capacidad de carga resulta una excelente solución.

Por otra parte, la esbeltez de las paredes permite un óptimo aprovechamiento de los terrenos de emplazamiento, factor que se vuelve crucial en las zonas urbanas en donde los predios cada vez son más reducidos. Es interesante que, a pesar de esta limitación en su espesor y la consecuente reducción de masa térmica, el comportamiento del bahareque es notablemente adecuado gracias a la combinación de madera, caña y barro, los cuales presentan en su interior acumulaciones de aire que, como se sabe, son las que proporcionan el aislamiento ante los cambios de la temperatura exterior de las habitaciones.

Figura 11:
Paneles para bahareque. Construtierra, 2006. Monasterio de Santo Ecce Homo, Colombia.

Sin embargo, debido a la pérdida de la tradición constructiva y, sobre todo, a la falta de un mantenimiento continuo, el sistema se puede volver insalubre si no recibe el recubrimiento necesario. Si el material vegetal queda expuesto, se inicia la proliferación de flora y fauna parásita que, por ser de tipo aeróbico, no sobreviviría con los elementos apropiadamente revocados.

Este factor asociado a la escasa difusión que se le ha dado a esta eficiente técnica, han incidido en que todavía no alcance el nivel que podría tener para satisfacer las crecientes demandas de vivienda en la mayor parte del territorio iberoamericano.

Afortunadamente, desde hace varios años se han desarrollado destacadas adaptaciones tecnológicas a este sistema, especialmente gracias a la prefabricación de sus componentes.

Este es el caso de lo que en la zona andina se conoce como *paneles de quincha* y que han permitido realizar proyectos de muy diversas escalas de actuación, con evaluaciones técnicas sumamente cuidadosas que han llevado por ejemplo, para el caso peruano, a que haya sido aceptado legalmente como *Sistema Constructivo No Convencional*, con normas y especificaciones precisas reconocidas como R.D.N° 001-84-VC-9602 que permiten la obtención de licencias de construcción.

Los paneles se unen a columnas de madera y ambos se asientan sobre cimientos de

concreto para lograr una carga homogénea del terreno y, sobre todo, con el fin de garantizar el aislamiento de la humedad freática. Las piezas clave del sistema son los paneles que consisten en un bastidor rectangular de madera con subdivisiones de refuerzo que sirven de marco para el tejido de cañas. Estos marcos tienen la ventaja de estar modulados y, por lo tanto, permitir la generación de paños sólidos, así como espacios para puertas y ventanas, que posibilitan una gran libertad creativa para resolver los problemas de habitabilidad de los usuarios.

> El panel típico utilizado por el ININVI consiste en dos pies derechos, 4 travesaños y 4 semi diagonales; las dimensiones de este panel son 2.40 m de largo y 1.20 m de ancho. Las secciones principales tienen una escuadría de 3 cm x 6.5 cm que corresponden a las secciones comerciales de 1½" x 3". Se puede señalar que estos paneles han sido utilizados en combinación con columnas de madera de 3" x 3", arriostradas por vigas soleras. Los bastidores son tejidos (...) con carrizo, caña brava, caña Guayaquil u otra bambúsea. Las dos primeras deben emplearse preferentemente enteras, con diámetros que varíen entre ½" y ¾"; en los demás casos se deberán preparar tiras que no excedan las dimensiones indicadas, con el propósito de que no sobrepasen el plano del bastidor. [El trenzado de las cañas se realiza] pasándolas alternativamente por los travesaños con lo que se consigue la autosujeción de las mismas, sin necesidad de utilizar clavos u otros medios de fijación. Se deben alternar además los extremos gruesos y los delgados de las cañas, con el propósito de obtener anchos similares en ambos extremos del panel. (...) Se debe tratar que las cañas queden bien presionadas lateralmente unas con otras, lo que incrementa la rigidez del panel y le confiere más resistencia (Tejeda, 2001, pp. 139-141).

Figura 12: *Práctica de bahareque. Construtierra, 2006. Monasterio de Santo Ecce Homo, Colombia.*

Estos paneles se montan sobre anclas que se dejan previamente en la cimentación cuando se trata de plantas bajas, o de vigas soleras o collar, si se van a edificar plantas superiores. Como se comentó, el esqueleto básico lo constituyen columnas de madera preferentemente de sección cuadrada que se localizan en las esquinas y todos los encuentros de muros.

Al igual que sucede con el resto de los sistemas térreos, si se construyen de manera adecuada y reciben el mantenimiento necesario, esta técnica satisface con creces las condiciones técnicas de cualquier otro sistema convencional, pero con la invaluable ventaja de la preservación del medio natural y cultural.

Criterios de diseño

La edificación con tierra sigue la misma lógica que la mayoría de los sistemas constructivos convencionales; empero, requiere una serie de cuidados adicionales derivados de la menor resistencia física de sus componentes y su vulnerabilidad ante el agua.

El primer elemento para considerar, y que para el caso de zonas sísmicas se vuelve crítico, es la geometría en planta de los edificios. Lo más recomendable es generar un diseño con formas regulares, a través del equilibrio en la suma de las longitudes de los muros en cada una de las direcciones ortogonales. Una planta ideal sería la cuadrada o lo más aproximado a ella, de manera que se reduzca el riesgo a la torsión que caracteriza los efectos telúricos sobre las estructuras.

Los edificios compactos, que contienen suficientes muros divisorios en sus locales y con el menor número de posibles concentraciones de cargas, funcionan muy adecuadamente para cualquier técnica constructiva con tierra.

Es importante que los vanos para puertas y ventanas sean pequeños y estén distribuidos de manera armónica en los locales. Además, los dinteles de estos elementos deben tener un empotramiento lo suficientemente largo como para que los empujes se repartan en la mayor superficie posible, a fin de evitar la sobrecarga de las jambas.

Se debe favorecer un arriostre continuo entre los muros, para que se apoyen orgánicamente entre ellos. La simetría en la composición de llenos y vacíos garantiza el comportamiento equilibrado de los empujes, independientemen-

te de la dirección de los posibles esfuerzos no previstos.

Resulta muy conveniente incluir mochetas o pilastras en las esquinas, en los cruces entre muros y en sus remates. Estos componentes sirven como refuerzos en los puntos que regularmente son los más afectados por empujes laterales, hundimientos diferenciales o fallas por cortante debidas a sobrecargas verticales.

Para los muros de adobe o tapial se han de tomar medidas de previsión sismorresistente, como puede ser la introducción de cañas verticales en todo lo alto del muro ancladas en la cimentación y coronamiento. Estos elementos se complementan con cañas o escalerillas de madera horizontales colocadas entre varias hiladas y que se unen a las cañas verticales para formar una retícula que le confiere flexibilidad al conjunto (Tejeda, 2001, p. 63).

En la medida de lo posible, habrá que buscar opciones de cubiertas y entrepisos que sean ligeras, pero que posean la resistencia suficiente para ayudar a ligar los muros. Es indispensable que los esfuerzos de estos elementos sean transmitidos de manera uniformemente repartida hacia el coronamiento de los muros. La concentración de cargas se puede evitar mediante el uso de soleras, collares o cadenas de arrastre que tradicionalmente se han hecho a base de tablones, escalerillas o vigas de madera colocadas sobre las hiladas finales de las paredes.

Estos elementos se deben ensamblar adecuadamente en las esquinas para que se conforme un anillo continuo que confine la parte alta de los muros y desarrolle el comportamiento diafragmático de los componentes horizontales de los edificios.

En lo que se refiere a la vulnerabilidad ante la humedad, resulta fundamental tomar todas las precauciones necesarias para evitar la lluvia, la ascensión capilar y las posibles fugas en las instalaciones.

En las zonas lluviosas se debe procurar el diseño de techos con aleros que tengan la extensión suficiente como para proteger del impacto directo de la lluvia en la mayor superficie posible de los muros.

Por otra parte, se debe considerar que la corona de la cimentación sobresalga del terreno natural para permitir que la base del muro esté aislada de la absorción de la humedad freática, permanezca ventilada y se evite además el desgaste por las posibles corrientes de agua superficial, así como la erosión que se deriva de las salpicaduras o de la lluvia. Estos zócalos o *sobrecimientos* han de tener por lo menos una altura de 30 cm y serán monolíticos con la cimentación.

Finalmente, es necesario hablar de la protección superficial de los inmuebles que, al igual que sucede con la piel de muchos seres vivos, además de darles protección ante los efectos del medio ambiente, les sirve para mantener su equilibrio higrotérmico.

Los recubrimientos de muros que mejores resultados han presentado debido a su compatibilidad y adherencia, son aquellos que se realizaron con mezclas similares a las que constituyen los núcleos y morteros de pega. La coincidencia en los coeficientes de dilatación de los enjarres de barro disminuye la presencia de microfisuras a consecuencia de retracciones volumétricas. Sin embargo, infortunadamente este tipo de acabados tiene una duración limitada y su supervivencia requiere de procesos de mantenimiento periódico para prevenir patologías.

Por esto, desde tiempo inmemorial se han utilizado los recubrimientos hechos a base de mezclas de cal y arena que, como se mencionó en el apartado referido a la estabilización, resultan plenamente compatibles con los muros térreos.

La cal presenta muchas cualidades de tipo constructivo, económico y ecológico, sobre todo si se le compara con el cemento que es su principal "competidor" en este campo. Entre estas ventajas podemos destacar las siguientes.

Las partículas de cal son mucho más pequeñas que las del cemento, por lo que la diversidad granulométrica de los morteros genera una adecuada oclusión de poros con mejores adherencias. Además, este tamaño de partículas permite que "atrapen" de una manera más firme a los cristales de la arena.

Figura 13:
Colocación de las vigas de la cubierta sobre el tablón collar o arrastre. Restauración del templo de Chalchihuites, México.

Los morteros de cemento alcanzan en muy poco tiempo su máxima resistencia, pero ésta permanece estable y progresivamente empieza a disminuir. En cambio, las mezclas con cal con el tiempo van adquiriendo una mayor resistencia que nunca decrece. Normalmente, un mortero de cal-arena (1/3) presenta a los siete días una resistencia cercana a 100 kg/cm^2; a los 28 días puede llegar a los 125 kg/cm^2; a los 90 días, 135 kg/cm^2 y así sucesivamente. Algunas muestras de morteros con más de mil años de antigüedad han llegado a presentar resistencias a la compresión mayores a 200 kg/cm^2.[1]

1 Ver: http://www.calhidra.com.mx/index1.html

Por otra parte, sus combinaciones tienen la propiedad de que, como resultado de la estructura y forma que adquieren los cristales al fraguar, funcionan como un "filtro" del flujo del aire y del agua, por lo que, sin llegar a impermeabilizar totalmente los materiales, son una eficaz protección ante la humedad.

Justamente esta cualidad permeable hace que los morteros de cal puedan intercambiar aire y agua con su medio, de manera que se evita que los núcleos de los muros de tierra retengan la humedad, con lo que se conserva equilibrado su nivel higrotérmico.

En el polo opuesto, el uso de recubrimientos con cemento deja atrapada la humedad en el interior de los muros y terrados, con lo que paulatinamente se van degradando hasta llegar, en casos extremos, a colapsarse.

Las obras con cal poseen mayores propiedades plásticas que las de cemento desde el momento de su aplicación y durante su fraguado a lo largo del tiempo, con lo que las estructuras tienen mayor flexibilidad. Esta cualidad les otorga una evidente tolerancia ante deformaciones causadas por hundimientos diferenciales o empujes imprevistos.

Y como un dato adicional, el proceso de carbonatación del hidróxido de calcio tiene la propiedad de funcionar como bactericida y fungicida, además de atrapar el bióxido de carbono del aire, con lo que se logran espacios más limpios y sanos.

Conclusiones

Las obras de arquitectura de adobe, tapia y bahareque poseen un indiscutible valor dentro de nuestra cultura material, debido a su remoto origen, nivel de supervivencia y adecuación al medio natural. Sin embargo, infortunadamente han ido desapareciendo al ser abandonadas o substituidas por nuevos sistemas constructivos, como consecuencia del desprestigio que sufren por ser consideradas tecnologías subdesarrolladas y de mala calidad.

No obstante, paulatinamente se va tomando mayor conciencia de las cualidades de las estructuras térreas gracias al estudio de los edificios patrimoniales que han pervivido por siglos, a diferencia de otros materiales con mejor reputación, de los que no se tiene registro de su comportamiento por más de cien años.

Vitruvio, en el capítulo VIII de su Segundo Libro, al hablar acerca del valor de la arquitectura de adobe, menciona que:

> ... en no pocas ciudades, tanto los edificios públicos como los particulares, y aun los palacios, están hechos de adobes. (...) [Así sucede, por ejemplo, con] la casa del poderoso rey Mausolo, de Halicarnaso, aunque tenía todos sus adornos exteriores de mármol de Proconeso, sus paredes de adobe conservan hasta ahora una maravillosa solidez y presentan un enlucido tan brillante que parecen un espejo. Y ese rey no lo hizo porque fuese pobre, ya que gozaba de cuantiosas rentas y podía echar mano de infinitos tributos, como príncipe que era de toda Caria (...) Por tanto, si reyes de tan gran poderío no desdeñaron las construcciones de adobes, ellos que, tanto por sus riquezas como por los impuestos que percibían hubieran podido sin dificultad hacerlas no ya de piedra sencilla o escuadrada, sino hasta de mármol, no creo que pueden reprobarse los edificios de adobes, a condición de que estén bien faharrados (Vitruvio, 1986, pp. 52-54).

La tierra utilizada como material constructivo resulta plenamente sustentable ya que, como es sabido, utiliza el material que más abunda en el planeta, no consume energéticos para su elaboración ni genera emisiones contaminantes o residuos. Es de fácil construcción y reparación, además de que propicia un eficiente confort térmico al regular la humedad y la temperatura de los espacios. Finalmente, cuando termina su vida útil, puede ser reciclada para hacer nuevas estructuras de tierra o simplemente se reintegra a la naturaleza.

Desde luego que no se está diciendo que las estructuras térreas sean una panacea que resuelva cualquier necesidad constructiva. Sim-

plemente se trata de poner en evidencia que, en muchos sitios, el uso del suelo como material edilicio puede presentar resultados mucho más eficientes económica y ecológicamente que los convencionales, si se conocen sus limitaciones y se maneja de manera apropiada.

Como se ha expuesto a lo largo de este texto, uno de los caminos que puede permitir revalorar la arquitectura de tierra, ayudar a su adecuada conservación y generar edificios contemporáneos ecológicos, surge de su comprensión como parte de un sistema complejo. Tradicionalmente, el diseño con tierra ha partido de la visión integral de los detalles constructivos, de su interrelación estructural, de la actuación a escala urbana y de la armonía con el medio natural y cultural del que forman parte.

Esta concepción hace necesaria la aclaración de una serie de conceptos acerca de la consideración holística de los sistemas constructivos, de la conservación de las tradiciones vivas, del mantenimiento continuo a la arquitectura de tierra y de su aprendizaje como fuente para el diseño contemporáneo.

Por eso, hablar de conservar la arquitectura de tierra no es sólo tomar en cuenta los mecanismos para mantener en pie los edificios hechos en el pasado. Esta actividad implica también la investigación, la valoración, el rescate y la difusión de las técnicas que materializaron esas construcciones, ya que la mayoría de ellas siguen vivas.

La ampliación de la perspectiva edilicia dará pie a la realización de intervenciones en estructuras patrimoniales así como nuevos edificios, en los que se mantenga el equilibrio entre el pasado y el futuro gracias a la salvaguarda del medio natural en que están insertos.

El punto de partida radica en la valoración y conocimiento del bagaje cultural que constituye la arquitectura tradicional, conscientes de que su pervivencia tendrá un impacto en la elevación de la calidad de vida de sus habitantes y en la consolidación de la identidad cultural de los pueblos.

Referencias

Bardou, P. (1981). *Arquitecturas de adobe*. Barcelona: Gustavo Gili.

Bernal, I. (1984). *Tenochtitlán en una isla*. México D.F.: SEP.

Doat, P. *et al.* (1996). *Construir con tierra*. Tomos I y II. Bogotá: CRAterre, Fondo Rotatorio Editorial.

Easton, D. (1996). *The rammed earth house*. Vermont: Chelsea Green Publishing Co.

Fernández, E. (1997). "San José Mogote, Etla". *Arqueología Mexicana, V (26)*, 18-23, México D.F.: Editorial Raíces.

Guerrero, L. (1994). *Arquitectura de tierra en México*. México D.F.: UAM Azcapotzalco.

Guerrero, L. (2002). "Deterioro del patrimonio edificado en adobe". *Revista Diseño y Sociedad, 13*, 4-11, Otoño, México D.F.: UAM Xochimilco.

Hoffmann, M. (2002). *Efeito dos argilo-minerail do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal*. Tesis para obtener el grado de Maestría. Salvador: Universidade Federal da Bahia.

Houben, H. y Doat, P. (1982). "Construir en tierra". En: *Tecnología de construcción en tierra sin cocer* (pp. 47-57). México D.F.: CONESCAL.

Houben, H. y Guillaud, H. (2001). *Earth construction. A comprehensive guide*. London: ITDG Publishing.

Kubler, G. (1984). *Arquitectura mexicana del siglo XVI*. México D.F.: FCE.

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

Neves, C. *et al.* (2005) *Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra*. Salvador de Bahía: CYTED.

Prieto, V. (1987). *Vivienda campesina en México*. México D.F.: SAHOP.

Rodríguez, M. *et al.* (2001). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México D.F.: LIMUSA, UAM Azcapotzalco.

Tejeda, U. (2001). *Buena tierra. Apuntes para el diseño y construcción con adobe*. Lima: CIDAP.

Vargas, J. (1993). "Earthquake resistant rammed-earth (tapial) buildings". *Memorias de la 7ª Conferência Internacional Sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra*. Lisboa: DGEMN.

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

Warren, J. (1999). *Conservation of earth structures*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Otras fuentes

http://www.calhidra.com.mx/index1.html

Arquitectura en tierra

Hacia la recuperación de una cultura constructiva

(págs. 182-201)

Luis Fernando Guerrero Baca
Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México
lfgbaca@correo.xoc.uam.mx

Arquitecto, Maestro en Restauración Arquitectónica y Doctor en Ciencias y Artes para el Diseño. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT desde 1998. Ha realizado investigaciones referentes a tipología y teoría de la conservación del patrimonio edificado y arquitectura tradicional, habiendo escrito 76 artículos en publicaciones mexicanas y extranjeras. Asimismo, ha impartido 86 conferencias y ponencias sobre estas temáticas en instituciones académicas de catorce entidades del país, así como en Colombia, Chile, España, Estados Unidos, Perú y Portugal. Es autor del libro *Arquitectura de tierra en México*, coautor de *Introducción a la arquitectura bioclimática*, editor del *Anuario de Estudios de Arquitectura* que publica la UAM Azcapotzalco desde 1997 y del *Anuario Investigación y Diseño* que publica la UAM Xochimilco desde 2004. De 1987 a la fecha ha sido Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, donde actualmente funge como Coordinador del Doctorado en Ciencias y Artes para el Diseño. Es miembro del Seminario Internacional de Conservación y Restauración de Arquitectura de Tierra, SICRAT, y Coordinador del Comité Científico de Arquitectura de Tierra del Consejo Internacional para la Conservación de Monumentos y Sitios, ICOMOS mexicano.

Recepción
13 de enero de 2007

Evaluación
26 de noviembre de 2007

Aceptación
10 de diciembre de 2007

Resumen

El uso de la tierra como material constructivo ha tenido una amplia difusión en todo el mundo desde épocas muy antiguas. Sin embargo, a pesar de las cualidades ecológicas y culturales de la arquitectura térrea, la sociedad actual la rechaza por considerarla obsoleta o insegura. Esta percepción tiene como uno de sus orígenes la pérdida de los conocimientos constructivos tradicionales que la sustentaban y la falta de estudios actuales que puedan suplirlos. La información referente a las tecnologías constructivas suele encontrarse dispersa en publicaciones de tipo especializado de escasa divulgación. Para lograr revalorizar la construcción patrimonial hecha con tierra y poder generar nuevos edificios, es necesario entender sus cualidades y limitaciones. El presente artículo expone una serie de datos referentes a la caracterización de la tierra, los criterios de diseño y los procedimientos de construcción de los tres sistemas de uso más difundido: el adobe, la tapia y el bahareque.

Palabras clave del autor

Adobe, bahareque, tapial, arcilla, tradición constructiva.

Descriptores*

Construcciones de adobe
Bahareque
Materiales de construcción
Construcción industrializada

Earthen architecture

Towards the recovery of a constructional culture

Abstract

The use of earth as a constructive material has had a wide diffusion in the world since very old times. Nevertheless, in spite of the ecological and cultural qualities of the earthen architecture, contemporary society rejects it because they consider it obsolete or insecure. This perception has as one of its origins the loss of the traditional constructive knowledge that sustained it and the lack of modern studies that can replace it. The information referring to the constructive technologies usually is dispersed in specialized publications that are not widely spread. In order to manage to revalue the patrimonial earthen construction and to generate new buildings, it is necessary to understand its qualities and limitations. The present article exposes a series of data about the earth characterization, designing criteria and constructive processes of the three most known systems: adobe, rammed earth and bahareque.

Author Key Words

Adobe, bahareque, rammed earth, clay, building tradition.

Key Words Plus*

Building, adobe
Bahareque
Building materials
Industrialized building

* Los descriptores y key words plus están normalizados por la Biblioteca General de la Pontificia Universidad Javeriana.