

LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS COMO RESPUESTA A LAS DEBILIDADES Y APROVECHAMIENTO DE POTENCIALIDADES EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL DEL ADOBE

David Francisco Jara Avila¹; Tatiana Elizabeth Rodas Aviles²; Víctor Marcelo Caldas Freire³

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Proyecto vIirCPM.

¹davidjaraavila@hotmail.com; ²tyrodasa@hotmail.com; ³calditas_1_1@hotmail.com

Palabras clave: adobe, debilidades, innovaciones

Resumen

La falta de información técnica oficial detallada, la escases en la mano de obra, el desconocimiento de potencialidades del uso de materiales tradicionales para ofrecer una arquitectura de calidad en nuestro medio han puesto en riesgo de desaparecer estos saberes ancestrales que nos permitirían garantizar la Conservación de estructuras en tierra. En el Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca, el adobe es uno de los sistemas constructivos más usados en edificaciones consideradas de valor patrimonial, por lo tanto conocer las formas de producción tradicional, las variantes interregionales, las funciones y propiedades de sus componentes, nos permitirán entender su comportamiento, potencialidades y debilidades desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental. De la misma manera es importante identificar las experiencias constructivas innovadoras y de mejoramiento para analizar y comparar las características entre los sistemas tradicionales y los mejorados. De este modo, también se analizara en qué medida dichas innovaciones potencian o no las ventajas del sistema constructivo ancestral, y en qué medida solventan sus desventajas.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, muchas edificaciones de valor histórico y cultural están siendo demolidas, los sistemas constructivos en tierra han caído en desuso y han perdido prestigio frente a otros sistemas, es por esta razón que es necesario entender las causas de éstas pérdidas.

En el presente documento se identifican y analizan las potencialidades y debilidades del sistema constructivo del adobe, desde el punto de vista de varios especialistas, no solamente desde el tema técnico arquitectónico sino también desde el campo económico, socio cultural y ambiental, para luego contrastarlas con experiencias en investigación relacionadas con innovaciones tecnológicas y normativas que buscan resolver las desventajas identificadas.

2 OBJETIVO

Identificar los problemas y cualidades que posee el sistema constructivo tradicional con adobe, las innovaciones tecnológicas y las normativas desarrolladas dentro de este contexto, para entender el rol de estas frente a la solución y mitigación de dichos problemas.

3 METODOLOGÍA

Mediante la revisión bibliográfica de varios artículos, libros, normativas y publicaciones científicas, se han determinado en primer lugar características sobresalientes que hacen del adobe un material valedero y a su vez se han identificado varios factores que son un inconveniente en cuanto a la producción y a la utilización de este sistema. Por otro lado con los avances y experiencias en cuanto a innovaciones tecnológicas junto con las normas de construcción desarrolladas en este ámbito se podrán contrastar estos elementos para entender en qué medida se han resuelto los problemas de un sistema constructivo ancestral que sí bien ha funcionado durante el paso del tiempo y guarda una memoria tradicional debería ser mantenido.

3.1 Potencialidades y debilidades del adobe

A continuación se explicará la influencia de las ventajas y limitaciones del adobe, que en algunos casos podrán ser resueltos con algunas innovaciones y mejoramientos mencionados posteriormente, dentro de los ámbitos técnico arquitectónico, socio cultural, económico y ambiental.



Figura 1. Campaña de mantenimiento de las viviendas de Susudel, proyecto vlrCPM

a) En el aspecto técnico arquitectónico

En cuanto a la producción del adobe *in situ*, existe un gran ahorro de energía, por ello es adecuado para una producción sostenible, además es asequible en el mismo entorno y es auto construible (Haesebrouk; Michiels, 2011). Diseñar y construir con adobe es práctico y sencillo, ya que por su forma se trabaja generalmente en base a módulos.

El adobe ofrece gran variedad de posibilidades constructivas por su gran plasticidad, es muy fácil cortar y darle contornos, es óptimo para realizar bóvedas, cúpulas y viviendas irregulares o circulares (Bardou, 1981), además de sus bondades en preservar la madera y otros materiales orgánicos (Minke, 1994).

También es un material incombustible, con un valor de ignición de F-180. Puede soportar el fuego durante 180 minutos sin arder (Siavichay, 2010), gracias la presencia de la tierra.

En cuanto a su construcción, en la función estructural agiliza los trabajos y posibilita una mayor rapidez constructiva, ya que no será necesario contar con los tiempos de encofrados y desencofrados en columnas, vigas y encadenados; así mismo, una vez terminada la obra no hay mayor dificultad para insertar en las paredes los artefactos para instalación de servicios de agua, luz o comunicaciones. (Siavichay, 2010).

En cuanto a desventajas, se puede ver que no se desarrollaron muchas normas de construcción en adobe (Haesebrouk; Michiels, 2011). Existen también limitaciones estructurales en el adobe tradicional, (Pacheco-Torgal; Jalali, 2012) sobre todo en su comportamiento sísmico. Esto se debe también al gran peso de su estructura. Por ello se recomienda construir hasta dos plantas para lograr un edificio liviano.

La tierra tiene también una fuerza de cohesión baja (Zami, 2008) y una baja resistencia a la humedad. Por esta razón el barro debe ser protegido contra la lluvia y las heladas, ya que es un material permeable (Minke, 1994).

Finalmente, el espesor de los muros en adobe disminuye el espacio en los ambientes construidos (Carangui, 2010).

b) En el aspecto socio cultural

Los sistemas térreos, si se construyen de manera apropiada y reciben mantenimiento necesario, satisfacen condiciones técnicas que pueden estar a la par o superar a cualquier sistema convencional, pero con la significativa ventaja de la preservación del medio natural y cultural desarrollado a través del tiempo.

En lo referente a la durabilidad y seguridad, las construcciones en adobe presentan una gran resistencia al tiempo, evidencia de esto son las edificaciones que poseen más de 80 años en la ciudad de Cuenca (Siavichay, 2010).

Este sistema es además apropiado para la autoconstrucción, por lo que sus obras pueden ser ejecutadas por personas no especializadas. Basta con una persona experimentada controlando el proceso de construcción para obtener buenas prácticas y resultados. Por ello también podemos decir que la construcción en tierra promueve un medio importante para crear empleo, preservando al mismo tiempo un saber tradicional (Zami, 2008).

En cuanto a desventajas, el adobe no es un material de construcción estandarizado (Pacheco-Torgal; Jalali, 2012), el sector privado y público no se ha interesado en invertir en este tipo de construcción, es menos aceptado por los profesionales (Zami, 2008).

Adicionalmente, hay un pensamiento erróneo en creer que la construcción en tierra se asocia únicamente con construcciones de bajos recursos económicos (Shittu, 2008).

c) En el aspecto económico

Este sistema no requiere de una gran cantidad de recursos económicos. Una pared apisonada, por ejemplo, es 40% más barata de construir que una pared estándar. En lo que respecta a su manejo, es uno de los más sencillos de todos los materiales conocidos para la elaboración de muros y su producción es simple. Según el estudio realizado por Haesenbrouk y Michiels en 2011, en relación a la producción del adobe en la intervención de edificios antiguos del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca, un bloque de adobe in situ es hasta 3 veces más barato que el ladrillo (Haesebrouk; Michiels, 2011).

Para la producción de este material existe una gran cantidad de materia prima en el entorno, su ejecución es exclusivamente a mano y con recursos locales, lo que permite, a su vez, eliminar gastos de transporte (Bardou, 1981). Estas técnicas elementales de producción requieren una inversión sumamente reducida en cuanto a equipo industrial y genera mayor empleo (Haesebrouk; Michiels, 2011).

En cuanto a desventajas del adobe en el aspecto económico podemos decir que, al requerir de mucho tiempo de ejecución, este sistema supone más costos operativos, los cuales se compensan con los bajos costos de producción del material (Haesebrouk; Michiels, 2011).

Este menor rendimiento de la mano de obra se debe a una mayor fatiga en realizar las actividades necesarias para levantar, por ejemplo, un metro cuadrado de muro de adobe, esto comparado con una pared de ladrillo o bloque (Siavichay, 2010).

d) En el aspecto ambiental

El adobe tiene inercia térmica, lo cual le permite el almacenamiento del calor, y su transmisión del exterior hacia el interior, teniendo en cuenta el espesor de muros y la orientación (Wright, 1981).

Las construcciones con este sistema tienen un impacto ambiental bajo, pues se necesita menor energía para producirlo y es 100% reciclable y reutilizable. Para preparar, transportar y trabajar el barro en el sitio, se necesita solamente el 1% de la energía necesaria para fabricar hormigón armado (Minke, 1994).

Además, la fabricación del adobe y los procesos de fabricación con este material tienen el potencial de reducir la producción de cerca de 100 toneladas de emisiones de CO₂ cada año (Pacheco-Torgal; Jalali, 2012).

La utilización de este material en la construcción representa una importante contribución a la eco-eficiencia de la industria de la construcción y por lo tanto a un desarrollo más sostenible (Pacheco-Torgal; Jalali, 2012). El adobe está compuesto principalmente por barro, que además absorbe contaminantes, regula la humedad ambiental y el clima interior (Carangui, 2010).

Una desventaja o amenaza en el tema ambiental es que los recursos naturales al ser explotados en el caso de la extracción de la tierra en montañas para la realización del adobe pueden irse saturando o agotando. Los productores por lo general tienen terrenos con la materia prima (tierra) apta para este trabajo pero si no existe en abundancia este producto pronto se tendrá que recurrir a más fuentes para la obtención.

3.2 Amenazas y deterioro del adobe

Las fisuras son un daño que el adobe sufre por acción de la contracción por secado de la arcilla, pero cuando son producidas por agentes externos o fallas mecánicas, pueden llegar a convertirse en grietas. Este tipo de afección la encontramos en varias formas: grietas de flexión, grietas y fallas de tímpano, grietas horizontales a mediana altura, grietas de corte en forma de X, grietas verticales en las esquinas, grietas diagonales en las esquinas, grietas en forma de aspas en las esquinas, grietas en aberturas, grietas entre muros perpendiculares, entre otras.

Es importante considerar las grietas dentro de los posibles daños y amenazas más graves que puede sufrir una edificación en tierra si no se le da un mantenimiento adecuado, y que pueden ser provocadas por sismos, inundaciones y fenómenos naturales en general, a los que son altamente vulnerables este tipo de edificaciones (Tolles; Kimbro; Ginell, 2002).



Figura 2. Grieta vertical en esquina superior de muro, Castilla, Arequipa, 2001. Crédito: D. Quiun

Otros problemas que pueden afectar a la estabilidad de los muros de adobe son los asentamientos de la cimentación y, por otro lado la humedad, misma que afecta la resistencia del adobe, reduciéndola progresivamente y mermando su capacidad estructural.

Entre los problemas y daños mencionados anteriormente se puede decir que la causa más relevante son los sismos.

Finalmente, en contextos donde los sismos y la construcción en tierra son una constante, es importante comprender las amenazas, el comportamiento de falla en el terreno y en las edificaciones y la influencia de las cubiertas y otros elementos en la resistencia del adobe frente a los esfuerzos sísmicos, cuya interacción hace más vulnerable al sistema. Estas son las mayores preocupaciones de la investigación en cuanto a mejoras del adobe; por ello, su estudio se ha orientado, principalmente, a desarrollar sistemas de refuerzos antisísmicos y a mejorar la forma de producción así como la composición de los bloques de adobe en cuanto al uso de aditivos y estabilizantes, para enfrentar a la humedad y los sismos que tanto mencionamos (Torrealva, 2003). Es por esto que a continuación se abordarán los temas de mejoramientos y refuerzos del sistema constructivo de adobe.

3.3 Innovaciones en el adobe

Luego de una búsqueda enfocada en contextos semejantes a la ciudad de Cuenca, se identificaron innovaciones en el adobe, relacionadas sobre todo con el mejoramiento de la resistencia frente a movimientos sísmicos. Estas innovaciones dependen del tipo de edificio a intervenir y el tipo de intervención a realizarse sobre la edificación.

Según el tipo de edificación en obra nueva se han identificado varios tipos de mejoramientos internos, es decir, innovaciones que pueden ser implementadas al interior de los muros.

En edificaciones existentes, las intervenciones deben contemplar la preservación de bienes de valor histórico-cultural y los sistemas de refuerzo serán respetuosos con todos los bienes.

Por otro lado tomando en cuenta el criterio del tipo de intervención a realizarse se han reconocido sistemas de refuerzos externos, aplicados superficialmente, y mejoramientos internos, implementados al interior de los muros.

3.4 Refuerzos externos

Por un lado se han establecido aquellos basados en la aplicación de mallas envolventes al muro, de diferentes tipos de materiales naturales o industriales. Por otro lado, hay un tipo de mejoramientos externos basados en revestimientos reforzados con aditivos.

a) Refuerzos externos basados en el uso de mallas

En algunas ocasiones el comportamiento sísmico de la mampostería de adobe se caracteriza por el fallo repentino de los muros, y el colapso se debe a su conducta frágil, puesto que carece de resistencia a los esfuerzos de tracción. A esto se suma las malas prácticas constructivas, que crean una deficiente unión entre el mortero y los bloques de los muros (Torrealva, Vargas, Blondet, 2006).

Adicionalmente la mampostería de adobe es masiva y pesada, generando altos niveles de fuerza sísmica (Blondet et al, 2007); Todo ello provoca en los muros:

- Separaciones en las uniones entre muros adyacentes.
- Aparición de grietas en las esquinas de muros y vanos.
- Desprendimientos de fragmentos de muro en forma de grandes bloques.
- Separación de la estructura de la cubierta.

La malla de refuerzo exterior, en varios ensayos de simulación sísmica en mesas inclinadas y vibratorias, aumentó la ductilidad y resistencia a la flexión de los muros y, en los casos de rotura de los mismos, el refuerzo mantuvo juntos los grandes bloques, evitando desplazamientos excesivos y aumentando la estabilidad (Tolles; Kimbro; Ginell, 2002).

Asimismo, los refuerzos verticales de la malla limitan las flexiones hacia afuera del plano, los desplazamientos de corte del mismo, además retrasan la aparición de grietas y mejoran el vínculo del muro a la cimentación así como a la viga collar. Los refuerzos horizontales restringen los esfuerzos de corte entre los muros adyacentes, transmiten las fuerzas exteriores del plano a los muros de corte y detienen las fisuras verticales.

b) Revestimientos reforzados con aditivos

Existen refuerzos como las fibras naturales, el cemento y las mallas metálicas junto con el mortero de cemento para los revestimientos de muros. Por otro lado, estos revestimientos, además de proteger al muro de agentes como la humedad y las plagas, pueden aumentar rigidez del mismo y la resistencia inicial a la cizalladura, limitando los desplazamientos laterales y los agrietamientos.

3.5 Mejoramientos internos

Éstos pueden incluir refuerzos horizontales y verticales embebidos entre los bloques y juntas de los muros o la inyección de material de relleno en las grietas de los mismos, e incluso el mejoramiento de los bloques y morteros que conforman la mampostería.

a) Mejoramiento en los bloques de adobe

Es importante la composición granulométrica, la cantidad y tipo de arcilla en la marga para la estabilidad del adobe, puesto que determinarán la fuerza aglutinante entre los componentes del bloque, así como la contracción por secado y consecuente aparición de fisuras.

Mientras tanto, las fibras en el bloque aumentan la fuerza de unión entre los componentes, distribuyendo la tensión por contracción de la arcilla, limitando así la aparición de fisuras (Haesebrouck; Michiels, 2011), esto también dependerá de la longitud de dichas fibras. De otro lado, el porcentaje del contenido de las mismas dentro del bloque es crucial en la

densidad y la resistencia del mortero, pues determinará la cantidad de puntos de contacto entre las fibras y los componentes del mismo.

b) Mejoramiento en los morteros para juntas

Las malas prácticas constructivas disminuyen la cohesión entre el mortero de las juntas y los bloques, generando desprendimientos durante movimientos sísmicos. Esto ocurre por ejemplo cuando existe un mal dimensionamiento y las juntas son muy anchas o muy delgadas. Con la investigación en este punto podemos mencionar que el uso del cemento y fibras naturales funcionan muy bien como refuerzos.

c) Mejoramiento mediante el uso de varillas centrales internas en los muros

Este tipo de refuerzo consiste en una armadura embebida al interior y entre las juntas de los muros, formando una malla de elementos verticales y horizontales, otorgándole mayor capacidad de resistencia a deformaciones, retrasando la aparición de grietas y disminuyendo desplazamientos de corte durante movimientos sísmicos.

3.6 Experiencias de innovación del sistema constructivo del adobe

Los sistemas que a continuación se presentan, han probado su resistencia y comportamiento frente a simulaciones sísmicas en laboratorios, y en algunos casos incluso han sido probados en edificaciones reales, soportando esfuerzos sísmicos reales, por lo que se deberían tomar como ejemplo para la práctica e introducirlos en el sistema de construcción con adobe.

a) Refuerzo mediante el uso de mallas metálicas

Un estudio realizado en la Universidad Nacional de San Juan, en Argentina (Albarracín et al, 2014), se diseñó un sistema de refuerzo sísmico basado en una malla metálica electro soldada y un revoque de mortero de cemento. Se consideró este revoque de revestimiento para preservar mejor la malla metálica y el revoque mismo. Las mallas de ambas caras de cada muro se vincularon entre sí mediante pasadores de alambre que atravesaron los muros.

Se construyeron dos modelos, uno sin refuerzo como evidencia basal, y otro reforzado. En ensayos sobre una mesa vibratoria, se vio una mayor resistencia sísmica en el modelo reforzado, pues sus muros, a diferencia del modelo base, no se agrietaron. Más bien, fracasó la unión entre la mampostería y la cimentación. Sin embargo, este tipo de revestimiento presenta dificultades al eliminar la humedad absorbida por los muros en climas de altas precipitaciones, deteriorándolos en el tiempo (Albarracín et al, 2014), problema que podría ser contrarrestado con el diseño e implementación de drenajes o elementos que nos ayuden en la expulsión de humedad. Este tipo de técnica también se podría utilizar en construcciones existentes.

b) Refuerzo mediante inyección de barro líquido y el uso de mallas de cuerdas

En un estudio realizado en la Pontificia Universidad Católica de Perú (Blondet et al, 2014) mediante simulación sísmica, se indujo agrietamiento en un modelo a escala, usando sus valores de falla como base del ensayo. Se inyectó barro líquido en las grietas y, una vez seco, se reforzaron ambas caras de los muros con mallas de cuerdas de fibras sintéticas. Las cuerdas verticales fueron ancladas a la viga collar y a la primera hilada del muro, luego se tensaron mediante templadores. Las mallas de ambas caras del muro se vincularon entre sí mediante cuerdas a manera de pasadores que atravesaron los muros.

En este ensayo, el refuerzo mejoró el comportamiento sísmico del modelo, preservando su estabilidad, evitando el colapso y controlando los desplazamientos excesivos. Se recuperó además gran parte de la resistencia a esfuerzos de corte y rigidez originales.

La técnica de inyección de barro líquido puede ser aplicada en obra preexistente si se evidencian grietas o fisuras profundas post obra y del mismo modo puede ser utilizado para obra nueva en el caso de que, al montar el material sufra alguna alteración o ruptura. Las mallas de cuerda pueden ser utilizadas, para obras preexistentes igual que para obra nueva.



Figura 3. Inyección de barro líquido en grietas (Blondet et al, 2007)

c) Refuerzo mediante recubrimiento parcial con malla metálica y mortero de cemento

La Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP) desarrolló un sistema basado en mallas electro soldadas aplicadas verticalmente en las esquinas y horizontalmente en la parte superior de los muros, a manera de columnas y vigas sobre ambas caras del muro y revestidas luego con mortero de cemento (Torrealva; Vargas; Blondet, 2006).

Varias casas construidas bajo este sistema resistieron el terremoto de 2003 al sur del Perú, sin embargo, los resultados de ensayos realizados en laboratorio sobre modelos con refuerzo y sin él, determinaron que el sistema no evita el colapso parcial y la inestabilidad en sismos fuertes, pues las bandas son más rígidas que los muros y absorben gran parte de las fuerzas sísmicas hasta llegar a su límite elástico y se produce la ruptura. Este tipo de refuerzo puede ser aplicado en obra nueva y existente.

d) Refuerzo mediante el uso de mallas poliméricas

La PUCP y el Getty en conjunto, desarrollaron un estudio para probar las mallas naturales e industriales (Torrealva; Vargas; Blondet, 2006). Se construyó un modelo reforzado con una malla natural formada por cañas de bambú como refuerzo vertical y cuerdas de fibra vegetal como refuerzo horizontal. Las mallas de ambas caras del muro se conectaron entre sí mediante cabuya. El segundo modelo fue reforzado con mallas de polímero en ambas caras del muro, vinculadas mediante hilo plástico. Ambos modelos fueron revestidos con barro.

Se determinó que ambos tipos de refuerzo funcionan cuando el muro se agrieta, limitando el desplazamiento de las fracciones en que éste se divide e impidiendo su colapso durante un sismo. Con ello, podríamos decir que este refuerzo puede ser aplicado tanto para construcciones preexistentes, cuanto para obra nueva.

e) Mejoramientos internos en los muros de adobe, mediante caña de bambú

La PUCP diseñó un sistema basado en la colocación de caña de bambú verticalmente al interior del muro, a una distancia de una vez y medio el grosor del mismo (Torrealva; Vargas; Blondet, 2006). Estas cañas se cruzaban y ataban con cañas horizontales colocadas cada cuatro hiladas. Pruebas de simulación sísmica sobre modelos con refuerzo y modelos sin éste, mostraron que el sistema, junto al uso de una viga collar, incrementan la deformación de las paredes, evitan la separación de los muros y el colapso de la edificación.

Dado que se aplica al interior de los muros, este tipo de técnica es aplicada solamente en obra nueva.



Figura 4. Malla natural mediante caña y cuerdas de fibra vegetal, (Blondet et al, 2007)



Figura 5. Mejoramiento interno mediante caña de bambú (Blondet et al, 2007)

f) Sistemas desarrollados por el Getty Seismic Adobe Project (GSAP)

Este proyecto desarrolló una serie de adecuaciones y sistemas (Tolles; Kimbro; Ginell, 2002):

- Sistemas de cables horizontales en la parte superior e inferior del muro y tirantes verticales a intervalos regulares. Dichos cables y tirantes en ambas caras de los muros se conectan entre sí mediante pasadores que atraviesan los muros. Este tipo de intervención puede ser aplicado a obras existentes y obras nuevas.
- Varillas verticales al interior de los muros, sea en las esquinas o a lo largo de éstos. Este tipo de técnica está diseñada para intervenciones en obra nueva.
- Diafragmas parciales de madera, anclados mediante un cable horizontal perimetral a los muros, pues en el adobe las cargas se concentran en las uniones y el esfuerzo cortante en el mismo es bajo. Este tipo de intervención es aplicable tanto para obra nueva como para edificaciones existentes.
- Sistemas de anclaje de los muros a las vigas de collar mediante cables perimetrales externos para evitar volcamientos. Es aplicable especialmente para obra existente que requiere mejoramiento.

Simulaciones sísmicas en modelos a escala, determinaron que los modelos sin estos refuerzos colapsaron y, una vez reforzados, no volvieron a colapsar (Tolles; Kimbro; Ginell, 2002).

g) Reforzamiento del mortero para adobe mediante fibras de yute

Shariful e Iwashita (2006) estudiaron el refuerzo del mortero mediante las fibras de yute. En base a muestras de adobe en edificios antiguos, se identificó su granulometría y se diseñó un mortero similar. Con este nuevo mortero se elaboraron probetas, agregando diferentes tipos de fibra a cada una: yute, paja y cáñamo. Luego se desarrollaron pruebas de esfuerzos uniaxiales. Se concluyó que el mortero reforzado con yute obtuvo un mejor comportamiento dúctil y una mayor dureza, y que un contenido del 2% de éste, en una longitud de fibra de 1 cm a 2 cm eran ideales para mejorar la resistencia del mortero.

Luego, en ensayos con probetas tipo sándwich, se probaron diferentes tipos de morteros para juntas. La falla durante los ensayos en todas las muestras se produjo en la junta precisamente, y se determinó una mayor fuerza de compresión en un contenido de 2% en yute, tanto en el mortero, como en los bloques.

h) Sistemas de preservación del adobe en áreas lluviosas

La PUCP y la Universidad de California desarrollaron un estudio para alternativas en la protección de edificaciones en adobe ubicadas en áreas lluviosas, mediante estabilizantes

naturales y sintéticos formando parte de los morteros de revestimiento: extracto de hoja de tuna, variedades de cactus, hojas y tallo de plátano, vainas de algarrobo y asfalto. Los resultados mostraron a la tuna como el mejor estabilizante natural, dado su tiempo de remojo. Los estabilizantes y aditivos (fibras y arena) junto a un buen acabado como el pulido mediante piedra, pueden evitar las fisuras y la degradación producto de la humedad en los muros.

3.7 Análisis de la normativa de las construcciones en tierra frente a las debilidades e innovaciones del sistema constructivo de adobe

Muchas de las mejoras tecnológicas desarrolladas en el adobe se han ratificado en regulaciones, con el objetivo de estandarizar sus procesos constructivos. Por ello se indagaron las normativas de aquellos países con realidades cercanas a la región, (continente americano) como la norma NMAC 14.7.4 (2009) y ASTM E2392 (2010), la NTE E 0.80 de Perú (2006) y su proyecto de actualización (Ministerio..., 2013), la norma de El Salvador RTS 91.02.01:14 (2014), la norma chilena NCh 3332 (2013) y la propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales en Colombia (Ruiz; López; Rivera, 2012).

Tabla 1. Normas y Reglamentos seleccionados con sus contenidos. Clasificación de normativas de construcción en tierra según el enfoque.

Pais	Norma / Reglamento	Selección de suelos	Requisito de producto	Fabricación	Construcción	Diseño	Sismicidad	Valoración patrimonial
USA	NMAC 14.7.4	x	x		x			
	ASTM E2392/E2392M -10	x		x	x		x	
Perú	NTE E 0.80	x	x	x	x	x	x	
	Proyecto de Actualización de la Norma Peruana E.080	x	x	x	x	x	x	x
El Salvador	RTS 91.02.01:14	x	x		x	x	x	
Chile	NCh 3332						x	x
Colombia	Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales						x	x

Como ya se ha señalado, dentro de las innovaciones descritas en este documento, la principal problemática se relaciona con los temas: sísmico, humedad y erosión del adobe. En este contexto se identificaron adecuaciones como el uso de refuerzos horizontales y verticales formando mallas, mismos que han sido ratificados, tanto en la norma peruana NTE E.080 (2006) y su proyecto de actualización (Ministerio..., 2013), como en la RTS 91.02.01:14 de El Salvador (2014), dentro de las cuales se recomienda el empleo de refuerzos como: carrizo (varas de castilla), madera en rollizos, ramas trenzadas de fibra vegetal y sogas de cabuya.

El mismo proyecto de actualización de la norma NTE E.080 (2006), ratifica también los refuerzos externos como las mallas poliméricas y las mallas metálicas electro soldadas.

Por otra parte, y en relación al mejoramiento de los morteros de tierra frente a las acciones mecánicas y ambientales, la norma MNAC 14.7.4 de USA (2009) hace alusión al uso de refuerzos como cal, arena y cemento. De igual forma, la norma NTE E.080 (2006) permite la utilización de aditivos como paja y aglomerantes como cal, cemento, asfalto, yeso y bosta.

En cuanto a resolver problemas de humedad y erosión, la normativa de Perú, pese a que no sugiere innovaciones, brinda recomendaciones en cuanto a recubrimientos, aleros, veredas perimetrales, cimientos y drenajes (NTE E.080, 2000).

Finalmente, y dentro de este mismo contexto, se pueden identificar varias normativas con enfoques diferentes, como es el caso de la norma NCh 3332 de Chile (2013) y la propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales en Colombia (Ruiz; López; Rivera, 2012) que se orientan, además del tema sísmico, al tema de la conservación de patrimonio edificado, y la norma ASTM E2392 de USA (2010) que se vincula al tema de la sustentabilidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los principales problemas del sistema en adobe se relacionan con temas de resistencia sísmica y resistencia frente a humedad. Las innovaciones descritas en éste documento, evidencian principalmente una preocupación dentro de la investigación por los temas técnico constructivos, enfocados en el comportamiento sísmico de las estructuras en adobe así como en la conducta del mortero de tierra frente a las acciones mecánicas y humedad.

Sin embargo no se puede olvidar que en cada una de las experiencias innovadoras citadas se deben considerar aspectos como: el carácter auto construible, la asequibilidad de recursos tecnológicos y humanos dentro del mismo entorno, el ahorro de energía e impacto ambiental en la producción de dichas innovaciones y factores económicos como asequibilidad. En cuanto a este último factor (económico) es importante mencionar que se debería indagar en el tema de costos de innovaciones y mejoramientos, para ver en qué medida son factibles y útiles al momento de realizar una intervención.

Las normas de construcción con tierra existentes, por su parte, han buscado dar respuesta a necesidades técnico-constructivas, al mejoramiento de su comportamiento sísmico, así como a regulaciones en aspectos de sostenibilidad. Quizá queda aún por desarrollar y difundir en muchos países incluido Ecuador regulaciones de construcción con tierra y en aquellos donde ya se cuenta con una norma, desarrollarla al punto donde se integre todos los enfoques de la construcción en tierra, tal es el caso de la Norma E.080 de Perú.

5. CONCLUSIONES

Para cualquier estudio enfocado en la innovación de un sistema constructivo tradicional en tierra, se necesita conocer primero el comportamiento del material frente a factores como acciones mecánicas y humedad, para luego determinar potencialidades, debilidades, daños, amenazas y vulnerabilidades. Las innovaciones deberán abordar la problemática desde una visión sostenible. Sin duda, los sistemas mejorados con materiales naturales permiten un mayor ahorro de energía y de costos de producción frente a los materiales industriales, sin embargo, todo esto dependerá de la disponibilidad e impacto ambiental del material dentro del mismo entorno. La nueva solución al sistema debe ser de elaboración muy sencilla. Por otra parte, en las adecuaciones con materiales industriales se deben discutir los términos: reciclable, reutilizable, consumo de energía, producción de desperdicios, emisión de contaminantes en la producción, etc. Adicionalmente, cualquier innovación sustentada en recursos locales, tanto tecnológicos, cuanto humanos (conocimientos y capacidades), puede estimular la inserción de sectores productivo – culturales y al mismo tiempo ser pertinentes con la preservación de un patrimonio cultural material e inmaterial. Finalmente cabe decir, que no se han publicado regulaciones de construcción con tierra en toda la región, y que muchas de las normas de construcción publicadas en algunos de estos países, en lugar de incluir a los grandes grupos de usuarios de este tipo de arquitectura, excluyen y/o contraindican a las construcciones con tierra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarracín, O.; Saldivar, M.; Garino, L.; Navarta, G. (2014). Reforzamiento de estructuras de adobe con mallas metálicas. In: *Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en Regiones Sísmicas*, Correia, M.; Neves, C.; Núñez, D., San Salvador, El Salvador.

ASTM International (2010). ASTM E2392/E2392M – Standard guide for design of earthen wall building systems. Disponible en http://www.builtinbliss.com/wp-content/uploads/2013/01/ASTM_E2392-10_Earthen_Walls.pdf. Acceso en 19/16/15.

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

Blondet, M.; Vargas, J.; Sosa, C.; Soto, J. (2014). Refuerzo Sísmico de Construcciones mediante la inyección de barro líquido y Mallas de Cuerdas. In: *Arquitectura de Tierra: Patrimonio y Sustentabilidad en Regiones Sísmicas*, Correia, M.; Neves, C.; Núñez, D., San Salvador, El Salvador.

Blondet, M.; Villa, G.; Brzev, S.; Rubiños, Á. (2007). Earthquake – resistant construction of adobe buildings: a tutorial, 60(5), 901–910. Disponible en <http://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255422.86054.51>. Acceso en 08/06/2015.

Carangui, Silvana. (2010). Estudio de los sistemas constructivos tradicionales en madera. Disertada (Facultad de Arquitectura). Universidad de Cuenca – UC. Cuenca.

Haesebrouck, L.; Michiels, T. (2011). Improving durability of adobe: A case study for Cuenca. Disertado (Master in de ingenieurswetenschappen). Katholieke Universiteit Leuven – K.U.Leuven. Leuven.

Instituto Nacional de Normalización de Chile (2013). NCh 3332 – Estructuras – Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda – Requisitos del proyecto estructural. INN. Disponible en <http://admin.ryv.cl/upload/imagenes-editor/files/NCh03332-2013.pdf>. Acceso en 04/06/2015.

Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú, Viceministerios de Construcción y Saneamiento de Perú, Dirección Nacional de Construcción de Perú. (2013). Proyecto de actualización de la norma E.080 Adobe, Construcción Con Tierra. Disponible en <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/proyecto-actualizacion-norma-e080-adobe.pdf>. Acceso en 26/04/2015.

Minke, Gernot (1994). *Manual de construcción en tierra*. Kassel: Editorial Nordan Comunidad, Alemania.

New Mexico Administrative Code (2009). NMAC 14.7.4 – Housing and Construction. Building Codes General. 2009 New Mexico Earthen Building Materials Code. Disponible en <http://164.64.110.239/nmac/parts/title14/14.007.0004.htm>. Acceso en 04/06/15.

Norma técnica de edificación NTE E.080 Adobe (2006). Disponible en http://www.construccion.org.pe/normas/rne2011/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_080.pdf. Acceso en 24/04/2015.

Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (2014). Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 91.02.01:14. Urbanismo y construcción en lo relativo al uso del sistema constructivo de adobe para viviendas de un nivel. Disponible en

http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontofocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CSLV_172.pdf. Acceso en 04/06/2015.

Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519.

Ruiz, Daniel Valencia; López, Cecilia Pérez; Rivera, Juan Carlos (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales en Colombia. Disponible en <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/viewFile/8767/7018>. Acceso en 04/06/2015.

Shariful, M.; Iwashita, K. (2006). Seismic response of fiber-reinforced and stabilized adobe structures. In: *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium*. Hardy, M.; Cancino, C.; Ostergren, G., Los Ángeles, United States.

Shittu, T. (2008). Earth construction in Nigeria. Challenges and prospects. In: *5th International conference on building with earth*, Weimar, Germany, LEHM.

Siavichay, Diego (2010). Adobe en la construcción. Propuesta de mejoramiento de las características técnicas del adobe para la aplicación en viviendas unifamiliares emplazadas en el área periurbana de la ciudad de Cuenca. Disertada (Facultad de Arquitectura). Universidad de Cuenca – UC. Cuenca.

Tolles, E. L.; Kimbro, E. E.; Ginell, W. S. (2002). Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. GCI Scientific Program Report. Los Angeles. p. 69–71, 89–99.

Torrealva, D.; Vargas, J.; Blondet, M. (2006). Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Católica del Perú, In: Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium, Hardy, M.; Cancino, C.; Ostergren, G., Los Ángeles, United States.

Torrealva, Daniel Dávila (2003). Serie cuadernos de adobe – caracterización de daños en construcciones de adobe. Pontificia Universidad Católica del Perú Departamento de Ingeniería. Sección Ingeniería Civil. Disponible en http://www.gerdipac.com.pe/Segun%20PUCP%20Caracterizacion_danos.pdf. Acceso en 15/06/2015.

Wright, David (1981). Arquitecturas de adobe. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Zami, M. (2008). Using earth as a building material for sustainable low cost housing in Zimbabwe. The Built and Human Environment Review. p. 1, 40–55.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación y colaboración de la Arq. Gabriela García quien con buena voluntad apporto con sus conocimientos a la elaboración de este documento científico.

AUTORES

David Francisco Jara Avila, arquitecto graduado en la Universidad de Cuenca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo con mención en restauración y conservación de monumentos, investigador de tiempo completo en el proyecto vIirCPM de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca.

Tatiana Elizabeth Rodas Aviles, arquitecta graduada en la Universidad de Cuenca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo con mención en restauración y conservación de monumentos, investigadora de tiempo completo en el proyecto vIirCPM de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca.

Víctor Marcelo Caldas Freire, estudiante de la Universidad de Cuenca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, investigador de medio tiempo en el proyecto vIirCPM de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca.