

La restauración de edificios construidos con tierra en zonas sísmicas: la experiencia peruana

Pedro HURTADO VALDEZ*

I. LOS PROBLEMAS GENERADOS POR LOS SISMOS EN LAS ESTRUCTURAS HISTÓRICAS CONSTRUIDAS CON TIERRA

Los edificios en tierra están asociados actualmente no solo con la pobreza sino también con la falta de seguridad ante los fenómenos naturales, como es el caso de los terremotos. No obstante a través del mundo y en diversas épocas encontramos ejemplos de construcciones realizadas con tierra, las cuales no solo han resistido el paso de los siglos y la falta de mantenimiento, sino principalmente al efecto de los sismos en ellos. Conviene aclarar que a diferencia de los análisis que se efectúan hoy en día para las construcciones modernas, en los cuales se otorga particular importancia a las variables de resistencia y rigidez en el diseño estructural, en las estructuras históricas primaba la consideración de estabilidad. Por tanto las antiguas directivas de diseño se basaban por un lado en leyes geométricas de proporción y por otro en un análisis empírico, fruto de la observación en campo del comportamiento estructural de las mejoras constructivas que se introducían permanentemente en las fábricas con el fin de asegurar su estabilidad.

Los edificios construidos con tierra no son ajenos a estas consideraciones estructurales, además de que por la naturaleza del material los muros trabajan

* Arquitecto. Docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Ricardo Palma (Lima-Perú). Miembro de ICOMOS en el Comité Científico Internacional para la Conservación del Patrimonio Arquitectónico en Tierra (ISCEAH).

Fig.1. Portada de la iglesia de La Compañía (Pisco, Perú), antes y después del terremoto de 2007. Las fisuras y grietas de esta portada la separaban del resto de la estructura. Durante el terremoto los muros aislados vibraron de modo distinto. (Foto: P. Hurtado Valdez).



sólo a compresión sin la admisión de esfuerzos a tracción, siendo normal la aparición de fisuras en ellos. Sin embargo estos signos que expresan una natural forma de la estructura de adaptarse a su entorno, en un medio sísmico adquieren singular importancia debido a la forma y rigidez de la construcción en relación con las propiedades del subsuelo. Durante un terremoto el edificio vibrará bajo su frecuencia natural y si ella es vecina a la del subsuelo, se producirá una resonancia dinámica y el daño estructural resultante será mayor. Las fisuras de la estructura cambiarán su frecuencia natural y se acercará o alejará del nivel de esta resonancia. De ahí la importancia de hacer trabajar en conjunto a los muros construidos con tierra y controlar los daños en ellos después de cada sismo (Fig.1).

En general los tipos de falla generados por las fuerzas horizontales durante un sismo en muros de tierra pueden ser clasificados según se produzca fuera o dentro de su propio plano. La falla fuera del plano se manifiesta en el volteo del muro y suele aparecer en los

primeros niveles de intensidad sísmica (1). Si la estructura logra absorber estas fuerzas entonces se puede producir la falla dentro del propio plano, la cual se expresa en fisuras o grietas dependiendo de la esbeltez del muro y de la intensidad y duración del terremoto.

I.1. Daños causados por las fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro

I.1.1 Fisuras verticales en las esquinas de los muros

A pesar de que la esbeltez de los muros de tierra pueda estar de acuerdo con las proporciones geométricas para fábricas de mutuo arriostre, sus características constructivas resultan insuficientes cuando aparece un sismo, debido a la falta de un diafragma que trabe los encuentros, lo cual ocasiona que cada muro se comporte de modo independiente. Este efecto se debe principal-

mente al menor peso, en comparación con los muros, de los forjados y cubiertas de madera, como también a la mayor flexibilidad de éstos últimos.

Durante un terremoto los elementos mal conectados o independientes actúan como arietes, con características dinámicas propias y distinta vibración. Las fuerzas de inercia, de sentido horizontal contrario al movimiento del suelo, provocarán una concentración de esfuerzos de tracción en la parte superior de los encuentros entre muros, produciendo una fisura vertical que se prolongará hacia abajo, constituyendo el inicio de la separación de los muros (Fig.2). En el caso de muros interiores la viguería de madera que generalmente tienen los forjados históricos actuará momentáneamente como arriostre lateral, mientras no sobrepase la fuerza de fricción, oponiéndose al volteo de estos muros.

1.1.2 Grietas de separación y volteo de muros exteriores

Igual que en el caso anterior, las fuerzas horizontales producen tracciones en los encuentros de muros exteriores o entre ellos y los contrafuertes. Sin embargo en este caso los muros una vez separados entre sí no tendrán más arriostre y la parte superior de ellos oscilará como un borde libre. Si aquellos continúan recibiendo las fuerzas de inercia en modo perpendicular a su plano la separación entre muros será cada vez más grande, produciéndose grietas y posiblemente el vuelco de ellos. Esta situación ocurre por ejemplo con las fachadas y las partes centrales de los lienzos entre contrafuertes (Fig.3).

En el caso de las esquinas exteriores de un edificio de gran altura, si las grietas motivan su separación del resto del muro, aparecerá el efecto de un pilar aislado y sin arriostre superior, cuyas proporciones no serán convenientes.

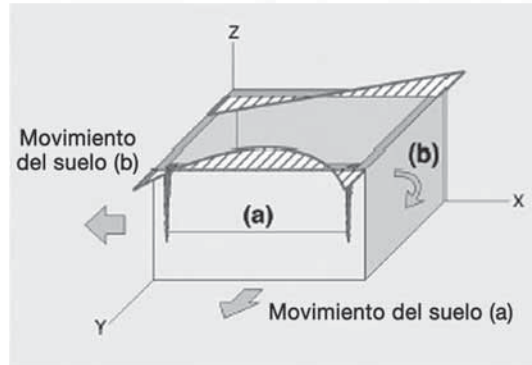
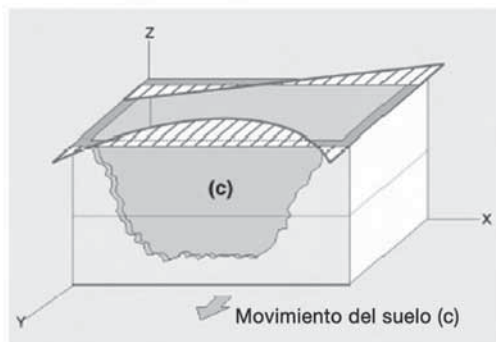


Fig.2. Fisuras verticales en las esquinas de muros. (Gráfico: J. Kuroiwa, 2002. Foto: P. Hurtado Valdez).

Fig.3. Grietas de separación y volteo de muros. (Grafico y Foto: J. Kuroiwa, 2002).



tes para resistir las fuerzas horizontales produciendo su colapso.

Cuando se trata de muros sobre los cuales descargan bóvedas, además de las fuerzas horizontales producidas por el terremoto los muros recibirán el empuje de la bóveda como un ariete, pudiendo producir el desgarrar y volteo del muro, o en el caso de mantenerse en pie pueden perjudicar la estabilidad de la bóveda al producir fuertes modificaciones en la geometría de ella, haciendo que la línea de empujes escape fuera del perímetro de su fábrica, pudiendo producir un mecanismo de colapso.

I.1.3 Grietas por flexión y volteo de tapias

Estas grietas se producen generalmente en los muros que sirven de tapia en los grandes solares de palacios y conventos. Como su configuración es el de

un muro de borde libre, durante un sismo se producirán fallas por flexión fuera del plano en la zona de la base del muro. Una vez producida la grieta el muro se balanceará como un sólido rígido separado de los cimientos y eventualmente se volcará si la masa de su construcción es incapaz de oponerse a las fuerzas de inercia.

I.2. Daños causados por las fuerzas horizontales en el plano del muro

I.2.1 Fisuras diagonales por fuerza cortante

Cuando los muros resisten las fuerzas horizontales perpendiculares a su plano, debido a su gran masa o arriostre en la parte alta de ellos, se pueden producir las fisuras por fuerza cortante que actúa en el plano del muro. Estas fisuras se manifiestan en forma de una X, principalmente en las esquinas de huecos de puertas y ventanas (Fig.4).

En los muros realizados con la técnica del tapial se produce un fallo por corte-fricción, consistente en una línea de separación que se desplaza por las juntas horizontales del muro dividiéndolo en bloques.

II. TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS CON TIERRA

El refuerzo de las construcciones con tierra se ha desarrollado de diversos modos, desde la incorporación masiva de materiales contemporáneos hasta la sola utilización de métodos tradicionales. Durante los años 70 y 80 se buscaba obtener la máxima duración posible del monumento con predominancia de elementos de refuerzos modernos para liberar la estructura original de los esfuerzos a los cuales estaba expuesta (2).

Pero pronto se observó el problema de la compatibilidad de los materiales. La utilización de diversos materiales en los muros era inadecuada en un medio sísmico, debido a que esta diferencia de materiales creaba microfisuración en las zonas de contacto, debido a los diferentes coeficientes de dilatación térmica, a lo que se aunaba la discontinuidad de la dureza y rigidez entre ellos. Es decir, a nivel mecánico la estructura más rígida dañaba a la más blanda, actuando como un ariete por efecto de las vibraciones durante los terremotos. A nivel físico químico incorporaban sales solubles a los muros de tierra además de impedir el normal intercambio de vapor de agua entre el interior y exterior del muro. Todas estas evidencias motivaron un nuevo acercamiento hacia la restauración de las construcciones en tierra, con un mayor respeto por la estructura original y utilizando técnicas y materiales tradicionales, cuya eficacia había sido ya comprobada (3).

Ciertamente existen también otras variables, externas a la estructura, pero que tienen repercusión en ella. Por ejemplo el terremoto sucedido en Moquegua (sur de Perú) en junio de 2001, permitió observar el colapso de muchos edificios del centro histórico realizados en tierra. Otros a pesar de ser antiguos y de similares características que los que colapsaron perdieron úni-

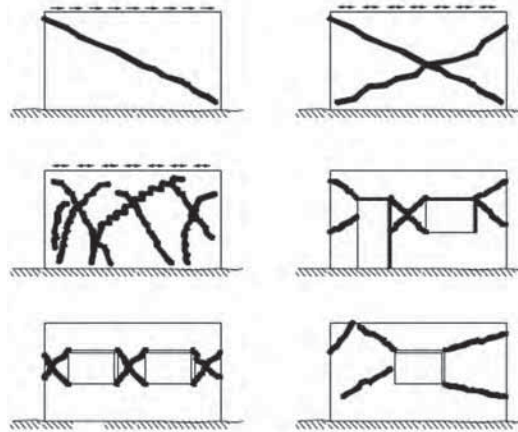


Fig.4. Fisuras diagonales por fuerza cortante. (Grafico: D. Torrealva, s.f. Foto: P. Hurtado Valdez).

camente el revoco. La reflexión que surge de analizar porque edificios contruidos con los mismos materiales, técnicas y antigüedad colapsaron y otros no, hace ver que la destrucción ocurrida no se produjo necesariamente por el material usado (tierra) o por defectos en las técnicas constructivas sino por:

a) Falta de mantenimiento, incluso con intención premeditada de provocar la ruina del edificio.

b) Modificaciones de la construcción original, eliminando paredes, abriendo puertas y ventanas en los muros, con lo que no solo se reducía el área efectiva de sustento, sino que también se debilitaba la actuación del muro como arriostre de otros fuera del plano.

c) Incorporación de sistemas estructurales no compatibles con la tierra, con mayor rigidez, funcionando como arietes contra las estructuras de tierra durante los sismos.

d) Colocación de revocos de cemento que no permitían la ventilación del muro con lo que el aporte de agua dentro de la estructura se incrementaba considerablemente, produciendo inicialmente la separación del revoco de cemento y de la malla metálica colocada para unirla con la tierra, por oxidación de ésta, y luego pérdida de la capacidad portante del muro.

e) Sellado de las pistas y veredas con asfalto y cemento, además de las filtraciones ocasionadas por roturas de las redes urbanas de escaso mantenimiento, evitando la natural evaporación del agua del subsuelo, por lo que aumentaba la humedad capilar en la base de los muros, reblandeciéndolos y disminuyendo sus propiedades mecánicas.

f) El incremento excesivo de humedad afectaba además a las estructuras de técnicas mixtas (tierra con fibras vegetales). La madera, la caña y las cintas de cuero que unían el conjunto, al encontrarse en un ambiente propicio al ataque de insectos xilófagos y hongos, perdían la capacidad de trabajar a flexión.

II.1. Técnicas tradicionales

II.1.1 Encadenado sobre los muros

Según las observaciones de daños ocurridos en Perú por efecto de terremotos y de los resultados de pruebas experimentales realizadas, se concluyó que uno de los refuerzos antisísmicos más efectivos para construcciones en tierra era la colocación de un encadenado continuo en la parte superior de los muros (4). Estos refuerzos horizontales son los más importantes, ya que al ocurrir las primeras fisuras verticales en los encuentros de los muros, la

fuerza del sismo tiende a separarlos y voltearlos, efectos impedidos por el encadenado que confina muros y forjados, incrementa la estabilidad fuera del plano y establece una continuidad en el plano de los muros. El encadenado ha de ser realizado con un material compatible con la tierra a nivel mecánico y físico-químico, como por ejemplo la madera o la caña.

Esta solución trata de hacer solidarios la actuación de los muros frente a las fuerzas horizontales, evitando el efecto del borde libre. Para este fin se dota a la parte superior de los muros de elementos con una amplia resistencia a la tracción. Se puede optar por colocar vigas a uno y otro lado del muro, unidos por pernos pasantes y los empalmes de las esquinas reforzadas con pletinas metálicas (Fig.5). Sin embargo el principal inconveniente de trabajar con muros históricos es que muchas veces no se puede colocar vigas que abracen los muros, ya sea por la presencia de pinturas murales o vestigios estructurales relevantes. En este caso se puede realizar un "distacco" de la pintura mural y colocar la viga de madera directamente en toda la longitud de los muros y que reciba a las vigas de los forjados. Es una técnica comprobada, no muy costosa, pero con un alto grado de intervención.

II.1.2 Refuerzos para las esquinas.

Esta acción pretende evitar la separación de los muros por las esquinas, incorporando refuerzos que absorban la gran concentración de esfuerzos en ellas. En este caso se pueden incorporar escuadras de madera ensambladas a media caja, las cuales pueden formar parte o no del encadenado (5). Esta intervención por lo general requiere desmontar el muro en las esquinas para colocar los refuerzos. El desmontaje del muro se realiza en forma "dentada" o de "escalera" por ambos lados y luego con adobes nuevos se reconstruye nuevamente la esquina.

Luego se colocan ramas de 1 a 2 cm. de diámetro, de fibra continua, suficientemente rectos y con muchos nudos, o en su defecto escuadras de madera que permitan unir los muros y absorber esfuerzos de flexión en el momento de los sismos (Fig.6). Es oportuno usar los adobes retirados o vueltos a fabricar con la misma tierra de aquellos rotos, tratando de evitar la presencia de material orgánico en pudrición, aunque por lo general será necesario mezclar con tierra nueva para reducir esta probabilidad.

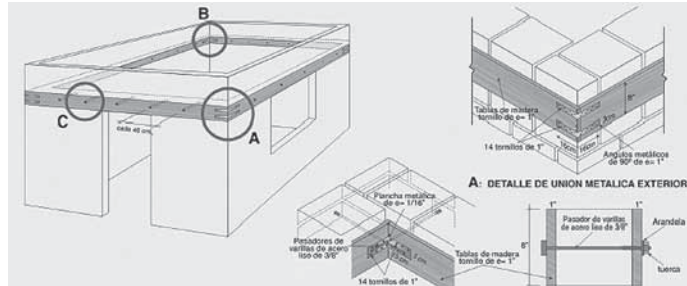
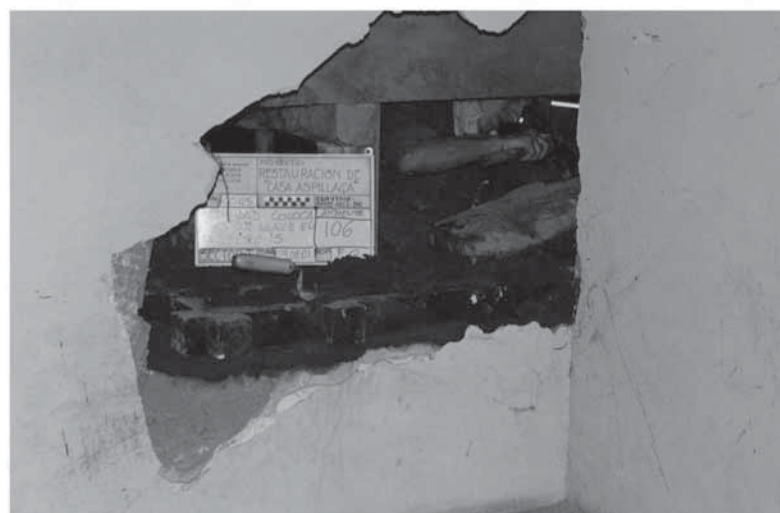
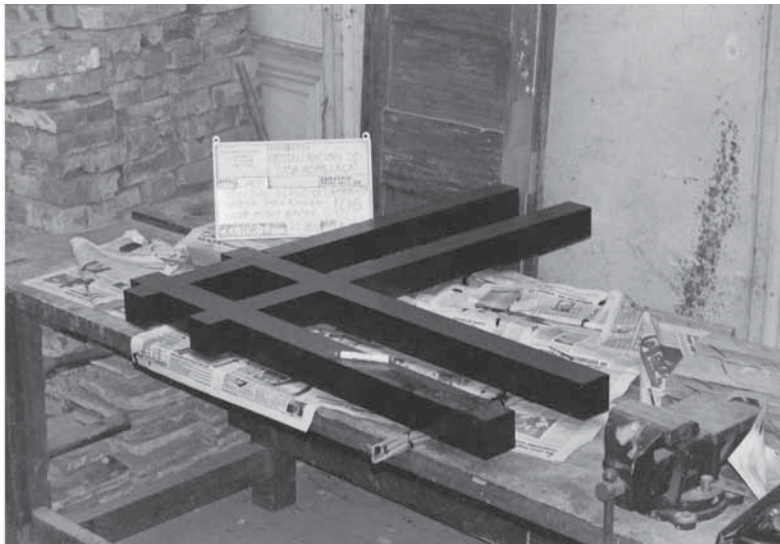


Fig.5. Encadenado de madera colocado en las caras exteriores del muro. (Gráfico: J. Kuroiwa, 2002).

Fig.6. Escuadra de refuerzo de madera para las esquinas, utilizadas en la restauración de la Casa Aspíllaga (Lima, Perú). (Foto: V. Paliza).



II.1.3 Refuerzos horizontales

En este caso se trata de garantizar la continuidad de muros agrietados, a través de la introducción de elementos puntuales, como pueden ser vigas de madera o rollizos con superficie áspera. Estas deberán penetrar al menos 50cm. dentro de cada lado de los muros. Para incrementar la resistencia de los muros al corte se recomienda la colocación de caña partida y extendida o varas de madera en las juntas de construcción, cuando sea posible (6).

En general la disposición de estratos horizontales elásticos reduce la frecuencia de la vibración al absorber gran parte de la energía liberada por el sismo, lo que supone, la reducción de los efectos provocados por las fuerzas horizontales que actúan sobre los elementos de la construcción aumentando considerablemente la ductilidad del sistema.

II.1.4 Refuerzos verticales

Se trata de conseguir muros de tierra "armada" con la introducción de refuerzos verticales cada 60cm. Estos refuerzos pueden ser varillas de madera o cañas. Para garantizar la continuidad estructural, estas varillas deben unirse a nivel horizontal con cañas partidas y extendidas cada 40cm. aproximadamente (Fig.7).



II.1.5 Llaves de refuerzo

Esta acción generalmente se aplicaba a los muros esbeltos o contrafuertes agrietados, una vez reconstruidos, que por las características del entorno hacían imposible ampliar sus proporciones. Se trata de maderos que atraviesan y abrazan la estructura impidiendo su separación (Fig.8).

Fig.7. Refuerzos verticales a base de cañizo. (Foto. P. Hurtado Valdez).

II.2 Técnicas modernas y experimentales

En 1977 Perú contaba ya con una norma de diseño sismorresistente con recomendaciones para construcciones nuevas de adobe incluyendo valores de resistencia admisible a cortante. En 1985 ya se habían realizado pruebas de simulación sísmica de módulos construidos con muros de adobe con y sin refuerzo, Se contaba además con información sobre el comportamiento sísmico de las construcciones de adobe. De aquí nace la iniciativa de la incorpo-



Fig.8. Llave de refuerzo de madera aplicado en los contrafuertes de la Catedral de Lima. (Foto: P. Hurtado Valdez).

ración de refuerzos verticales de caña, llevado luego a la propuesta de tubos de plástico, nylon o fibra de vidrio, que parten desde el cimiento y se unen al encadenado con el fin de generar un comportamiento homogéneo de la estructura aumentando su ductilidad. Posteriormente en el año 2000 convergen en la norma un proyecto de investigación de utilización de mallas de acero electro soldadas y actualmente las mallas de polímero.

II.2.1 Reparación de fisuras y grietas

a) Fisuras y grietas menores a 1 cm

El caso más frecuente a encontrarse en muros de tierra es la presencia de fisuras o grietas de poco espesor. Para reparar estas grietas se colocan accesos o boquillas de inyección cada 20 cm. aproximadamente a lo largo de ella (Fig.9). Se procede luego a sellar con yeso ambas caras de la grieta (de ser posible) para servir de tapón al mortero de inyección.



Fig.9. Boquillas para la inyección de mortero. (Foto: P. Hurtado Valdez).

La superficie interior agrietada debe estar limpia para lo cual se inyecta un poco de agua por las boquillas. Esta acción ayudará también a humedecer la superficie para mejorar la adherencia y servir de lubricante al mortero de inyección.

El mortero de inyección debe ser elástico y de preferencia realizado con el mismo material, es decir tierra, la cual debe ser tamizada (que pueda pasar una malla No.10), además de agregarse cal y agua. La proporción en peso es 65% tierra, 12% cal y 23% agua. La inyección del mortero se hace inmediatamente a continuación de la inyección con agua, teniendo cuidado de hacerlo desde la parte baja del muro hacia la parte alta. Una vez llenada completamente la grieta, se retira el sello de yeso y se retaca la superficie exterior con el mismo mortero.

b) Grietas superiores a 1 cm

Igual que en el caso anterior se procede a limpiar y humedecer el interior de la grieta con inyección de agua. Debido a la magnitud del agrietamiento, se utiliza tierra sin tamizar, con 20% de cal y agua necesaria para preparar una masa plástica. En realidad esta grieta funcionará como una junta elástica, a diferencia de la excesiva rigidez de los morteros actuales de cemento, per-

Fig.10: Inyección de mortero en grietas. (Foto: D. Torrealva, s.f.).



mitiendo una mayor absorción de energía, una cierta recuperación dimensional y asentos graduales (Fig.10).

II.2.2 Reconstrucción y refuerzos de muros

Una de las primeras acciones es observar el desplome existente en los muros. Para que en un muro se considere un desplome aceptable para ser consolidado en su posición, debe cumplir que medida en su parte superior no debe exceder el ancho del muro dividido entre 10. No obstante si el desplome es controlado, es decir, mayor que el ancho del muro entre 10, pero menor que el ancho del muro dividido entre 5, y además no presenta evidencias de grietas horizontales en toda su altura se puede llevar a su posición inicial mediante puntales y luego reforzarlo (7). Si un muro ha sufrido desplazamientos excesivos fuera de su plano tal vez será necesario desmontarlo y reconstruirlo.

a) Cables o fajas exteriores

Junto a métodos tradicionales ha sido propuesta la inclusión de cables de acero inoxidable y tensores verticales anclados a la cimentación y al borde superior del muro o encadenado. También se pueden colocar cables adicionales en alturas intermedias de los muros (Fig.11).

Esta técnica busca la estabilidad en el plano de los muros, confinándolos entre sí. De esta manera se trata de evitar desplazamientos en la etapa de posfisuración, impidiendo el volteo o desplome de ellos, con una fuerte disipación de energía sísmica por fricción (8).

No obstante aun queda por verificar si se muestra necesario regular constantemente los cables después de cada evento sísmico y su efecto con la tierra circundante.

Es una solución medianamente económica y simple, aunque eficiente en el control del desplazamiento de los muros. Sin embargo puede perturbar y deteriorar la apariencia de revocos y pinturas murales.

b) Núcleo central flexible

Se basa en la técnica tradicional del refuerzo vertical de cañas o madera, pero sustituyéndose éstas por barras delgadas de acero, fibra de vidrio o carbono, las cuales son insertadas en huecos perforados verticalmente con equipo especial. La intención es hacer que los esfuerzos que la tierra no puede admitir sean transmitidos a las barras de refuerzo. Para impedir una elevada fricción entre las barras y la tierra se coloca como elemento intermedio una vaina plástica o de caucho. Es una técnica antisísmica sofisticada, de

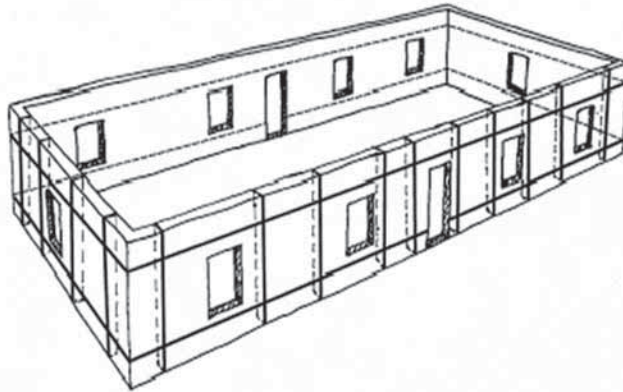
alto costo y difícil ejecución, pero hasta el momento de buenos resultados. Tiene el inconveniente de su elevado costo y el estar aún sujeto a pruebas para ver los efectos secundarios que pueda tener a largo plazo dentro del comportamiento de la estructura general (9).



Fig.11: Cables horizontales metálicos aplicados al exterior de los muros. (Gráfico: E. Toelles, 2002. Foto: J. Vargas, 2005).

c) Grapas locales

Es una técnica complementaria usada conjuntamente con otras, debido a que solo busca controlar las fisuras ya existentes en los muros. Trabajan cuando existe un alto grado de degradación de la estructura, pero logran evitar o demorar el colapso parcial o total si una sollicitación extraordinaria excede la capacidad estructural del muro.



El sistema es relativamente económico y simple, porque se perforan los muros con taladros finos y luego se anudan las grapas. Estas grapas se realizan por lo general con materiales flexibles como soguilla, cuero o cintas de plástico.

d) Mallas de fijación

El principio se basa en colocar un elemento capaz de contener al muro y distribuir los esfuerzos uniformemente, principalmente en el periodo de post-fisuración evitando que continúe su degradación (10). Inicialmente se experimentó como refuerzo en las esquinas con la colocación de mallas electro soldadas de 1 mm. de diámetro y 1' de espacio entre ellas, fijadas con conectores o clavos distanciados cada 5 cm. y un revoco de cemento que unificara el conjunto (Fig.12) (11). Sin embargo poseían una debilidad, ya que respondían bien a sismos moderados pero presentaban falla frágil y repentina ante movimientos fuertes, porque las partes reforzadas se separaban y producían el colapso de las partes no reforzadas (12). Además la incompatibili-



Fig.12: Mallas metálicas para refuerzo de muros de tierra. (Foto: P. Hurtado Valdez).

dad del revoco de cemento hacía que el muro no pudiera evaporar la humedad motivando después de un tiempo la separación de revoco y muro, con los consiguientes daños mecánicos que este fenómeno producía. Debido a todos estos inconvenientes se cambió posteriormente por mallas polímeras, con propiedades estándar de resistencia y rigidez. Para conectar estas mallas se realizan perforaciones verticales y horizontales en los muros cada 30 cm. y se usa rafia plástica para la unión. Se debe tener especial cuidado de colocar la malla en forma continua en las esquinas de los muros tanto las exteriores como las interiores. Finalmente se procede a revocar nuevamente el muro con barro o con tierra y algún estabilizante de ella (cal, yeso, paja fina, etc.).

Es importante recalcar que para que el sistema funcione bien se tendría que cubrir todos los muros de la edificación con estas mallas, de lo contrario se está generando zonas resistentes y zonas débiles, produciéndose el fallo en éstas últimas durante un sismo.



NOTAS

(1). No se debe confundir magnitud con intensidad sísmica. La magnitud es una medida indirecta de la cantidad total de energía liberada, por medio de las ondas sísmicas, que puede estimarse de la amplitud de dichas ondas registradas por los sismógrafos. Se mide en la escala de Richter, de 0 a 10 y se expresa en números arábigos, con aproximaciones hasta los décimos. La intensidad, por su parte, es una medida de estimación de la vibración a través del nivel de daño que causa en las construcciones y los efectos que tiene sobre la naturaleza. Se mide según la escala MSK o también de Mercalli, la cual se modifica de acuerdo a la realidad de cada continente o región geográfica.

(2). En el convento de San Francisco de Lima, se incluyeron columnas de concreto armado dentro de los muros de adobe, aunque se respetaron las estructuras de madera, caña y tierra de las bóvedas. En la casa Jiménez en Lima, se cambió el entrevigado del forjado, que estaba constituido por madera y tierra, por uno de hormigón armado bidireccional para crear un diafragma rígido. También en la casa de la Moneda se introdujeron cimientos, columnas y vigas en hormigón armado. En el palacio Osambela, se consideró introducir en los muros de adobe una estructura de acero multiregulada. La intención era crear zonas estáticas y dinámicas, con el fin de regular las deformaciones que aparecían después de cada sismo.

(3). En la restauración de la casa del Mayorazgo de Facalá en Trujillo y en la casa Aspíllaga en Lima, se decidió utilizar técnicas tradicionales para la reconstrucción de los muros de adobe dañados, agregando solo los elementos necesarios para garantizar su estabilidad como escuadras de madera en las esquinas. Barreto menciona que en el control efectuado a sus trabajos de restauración con técnicas tradicionales hace más de 30 años, no han encontrado mayores fallas o alteraciones en los edificios restaurados (Barreto Arce, Alberto, 2005). Por otro lado queda aún vigente el discurso de mantener las técnicas tradicionales como patrimonio inmaterial a salvaguardar.

(4). Ensayos realizados desde los años 70 en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Lima y en el laboratorio de estructuras del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(5). En la antigüedad los ensamblajes de los maderos venía reforzado con la utilización de cintas de piel de animales. La técnica permitía realizar uniones entre maderos sin llegar a dotarlas de demasiada rigidez, por lo que podían absorber y disipar energía en el caso de sismos. La ligazón se realizaba estando las cintas aún húmedas, las cuales al secar conferían la presión necesaria. (Hurtado Valdez, Pedro. 2006b).

(6). El uso de cañas para armar hiladas es una técnica muy antigua. Existen casos como en

Fig.13: Mallas polímeras para refuerzo de muros de tierra. (Foto: P. Hurtado Valdez).

Babilonia, atribuyendo At Aqaraf su uso a la dinastía kassita (S.XIII a.C.). Peters afirma que cada siete hiladas se disponía un estrato de hoja de palma. (Arce García, Ignacio. 1996, p.40). En Caral, al norte de Lima (3.000 a.C.) se han encontrado restos de refuerzo de madera y caña dentro de los muros de tierra

(7). (Torrealva, Daniel. s.f).

(8). Este sistema está basado en la propuesta estructural para la restauración de la iglesia de San Cristóbal de Rapaz (Vargas Neumann, Julio. 2005).

(9). Algunos ensayos han dado buenos resultados en obras modernas, sin embargo se debe tomar estas técnicas con la precaución debida, principalmente frente a su real desempeño en caso de sismos y del paso del tiempo en ellos (fatiga del material, incompatibilidades estructurales y físico químicos, etc.). Por ejemplo se debe recordar los efectos negativos que generó la utilización de materiales modernos como el silicato de etilo en la consolidación de muros de tierra en Chan-Chan (Perú), que con el paso del tiempo produjo el desprendimiento de la base de la pintura mural de las zonas donde se colocó.

(10). El principio se basa en colocar un elemento capaz de contener al muro y distribuir los esfuerzos uniformemente (Webster, Frederick, 2005; Keefe, Laurence. 2005).

(11). (Tolles, E. Leroy; Kimbro, Edna E.; Webster, Frederick A.; Ginell, William S. 2000). Norma 6 NTE E.080 Adobe Perú. No obstante estas recomendaciones pueden ser de mucha utilidad para edificios modernos, resulta complicada su utilización en construcciones históricas, especialmente si existen pinturas murales o muros con un elevado valor documental como para ser desmontado.

(12). Algunos ensayos han dado buenos resultados en obras modernas, sin embargo se debe tomar esta técnicas con la precaución debida, principalmente frente a su real desempeño con el paso del tiempo (fatiga de los materiales).

Bibliografía

ARCE GARCIA, Ignacio. 1996. Elementos y sistemas constructivos antisísmicos en la antigüedad, aplicación a la restauración de estructuras históricas. En Actas del Primer Congreso Nacional de la Historia de la Construcción. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

BARRETO ARCE, Alberto. 2005. Las construcciones antiguas y los sismos. En International Seminar Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

HURTADO VALDEZ, Pedro. 2006a. La restauración de edificios en tierra en zonas sísmicas. En Atti del Congresso "Costruire con terra cruda oggi". Novi Ligure 2005. Roma: Edicomeditazione.

HURTADO VALDEZ, Pedro. 2006b. Estructuras abovedadas de quincha en el Virreinato del Perú. En Actas del V Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Mendoza: Cricyt.

ININVI. 2000. Construcciones en adobe, disposiciones especiales para diseño sismorresistente, Norma 6 NTE E.080 Adobe Perú. Lima: Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda de Perú

KEEFE, Laurence. 2005. Earth building, methods and materials, repair and conservation. New York: Taylor & Francis.

KUROIWA, Julio. 2002. Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza. Lima: Julio Kuroiwa.

TOLLES, E. Leroy; KIMBRO, Edna E.; GINELL, William S. 2002. Planning and engineering guidelines for the seismic retrofitting of historic adobe structures. Los Angeles: Getty Conservation Institute.

TOLLES, E. Leroy; KIMBRO, Edna E.; WEBSTER, Frederick A.; GINELL, William S. 2000. Seismic stabilization of historic adobe structures, final report of the Getty seismic adobe project. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

TORREALVA DAVILA, Daniel. s.f. Caracterización de daños, reparación y refuerzo en construcciones de adobe. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

VARGAS NEUMANN, Julio. 2005. Proyectos de restauración con criterios de desempeño versus resistencia en Perú y Chile. En International Seminar Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

WARREN, Jhon. 1999. Conservation of earth structures. Butterworth Heinemann.

WEBSTER, Frederick. 2005. Application of stability-based retrofit measures on some historic and older adobe buildings in California. En International Seminar Architecture, Construction and Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

CYTED. 1995. Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. La Paz: Red Habiterra Cyted. □