

# TÉCNICA DUAL PARA REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE MUROS HISTÓRICOS DE ADOBE

Por: *Ingrid Calixto Aguilar, Yuremmy Vilcanqui Apaza*

**L**a disponibilidad y fácil preparación del adobe lo hace un material de construcción por excelencia. Desde 2000 a.C., muchas culturas peruanas, como la chimú e inca, la emplearon en sus construcciones arquitectónicas. Estas construcciones, consideradas monumentos históricos, han sido dañadas por sismos, los que han generado en ellas grietas y fisuras, que, debido a un futuro sismo, podrían aumentar su tamaño y causar el desplome total de la estructura. Dado el gran valor cultural que tienen estas construcciones, surge la necesidad de protegerlas ante cualquier daño sísmico.

## ANTECEDENTES

Este trabajo de investigación es el cuarto de una serie de proyectos llamados "Fisuras", bajo la dirección del Dr. Marcial Blondet, y se orienta en la reparación de muros de adobe.

En 2006 se inició el proyecto "Fisuras I", donde se analizaron las reparaciones de muros hechos con adobe usando morteros líquidos de distinta composición para determinar qué proporción era más adecuada. Se ensayaron varios muretes (muros de 60x60cm) en el laboratorio de estructuras de la PUCP, en los que se generaron grietas, que fueron reparadas con barro líquido y distintos aditivos. De este proyecto se obtuvo que el barro líquido, suelo con una adecuada cantidad de agua sin aditivo, es el más efectivo.

La segunda fase del proyecto, "Fisuras II", comenzó en 2008. El planteamiento fue proyectar los resultados obtenidos en la primera fase (uso del barro líquido en la reparación de las grietas) a estructuras más grandes: los muros H. Estos muros fueron ensayados, reparados y nuevamente ensayados a carga dinámica cíclica. El resultado fue que la resistencia obtenida luego de la reparación era muy similar a la original, resultado que se consideró satisfactorio.



*Morales, Iwaki et al. Proyecto Fisuras I*

La tercera parte del proyecto, "Fisuras III", fue desarrollada en 2010 por el Ingeniero Robert Groenberg (Universidad de Delft, Holanda). Se continuó con la línea de investigación de Fisuras II, pero aplicado a una casa de adobe de tamaño real. No obstante, los resultados obtenidos no fueron los esperados (solo se recuperó el 54% de la resistencia original).

Así, se origina la idea de estudiar refuerzos estructurales complementarios a la reparación con inyección de barro líquido en grietas. Surgió el proyecto "Fisuras IV".

Al tratarse de patrimonio cultural, fue obligatoria la revisión de documentos internacionales dedicados a la conservación de los sitios y monumentos históricos: cartas de ICOMOS, documentos de GETTY Conservation Institute, entre otros.

El adobe es un material pesado, pero frágil. El material elegido como reforzamiento debe ser compatible con ambas características. El grupo de investigación acordó usar drizas, las cuales son cuerdas o cabos con que se izan las banderas o gallardetes. En tanto que una driza templada es una driza unida a un templador galvanizado debidamente roscado.



*Vargas y Palomino. Proyecto Fisuras II*

La finalidad de colocar drizas templadas fue lograr el confinamiento de los muros de adobe horizontal y verticalmente. La superposición de ellos da lugar a una malla que puede anudarse en los cruces con una driza de menor diámetro aumentando así la integridad y estabilidad de la estructura. Para generar tensión, las drizas se anudan manualmente a los extremos del templador desarmado. Luego, se arma el templador manualmente y se rosca para templar la driza. Este enfoque se basa sobre el comportamiento de los estribos en las vigas y columnas de concreto armado que confinan los elementos, brindándole mayor resistencia.

Inicialmente, se pensó en confinar los muros con cables de acero forrados con plástico (como los que se usan en las máquinas de los gimnasios), pero se asumió que estos cortarían el adobe. Durante la investigación, se decidió usar la driza porque tiene un módulo de elasticidad cercano al del adobe. Los módulos de elasticidad son 100MPa (driza de 3/4") y 600 MPa (adobe). En estas condiciones se asumió que el sistema debía trabajar armoniosamente y así lo demostraron los resultados del trabajo de laboratorio que se realizó después.



*R.J. Groenberg. Proyecto Fisuras III*



### CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DEL MÓDULO.

Para tener un patrón de comparación con Fisuras III, se planteó construir un módulo idéntico al de Robert Groenberg. Las dimensiones fueron 3.25 m (largo), 1.98 m a 2.25 m (altura) y 3.25 m (altura).

Se siguió el mismo proceso constructivo de Fisuras III. Se usó un anillo de cimentación de concreto armado. Luego, se construyó los muros de adobe. Finalmente, se colocó el techo de madera formada por una viga tipo collar, listones y teja similar a la tradicional de la sierra.

El módulo fue ensayado el 25 de julio de 2012 en el simulador sísmico del laboratorio de la PUCP. El simulador tiene una ligera excentricidad que produjo mayores esfuerzos en el muro derecho del módulo. Se considera que ese muro representa mejor el daño. La fuerza viene en dirección perpendicular al muro frontal, donde se ubica la puerta, y al posterior. Estos muros estuvieron sometidos principalmente a flexión. Los muros laterales soportaron esfuerzos de corte. Por tanto, en estos últimos, se produjeron grietas diagonales principalmente.



### REPARACIÓN INICIAL.

Fue necesario abrir las grietas para inyectar adecuadamente el barro líquido. Fue necesario perforarlas con taladro y cuchillo eléctrico. Debido a que no se dispuso de personal especializado y lo meticuroso del proceso, se tomó más tiempo de lo planeado (3 meses).

El barro líquido se preparó en la siguiente proporción: suelo (tierra de chacra tamizada por la malla de N°10), 50% de paja en volumen y 35% de agua en peso. A manera de encofrado, se usó silicona para recubrir superficialmente las grietas que se llenarían con barro líquido.



### ANÁLISIS DE IMPLEMENTOS.

Ya elegidas las drizas como material de refuerzo, se tenía ahora que escoger qué diámetro era el adecuado. Para ello, cada tipo de driza fue ensayado a tensión axial en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP para analizar su resistencia y rigidez. Fue muy útil comparar los resultados con el de mallas plásticas naranjas ensayadas anteriormente también como reforzamiento en muros de adobe. Finalmente, con los resultados de los ensayos se eligió la driza de diámetro 1/4" debido a su resistencia, rigidez y seguridad.

El sistema de driza-templador fue ensayado en la máquina universal del laboratorio. La primera serie de ensayos consistió en girar el sistema y registrar la carga ganada por giro. Se obtuvo que se gana 27 N (2.5 kgf) de tensión por vuelta. La segunda serie de ensayos se dio hasta la rotura del sistema. El sistema falló a los 2kN (200 tonf) de tensión.



## COLOCACIÓN DE LOS REFUERZOS.

El sistema driza-templador fue elaborado con dos secciones de driza unidos a templadores galvánicos mediante un nudo. Se buscó en la guía de nudos de Cristian Biosca y se decidió usar el nudo llamado 'Número 8'. Para cada línea se usó dos drizas y dos templadores, uno interno y otro externo. Fueron colocados en forma de estribo de manera que abrazaran al muro horizontal y verticalmente. En cuanto a la ubicación de los templadores verticales se resolvió que debían ser colocados a un tercio de la base del muro por cuestiones de facilidad de operatividad principalmente.

Al colocar todas las drizas, se formaba una malla interior y exterior al muro. Las mallas se unieron con drizas de 1/8" que atravesaban cada muro y anudaban en las intersecciones de las mallas. Estas drizas reciben el nombre de crossties. En las intersecciones donde no había crossties, se hizo nudos que solamente amarraban la malla. En la figura, los crossties están representados de rojo; y los nudos de amarre, de negro.

La parte del tercio superior es la que suele sufrir más daño ante el sismo; por tanto, se consideró colocar más crossties en el tercio superior del muro. El grupo de trabajo acordó usar crossties de manera intercalada en el resto del módulo.

El proceso de perforación de los muros para la colocación de los crossties (drizas que atraviesan la totalidad del muro) se hizo con mucho cuidado. Demandó gran tiempo de trabajo. Se trató que la mayor parte de los crossties que se introducían en el muro de adobe coincidieran con el mortero de modo que fuese más fácil su penetración y el daño fuese menor en las unidades de adobe. Además, los pocos crossties que atravesaron el muro en una unidad de adobe requirieron mucho trabajo, tanto de personal como de equipo.



## ENSAYOS

El módulo se ensayó en el simulador sísmico del laboratorio de estructuras de la PUCP.

Módulo listo para el ensayo.

Se aplicaron 5 fases de desplazamiento.

- El **primer ensayo** se realizó para un desplazamiento de 30 mm. En este ensayo no se observó a simple vista ninguna fisura en la casa de adobe.

- El **segundo ensayo** fue de 60 mm de desplazamiento. Aquí se abrió una pequeña cantidad de las existentes, lo que demostró que las drizas tensadas trabajan adecuadamente. En el ensayo de R. Groenenberg (2010), esta fue la fase donde se desplomó su módulo.

- En el **tercer ensayo**, de 90 mm de amplitud máxima, se localizó fisuras de mayor tamaño. Sin embargo, la casa era totalmente reparable y se mantenía en buenas condiciones. La aceleración máxima de esta fase corresponde a un sismo muy fuerte.

- Se decidió ensayar una vez más, pero ahora para 130 mm de desplazamiento máximo. Se esperaba observar la casa parcialmente destruida. Las grietas se incrementaron, pero el modelo no colapsó.

• Gracias a los resultados obtenidos hasta el cuarto ensayo, se decidió ensayar una vez más a la misma amplitud de desplazamiento de la fase cuatro. Esta vez se apreciaron desprendimientos de algunas unidades de las paredes de la casa. Sin embargo, ninguna sección desprendida fue lo suficientemente grande como para considerarse como una amenaza mortal para un habitante. Se garantiza salvar vidas ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Se conservó la estabilidad del modelo.

## CONCLUSIONES

Los resultados cubren parcialmente dos objetivos. Por un lado, se demostró que esta técnica lograría la conservación del patrimonio al evitar el colapso de la estructura. Sin embargo, no se llegó a conservar del todo la estética del monumento histórico, lo que aún puede ser optimizado en futuros proyectos. Por otro lado, la técnica demostró que, con ligeras modificaciones, puede ser adaptada para usarse en zonas de casas tradicionales de adobe y asegurar la salvaguarda de vidas ante un evento sísmico.

Los resultados obtenidos superaron ampliamente las expectativas de resistencia ante un movimiento telúrico. Pueden hacerse ciertos cambios que hagan la técnica mucho más factible y aplicable. Los cambios pueden optimizar la cantidad de drizas usadas o cambiar el tipo. Se puede disminuir el diámetro y separación de las drizas.

Por otro lado, si bien se consiguió los niveles deseados de resistencia, aplicar esta técnica en viviendas rurales sería medianamente costoso y relativamente difícil de lograrse. En el módulo, se usó 200 templadores con un precio unitario aproximado de 4 soles. Usarlos en una construcción de adobe tradicional (más habitaciones) aumentaría el precio en gran medida. Para mejorar este aspecto, pueden cambiarse los templadores por otros instrumentos o nudos especiales que cumplan la misma función de tensar las drizas.

Finalmente, el proyecto en su totalidad es promisorio, pues abre camino a futuras investigaciones que lo hagan más viable y amplíen su uso, especialmente en viviendas de construcción precaria que necesitan de una solución urgente ante los sismos. Así, se podrán evitar muchas pérdidas humanas ante movimientos telúricos.



**“Según el Censo del 2007 del INEI, el 34,8% de viviendas construidas tienen como material predominante adobe o tapia; en el área urbana representan el 23,5%, mientras que en el área rural es el 68.5%.”**

