

LAS GEOMALLAS COMO REFUERZO SÍSMICO DE VIVIENDAS DE TIERRA

¹Daniel Torrealva Dávila, Patricia Santillán Ramírez², Julio Vargas Neumann³,
Mario Solís Muñiz⁴

^{1,2,3}Pontificia Universidad Católica del Perú

Av. Universitaria 1801, San Miguel, Apartado 1761 Lima Perú

Te. (+511) 626 2000; E-mail: dtorrea@pucp.edu.pe; psantillan@pucp.edu.pe;
jhvargas@pucp.edu.pe

⁴Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla España
Tel. (+34) 954487293; E-mail: msolis@us.es

Tema 3: Técnicas, construcción, investigación y desarrollo.

Palabras clave: adobe reforzado, estructuras sismorresistentes, cooperación al desarrollo

Resumen

En la continua búsqueda de materiales disponibles y compatibles que puedan ser usados como refuerzo sísmico de las viviendas de tierra, las geomallas biaxiales aparecen como una alternativa promisorio para reforzar viviendas de adobe o tapial, existentes y nuevas, sin cambiar su apariencia, incrementando su resistencia y eliminando la posibilidad de colapso.

Esto ha sido corroborado por extensos programas experimentales que incluyen simulación sísmica de viviendas de adobe en mesa vibradora, ensayos cíclicos de fuerza horizontal y ensayos de flexión fuera del plano, todos ellos llevados a cabo en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). A través de estos ensayos se ha demostrado que la geomalla colocada embutida en un enlucido de barro, en ambos lados del muro, conectada entre sí a través de él por hilos de nylon, convierte el tradicional comportamiento frágil de las construcciones de tierra, en un material compuesto que puede disipar energía hasta avanzados niveles de deformación, donde la tierra toma los esfuerzos de compresión y la geomalla los de tracción.

Este trabajo ha dado lugar a la puesta en marcha de un proyecto de cooperación interuniversitaria en el que se abre la posibilidad de desarrollar herramientas numéricas para predecir en el futuro el comportamiento de muros de tierra reforzados con geomallas, sometidos a fuerza cortante coplanar y flexión fuera del plano que son las acciones típicas a que es sometido el muro en caso de un evento sísmico.

El proyecto cuenta también con el objetivo de favorecer y extender programas de transferencia de esta tecnología allá donde más se necesita, siguiendo con el trabajo previamente realizado por la PUCP.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción con tierra constituye una tecnología de bajo coste por la fácil disponibilidad de los materiales y la facilidad en su manejo, lo cual hace que actualmente sigan recurriendo a ella amplios sectores de población mundial que autoconstruyen sus viviendas sin necesidad de recurrir a personal técnico cualificado.

La construcción en tierra ofrece además unas propiedades excelentes a aislamiento térmico, acústico y sostenibilidad ambiental. Esto hace que sea también de interés para nuevas construcciones realizadas bajo criterios ecológicos y de desarrollo sostenible. Este hecho hace que la técnica de construcción con tierra tenga interés no solo para la población con menos recursos de áreas empobrecidas, sino también en zonas donde el desarrollo tecnológico es avanzado pero la construcción con tierra se convierte en una técnica de construcción alternativa cada vez más frecuente y difundida.

Para mejorar las propiedades resistentes del adobe se ha recurrido tradicionalmente al empleo de paja, caña, madera, etc., y más modernamente se ha recurrido a mallas de alambre o parrillas de acero electrosoldadas. Todas estas técnicas permiten mejorar el comportamiento estructural del adobe, pero sigue resultando insuficiente, apareciendo en algunos casos una incompatibilidad en cuanto a rigidez y transmisión de esfuerzos entre el adobe y el material de refuerzo, o problemas adicionales de corrosión como ocurre con los refuerzos metálicos, y lo que es más importante, no se consigue evitar con seguridad el colapso de la estructura en el caso de un movimiento sísmico, teniendo lugar incluso una rotura frágil en el caso de refuerzos metálicos. Este colapso de la estructura es el que provoca la pérdida de vidas humanas, y por tanto es lo que debe evitarse a toda costa.

Todos estos tipos de refuerzo han sido estudiados y ensayados experimentalmente en los laboratorios de la PUCP durante las últimas décadas (Blondet et al, 2005). La última tecnología desarrollada consiste en el empleo de un material polimérico utilizado tradicionalmente como elemento de refuerzo para el terreno y conocido como geomalla. Los resultados de los ensayos realizados hasta ahora son muy alentadores por las grandes prestaciones que ofrece la geomalla respecto al aumento de resistencia y rigidez de la estructura, pero sobre todo el aumento de su ductilidad. Además, el coste de este material no es elevado, y teniendo en cuenta las ventajas que ofrece en cuanto al aumento de seguridad de la estructura se convierte en una alternativa con una excelente relación coste-beneficio.

Por otro lado, se debe reseñar que la técnica desarrollada no solo es de aplicación para nuevas construcciones, sino que también es aplicable en la restauración estructural de construcciones ya existentes, por lo que resulta aún de mayor interés.

En este artículo se realizará en primer lugar una breve descripción de esta técnica de construcción con adobe reforzado con geomalla. Posteriormente se darán detalles sobre los programas en los que ha participado hasta ahora la PUCP para la implementación de esta técnica en áreas afectadas por el terremoto que azotó la zona de Pisco en 2007.

Finalmente se presentará el punto de partida y los objetivos de una iniciativa de colaboración entre profesores la PUCP y de la Universidad de Sevilla que pretende profundizar en los aspectos técnicos de este tipo de construcciones y contribuir a su difusión e implementación de forma sencilla y segura.

2. DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE ADOBE SISMORRESISTENTES REFORZADAS CON GEOMALLAS

En el año 2004 la PUCP inició el desarrollo de una nueva técnica de refuerzo de construcciones de adobe consistente en el empleo de geomallas de polímero, que ofrecen buenas características en cuanto a resistencia, rigidez y durabilidad (Blondet et al, 2006). El tipo de geomalla utilizada hasta el momento constituye una retícula continua, de una sola pieza, con los puntos de cruce reforzados. La resistencia última que llega a ofrecer el tipo de malla con el que se ha trabajado es de 19.75N/m para una deformación en rotura del 7%.

La idea fundamental de la técnica de refuerzo con geomalla reside en que estos elementos envuelvan a los muros, trabajando conjuntamente con ellos, y para ellos se unen mediante rafias colocadas durante el proceso constructivo de los muros y también mediante mortero de barro aplicado para el tarrajeo. La geomalla debe estar además anclada en el sobrecimiento en la parte inferior y abrazando a la viga collar en la parte superior.

Las viviendas construidas con adobe deben de tener un cimiento corrido bajo los muros, que puede ser construido con concreto ciclópeo. Este cimiento debe tener el ancho del propio muro y debe contar con un sobrecimiento que sobresalga del terreno. Durante el proceso de construcción de este sobrecimiento, debe embeberse una capa de geomalla en su interior, de forma que esta sea la parte de la geomalla que sirva para su anclaje al cimiento.

Una vez construido el cimiento, se construirán sobre él los muros de adobe. Sobre la coronación de los muros deberá colocarse una viga collar perimetral de madera que sirva para que conjunto de los muros trabaje de forma solidaria, para lo cual deberá asegurarse la conexión de la viga a los muros. A la hora de levantar los muros, deberán colocarse cordones de cuerda o rafia entre las hiladas, de forma que estos cordones sirvan posteriormente para atar la geomalla. Una vez construidos los muros, se colocará en cada una de sus caras la geomalla, atándola mediante los citados cordones. Para que la geomalla trabaje eficientemente envolviendo toda la estructura de adobe se deberán solapar convenientemente los distintos trozos de geomalla que se utilicen, uniéndolos entre sí mediante cordones de cuerda o rafia. La longitud de traslape deberá ser de unos 30cm. Se deberá asegurar que la malla envuelve completamente al adobe, incluyendo los huecos de puertas y ventanas. Para acabar de fijar la geomalla a la mampostería de adobe se deberá realizar un tarrajeo de espesor suficiente, de forma que la geomalla quede embebida en él sobre toda la superficie de la estructura. Finalmente, para el techo de la vivienda se podrá hacer una estructura ligera de caña y mortero.

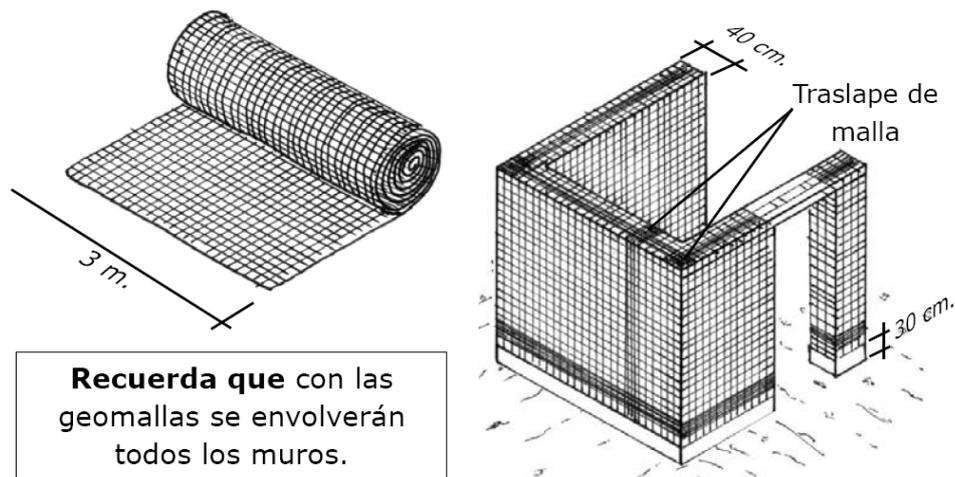


Figura 1 – Ejemplo de esquema de construcción de vivienda de adobe reforzado con geomalla recogido en las cartillas editadas para la difusión de la técnica tras el terremoto de Pisco de 2007 (Vargas et al, 2007)

3. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN PROYECTOS DE DESARROLLO

El principal reto que supone el desarrollo de este tipo innovaciones tecnológicas es la transferencia efectiva del conocimiento allí donde más se necesita, que son principalmente áreas deprimidas donde la población cuenta con escasos recursos económicos y escasa formación. En el caso de la técnica de refuerzo de adobe con geomallas, surgió la posibilidad de realizar esta transferencia de tecnología aprovechando las necesidades de reconstrucción surgidas tras el terremoto de Pisco de 2007.

Este movimiento sísmico tuvo lugar la tarde del 15 de agosto de 2007. La característica más relevante del sismo fue su larga duración, que llegó a ser de unos

150 segundos, con dos picos de movimiento diferenciados, y alcanzando una magnitud de 8.0 según diversos autores (Elnashai et al, 2008) Los requerimientos de ductilidad de las construcciones para soportar el movimiento fueron por tanto muy grandes. Los efectos devastadores de este terremoto, según datos oficiales, se traducen en más de 500 víctimas mortales, más de 1800 heridos, cerca de 55000 viviendas destruidas y casi 21000 dañadas, 3 puentes afectados, 73 centros educativos destruidos y 511 con daños, 11 centros de salud destruidos y 111 dañados. Sin duda alguna, el hecho de que el terremoto tuviera lugar durante el día y no durante la noche hizo que afortunadamente los daños personales no fueran mucho mayores.

Con el consecuente proceso de reconstrucción tras esta desgracia, como se ha comentado, surge la oportunidad de implementar por primera vez en terreno la técnica de refuerzo de adobe con geomalla. Así, la PUCP participa dentro de un programa de construcción de nuevas viviendas para familias afectadas por el sismo (Blondet et al, 2008), aportando el conocimiento técnico, dentro del programa de reconstrucción puesto en marcha por el Gobierno peruano (FORSUR), y junto con la ONG CARE-Perú, otros organismos nacionales como SENCICO, de cooperación internacional alemanes (GTZ), suizos (COSUDE) y otras ONGs.

Para transferir este tipo de tecnología no basta con su diseño a nivel científico o académico, sino que es necesario trabajar intensamente los aspectos sociales que garanticen su implementación práctica de manera efectiva. Para ello se debe capacitar a personal local, con suficiente destreza y conocimientos previos, para que desarrolle la capacidad de aplicar adecuadamente la técnica con posterioridad. Por otro lado, la población debe estar sensibilizada y concienciada de la importancia de construir viviendas con criterios sismorresistentes, de forma que sea receptiva a la implantación de una tecnología de este tipo. Este aspecto no resulta siempre sencillo, ya que a pesar de vivir en zonas vulnerables y con actividad sísmica, resulta llamativa la poca memoria histórica que tiene la población en general para recordar y tener presente los efectos de los terremotos y la importancia de esforzarse en construir edificios seguros.

Además, debe informarse a la población sobre la viabilidad técnica de construir viviendas de adobe reforzado seguras y de bajo coste, frente a la creencia popular de que las viviendas de adobe no pueden ofrecer seguridad ante sismos, y que por tanto se debe recurrir a otros tipos de materiales de mucho mayor coste, cuando éstos no necesariamente ofrecerán mayor nivel de seguridad, dada la baja calidad con la que se emplean en muchos casos.

Por otro lado, las familias deben ser conscientes de la necesidad de aportar la mano de obra no especializada y los materiales disponibles localmente para reducir los costes de la producción y conseguir que sea asequible económicamente para cualquier familia y que los fondos de ayuda (en caso de que los haya) puedan beneficiar a un mayor número de personas. Además, la participación de familias beneficiarias, y si es posible, la aportación de mano de obra de la comunidad, garantiza el interés de la población, que ven la construcción como un proyecto propio y se convertirán en los primeros interesados en que el proyecto sea un éxito.

Con este enfoque se persigue en definitiva que la tecnología sea aceptada por la población y que la hagan suya, persiguiendo que la transferencia de nuevos conocimientos se convierta en una posibilidad de aumentar sus capacidades para ejercer su derecho a construir libremente su propio hábitat, saludable y seguro.

Siguiendo con esta filosofía, el citado programa de reconstrucción y transferencia de tecnología comenzó por la capacitación de constructores en el propio campus de la PUCP, llevando a cabo la construcción de un módulo de vivienda de adobe reforzado.

Los asistentes provenían de las zonas afectadas por el sismo, donde se construirían las futuras viviendas, pero también de la zona de Lima.

Tres de las ciudades que sufrieron mayor daño durante el terremoto, Cañete, Chincha y Pisco, fueron elegidas para la segunda etapa del programa de capacitación. Esta etapa fue financiada por FORSUR y fue dirigida al público en general, en especial a aquellas personas que viven en casas de adobe. El programa de capacitación fue dirigido por personal PUCP y de CARE Perú y se capacitaron alrededor de 360 personas. Durante estas capacitaciones en las zonas afectadas por el terremoto, se construyeron tres casas en cada ciudad, cada una en un distrito diferente, para facilitar la participación de una mayor cantidad de personas. Las viviendas modelo construidas fueron entregadas a una familia elegida por la comunidad. Las familias seleccionadas habían perdido sus casas durante el terremoto y no tuvieron los recursos suficientes para reconstruir una nueva.



Figura 2 – Algunas de las viviendas de adobe reforzado construidas en el poblado de La Garita (distrito El Carmen, Chincha) con la asistencia técnica de la PUCP

La última fase en la que ha participado la PUCP ha consistido en la construcción de 50 viviendas familiares en las zonas afectadas. Durante esta construcción se ha puesto en práctica la necesidad de implicar a las familias beneficiarias en la construcción de la vivienda, como una forma de capacitación por un lado pero sobre todo como contraparte a la ayuda que se les ha facilitado para la construcción de la vivienda. Paralela y posteriormente CARE y otras ONGs han construido cientos de casas más y existen programas para construir miles en vez de cientos, con el apoyo del Estado.

Para la implementación y difusión de esta técnica se han elaborado cartillas y videos en las que se explica detalladamente, paso a paso, el proceso constructivo (Vargas et al, 2007). Por otro lado, esta técnica ha sido incluida en un anexo en la norma de

construcción en adobe de Perú, en el que se especifican las propiedades que debe tener la geomalla de refuerzo.

4. PROYECTO DE COOPERACIÓN INTERUNIVERSITARIA

La ocurrencia del sismo de agosto de 2007 y las consecuentes necesidades de reconstrucción constituyeron un marco inmejorable para realizar la siempre necesaria pero no siempre sencilla transferencia de conocimientos y puesta en práctica de innovaciones tecnológicas de este tipo. Esta transferencia se ha llevado a cabo con éxito hasta la fecha, extrapolando las conclusiones extraídas de los ensayos realizados en laboratorio al diseño y construcción de prototipos de viviendas dentro del programa de reconstrucción y capacitación antes descrito.

No obstante, resulta conveniente profundizar en aspectos teóricos acerca del comportamiento de este tipo estructuras, con el objeto de formar una base científica que permitan generalizar el empleo de esta técnica y aplicarla en construcciones de distinta tipología. Para llevar esto a cabo es necesario el desarrollo de herramientas matemáticas y numéricas que permitan modelar el comportamiento estático y dinámico de elementos estructurales de adobe reforzado con geomalla y también realizar nuevos ensayos estáticos y dinámicos que permitan corroborar los resultados obtenidos. Finalmente, no se debe perder de vista el campo de aplicación de esta tecnología y por tanto los resultados de estos trabajos se deberán plasmar en recomendaciones y guías de construcción de muy fácil comprensión y aplicación, puesto que serán empleadas generalmente para viviendas de autoconstrucción que en la mayoría de los casos se realizarán sin ningún tipo de control por parte de personal técnico cualificado.

Con estos objetivos surge el proyecto de cooperación interuniversitaria entre profesores de la PUCP y la Universidad de Sevilla, cuyo contacto se debe precisamente de la estancia de profesores españoles en Perú dentro con motivo de su implicación en otros proyectos de reconstrucción llevados a cabo por la ONGD Ingeniería Sin Fronteras. El proyecto de cooperación interuniversitaria es financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) dentro de su Programa de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica.

A continuación se describen los ensayos de laboratorio llevados a cabo por la PUCP para validar la técnica de refuerzo con geomalla, y que suponen el punto de partida de este proyecto universitario a partir del cuál se plantean los objetivos del mismo.

4.1 Ensayos de muros sometidos a flexión fuera del plano

Con el fin de conocer el comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con malla de polímero, los últimos trabajos experimentales dirigidos por el profesor Torrealva han consistido en ensayar muros con y sin refuerzo bajo cargas de flexión. En los primeros ensayos que se han realizado los muros se mantienen en posición vertical y se someten a un estado de flexión en 3 puntos (Fig. 3). Los muros han sido sometidos a ciclos de carga y descarga, lo que ha permitido trazar sus lazos histeréticos y su plastificación. El espesor de los adobes empleados es de 21 cm, con lo que los muros tartajeados tienen un espesor aproximado de 25 cm.

En la figura 4 se representa la evolución de la carga aplicada frente al desplazamiento en el punto medio, para un muro reforzado y otro sin reforzar. Se puede observar un incremento de la resistencia del muro reforzado en el tramo que se pudiera denominar como tramo elástico, aproximadamente el doble que la del muro sin reforzar. Una vez superada el tramo elástico, el muro sin reforzar muestra un ablandamiento, disminuyendo la carga soportada y aumentando el desplazamiento, mientras que con el muro reforzado la carga soportada sigue aumentando con el desplazamiento,

llegándose a una resistencia última que es de nuevo el doble que la del rango elástico, lo que supone 4 veces más que la carga última del muro sin reforzar. Además, el desplazamiento que puede alcanzarse con el muro reforzado sin que se produzca la rotura del o pérdida de su capacidad portante es 25 veces mayor.

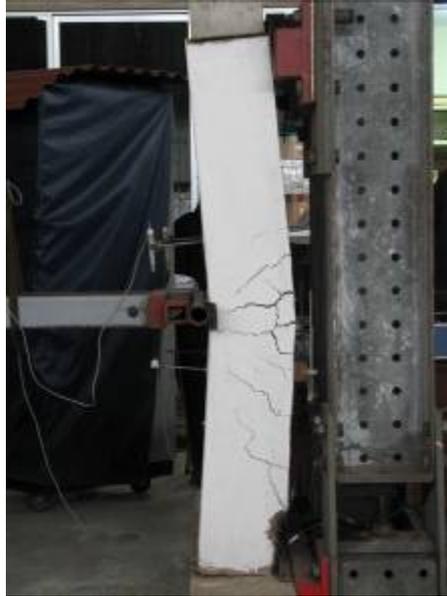


Figura 3 – Ensayo de flexión de muros de adobe

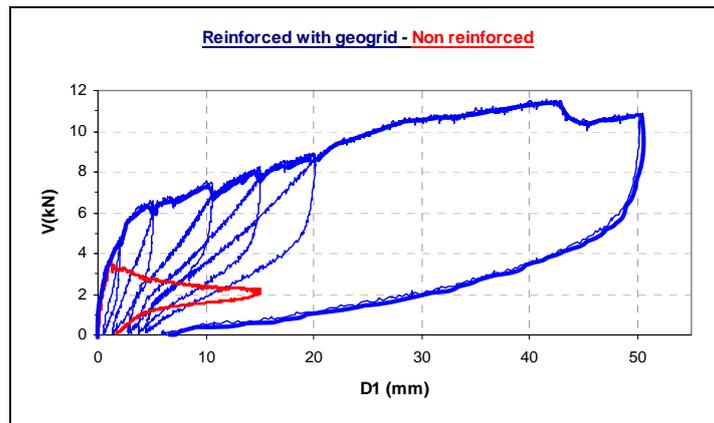


Figura 4 – Resultados comparativos del comportamiento a flexión de muro reforzado y sin reforzar

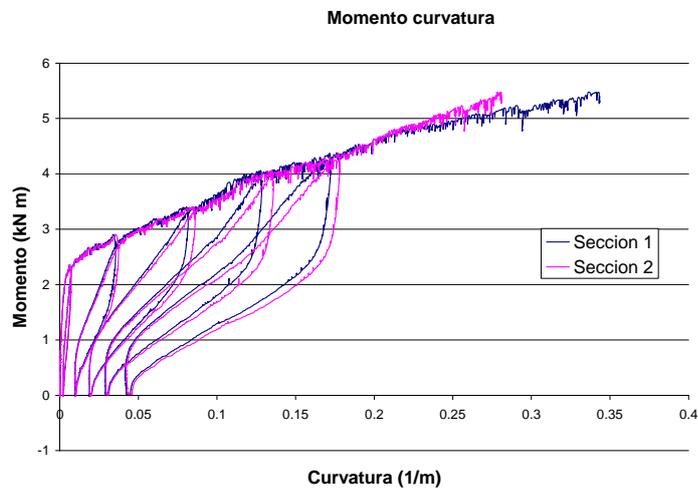


Figura 5 – Relación momento curvatura obtenida en secciones durante el ensayo de flexión

En la figura 5 se presenta la ley momento-curvatura obtenida experimentalmente en dos puntos distintos. El comportamiento del muro reforzado se puede asimilar al de un material compuesto como el concreto armado, en el que el adobe soporta las tensiones de compresión y el refuerzo de geomalla absorbe las tracciones. El primer objetivo del proyecto será modelar adecuadamente este comportamiento, de forma similar a como se hace en el concreto armado, para poder obtener una ley de comportamiento a flexión de este tipo de elementos. Los resultados de estos ensayos de flexión en tres puntos se complementarán con otros ensayos de flexión horizontal en cuatro puntos.

4.2 Ensayos de muros sometidos a esfuerzo cortante

Para el estudio del comportamiento de los muros ante esfuerzo cortante, se han realizado ensayos sobre tres muros sometidos a una fuerza coplanaria aplicada en su parte superior (Fig.6). Se ha podido comprobar como el refuerzo con geomalla y tarrajeo supone un incremento de resistencia en el rango elástico de un 40%. A partir del momento de agrietamiento del muro y plastificación se observa también en el muro reforzado con tarrajeo un aumento progresivo de la carga, mientras que si no se aplica tarrajeo tan solo se produce una fluencia que se traduce en un aumento del desplazamiento soportado sin que el muro sea capaz de soportar un mayor esfuerzo. En el caso del muro sin reforzar se produce incluso un ablandamiento, disminuyendo la fuerza soportada conforme aumenta el desplazamiento. La resistencia última en el caso del refuerzo con tarrajeo es del orden de 1.5 veces la resistencia última del caso sin tarrajeo.



Figura 6 – Aspecto de muro reforzado tras haber sido ensayado bajo carga cortante cíclica

A partir de este tipo de ensayos se pretende establecer una ley de comportamiento de los muros ante esfuerzos cortantes, que complemente los resultados de flexión para así disponer de un modelo de comportamiento para el análisis de este tipo de estructuras.

4.3 Ensayos dinámicos a escala real

Además de los ensayos estáticos, se han realizado ensayos de simulación sísmica a escala real de varios módulos de vivienda, de 3,2 m x 3,2 m de planta (Blondet et al, 2006).

Los ensayos demostraron como en el modelo sin ningún tipo de refuerzo el colapso casi total de la vivienda se producía de manera súbita, mientras que las viviendas reforzadas fueron capaces de soportar todas las sacudidas a las que fueron sometidas sin que se provocase el colapso de la estructura, aún cuando los desplazamientos y aceleraciones llegaron a ser de gran magnitud.

Los ensayos dinámicos permitieron demostrar la significativa mejora que proporciona la geomalla no solo por el incremento de resistencia sino por su enorme capacidad para evitar el colapso de la estructura. En este sentido además se pudo concluir que la aplicación del recubrimiento con mortero o tarrajeo, así como el recubrimiento completo de la estructura con la geomalla resulta fundamental para asegurar el trabajo conjunto de la geomalla con el muro de adobe en todo momento y reducir el riesgo de colapso.

Los ensayos dinámicos realizados servirán para comprobar si los modelos de comportamiento estáticos obtenidos a partir de los ensayos anteriores permiten realizar también modelos dinámicos que permitan predecir la respuesta dinámica real de este tipo de estructuras.

5. CONCLUSIONES

El conjunto de ensayos realizados permite confirmar que el empleo de la geomalla como material de refuerzo para muros de adobe permite aumentar drásticamente la resistencia de los muros de adobe, al permitir soportar tensiones significativas de tracción, pero lo más importante es el enorme aumento de la ductilidad de la construcción. Esto permite disipar la energía transmitida por un movimiento sísmico y confinar la mampostería de adobe de forma que se consigue evitar el colapso de la estructura aún cuando se llegan a producir grandes deflexiones. Se trata por tanto de una técnica que permite construir viviendas seguras en las que un sismo puede llegar a provocar la destrucción de la estructura, y por tanto puede ser necesaria su reparación o demolición, pero evita el derrumbamiento o colapso de la estructura, con el consiguiente beneficio en términos de reducción del número de víctimas.

Una vez demostrada experimentalmente la validez de esta tecnología, se deben desarrollar modelos de comportamiento que permitan aplicarla en el diseño de nuevas construcciones y reparación o refuerzo de otras existentes. La aplicación de estos modelos debe servir además para el desarrollo de guías de diseño o criterio constructivos que permitan una transferencia de tecnología adecuada para la construcción de viviendas seguras aún cuando se trate de autoconstrucción con escaso o nulo control técnico.

Bibliografía

Blondet, M., Madueño, I., Torrealva, D., Villa García, G., y Ginocchio, F. (2005). Using Industrial Materials for Construction of Safe Adobe houses in Seismic Areas. International Conference "EARTHBUILD 2005" Sydney, Australia 19-21, enero 2005

Blondet, M., Torrealva, D., Ginocchio, F., Vargas, J., Velásquez, J. (2006). Seismic Reinforcement of Adobe Houses using external polymer mesh. 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 18-22 Abril 2006, San Francisco, California, USA.

Blondet, M., Vargas, J., Patron, P., Stanojevich, M., Rubiños, A (2008). A Human Development Approach for the Construction of Safe and Healthy Adobe Houses in Seismic Areas. 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-18 octubre 2008, Pekín, China.

Elnashai, A.S., Alva-Hurtado, J., Pineda, O., Kwon, O.S., Morán-Yanez, L., Huaco, G., Pluta, G. (2008). The Pisco-Chincha Earthquake of August 15, 2007. Mid-America Earthquake Center Report

Torrealva, D., Acero, J. (2005) Seismic Reinforcement for Adobe Dwellings with External Polymer Mesh. International Seminar of Architecture, Construction and

Conservation of Earthen Buildings in Seismic Areas, SismoAdobe 2005, Pontificia Universidad Católica del Perú, May 2005, Lima, Peru

Vargas J, Torrealva D y Blondet M. (2007). Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Peru.

Curriculum

Daniel Torrealva Dávila. Profesor Principal Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Investigador de construcciones de Tierra en Áreas Sísmicas desde 1980. Miembro del Comité Científico Internacional de Conservación del Patrimonio Arquitectónico en Tierra de ICOMOS. Decano de la Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP.

Patricia Santillán Ramírez. Egresada de la especialidad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú en 2003. Candidata a Magíster en Ingeniería Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Julio Vargas Neumann. 1963, Profesor Principal Universidad Católica del Perú; 1971, Investigador de construcciones de Tierra en Áreas Sísmicas; 1985, Viceministro de Vivienda; 1986, Premio Nacional de Cultura en Ciencias y Tecnología; 2007, Presidente Comité Especializado NTE E-080 Adobe.

Mario Solís Muñoz. Profesor Contratado Doctor de la Universidad de Sevilla. 2001, Ingeniero Industrial Especialidad Mecánica. 2007, Doctor por la Universidad de Sevilla. Miembro del Grupo de Investigación de Ingeniería de las Estructuras de la Junta de Andalucía desde 1999. Miembro de la ONGD Ingeniería Sin Fronteras Andalucía desde 2007.