

# COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS DE ADOBE EN LOS TERREMOTOS DEL 2001 Y 2007 EN PERÚ

**Angel F. San Bartolomé Ramos**

Pontificia Universidad Católica del Perú

Dpto. Ingeniería, Sección Civil, Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 32.

Tel. (+51) 6262000 ext.4627; E-mail: [asanbar@pucp.edu.pe](mailto:asanbar@pucp.edu.pe)

**Daniel R. Quiun Wong**

Pontificia Universidad Católica del Perú

Dpto. Ingeniería, Sección Civil, Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 32.

Tel. (+51) 6262000 ext.4624; E-mail: [dquiun@pucp.edu.pe](mailto:dquiun@pucp.edu.pe)

**Tema:** 1. Arquitectura Latinoamericana en riesgo: Terremotos

**Palabras claves:** Viviendas. Terremotos. Refuerzos. Adobe.

## **Resumen**

El Perú sufrió dos fuertes terremotos en los años 2001 y 2007, que produjeron una destrucción masiva de las viviendas de adobe. Este mal comportamiento del adobe tradicional es recurrente y afecta sobre todo a pobladores de bajos recursos. Las causas de los daños son los materiales frágiles, el proceso constructivo deficiente, la ausencia de refuerzos, entre otras.

Para proteger a las viviendas de adobe existentes, en el proyecto GTZ-CERESIS-PUCP se hicieron estudios experimentales que llevaron a la conclusión de que el empleo de franjas externas de mallas de alambre electrosoldado, cubiertas con mortero de cemento, simulando confinamientos, podría solucionar el problema descrito. En el mismo proyecto, una serie de viviendas existentes de adobe, localizadas en diversas zonas sísmicas del Perú, se reforzaron en 1998 con la técnica mencionada. En el terremoto del 2001 (M8.4), seis viviendas reforzadas soportaron el sismo sin daños, y en el terremoto del 2007 (M8.0) otras cinco viviendas reforzadas también soportaron el sismo sin daños. En cambio, viviendas vecinas de adobe tradicional colapsaron o tuvieron daños severos. Estas dos experiencias demuestran que es posible reforzar viviendas de adobe existentes para que resistan sismos fuertes sin daños.

En los programas postsismo, más de 500 casas nuevas de adobe se han construido con pequeñas variantes en la técnica. Otras construcciones como locales comunales, oficinas y postas médicas se han hecho en la zona afectada para la difusión de esta técnica.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este trabajo es presentar el comportamiento exitoso de once viviendas de adobe reforzado ante terremotos. Las viviendas existentes fueron reforzadas en 1998 con franjas de mallas de alambre electrosoldado cubiertas con mortero. Seis soportaron el terremoto del 23 de junio de 2001 en el sur del Perú (M8.4), mientras que las otras cinco soportaron el terremoto de Ica del 15 de agosto de 2007 (M8.0). En todos los casos, el comportamiento observado tras los terremotos fue excelente, las casas reforzadas no tuvieron daños, mientras que casas vecinas tuvieron daños importantes o colapsaron. Se demuestra así que las construcciones de adobe adecuadamente reforzadas pueden resistir sin daños terremotos como los indicados. En cambio, las construcciones de adobe a las que no se les adicione refuerzo, seguirán teniendo daños importantes ante sismos moderados y severos.

## 2. EL PROYECTO DE REFORZAMIENTO

Entre 1994 y el 2007 se desarrolló el proyecto “Estabilización de las construcciones existentes de adobe”, en convenio entre la Agencia de Cooperación Técnica de Alemania GTZ, el Centro Regional de Sismología para América del Sur CERESIS y la Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP. Se buscó dotar a las viviendas de adobe existentes de una resistencia y ductilidad sísmica suficiente, para que en un terremoto los habitantes tuviesen tiempo que les permita evacuar sus casas.

El proyecto se concentró en las viviendas tradicionales de adobe existentes, que en el Perú son más de 2.2 millones, según el Censo Nacional de Vivienda del 2007, esta cifra equivale al 34.8% del total de viviendas peruanas (INEI 2007). De esta cifra, aproximadamente el 32% de las viviendas se ubican en zonas urbanas y el resto en el sector rural. Dichas viviendas tienen una serie de defectos que las hacen vulnerables ante los sismos, como son: material de baja resistencia, ausencia de refuerzo sísmico, muros y techos con construcción deficiente, falta de mantenimiento, entre otros.

Se trabajó en cuatro etapas: 1) Ensayos experimentales en el Laboratorio de Estructuras PUCP; 2) Proyectos piloto aplicados en distintos poblados del Perú, ejecutados entre agosto de 1998 y enero de 1999; 3) Proyectos piloto en otros países andinos; y 4) Evaluación post-sismo del comportamiento de los proyectos piloto.

Luego de analizarse mediante ensayos de simulación sísmica una serie de refuerzos (madera, sogá, malla de alambre #16 y malla de gallinero), el refuerzo que dio resultados satisfactorios, y que fue aplicado en las viviendas elegidas como proyectos piloto, fue la malla electrosoldada de alambre galvanizado de 1mm de diámetro, espaciados a  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Este refuerzo se aplica en las esquinas y parte superior de los muros, clavándola e interconectándolas entre sí con alambre #8 cada 50cm, que atraviesan el muro a través de perforaciones de 3x3cm que son taponadas con mortero. Luego, para proteger a la malla y aumentar la rigidez de la vivienda, se recubren con mortero de cemento-arena fina 1:5. La idea fue simular una especie de columnas y vigas de confinamiento que aumenten la resistencia, la rigidez y la ductilidad de la casa de adobe existente (Zegarra *et. al.* 1999).

Cabe destacar que el sistema de reforzamiento indicado, no requiere desmontar los techos existentes, ni conectar la malla a la cimentación, dado que los muros de adobe se deforman principalmente por fuerza cortante, por la cantidad de muros existentes y por su baja altura. Adicionalmente, la vivienda donde se aplique este refuerzo, debe tener sus techos en buen estado, los muros no deben estar socavados por la humedad, aunque podrían tener pequeñas fisuras. Para el caso de viviendas de dos pisos, debe enmallarse totalmente el primer piso, mientras que el segundo piso puede enmallarse por franjas.

Las 20 casas piloto en el Perú se seleccionaron en centros poblados con abundancia de casas de adobe y con probabilidades de ocurrencia de terremotos (Fig.1). La ubicación de estas viviendas fue la siguiente: 2 en Tacna, 3 en Moquegua, 2 en Ica, 5 en Trujillo, 4 en Huaraz, y 4 en Cuzco. Además de las viviendas mencionadas, en otras casas cercanas se aplicó un refuerzo parcial con fines demostrativos, y fueron ejecutados por personal que previamente aprendió la técnica de reforzamiento en las viviendas piloto. Posteriormente, CERESIS se encargó de difundir la técnica mediante

manuales y videos a otros países (San Bartolomé, 2007). En Bolivia, Ecuador, Chile y Venezuela se hicieron trabajos similares entre los años 1999 y 2000 (CERESIS, 2000).



Fig. 1.- Reforzamiento de casas piloto en Yacango, Moquegua, en 1998 (Créditos: Angel San Bartolomé, 1998)

### 3. EVALUACIÓN POST TERREMOTO DEL 2001

El primer comportamiento exitoso de este sistema de reforzamiento se dio en seis viviendas piloto que fueron sometidas al terremoto del 23 de junio del 2001 (M8.4), en el sur del Perú: 3 en Moquegua, 2 en Tacna y una en Arica (norte de Chile). Ninguna de estas casas reforzadas tuvo daño (Zegarra *et. al.* 2001), en tanto que viviendas vecinas de adobe no reforzado tuvieron fuertes daños o colapsaron (Fig.2).



Fig. 2.- Efectos del terremoto del 2001. Casa reforzada en Yacango, Moquegua y casas vecinas dañadas. (Créditos: Daniel Quiun y Ángel San Bartolomé, 2001)

Un segundo terremoto ocurrió el 13 de junio del 2005, en Tarapacá, norte de Chile (M7.9). Las construcciones de adobe tradicionales en la zona del epicentro sufrieron derrumbes de muros y agrietamientos diagonales (Astroza *et. al.* 2005). Nuevamente, las casas reforzadas en Arica y Tacna soportaron el movimiento sin daños.

#### 4. EVALUACIÓN POST TERREMOTO DEL 2007

En la provincia de Ica al sur de Lima, en 1998 se reforzaron dos casas: una en el poblado de Guadalupe, km 293 de la carretera Panamericana Sur (Fig.3), y otra en el poblado de Pachacútec, km 314 de la carretera Panamericana Sur. En general, los muros fueron reforzados en ambas caras, pero en la colindancia con las propiedades vecinas, sólo se reforzó el lado disponible. Los obreros que se capacitaron en estas dos casas de Ica, luego procedieron a aplicar el refuerzo en forma parcial en tres casas más a manera de proyecto demostrativo, sin la asesoría del personal PUCP, una de estas casas correspondió a la estación sísmica de Parcona.



Fig. 3.- Refuerzo en proyecto piloto de Guadalupe, Ica (Créditos: Daniel Quiun, 1998)

El terremoto del 15 de agosto del 2007 (M8.0) afectó severamente las construcciones de adobe de las provincias de Cañete, Chincha, Pisco, Ica y otras provincias. El informe de Defensa Civil a un mes del sismo indicó que hubieron 519 fallecidos, 70993 viviendas destruidas y 33861 afectadas (INDECI 2007).

Las cinco casas reforzadas por el proyecto GTZ-CERESIS-PUCP en Ica soportaron sin daños el terremoto y sus réplicas. En cambio, viviendas vecinas, tradicionales y carentes de refuerzo, tuvieron colapsos totales o serios daños. Estas casas han recibido numerosos visitantes peruanos y extranjeros quienes constataron la efectividad del refuerzo (Fig.4); además, este acontecimiento se difundió a nivel nacional e internacional (San Bartolomé *et.al.* 2008). Esto demuestra que el refuerzo colocado fue efectivo en proteger a los muros de adobe tradicionales de las viviendas, mientras que los muros de adobe sin refuerzo se dañan y pueden colapsar, incluso en sismos moderados como este caso (Fig.5).

En la casa reforzada de Guadalupe (Fig.4), el muro de adobe del cerco correspondiente al patio trasero, colapsó por fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano y a la carencia de arriostres que no fueron adicionados por falta de recursos económicos del propietario. Para muros de cercos, el refuerzo requerido es de arriostres ya sea mediante columnas de concreto armado, o con la adición de muros de adobe transversales y conectados al cerco mediante la malla.

Es destacable indicar que en la estación sísmica de Parcona se registró una aceleración máxima de 0.5g, y aunque esta vivienda estaba parcialmente reforzada con fines demostrativos, no sufrió daño alguno (Fig.4).

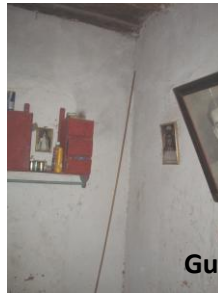
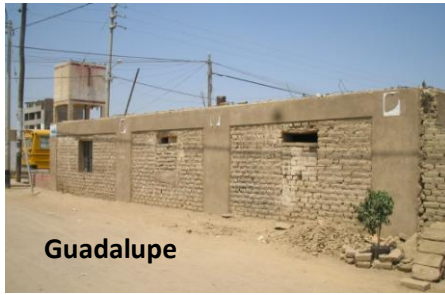


Fig. 4.- Viviendas del proyecto piloto en Ica sin daños tras el terremoto de Ica. (Créditos: Daniel Quiun y Angel San Bartolomé, 2007).



Fig. 5.- Viviendas tradicionales de adobe en Ica, con colapsos por doquier. (Créditos: Angel San Bartolomé, 2007)

## 5. VARIANTES EN EL REFUERZO PARA VIVIENDAS NUEVAS

El éxito obtenido en el terremoto del 2001, dio lugar a varios proyectos de reconstrucción de viviendas nuevas de adobe reforzado en la zona alto andina del departamento de Arequipa. El más importante fue el desarrollado por COPASA-GTZ, bajo el asesoramiento de la PUCP (GTZ, 2003), donde se construyeron más de 450 casas de 36m<sup>2</sup> de área techada (Fig.6), cada una de dos ambientes. En este caso se introdujeron algunas variantes en el sistema de refuerzo: 1) los cimientos fueron de concreto ciclópeo, 2) los muros de adobe continuaron reforzándose con la malla de alambre electrosoldado cubierta con mortero 1:5, 3) se introdujo una viga solera de concreto pobre ( $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ), con dientes en las esquinas para evitar su deslizamiento, y 4) el techo fue de madera con cobertura de tejas industriales amarradas a las viguetas para evitar su desprendimiento durante el sismo.

El costo promedio fue de US\$ 1714 (US\$ 47.6/m<sup>2</sup>), un 37% más que una vivienda tradicional no reforzada. Del costo total, la familia beneficiada aportó 33% en mano de obra no calificada y materiales locales, mientras que el proyecto puso el 67% restante en materiales de construcción, mano de obra calificada y dirección técnica (GTZ, 2003, p.12). Luego, este sistema se extendió a otro tipo de edificaciones, como locales comunales y centros de salud, todo lo cual se ha reportado a nivel internacional (San Bartolomé *et.al.*, 2004 y Quiun *et. al.* 2005).



Fig. 6.- Casas nuevas de adobe en Arequipa, proyecto COPASA-GTZ.  
(Créditos: Angel San Bartolomé, 2003)

Debe destacarse que ante el sismo de Chinini, Arequipa (M5.3, foco a 9 km) del 13 de diciembre del 2002, las diez viviendas construidas con el refuerzo descrito en el marco del proyecto en Chinini, no tuvieron ningún tipo de daño, mientras que el 90% de las viviendas no reforzadas presentaron daños (GTZ, 2003, p.9).

## 6. CONCLUSIONES

Las viviendas de adobe sin refuerzo son muy vulnerables a los terremotos, incluso colapsan en sismos moderados como el de junio 2001 y agosto 2007 en Perú; lo mismo se observó en el terremoto de junio 2005 en Chile. En cambio, las viviendas de adobe existentes a las que se ha incorporado el refuerzo de franjas de malla electrosoldada, soportaron exitosamente los sismos, protegiendo la vida y la propiedad, en los tres terremotos mencionados.

Este sistema es sencillo de aplicar, no afecta ni los cimientos ni los techos existentes. Los albañiles lo pueden aprender fácilmente, con muy poca capacitación. La población beneficiada en las casas piloto han dado testimonios de lo seguros que se sienten con el refuerzo incorporado y lo recomiendan sin reparos. Adicionalmente, la malla electrosoldada es posible de adquirir en cualquier ferretería del Perú

Es necesario que se desarrollen mecanismos de difusión de los logros alcanzados por este sistema de reforzamiento a viviendas de adobe existentes. La efectividad del sistema ha quedado demostrada en los terremotos del 2001, 2005 y 2007.

En el Perú, más de 2.2 millones de viviendas tienen muros de adobe o tapial, la inmensa mayoría sin refuerzo por lo que son vulnerables ante los sismos. El refuerzo explicado aquí ha tenido un excelente comportamiento y puede ser una medida económica de prevención ante desastres. Sólo falta difundir y convencer a los pobladores y a las autoridades que sí es posible proteger a las millones de construcciones de adobe existentes en diversos países sísmicos, para de esta manera prevenir más desgracias en los próximos terremotos.

## Bibliografía

Astroza M., Moroni, Norambuena, Astroza R. (2005) *Informe de daños en viviendas e intensidades del terremoto de Tarapacá del 13 de junio del 2005*, Santiago: Universidad de Chile.

CERESIS (2000), *Reforzamiento Sismo-Resistente de Viviendas de Adobe Existentes en la Región Andina*", Disponible en <http://www.ceresis.org/proyect/padobe.htm>, (Consultada 20/06/2003).

GTZ (2003) *Perú – Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo*, Eschborn (Alemania): Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Instituto Nacional de Defensa Civil (2007), *Informe de Emergencia N°322 16/09/2007 /COEN-SINADECI / 02:00 HORAS (Informe N°41)*. Lima: INDECI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI (2007) *VI Censo Nacional de Vivienda*, Lima: INEI.

Quiun D., San Bartolomé A., Zegarra L., Giesecke A. (2005) *Adobe Reforzado con mallas de alambre: ensayos de simulación sísmica y aplicación a construcciones reales*, CD ROM Seminario Internacional de Arquitectura, Construcción y Conservación de edificaciones de tierra en áreas sísmicas, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

San Bartolomé, A., Quiun, D. Zegarra L. (2004), *Effective System For Seismic Reinforcement Of Adobe Houses*, CD ROM Proceedings 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver (Canada): Canadian Association for Earthquake Engineering.

San Bartolomé, A. (2007). *Capítulo "Albañilería de Tierra Cruda"*, del blog de investigaciones en albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>

San Bartolomé, A., Quiun, D. Zegarra L. (2008), *Performance of Reinforced Adobe Houses in Pisco, Peru Earthquake*, CD ROM Proceedings 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing (China): International Association for Earthquake Engineering.

Zegarra, L. San Bartolomé, A., Quiun, D., Giesecke A. (1999), *Reforzamiento de viviendas existentes de adobe, Proyecto CERESIS-GTZ-PUCP*, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huanuco: Colegio de Ingenieros del Perú, pp.187-192.

Zegarra, L. San Bartolomé, A., Quiun, D., Giesecke A. (2001), *Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP, Etapa 3*, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Puno: Colegio de Ingenieros del Perú, pp. 16-18.

#### **Curriculum**

**Angel San Bartolomé.** Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil. Miembro del comité E.070-SENCICO de Albañilería, y del comité E.080-SENCICO de Adobe. Profesor Principal del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Autor de 4 libros en Albañilería y de 2 blogs de investigaciones.

**Daniel R. Quiun Wong.** Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil. Miembro del comité E.070-SENCICO de Albañilería, del comité E.080-SENCICO de Adobe y del comité E.030-SENCICO de Diseño Sismorresistente. Profesor Principal del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú y coautor de un libro de Albañilería.