

# TÉCNICAS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS DE ADOBE

Zegarra Ciquero, Luis; Quiun Wong, Daniel; San Bartolomé, Angel<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se plantea un sistema de refuerzo para viviendas de adobe existentes y una adaptación del mismo para viviendas nuevas, con el objetivo de evitar el colapso ante terremotos severos. El proyecto de investigación experimental fue desarrollado entre 1994 y 1999, con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), administrado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y ejecutado por el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Se estudiaron diversas técnicas de reforzamiento para viviendas de adobe existentes, llegándose a la conclusión que la técnica más apropiada consistía en reforzar los muros con franjas horizontales y verticales de malla electrosoldada, recubiertas con mortero de cemento.

Entre 1998 y 1999, la técnica se aplicó en veinte viviendas reales ubicadas en zonas sísmicas del Perú. Seis de estas viviendas se comportaron con éxito ante el terremoto del 23 de junio del 2001, ( $M_s = 7.9$ ) que afectó el sur del Perú, en tanto que viviendas de adobe no reforzadas tuvieron fuertes daños o colapsaron totalmente. Esto dio lugar a varios proyectos de reconstrucción de viviendas de adobe en la zona andina del departamento de Arequipa, empleando sistemas similares.

En el programa de reconstrucción, financiado por el gobierno federal de la República Alemana a través de COPASA-GTZ, la técnica de reforzamiento original se mejoró, introduciendo principalmente una viga solera de concreto armado. En la actualidad se han construido más de 350 casas de adobe reforzadas para las personas afectadas por el terremoto, en varias provincias andinas del departamento de Arequipa. Asimismo, las variantes incorporadas han sido probadas a través de ensayos de simulación sísmica en módulos de adobe a escala mostrando comportamiento satisfactorio. Otro proyecto fue financiado por el gobierno de la República de Italia mediante un convenio entre el Programa de Naciones Unidas al Desarrollo (PNUD) y el Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción (SENCICO), con casi 100 viviendas de adobe construidas en la provincia de Arequipa.

## INTRODUCCIÓN

La década para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-2000) declarada por Naciones Unidas, propició el desarrollo de un proyecto de investigación con la participación del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y el financiamiento de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ). En síntesis, se buscaba dar solución práctica al problema del colapso súbito de las construcciones tradicionales de adobe durante los terremotos, que muchas veces ocasionaban pérdidas humanas y materiales. Uno de los objetivos importantes era dotar a la vivienda de adobe con la resistencia sísmica suficiente para que, ante un terremoto, los pobladores pudieran salir de sus casas antes del colapso.

El problema se centró en las viviendas tradicionales de adobe existentes, que en el Perú suman casi 2 millones según el Censo Nacional de Vivienda de 1993 (Ref. 1). Dichas viviendas tienen una serie de deficiencias que las hacen especialmente vulnerables: materiales de baja capacidad resistente, ausencia de refuerzos sísmicos, muros y techos de construcción deficiente, mano de obra no calificada, falta de mantenimiento, entre otras.

---

<sup>1</sup> Profesores del Departamento de Ingeniería PUCP

## **REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES**

Como primera etapa, en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP se hicieron una serie de ensayos en muros de adobe y módulos a escala de un piso, probando distintos tipos de refuerzo: tablas de madera, sogas, malla de gallinero y malla electrosoldada. Se concluyó que para viviendas existentes de un piso se podía lograr el objetivo reforzando los puntos más débiles, que son las esquinas o encuentros entre muros, así como la parte superior de los muros, clavando franjas de malla electrosoldada en forma vertical y horizontal (simulando un pórtico de columnas y vigas) en ambas caras del muro, interconectadas con alambre #8 y luego tarrajeadas con mortero de cemento: arena 1:4 (Ref. 2).

En la segunda etapa se buscaron zonas con abundancia de construcciones de adobe en seis departamentos del Perú: Tacna, Moquegua, Ica, Ancash, La Libertad y Cusco, en las que se seleccionaron veinte viviendas a las que se aplicó el sistema de reforzamiento. Esta etapa se cumplió entre setiembre de 1998 y enero de 1999 (Ref. 3). Más adelante, el sistema se aplicó similarmente en otros países andinos: Chile, Bolivia, Ecuador y Venezuela (Ref. 4).

El terremoto del 23 de junio del 2001 (magnitud  $M_s=7.9$ , Ref. 5) produjo daños importantes, en especial en las construcciones tradicionales de adobe ubicadas en la zona sur del Perú. En cambio, las seis viviendas reforzadas con el sistema propuesto en este trabajo: 3 en Moquegua, 2 en Tacna y una en Arica (Chile) soportaron el terremoto y sus réplicas sin sufrir ningún daño, mientras que viviendas vecinas tuvieron fuertes daños y sus muros colapsaron, dejando desprotegidos a sus moradores (Ref. 6).

## **PROYECTOS DE RECONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE ADOBE POST SISMO**

El éxito de este sistema dio lugar a más de un proyecto de reconstrucción de viviendas de adobe en poblados andinos del departamento de Arequipa. El más importante se desarrolló en zonas de geografía accidentada, de difícil acceso y a una altura promedio de 2700 m.s.n.m. El proyecto fue financiado por COPASA-GTZ, con un monto de un millón 300 mil dólares donados por el Gobierno alemán y 450 mil soles del Tesoro Público. Dentro de este programa, se han construido más de 350 casas de adobe reforzado para las personas afectadas por el terremoto y 16 módulos de difusión. Los poblados beneficiados se encuentran en las provincias de Castilla, Condesuyos, Cailloma y La Unión de la Región Arequipa (Ref. 7).

La propuesta arquitectónica para el módulo básico empleado en la reconstrucción fue hecha por SENCICO-Arequipa, teniendo en consideración la tipología de las viviendas piloto, particularmente en que los ambientes sean multiusos, de 3.20 metros en planta como máximo y 2.10 metros de altura en la parte más baja, con techo inclinado ligeramente para ganar altura en la fachada posterior. El módulo es de 2 ambientes, con unos  $36\text{m}^2$  de área techada, e incluye la puerta principal y ventanas metálicas, techo de viguetas de madera, cobertura de calamina o teja de microconcreto.

Los planos arquitectónicos de planta y elevación del módulo básico se ven en las fig. 1 y 2, en los que se aprecia la ubicación de las franjas verticales de malla electrosoldada, mientras que la viga solera de concreto hace las veces de dintel en puertas y ventanas. El área en planta incluyendo los muros es de  $9 \times 4 = 36\text{ m}^2$ . Este módulo se concibió de modo que puede adaptarse a los diferentes terrenos y que en las futuras etapas de la vivienda podían hacerse réplicas de este módulo básico. La ubicación del vano de puerta es intercambiable con un vano de ventana, de acuerdo a las características del terreno donde se ubique el módulo. El juego de planos completo incluyó planos de arquitectura, de instalaciones eléctricas (hechos por SENCICO) y planos de estructuras hechos

en base a los lineamientos de la PUCP. Para las instalaciones sanitarias se propuso el Módulo sanitario sistema Bason de SENCICO, según las posibilidades del terreno y del usuario.

Las mejoras estructurales incluyeron el uso de cimientos corridos y sobrecimientos de concreto, el empleo de goma de la penca de tuna en la elaboración de los adobes para darles más estabilidad ante las lluvias, dimensiones estándares de las unidades de 40 x 40 x 10 cm y la introducción principalmente de una viga solera de concreto armado de 40x10 cm. En los extremos de esta viga solera coincidentes con el encuentro entre muros ortogonales, se incluyeron unos “dientes” de concreto con la finalidad de confinar a los muros y evitar el deslizamiento de la viga durante movimientos sísmicos. El tamaño de estos “dientes” es de 40 cm x 40 cm y una altura de 3 hiladas (fig. 3 y 4).

Como punto inicial de la capacitación, profesores PUCP dieron un curso teórico-práctico en la ciudad de Arequipa a un grupo que incluía instructores de SENCICO, personal del Banco de Materiales, Cruz Roja, entre otros. El grupo se ejercitó en forma práctica haciendo el reforzamiento con mallas electrosoldadas en dos viviendas de adobe existentes ubicadas en el distrito de Yarabamba de la provincia de Arequipa, una reconstruida en forma tradicional por el propietario, y la otra dañada por el sismo del 23 de junio del 2001 (ver fig. 5 y 6).

En base a los planos de arquitectura y de estructuras, COPASA se encargó de producir un manual técnico didáctico para apoyar las labores de construcción (Ref. 8, fig. 7). Este manual incluye un listado de materiales para el módulo de 36 m<sup>2</sup> de área en planta (Tabla 1), y explica paso a paso las tareas de construcción del módulo, pasando por la ubicación adecuada de la casa, el trazado y replanteo, la selección de la tierra para el adobe, la elaboración de las unidades, el asentado de los adobes, la ubicación de los conectores (fig. 8) la preparación y corte de la malla, su colocación, el modo de construir la viga solera (fig. 9), la caída y el armado del techo (fig. 10), la cobertura, la colocación de puertas y ventanas, el tarrajeo de la zona con mallas (fig. 11), los pisos, etc.

**TABLA 1** .- Listado de materiales para un módulo de adobe (Ref. 8)

Adobes de 40x40x10 cm .....	1150 unidades
Adobes de 40x20x10 cm .....	200 unidades
Fierro corrugado de 3/8” .....	09 varillas
Fierro corrugado de 1/2” .....	02 varillas
Fierro de 1/4” .....	25 kg
Malla electrosoldada de 3/4”, 0.90m de ancho .....	60 m
Cemento .....	56 bolsas
Alambre No. 16 .....	07 kg
Alambre No. 06 .....	12 kg
Cal .....	01 kg
Cubierta .....	49 m <sup>2</sup>
Viga Solera 4”x4”x10p .....	03 unidades
Correas de tornillo 1.5”x2”x11p .....	42 unidades
Viguetas 2.5”x6”x17p .....	07 unidades
Clavos de 4” .....	03 kg
Clavos de 2 1/2” .....	07 kg
Clavos de 5” .....	01 kg
Hormigón .....	10 m <sup>3</sup>
Arena Gruesa .....	2 m <sup>3</sup>
Arena Fina .....	2 m <sup>3</sup>

La construcción de las viviendas por parte de COPASA se efectuó entre fines del 2001 y comienzos del 2003. Algunos ejemplos de viviendas terminadas en las provincias de Condesuyos y Castilla se aprecian en las figuras 12 y 13.

La construcción de la vivienda tuvo un costo promedio de US \$1714.= lo cual es un 37% más que una vivienda de adobe no reforzada. Del costo total, la familia beneficiada aportó un 33% en mano de obra no calificada, así como la compra y transporte de materiales locales de construcción. El proyecto contribuyó con el 67% restante, a través de materiales de construcción, mano de obra calificada y dirección técnica (Ref. 7).

Se construyeron además tres módulos de viviendas para ser sometidas a ensayos de simulación sísmica en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La intención era corroborar el buen comportamiento sísmico de la solución adoptada a la vez de investigar soluciones menos costosas. Los adobes para estos tres módulos fueron fabricados por personal del proyecto en Aplao y traídos a Lima para la construcción (Fig. 14). La tierra para el mortero, el cemento y el resto de materiales también fue transportado desde Arequipa, con el fin de reproducir lo más fielmente las condiciones locales. La construcción de los módulos fue realizada por tres grupos formados con personal del proyecto (uno por cada módulo). La geometría de los tres módulos fue similar, variando únicamente el refuerzo. Los tres se levantaron sobre anillos de cimentación existentes en el Laboratorio de Estructuras PUCP y consistieron de un único ambiente. El módulo 1 consistió de adobes mejorados sin refuerzo, el módulo 2 tuvo refuerzo con mallas electrosoldadas y el módulo 3 tuvo refuerzo con mallas electrosoldadas y la viga solera de concreto armado (Fig. 15).

Después de los ensayos de simulación sísmica, se concluyó que el Módulo 1 no reforzado prácticamente quedó en estado irreparable para un sismo entre moderado y severo; los Módulos 2 y 3 en cambio, se llevaron a un sismo severo con fuertes daños y recién quedaron al borde del colapso total para un sismo catastrófico. De esta manera se comprobó la eficiencia de la solución empleada en el proyecto para viviendas de adobe nuevas.

Por otro lado, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) suscribió un contrato con el Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción (SENCICO), para fortalecer la capacidad local en la rehabilitación de las viviendas afectadas, y para encargar la ejecución de las obras de reconstrucción en la zona oriental de la Provincia de Arequipa, en poblados ubicados entre 3200 y 3800 m.s.n.m. Se obtuvo financiamiento del gobierno de la República de Italia a través del PNUD, y el apoyo de instituciones locales como la Municipalidad Provincial de Arequipa para el transporte de materiales y herramientas y la Universidad Nacional San Agustín para el estudio geodinámico y la evaluación socio-económica (Ref. 9). En este proyecto se han construido casi 100 módulos, la mayoría con tipología de techado a una agua y en menor cantidad con techo a dos aguas, manteniendo el esquema arquitectónico del módulo básico de la fig. 1.

Algunas vistas de las viviendas construidas en el anexo San Antonio, distrito de Yarabamba, provincia de Arequipa, por el proyecto SENCICO-PNUD se muestran en las figs. 16, 17 y 18. Cabe destacar la correcta disposición de las instalaciones eléctricas por el exterior de los muros y techos, a fin de mantener la estructura de los muros intacta.

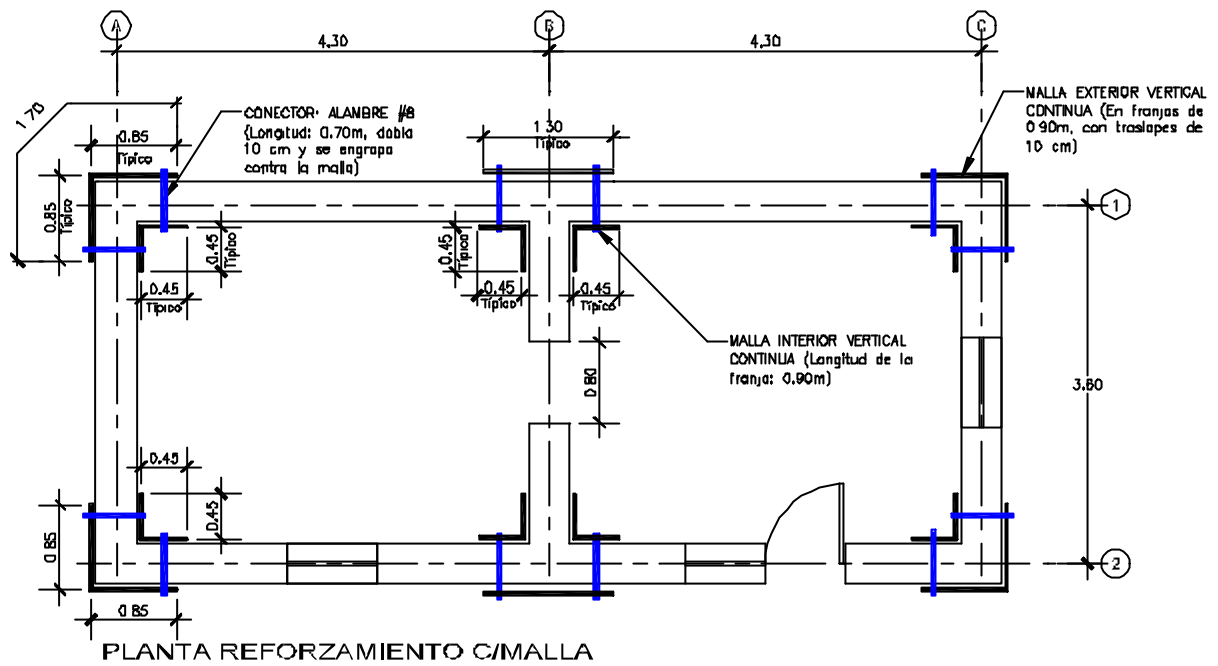


Fig. 1.- Plano de planta de arquitectura del módulo básico.

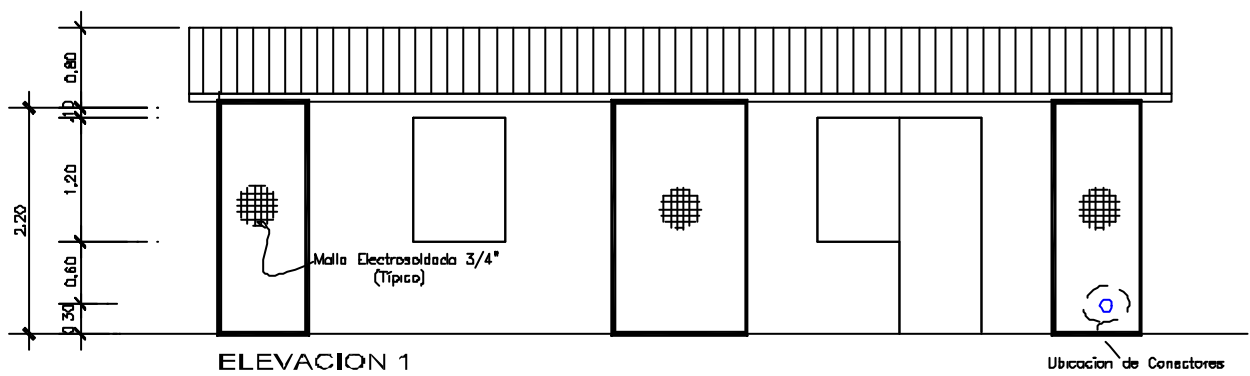


Fig. 2.- Plano de Elevación 1 de arquitectura del módulo básico

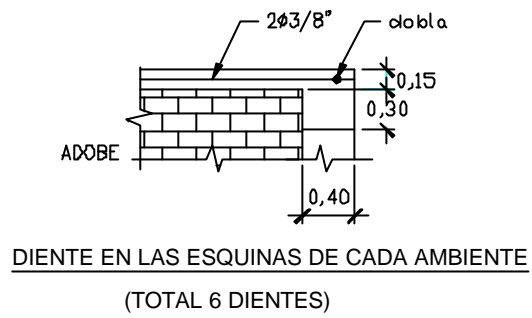


Fig. 3.- Esquema del diente de concreto en extremos de la viga solera



Fig. 4.- Diente en esquina para anclaje de viga solera y malla electrosoldada clavada al muro de adobe.



Fig. 5.- Curso práctico de reforzamiento de viviendas existentes de adobe. Instalación de mallas electrosoldadas en franjas verticales en las esquinas y horizontales en la parte superior de muros.



Fig. 6.- Curso práctico de reforzamiento de viviendas existentes de adobe. Tarrajeo de franjas de mallas electrosoldadas con mortero cemento:arena.



Fig. 7.- Manual práctico elaborado por COPASA para la construcción (Ref. 8)

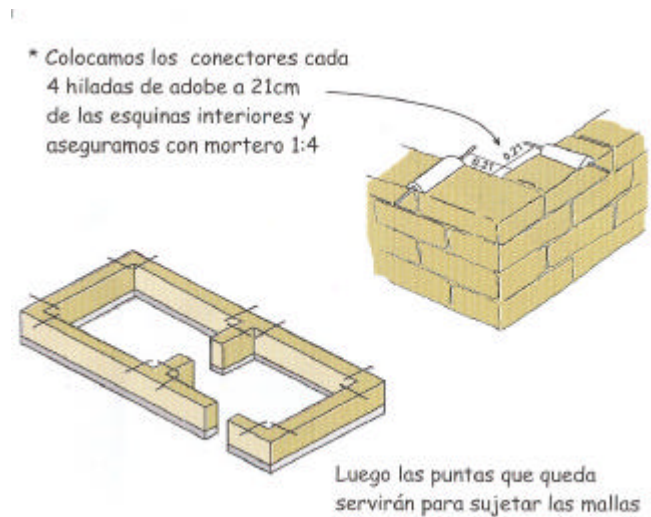
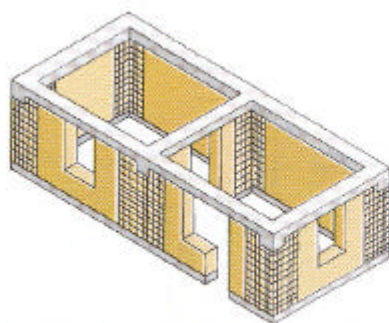


Fig. 8.- Colocación de conectores en la hilada (Ref. 8)



Esta viga es de fierro y cemento !

### La viga collar

Esta viga es la que permite **AMARRAR** todas las paredes que acabamos de reforzar con malla, de tal manera que la casa ahora es como una caja sólida !!.

Fig. 9.- Viga collar o solera de concreto sobre los muros de adobe (Ref. 8)

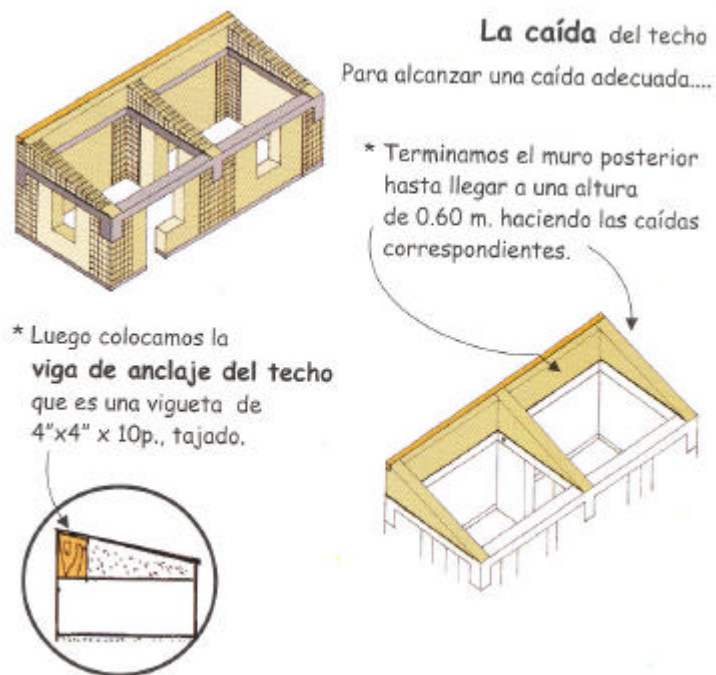
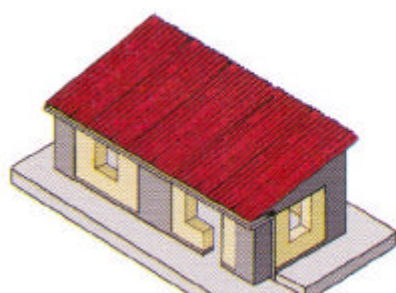


Fig. 10.- Caída del techo antes de la colocación de las vigas (Ref. 8)



Ahora todo lo que está reforzado con la malla electrosoldada, vamos a **tarrejarlo**. Con esto le daremos más rigidez a los encuentros de los muros. Para ello....

Fig. 11.- Explicación del tarrajeo sobre la zona con mallas (Ref. 8)



Fig. 12.- Vivienda construida por COPASA en Chuquibamba, Condesuyos



Fig. 13- Vivienda construida por COPASA en Viraco, Castilla





Fig. 14.- Elaboración de adobes en Aplao para los módulos a ensayar en Lima



Fig. 15.- Módulos para su ensayo sísmico en el Laboratorio de Estructuras PUCP



Fig. 16.- Vivienda de adobe construida por el proyecto SENCICO-PNUD



Fig. 17 y 18.- Interior de dos viviendas de adobe construida por el proyecto SENCICO-PNUD, se observa las tuberías de las instalaciones eléctricas por el exterior de los muros, incluyendo la caja de llaves.

## CONCLUSIONES

El sistema de refuerzo para viviendas existentes, debe aplicarse en viviendas sin daños significativos previos. La técnica de reforzamiento en base a mallas electrosoldadas dispuestas en forma de franjas que simulan vigas y columnas de confinamiento, constituye una solución factible para las viviendas de adobe existentes sujetas a terremotos. El terremoto del 23 de junio del 2001 brindó una demostración práctica que una construcción de adobe mejorada puede dar lugar a viviendas seguras. Para construcciones nuevas, la técnica fue mejorada con la inclusión de adobes mejorados, cimientos y sobrecimientos de concreto, una viga solera de concreto, entre otros aspectos, manteniéndose las franjas de mallas electrosoldadas en las intersecciones de muros ortogonales y tarrajeadas. Varios programas de reconstrucción aplicaron este sistema para viviendas nuevas, beneficiando a los pobladores de menores recursos afectados por el terremoto.

## REFERENCIAS

- (1) Instituto Nacional de Estadística e Informática, Censos Nacionales: IX de Población IV de Viviendas, 1993.
- (2) Luis Zegarra, Daniel Quiun, Angel San Bartolomé, Alberto Giesecke “Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 1ra. Parte: Ensayos sísmicos de muros U” y “Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 2da. Parte: Ensayos sísmicos de módulos” Ponencias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo 1997.
- (3) L. Zegarra, D. Quiun, A. San Bartolomé, A. Giesecke, “Reforzamiento de viviendas existentes de adobe – Proyecto Ceresis-GTZ-PUCP”, Colegio de Ingenieros del Perú, Ponencias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huanuco 1999.
- (4) CERESIS, Página internet <http://www.ceresis.org/proyect/padobe.htm>
- (5) Instituto Geofísico del Perú “El Terremoto de la Región Sur del Perú del 23 de Junio del 2001”, CD-ROM, Lima, Perú, 2002.
- (6) L. Zegarra, D. Quiun, A. San Bartolomé, A. Giesecke, “Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica”, Colegio de Ingenieros del Perú, Ponencias, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Puno, 2001.
- (7) GTZ “Perú – Proyecto de reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo”, Eschborn, Alemania, 2003.
- (8) CTAR/COPASA “Terremoto? ¡Mi casa sí resiste! – Manual de construcción para viviendas sismo resistentes en adobe”, 2da. Edición, mayo 2002.
- (9) SENCICO “Construcción de Módulos Básicos de Vivienda en Adobe Reforzado”, Convenio PNUD-SENCICO, Arequipa, Enero 2003.