REFLEXIONES SOBRE LA NORMATIVIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES DE ADOBE

Marcial Blondet[1], Julio Vargas [2], Nicola Tarque [3]

1. RESUMEN

Cuando ocurre un terremoto fuerte en áreas donde la construcción con tierra es común, colapsan muchas construcciones de adobe causando considerables pérdidas económicas y lamentables pérdidas de vidas. En varios países, como en Perú, la comunidad académica y profesional ha reaccionado en contra de esta lamentable situación y ha realizado investigaciones para encontrar alternativas adecuadas para el refuerzo sísmico en las construcciones de tierra. Muchos de los resultados de las investigaciones ya han sido incorporados a la normas de diseño y otros están en proceso.

En este artículo se muestran de forma general los efectos de los sismos sobre las edificaciones de tierra y las técnicas de refuerzo sísmico desarrolladas en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Se comentan críticamente algunos aspectos importantes del diseño sísmico que establece la Norma Peruana de Diseño en Adobe. Finalmente, los autores comparten pensamientos y reflexiones sobre la utilidad de las normas de diseño sismorresistente en adobe para dar acceso a viviendas de tierra seguras en países sísmicos en desarrollo.

Palabras clave: Adobe, casas de tierra, sismicidad, códigos de diseño

2. INTRODUCCIÓN: La vivienda de tierra en países sísmicos en desarrollo

Muchos países en vías de desarrollo tienen como alternativa de vivienda más común para sus pobladores la construcción con tierra, pues el material es tradicional, abundante y barato. La construcción de viviendas de tierra en estos países es mayormente informal, con poca o ninguna asesoría técnica. En las zonas sísmicas donde se construye con tierra (Ref. 1, Fig. 1), cada vez que ocurre un terremoto colapsan muchas construcciones de adobe, causando pérdidas económicas y de vidas. Por ejemplo, en los terremotos de Huaraz (Perú, 1970) y en el de Bam (Irán, 2003), decenas de miles de personas perecieron trágicamente aplastadas por sus viviendas de tierra.

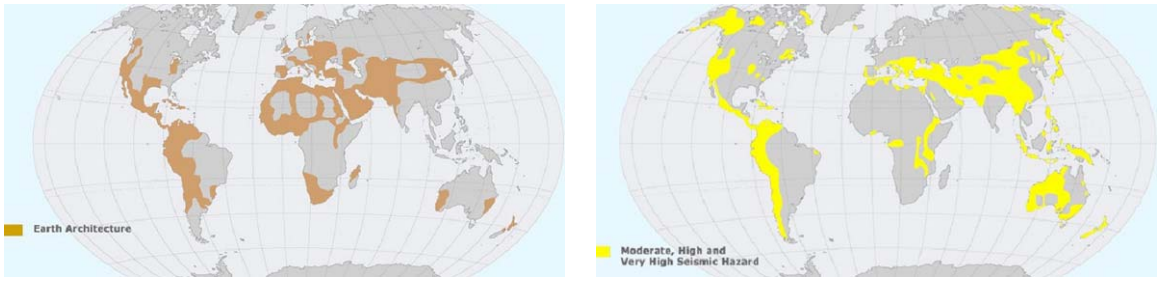


Figura 1. Construcción con tierra y sismicidad

Las comunidades académicas y profesionales de algunos países sísmicos donde se construye con tierra no han permanecido impasibles frente a esta grave situación. Por ejemplo, en el Perú se viene

[1] Profesor Principal, Pontificia Universidad Católica del Perú, mblondet@pucp.edu.pe
[2] Profesor Principal, Pontificia Universidad Católica del Perú, jhvargas@pucp.edu.pe
[3] Profesor, Pontificia Universidad Católica del Perú, tarque.sn@pucp.edu.pe

investigando la construcción con tierra en áreas sísmicas desde hace más de 35 años. Varias técnicas simples han sido desarrolladas para el refuerzo sismorresistente de construcciones de tierra, los que han demostrado su efectividad en ensayos de simulación sísmica a escala natural y en el campo durante sismos moderados. Los principales resultados de las investigaciones desarrolladas han sido incorporados en la Norma Peruana de Diseño en Adobe.

3. EFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE TIERRA

El adobe tiene magníficas cualidades térmicas, que hacen que las casas de tierra sean muy confortables: son cálidas en el invierno y frescas en el verano. Los principales elementos sismorresistentes de las viviendas de tierra son sus muros. Lamentablemente, los muros de tierra tienen características negativas desde el punto de vista de la seguridad sísmica, pues son pesados, poco resistentes y frágiles. Por eso las viviendas coloniales de tierra que sobreviven hasta hoy tienen gran densidad de muros muy anchos y con pocas aberturas. Actualmente el terreno de construcción es escaso en las zonas urbanas, por lo que las viviendas de adobe se construyen con muros más delgados, imitando de alguna forma las configuraciones arquitectónicas "modernas" de las casas de ladrillo.

En la sierra del Perú la gran mayoría de las viviendas de adobe son muy vulnerables debido a que son construidas imitando las configuraciones estructurales de las viviendas de ladrillo de arcilla. Es decir con grandes aberturas de vanos, dimensiones largas entre arriostres, muros de poco espesor y techos muy pesados (Ref. 2, Fig. 2).

Figura 2. Configuración inadecuada en viviendas de adobe

Cuando ocurre un sismo, el suelo se mueve en todas direcciones y transmite a los muros fuerzas de inercia sísmicas verticales y horizontales que el material debería resistir. Los muros de tierra resisten bastante más los esfuerzos de compresión que los de tracción o los de corte. Por ello, las fisuras aparecen primero donde hay esfuerzos de tracción y de corte, que están directamente asociadas a las fallas sísmicas.

En la construcción con tierra la situación es patética: por la debilidad y fragilidad del material se producen fisuras en los muros, estos se desconectan entre sí, la construcción se desarticula y se degrada rápidamente, los muros pierden estabilidad y se producen los colapsos parciales o totales de muros y techos (Fig. 3).

Figura 3. Colapso sísmico de viviendas de adobe

Las fuerzas sísmicas horizontales perpendiculares a los muros provocan momentos de flexión críticos. En ensayos de simulación sísmica a escala natural se ha observado que primero aparecen grietas verticales en las esquinas de los muros, donde los esfuerzos de tracción son grandes. Si el movimiento sísmico es lo suficientemente intenso, las partes superiores de los muros agrietados se llegan a separar, se golpean con los muros transversales, pierden estabilidad y colapsan fuera de su plano en una falla por volteo (Fig. 4a).

Las fuerzas sísmicas horizontales que actúan en el plano de los muros generan principalmente fuerzas cortantes que producen grietas diagonales, que muchas veces siguen las líneas escalonadas de las uniones de mortero entre adobes. Las grietas diagonales frecuentemente se inician en las esquinas de los vanos de puertas y ventanas, debido a la concentración de esfuerzos causada por la discontinuidad del vano (Fig. 4b). Si el movimiento sísmico continua después de que el muro de adobe se ha fisurado, se forman segmentos de muro que pueden colapsar independientemente.

a) Grieta vertical en la esquina de la pared frontal b) Grietas diagonales de corte

Figura 4. Grietas en los muros producto de los sismos

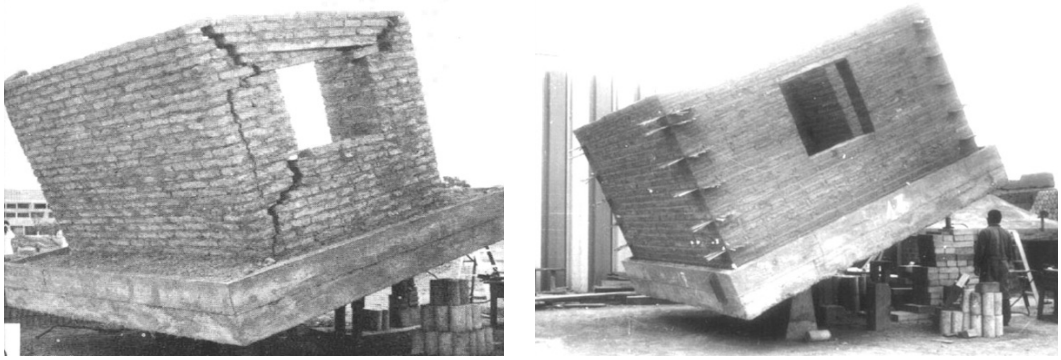
En la mayoría de los casos los muros de adobe pueden soportar los esfuerzos sísmicos debido a movimientos verticales. Sin embargo, en terremotos de foco superficial, la componente vertical del movimiento causa fuerzas muy intensas que pueden desestabilizar las uniones de muros y techos y producir su colapso. Si los muros están húmedos el problema se acentúa porque la resistencia de la mampostería de adobe disminuye notablemente y por tanto la vulnerabilidad sísmica de la vivienda aumenta.

Las viviendas tradicionales de adobe son vulnerables a los sismos porque el adobe es frágil, que hace que las fallas ocurran repentinamente sin dar tiempo a los habitantes para que salgan de su vivienda antes de que colapse.

4. SISTEMAS DE REFUERZO SÍSMICO: Contribución de la PUCP

Inicialmente, la investigación en la PUCP fue orientada hacia el estudio experimental de alternativas de refuerzo estructural usando materiales rurales. Estas primeras investigaciones fueron realizadas sobre una plataforma inclinable sobre la cual se ensayaron módulos de adobe a escala natural. La fuerza sísmica fue representada por la componente lateral del peso de los módulos (Ref. 3, Fig. 5a).

El modo de falla de los módulos fue similar al observado en el campo luego de la ocurrencia de los sismos. Luego de pruebas con diversos tipos de refuerzo, se escogió un sistema de refuerzo interno de caña que aumentó sustancialmente la resistencia de los módulos de adobe. Este sistema consistió en una malla de cañas verticales ancladas en el cimiento, unidas a tiras de caña chancada colocadas dentro del mortero cada cuatro hiladas de mampostería y cocidas entre sí con cordeles sintéticos (Ref. 4, Fig. 5b).



a) Sin refuerzo b) Con refuerzo de caña

Figura 5. Módulos de adobe sobre la plataforma inclinable

Para comprobar la efectividad del refuerzo interno de caña se realizaron ensayos de simulación sísmica en módulos de adobe a escala natural sobre una mesa vibradora. El refuerzo interior de caña unido a una viga solera de madera en la parte superior de los muros resultó ser muy efectivo, pues proporcionó mayor resistencia a los muros por un efecto de interacción entre la caña y la mampostería de adobe (dos materiales compatibles). Durante los movimientos sísmicos más intensos, el refuerzo interno de caña fue crucial para impedir la separación de los muros en las esquinas y así mantener la integridad de la estructura (Ref. 4, Fig. 6).

a) Refuerzo interior de caña b) Módulo reforzado después del ensayo

Figura 6. Módulos de adobe reforzados con malla de caña interna

Desafortunadamente, el uso de la malla interna de caña tiene los siguientes inconvenientes: 1) Para construir muros de adobe reforzados con malla interna de caña se requiere un esfuerzo manual considerablemente mayor al necesario para construir muros de adobe tradicionales, sin refuerzo. 2) La caña no está disponible en todas las zonas donde se construye con tierra. Además, en muchas

áreas donde se produce caña es muy difícil obtener la cantidad requerida para programas masivos de construcción o de reconstrucción de viviendas. 3) No puede usarse internamente en viviendas existentes, sino externamente embutidas en el enlucido de barro, y esto significa usar más caña aún.

En 1996 se inició en la PUCP un proyecto experimental para desarrollar técnicas simples de refuerzo de construcciones existentes de adobe. Se ensayaron en el simulador sísmico muros en forma de U con diferentes materiales de refuerzo, como tablas de madera, soga, malla de alambre del tipo gallinero y malla electrosoldada. Los mejores resultados fueron obtenidos con malla electrosoldada clavada mediante chapas metálicas de botellas contra el adobe y recubierta con mortero de cemento-arena (Fig. 7a). La malla fue colocada en franjas horizontales y verticales en una configuración similar a la de vigas y columnas de confinamiento. Después de ensayos dinámicos de cuatro módulos de vivienda a escala natural, esta solución fue aplicada para el refuerzo de viviendas de adobe existentes en diferentes regiones del Perú (Ref. 5). En el año 2001 ocurrió el terremoto de Arequipa en la zona sur del Perú y destruyó muchas casas de adobe en la zona afectada. Sin embargo, las viviendas reforzadas con malla electrosoldada localizadas en la región no sufrieron daños importantes y además sirvieron de refugios (Ref. 6, Fig. 7b). Esto demostró en la práctica que el refuerzo externo es satisfactorio para sismos de intensidad moderada.

a) Colocación de la malla electrosoldada

b) Vivienda de adobe después del sismo del 2001

Figura 7. Viviendas de adobe con refuerzo externo de malla electrosoldada

El refuerzo externo con malla electrosoldada; sin embargo, también tiene inconvenientes: 1) Cuesta no menos de US $200 para una vivienda típica de adobe de un solo piso y dos ambientes. Esta cantidad excede la capacidad económica de los usuarios peruanos de adobe. 2) Por razones económicas, el refuerzo se coloca solamente en los bordes de los muros, o sea que no es continuo en toda la dimensión del muro. 3) El comportamiento post-elástico de estos muros es de rigidez y resistencia degradante, lo que indica la posibilidad de falla frágil y súbita durante un sismo fuerte.

Un proyecto de investigación está siendo desarrollado en la PUCP para estudiar la viabilidad del uso de materiales industriales como refuerzo sísmico de viviendas de adobe. Resultados satisfactorios ya han sido obtenidos en ensayos cíclicos de muros de adobe, con y sin refuerzo sísmico (Ref. 7). Actualmente, varios ensayos de simulación sísmica sobre la mesa vibradora de la PUCP han sido desarrollados y los resultados se siguen procesando

Aunque han sido desarrolladas soluciones técnicas efectivas para reducir la vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe, el problema real está aún lejos de ser resuelto porque las personas que tradicionalmente usan el adobe son resistentes a los cambios, especialmente si éstos implican trabajo adicional para la construcción y requieren diferentes materiales para el refuerzo. Por otra parte, los sistemas de refuerzo desarrollados hasta ahora tienen sus limitaciones. Por eso, las propuestas de sistemas de refuerzo técnicamente eficientes para mejorar la resistencia sísmica de las viviendas de adobe no siempre han resultado viables. Es por tanto imperativo continuar investigando la forma de desarrollar sistemas de refuerzo con otros materiales, que sean aceptables

para los usuarios de adobe, de bajo costo y simples de aplicar. Paralelamente, deberá desarrollarse técnicas efectivas de difusión y transferencia de tecnología.

5. NORMAS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE EN ADOBE

Las normas de diseño sismorresistente son documentos legales que contienen especificaciones técnicas para el diseño estructural de edificaciones en áreas sísmicas. En forma muy resumida, la filosofía de diseño sismorresistente convencional es que las edificaciones no deben sufrir daños durante sismos leves, que los daños sean reparables durante sismos moderados y que la estructura no colapse durante sismos fuertes.

En el caso de las construcciones con tierra, que por su material son débiles y frágiles, la filosofía de diseño sismorresistente debe ser adaptada aceptando la ocurrencia de mayor fisuración en sismos moderados. Asimismo, la norma de adobe deberá conservar el celo por garantizar la protección de la vida de los ocupantes, al evitar la ocurrencia de colapsos durante sismos moderados y fuertes mediante la colocación indispensable de refuerzos.

La primera Norma Peruana de Adobe fue aprobada en 1977 como parte integral del Reglamento Nacional de Construcciones. Esta versión se enriqueció luego con la incorporación de recientes resultados experimentales y nuevas experiencias de campo, en 1985 (Ref. 8). Esta revisión de la Norma, llamada E-080 Adobe, sirvió de base para la preparación de las *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction* de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (Ref. 9) y de las *Recomendaciones para la Elaboración de Normas Técnicas de Edificaciones de Adobe, Tapial, Ladrillos y Bloques de Suelo-Cemento* de la red temática Habiterra (Ref. 10). Esta versión ha servido además, directa o indirectamente, como guía para la generación de normas sísmicas de otros países del mundo como India y Nepal.

La Norma Peruana actual (Ref. 11) está redactada siguiendo un esquema típico. Se presenta primero una declaración de alcances, requisitos generales y definiciones del repertorio de elementos estructurales (adobe, mortero, muros, vigas, etc.). Luego se describe el comportamiento sísmico de las edificaciones de adobe y se especifica el cálculo de la fuerza sísmica de diseño. Se presentan a continuación especificaciones para el dimensionamiento de los sistemas estructurales y la clasificación de los morteros. Finalmente, se definen los esfuerzos admisibles de la mampostería y se dan especificaciones para el diseño de los muros de adobe.

La Norma especifica que las construcciones de adobe sean diseñadas por métodos racionales basados en los principios de la mecánica y con criterios de comportamiento elástico. Sin embargo, recomienda la colocación de refuerzos en muros normales y esbeltos para mejorar su comportamiento en el rango inelástico.

La excitación sísmica está representada por una fuerza lateral H = SUCP, donde C es el porcentaje del peso que debe ser aplicado lateralmente para simular la fuerza sísmica, y depende de la zona de la construcción. En la zona peruana de mayor sismicidad, C es igual a 0,20. El factor de suelo S es 1,00 si el suelo es bueno (roca o suelo muy denso) y 1,20 cuando el suelo es intermedio o blando. El factor de uso U es 1,00 para viviendas y 1,20 para otras edificaciones como colegios, postas médicas, o locales públicos. El peso P debe incluir la carga muerta más el 50% de la carga viva. Entonces, una vivienda ubicada en un lugar con suelo regular de la costa peruana deberá ser diseñada para resistir elásticamente una fuerza lateral H = SUCP = 1,20 x 1,00 x 0,20 x P = 0,24 P, equivalente a casi la cuarta parte de su peso total.

Las observaciones de daños en sismos pasados indican que las construcciones de adobe ubicadas en suelos blandos han tenido una intensidad de daños considerablemente mayor que el de las ubicadas en suelos firmes. Esto no ocurre en la misma proporción en las construcciones con materiales más resistentes. Parecería adecuado entonces incrementar el coeficiente de suelo S para las construcciones de adobe sobre suelo intermedio y restringir drásticamente la construcción con tierra en suelos blandos.

En la zona de mayor sismicidad no está permitida la construcción de edificaciones de adobe de dos pisos. Estas se permiten únicamente en las zonas de menor peligro sísmico, siempre y cuando el segundo piso esté construido con un material más liviano como la quincha, tal como ocurrió con la Real Ordenanza española luego del catastrófico terremoto que destruyó Lima y Callao en 1746.

Entre las recomendaciones generales que da la norma para un buen comportamiento sísmico están: las viviendas de adobe deben tener suficiente longitud de muros en las dos direcciones principales, la planta será lo más simétrica posible, los vanos serán pequeños y centrados, y los muros deberán tener sistemas de refuerzo que los amarren entre sí.

La cimentación, al igual que el sobrecimiento, debe estar construida con concreto ciclópeo o con albañilería de piedra. En la figura 8 se muestran algunas especificaciones que deben cumplir las subestructuras de las viviendas. Este esquema debería indicar adicionalmente que a los niveles de fondo de cimentación se debe llegar por corte y nunca por relleno.

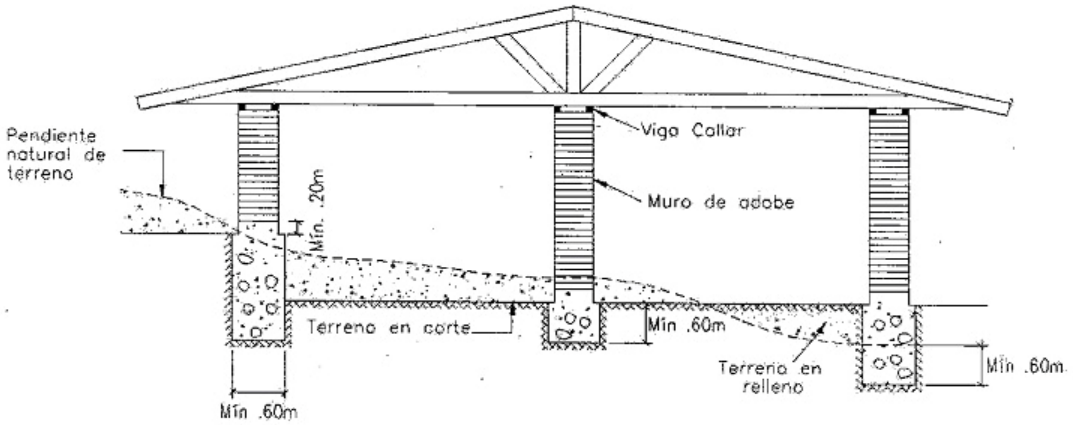


Figura 8. Especificaciones de subestructura

Los muros de adobe deben diseñarse para que soporten elásticamente las fuerzas sísmicas y las transmitan a la cimentación. Para fines de diseño, la Norma Peruana especifica los esfuerzos admisibles mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Esfuerzos admisibles para el diseño de muros de adobe

ESFUERZO ADMISIBLE	ESPECIFICACIÓN
Resistencia a la compresión de la unidad, f_o	f_o = promedio de la resistencia de 6 cubos, ó f_o =12 kg/cm^2
Resistencia a compresión de la albañilería, f_m	f_m = 0,25 f'_m (f'_m es el esfuerzo de compresión último de pilas) ó f_m = 2 kg/cm^2
Resistencia a la compresión por aplastamiento	1,25 f_m
Resistencia al corte de la albañilería, V_m	V_m = 0,40 f'_t (f'_t es el esfuerzo último de muretes en compresión diagonal) ó V_m = 0,25 kg/cm^2

Se especifica también que los muros deben estar adecuadamente arriostrados. Los arriostres pueden ser muros transversales, contrafuertes o columnas de concreto armado. Los arriostres horizontales son vigas soleras (vigas collar) hechas de madera o de concreto armado para integrar a los muros. Los muros deben cumplir además especificaciones geométricas para garantizar un buen comportamiento sísmico. La longitud máxima entre arriostres del muro debe ser 12 veces el espesor del muro, y los vanos deben estar centrados y ser pequeños (Fig. 9).

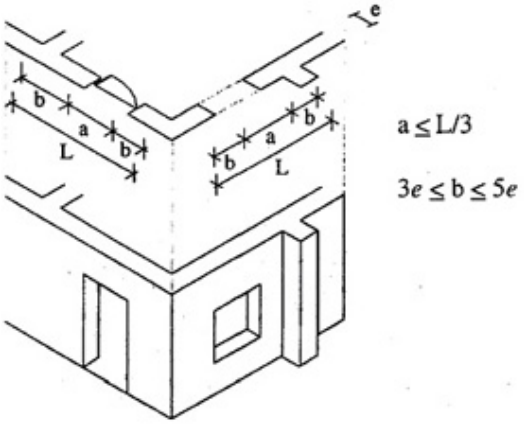


Figura 9. Especificaciones para aberturas en muros

Los refuerzos de los muros de adobe podrán ser de caña, malla electrosoldada o concreto. Actualmente se conoce que las mallas sintéticas son una relevante alternativa de refuerzo, cuya densidad y calidad se está evaluando experimentalmente. Las exigencias de refuerzo dependen de la esbeltez de los muros, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de refuerzo para muros

Esbeltez	**Arriostres y Refuerzos Obligatorios**	**Espesor mín. de muro (m)**	**Altura mín. de muro (m)**
$\lambda \leq 6$	Solera	0,4 – 0,5	2,4 - 3,0
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3 – 0,5	2,4 – 4,0
$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3 – 0,5	2,7 – 4,5

La Norma exige el uso de vigas soleras superiores en todos los muros. Esta exigencia es razonable, pues es coherente con la evidencia experimental que indica que la viga solera integra el comportamiento de los muros de las construcciones de adobe y evita los desplomes de los muros externos luego de que se presentan las fisuras verticales en las esquinas. Adicionalmente, las vigas soleras contribuyen a la distribución más efectiva del peso de los techos sobre los muros y a la integración del techo al sistema de control del volteo de los muros.

Dependiendo de la esbeltez de los muros, la Norma permite la construcción de viviendas sin refuerzo. La tabla 2 indica que los muros con esbeltez λ (relación altura / ancho) menor o igual a 6 pueden ser construidos sin ningún refuerzo en los muros. Esta especificación contraviene la experiencia de campo y de laboratorio que indica claramente que los muros de adobe sin refuerzo tienen un comportamiento de falla súbita luego de que se han fisurado por efecto de la actividad sísmica. Para los muros con esbeltez entre 6 y 8, la Norma solamente requiere elementos de refuerzo horizontal y vertical en sus encuentros. El colapso de pesados muros de adobe, el cual se separa en segmentos, puede ser evitado mediante una configuración de refuerzo continua en todo el muro. Esto se puede conseguir con mallas de refuerzo internas o externas, colocadas en toda el área

del muro. Actualmente se evalúa experimentalmente la probable disminución del área cubierta por las mallas generales propuestas.

La Norma permite la construcción de muros muy delgados, con esbelteces entre 8 y 9, y hasta de 12 con justificación técnica, que deberán ser reforzados íntegramente. Parece muy arriesgado construir muros tan esbeltos en la zona de mayor peligro sísmico. La especificación de la Norma parecería entonces ser poco conservadora o peligrosa.

Se concluye de las observaciones anteriores que el refuerzo debe ser obligatorio y por ahora completo para todos los muros, independientemente de su esbeltez, por lo menos para las zonas de mayor sismicidad, donde se han reportado colapsos de viviendas de tierra. Además, la limitación de esbeltez máxima de los muros debería depender de la sismicidad de cada zona.

6. REFLEXIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

La necesidad de una norma de diseño sismorresistente está basada en la difusión de conocimientos constructivos para garantizar la seguridad y economía de los usuarios.

Las normas de diseño sismorresistente en adobe están dirigidas a los profesionales a cargo del diseño y construcción de edificaciones de adobe, y a los técnicos que los asisten. Legalmente; sin embargo, los únicos autorizados a firmar proyectos son los profesionales colegiados. Ellos pertenecen al sistema formal. Dentro de este sistema hay muy pocas personas que viven en casas de tierra diseñadas de acuerdo con la Norma.

Por otro lado, la gran mayoría de personas que viven en casas de adobe y que siguen construyendo con este material, pertenecen al sistema informal y no utilizan la Norma. Esta informalidad se manifiesta en los países del tercer mundo también en otros aspectos como el tributario o el laboral. Por lo tanto, las normas de adobe en áreas sísmicas no cumplen aun su cometido, pues no llegan a los usuarios a los que pretende beneficiar.

Para atender las necesidades de seguridad, legalidad y de acceso al crédito de la gran mayoría de la población que pertenece al sistema informal, es indispensable recurrir a herramientas complementarias a la Norma tales como cartillas de difusión, campañas a través de organizaciones populares, acciones de gobiernos locales, o programas en medios de difusión masiva, para diseminar entre los pobladores los conceptos básicos de diseño y construcción sismorresistente en adobe.

Las normas deberían recoger fielmente los conocimientos adquiridos de la investigación y de la observación de efectos en los terremotos pasados. Este conocimiento debe traducirse en recomendaciones simples y directas que puedan ser aplicadas por los propios pobladores con escaso apoyo técnico. Lo que no debe ocurrir es una distorsión del conocimiento obtenido con medidas menos exigentes para la construcción con tierra, en la idea de poder llegar a un número mayor de usuarios. Ello sería tan grave como disminuir la calidad de una medicina para que la puedan usar un mayor número de pacientes.

El contenido de las normas es el resultado de grandes esfuerzos de investigación hechos con el deseo de mitigar las consecuencias de los sismos, especialmente en zonas densamente pobladas de viviendas de tierra. Una norma bien concebida es una herramienta indispensable para guiar a la comunidad profesional en el diseño y construcción de edificaciones de tierra económicas y seguras.

Es claro que, para tener éxito, cualquier programa de implementación y difusión masiva sobre construcciones seguras de tierra debería tener apoyo político por parte de los gobiernos. Sin embargo, la comunidad profesional tiene la responsabilidad de difundir el conocimiento y de capacitar a la población para mitigar el riesgo de las viviendas de tierra en áreas sísmicas, que alcanza hoy niveles inaceptables.

7. REFERENCIAS

(1) De Sensi B. "Terracruda, la diffusione dell'architettura di terra" (en italiano) – "Soil, Dissemination of Earth Architecture". 2003. Disponible de: http://www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm

(2) Blondet M. "Estudio de la vulnerabilidad de viviendas informales construidas en la región Sierra". SENCICO/PUCP. Lima, Perú. 2004.

(3) Vargas J. "Recomendaciones para el diseño y construcción de viviendas de adobe. Estudio experimental". Simposio Internacional sobre el terremoto del 4 de febrero de 1976, y proceso de reconstrucción". Guatemala. 1978.

(4) Ottazzi G, Yep J, Blondet M, Villa García G and Ginocchio F. "Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe". PUCP. Lima, Perú. 1989.

(5) Zegarra L, Quiun D, San Bartolomé A and Giesecke A. "Reforzamiento de viviendas de adobe existentes 2da parte: Ensayos Sísmicos de Módulos". XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Trujillo, Perú. 1997.

(6) Zegarra L, Quiun D, San Bartolomé A y Giesecke A. "Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica". XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Puno, Perú. 2001.

(7) Blondet M, Madueño I, Torrealva D, Villa García G and Ginocchio F. "Using industrial materials for the construction of safe adobe houses in seismic areas". Earth Build 2005. Sydney, Australia. 2005.

(8) ININVI. "Adobe: Norma Técnica de Edificación E-080". Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda, Ministerio de Vivienda y Construcción". Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI). Lima, Perú. 1987.

(9) IAEE. "Guidelines for Earthquake-Resistant Non-Engineered Construction". Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica. Tokio, Japón. 1987.

(10) CYTED. "Recomendaciones para la elaboración de Normas Técnicas de Edificaciones de Adobe, Tapial, Ladrillos y Bloques de suelo cemento". Red Temática XIV.A: HABITERRA. Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social. La Paz, Bolivia. 1995.

(11) MTC. "Reglamento Nacional de Construcciones. Adobe: Norma Técnica de Edificación E-080". MTC/SENCICO. Lima, Perú. 2000.