

LA COOPERACION INTERNACIONAL POR LA RECONSTRUCCION EN ADOBE

Michele Paradiso y Stefano Galassi

RESUMEN

El presente trabajo nace de la participación del Departamento de Construcciones de la Universidad de Florencia, Italia, en el proyecto de cooperación internacional ‘Planificación en áreas frágiles: estrategias para fortalecer la cohesión territorial en Colombia, Nicaragua, Perú (Componente Perú)’, co-financiado por la Región Toscana y la ONG Municipios y Asociaciones, en el marco de la cooperación descentralizada regional. El sismo del 15 de agosto de 2007 en Perú, de 7.0 grado de magnitud escala Richter, golpeó de manera considerable los Departamentos de Ica, Huancavelica y Lima, resultando la más dañada la zona costera peruana donde se sitúa el proyecto, 200 km al SO de Lima, comprometiendo gravemente su patrimonio construido. En la actualidad, pese a muchas intervenciones de cooperación, iniciativas gubernamentales y particulares, gran parte de la población vive en casas designadas ‘inhabitables’ y, pese a las políticas de Estado que desaniman la construcción de viviendas con ‘materiales pobres’, la población sigue construyendo con adobes de tierra cruda, y de manera muy peligrosa respecto a la zona sísmica donde se hallan. Se vió así la necesidad de colaborar con las instituciones locales en la definición de políticas de reconstrucción, identificando las zonas más adecuadas para nuevos asentamientos y tipologías de vivienda, estructuralmente más apropiadas para resistir sismos y, al mismo tiempo, atender efectivamente las exigencias normativas y las posibilidades económicas y de aceptación de los pobladores.

Palabras clave: Adobe. Análisis Numérico. Cooperación. Perú. Sismo-resistencia.

INTRODUCCION

El presente trabajo pone en evidencia la potencialidad de esfuerzos conjuntos de instituciones y sociedad civil en la actividad solidaria de la cooperación internacional, el proyecto nace en el marco de la cooperación descentralizada toscana, modelo que ha crecido en las últimas décadas, aún con límites y riesgos de excesiva articulación, consolidándose en un ‘sistema de cooperación’ fundado en dos pilares: la búsqueda de coordinación y clasificación política institucional de la Región Toscana y el impulso creativo-operativo de la sociedad civil (ONGs, asociaciones e instituciones de investigación y formación), junto al esfuerzo financiero, de entes toscanos, dando sustancia al ‘modelo toscano de cooperación’. En este contexto se desarrolla el proyecto que, con los aportes de la colaboración, ha encontrado y definido objetivos, actividades y estrategias de acción. En términos operativos, ello se inicia con la misión de asistencia técnica que los operadores de Medina solicitaron a la ONG COOPI, empeñada desde hace tiempo en proyectos de emergencia post-sismo en Perú, llevando a cabo la misión en diciembre 2008.

La misma consistió en verificar el proceso constructivo adhiriendo a las normas antisísmicas de intervención de construcción de viviendas en curso de realización en la comunidad de Alto Larán, Municipio de Chíncha, una de las zonas más golpeadas por el terremoto del 2007. De ello nace la colaboración entre las dos ONGs, Medina y COOPI, y posteriormente con el Departamento de Construcciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Florencia, a fin de verificar y mejorar las técnicas de construcción antisísmica para la reconstrucción de esa zona de Perú, identificando objetivos y actividades a las que debía responder el proyecto.

Como primera medida, se estimó necesario comprobar experiencias previas, particularmente las promovidas y realizadas por la cooperación internacional, y verificar instrumentos de instituciones locales en respuesta a la reconstrucción y eventuales necesidades de asistencia técnica, considerando que el fin principal de proyectos con limitada capacidad económica podría contribuir a definir y difundir métodos de bajo contenido tecnológico pero científicamente válidos y comprobados, tanto de prevención como de construcción de viviendas en áreas de alto riesgo sísmico.

En este marco, fue determinante el desarrollo de acciones informativas y formativas a diferentes niveles: instituciones gubernamentales, en especial el Municipio de Pueblo Nuevo, pobladores locales y grupos vulnerables que recurren a la autoconstrucción por falta de recursos económicos, centros de investigación e institutos técnicos como la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP, y el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, SENCICO.

LA MISION DE RECONSTRUCCION: VISION Y ESTRATEGIA

La misión en Perú se desarrolló, en primer lugar, con la finalidad de poner en funcionamiento los instrumentos operativos para realizar los objetivos del proyecto, entre septiembre y octubre del 2009. La primera parte de la misión se realizó en Lima, a través de visitas y encuentros con dos importantes instituciones locales: el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, SENCICO, y la Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP, en particular con los representantes de la Facultad de Ingeniería Civil. Estas dos instituciones, además de una amplia visibilidad nacional e internacional en relación a temas de intervención en seguridad sísmica, poseen una vasta experiencia y conocimiento al respecto, en particular la PUCP que, a través de su Laboratorio de Estructuras Antisísmicas, ha adquirido gran experiencia en las diversas técnicas de reforzamiento antisísmico de la construcción.

Los encuentros e intercambios de opinión con los dos interlocutores técnicos han llevado a la certeza del conocimiento desarrollado que poseen en este campo; sin embargo, se pudo notar escasa comunicación entre las instituciones y las autoridades de zonas periféricas de Perú, habiéndose desarrollado el resto de la misión ‘in situ’ en territorio de Pueblo Nuevo Municipio de Chíncha Alta, Provincia de Ica.

En ese contexto, las acciones que se realizaron en la siguiente secuencia: 1. Reconocimiento visual de intervenciones de reconstrucción y reforzamiento, emanadas de otras iniciativas de cooperación internacional. 2. Inspecciones en barrios de Pueblo Nuevo interesados en el proyecto, familiarizándose con los tipos constructivos (esteras, quincha, quincha mejorada, adobe, albañilería mejorada) y los problemas técnicos conexos, acompañadas de entrevistas a la población y habitantes de esos tipos de construcción, a fin de valorar el componente participativo y social en el proceso de reconstrucción. 3. Identificación de técnicas de construcción adecuadas para el estudio de intervención de reforzamientos antisísmicos que se pudieran lograr, valorando la tradición constructiva y la calidad de vivienda digna que no fuese proyectada con técnicas constructivas actuales, resultando la construcción en adobe la que mejor responde a estos requisitos. 4. Toma de muestras de materiales para realizar apropiadas pruebas mecánicas, base para un monitoreo numérico de eventuales propuestas de reforzamiento antisísmico. 5. Sentar las bases, conjuntamente con el Municipio de Pueblo Nuevo, PUCP y SENCICO, para realizar talleres participativos al final del proyecto en 2010.

De regreso a Italia, de noviembre 2009 a junio 2010, se trabajó en el estudio para validar la técnica de refuerzo de viviendas existentes de adobe, técnica identificada por la PUCP consistente en utilizar mallas electrosoldadas de acero, Figura 1, y construir un ‘Gabinete de atención a la población’, en estrecha comunicación con estos técnicos locales identificados por el Municipio de Pueblo Nuevo, para revisar propuestas constructivas de nuevas casas en adobe. Otras dos misiones fueron llevadas a cabo por funcionarios de Medina en diciembre 2009 y julio 2010, las que han fortalecido los contactos con instituciones locales. Ello proporcionó soporte logístico, permitió promover la continuación del proyecto y perfeccionó la actividad organizativa para poner en marcha la misión final del proyecto en septiembre 2010:

- Gestionar pre-talleres para promover las actividades a disposición de la población.
- Organizar actividades de asesoramiento a la población para reparar las casas en adobe.
- Organizar actividades para realizar un taller basado en la reparación de una casa en adobe con la técnica de la malla de acero electrosoldada, Figura 2.
- Preparar un taller basado en la construcción de un nuevo módulo de vivienda proyectado por el Departamento de Construcciones, Universidad de Florencia.
- Organizar la logística del taller final con PUCP, SENCICO y técnicos municipales y del Departamento de Construcciones, en un debate sobre reconstrucción, criterios de sismo-resistencia de los edificios en adobe y refuerzos con la técnica de la malla electrosoldada.



Figura 1. Detalles de la geomalla, técnica para mejorar muros de viviendas en adobe.



Figura 2. Refuerzo con red metálica.

IDENTIFICACION DE TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS RECURRENTE

Durante la misión de septiembre-octubre 2009, se efectuó en el territorio de Chíncha, el reconocimiento sistemático de las potenciales intervenciones de reconstrucción, realizadas con la colaboración de las ONGs presentes en el territorio. Sus consideraciones finales pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- En su conjunto, se detecta escasa coordinación entre las diferentes intervenciones, desde las técnicas adoptadas y la organización, ante la falta de un plan orgánico que utilice los recursos económicos de componentes de la cooperación internacional, asociado al plan de reconstrucción a través de la activa participación ciudadana.
- Las técnicas adoptadas para la reconstrucción padecen baja calidad constructiva no adecuada para las condiciones del lugar, presentando además el mismo carácter ecléctico.

Se considera que ello depende de falta de comunicación entre el estado central y los territorios periféricos, tanto en términos de gobernabilidad como de formación de técnicos y capacitación de las empresas. La escasez de recursos económicos/financieros, refejada en la fase de emergencia post-terremoto, imperante todavía a pesar de múltiples subvenciones por parte del gobierno central a la reconstrucción, canalizadas a las provincias golpeadas.

La Ciudad de Chíncha, con su vecino municipio de Pueblo Nuevo, objeto del proyecto, se presenta como un extenso conglomerado urbano de conformación desordenada, atravesado por la Panamericana, con pocas calles asfaltadas y sin mantenimiento. Además de algunos edificios destinados a la función pública y religiosa, concentrados en el centro de la ciudad o en nuevos asentamientos periféricos, todos realizados en albañilería confinada, la mayoría son de un piso. Las señales del sismo son evidentes con lagunas en el tejido urbano, consecuencia de derrumbes y daños muy graves que determinan la total inhabilitación de los edificios, aunque muchos de ellos se deben a la escasa calidad constructiva. Las construcciones presentan tan bajo nivel de calidad, con defectos dimensionales y geométricos y de tecnología constructiva que, aun sin sismo, las lesiones en forma de cruz de San Andrés son resultado de aberturas demasiado grandes respecto al tamaño de las fachadas. Otros ejemplos indican daños recurrentes por falta de anclaje de los muros con acople ortogonal, indicio de una errada tecnología constructiva, atribuible a la falta de aplicar las 'reglas de arte' o 'buenas prácticas constructivas' en las construcciones antisísmicas.

El Municipio de Pueblo Nuevo nace históricamente como un asentamiento de nuevos inmigrantes de los territorios montañosos cercanos y, por tanto, llevan consigo sus tradiciones constructivas.

Acompañados de técnicos del Municipio, se efectuaron inspecciones a fin de identificar las tipologías más auténticas y recurrentes, e individualizar edificios para casos de estudio que indiquen técnicas adecuadas de mejoramiento anti-sísmico, habiéndose identificado 4 tipos constructivos recurrentes y dignos de mención:

- *Esteras*: barracas de estera de caña, siendo muy frecuente en la vivienda de adobe que las partes derrumbadas se sustituyan por alfombras de estera.

- *Quincha*: casas pequeñas de un piso, realizadas en tierra cruda, reforzada con cañas o ramas, y techo plano hecho con tejidos de cañas de bambú. Se intentó una tecnología de refuerzo que dió origen a la ‘quincha mejorada’, quedan pocos y escasos ejemplos.
- *Adobe*: tipología de construcción histórica por excelencia: ladrillos de tierra cruda de amplias dimensiones y techo elaborado con un tejido de cañas de bambú, generalmente sobre un lote de terreno angosto y largo o de 10 x 30 m, con escasez de aberturas.
- *Albañilería confinada*: construcciones en cemento armado y mampostería con ladrillos, de un piso y a veces dos, la ambición constructiva de los habitantes de Pueblo Nuevo.

De los cuatro tipos constructivos, se decidió concentrar en el estudio de construcciones en adobe, considerando que las construcciones en esteras no son en realidad auténticas casas y solo restan pocos ejemplos en quincha y quincha mejorada. Por otra parte, en relación a las construcciones en cemento armado solo se deben seguir reglas de buena práctica. Las casas en adobe, antigua tecnología constructiva, son importantes no solo por la memoria histórica sino también por su potencial resistencia al sismo; la literatura técnica es muy amplia con normas obligatorias y recomendaciones. Por lo tanto, en el Municipio de Pueblo Nuevo, se individualizó una vivienda tipo y un relevamiento del material, estructura y morfología, y retirar muestras de materiales usados, para realizar pruebas mecánicas y químicas en la Universidad de Florencia.

La construcción estudiada, situada en un barrio periférico de Pueblo Nuevo, es un solo piso, de 8 x 12 m en planta y 2.50 m de altura. Originalmente, presentaba un desarrollo rectangular con un local de distribución ocupando la mitad de la planta, y tres habitaciones, asegurando luz y aireación por la puerta de ingreso, una ventana en la fachada, un tragaluz circular y una puerta al fondo. Por ella se accede al patio en la parte posterior donde, según la tradición, se ubican los servicios y el corral para animales, protegido por muros perimetrales y esteras.

El terremoto del 2007 ocasionó grandes daños y el derrumbes de una pared interna de una habitación, razón por la cual los propietarios realizaron pequeñas mejoras, sustituyendo la pared derrumbada por un largo dintel de cemento armado retirando mitad de la pared de la fachada para formar un pequeño patio. Las paredes son de ladrillos de adobe de 35x23x8 cm, con un mortero excesivamente grueso. Las paredes carecen de arrojamiento en sus intersecciones, los cimientos resultan prácticamente inexistentes, los muros sin pilastras debajo del pavimento son de escasos 40 cm y la cubierta plana es de bambú según la tipología típica. Gruesas cañas de bambú Guayaquil ecuatoriano, más resistentes que las locales de 12 cm de diámetro y 1 cm de espesor, funcionan como vigas portantes a 1 m de distancia, tejidas según la abertura del vano más pequeño entre muros. La estructura secundaria se realiza siempre con cañas locales denominadas ‘cañas bravas’, de 2 cm de diámetro, colocadas a 10 cm de distancia. En la parte superior se extienden esteras y hojas de celofán o simple cartón como impermeabilizante, cubierto con una capa de ‘torta de barro’, pasta de agua y tierra de 5 cm de espesor. El techo llega así a 20 cm de espesor sobre un piso de 4 m de altura. Las cañas portantes se apoyan en los bordes, sin amarrar, y sin conexión entre estructura secundaria y principal, lo que excluye cualquier comportamiento de la cobertura que se asimile a una trama minimamente rígida.

En situaciones generadas por sismos, se producen daños verticales en los ángulos sin trabas, preludio del movimiento de muros y su posterior derrumbe. La ausencia total, inclusive de un encadenado de repartición ubicado en el apoyo de la caña portante de los muros, hace que los daños verticales se difundan debajo de los apoyos, típico de las acciones concentradas del peso del techo sobre la albañilería. De esta vivienda se tomaron muestras significativas, por ej.:

- Dos ladrillos de adobe que, en una determinación rápida in-situ, mostraron un peso específico de aprox. 21000 N/m^3 , similar al peso específico de la arcilla seca.
- Dos muñones de caña Guayaquil, de 45 cm de lado, 12 cm de diámetro y 1 cm de espesor, con 6500 N/m^3 de peso específico, resultando así bien seca.
- Muestras de morteros de muros de adobe y muestras de torta de barro.

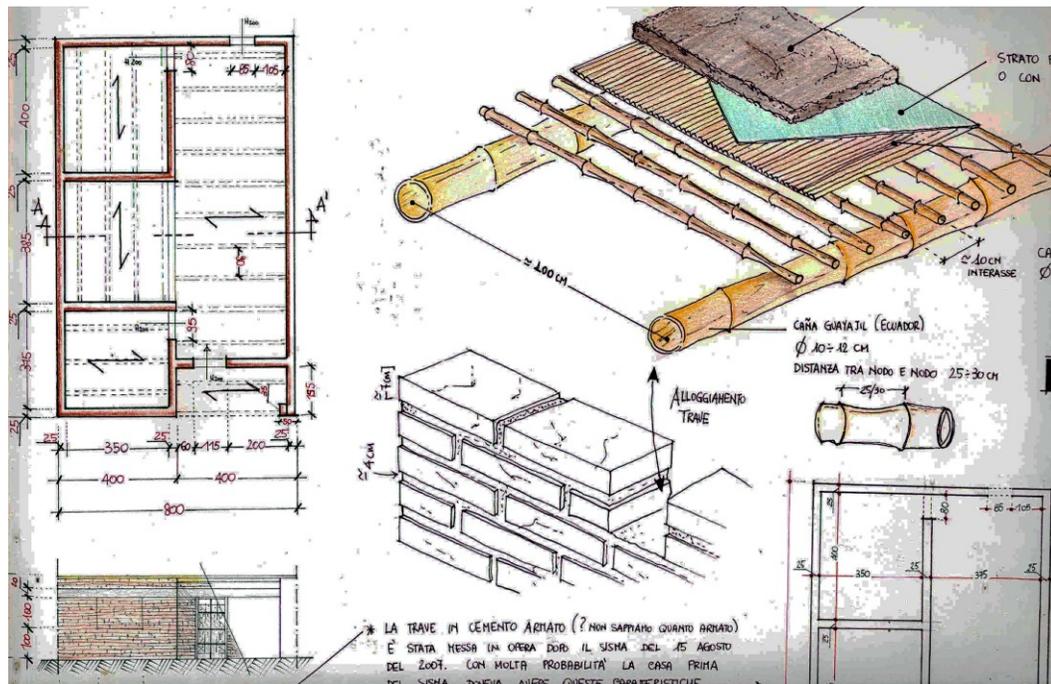


Figura 3. Croquis del relevamiento de la casa de adobe.

SELECCION DE MUESTRAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

En el Laboratorio de Pruebas Materiales y Estructuras del Departamento de Construcciones de la Universidad de Florencia, en los meses de noviembre y diciembre 2009, se procedió a la caracterización química y mecánica de las muestras tomadas de las construcciones de adobe:

- Pruebas para determinar la composición mineralógica de morteros y tortas de barro.
- Análisis granulométrico y densimétrico de los morteros de tierra cruda y adobe.
- Pruebas de flexión en 2 muestras obtenidas de ladrillos de adobe.
- Pruebas de compresión en 6 muestras obtenidas de ladrillos de adobe, Figura 4.
- Pruebas de flexión en porciones de caña.
- Pruebas de compresión en una porción de caña.

El conjunto de las pruebas realizadas muestra que, desde el punto de vista de la composición química y granulométrica, no existe mucha diferencia entre el ladrillo de adobe y el mortero entre hileras; la composición muestra escasa cantidad de arcilla respecto a la arena, hecho que produce un mal comportamiento mecánico del ladrillo de adobe prácticamente no resistente a la flexión, aunque posee buena resistencia a la compresión, muy variable y que no está presente en los requisitos del adobe ‘normado’, dependiendo de la característica del material.

Las pruebas realizadas en caña Guayaquil evidenciaron buen comportamiento en relación a la flexión, mostrando capacidad elástica y, en relación a la prueba de compresión, muestra considerable tensión de ruptura, registrada aprox. en 60 Mpa.



Figura 4. Pruebas de compresión de ladrillos de adobe.



Figura 5. Fabricación de adobes normalizados.

ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO DE CONSTRUCCION EN ADOBE

Al finalizar el análisis en laboratorio y la caracterización mecánica de las albañilerías en adobe y de los elementos estructurales del techo, se procedió a realizar análisis numéricos, tanto en campo estático como dinámico, utilizando el código de cálculo FEM realizado con STRAUS7. El código, difusamente utilizado en todos los campos de la ingeniería civil, puede aplicarse también a estructuras de mampostería, escasamente resistentes a la tracción, sólo si se consideran los resultados como indicadores de las zonas de debilidad de la estructura y, por lo tanto, de sus criticidades estructurales.

La primera aplicación se dirigió al análisis de casas de adobe, objeto del levantamiento en campo, teniendo en cuenta las características mecánicas del material derivadas del análisis precedente de laboratorio. Por ejemplo, se elaboró indiferentemente el modelo de un ladrillo de adobe y de una junta de mortero: respecto al techo, muy sensible a la acción del sismo por falta de rigidez en el propio plano, sólo se consideraron las vigas maestras, asumiendo la estructura secundaria como carga sobre las vigas y muros de apoyo. Desde el punto de vista geométrico, se quiso volver al plano anterior al sismo restableciendo la pared derrumbada y manteniendo el patio de ingreso, análisis conducido en campo elástico lineal, considerando elementos tipo ‘brick’ para muros y tipo ‘beam’ para las vigas del techo.

Se consideró la situación constructiva real, sin arrostramiento entre paredes, con peso propio y la cobertura según las condiciones de carga. El resultado de elaborar el modelo de desplazamientos verticales del techo registra un subdimensionamiento en campo estático de las vigas maestras. La flecha máxima de 3.5 cm es mayor a la admisible, por lo que se deberá proveer mejor conexión entre las cañas y las paredes de apoyo, rigidizando la estructura. Se entiende que, debido a la escasa carga, los muros no presentan particulares problemas, añadiendo una tensión máxima vertical a la cuota del piso de algo más de 0.1 Mpa. Pasando al análisis dinámico, se sometió la estructura a la acción de un sismo directo, primero en la dirección del eje longitudinal de la estructura (dirección X) y después en la dirección del eje transversal (dirección Y). Si bien esta aplicación de acciones sísmicas se refieren a un espectro de respuesta atribuible al terremoto del 2007, se concluye que el análisis numérico permite evidenciar la tendencia 'normal' a la caída de las paredes fuera del plano, con mecanismos típicos de colapso y que las tensiones de tracción que se generan en el muro de adobe no son absorbibles por él mismo, Figura 7.

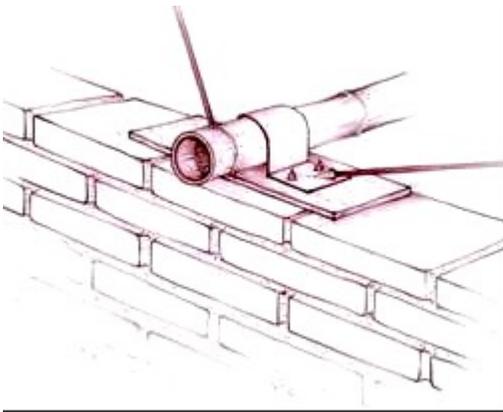


Figura 6. Amarre de los tensores del techo a los muros.

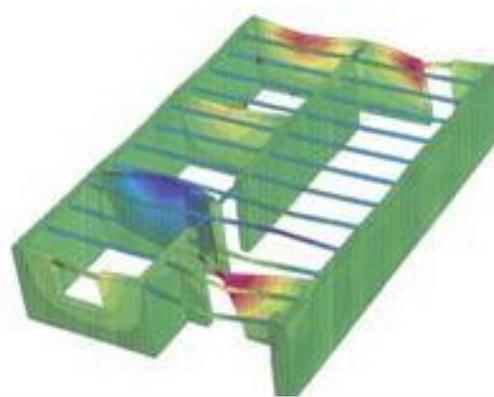


Figura 7. Análisis dinámico, mecanismo de colapso.

Las causas más importantes de este comportamiento son: alta relación entre los lados y distribución asimétrica de la planta, falta de amarre entre muros y vigas maestras del techo a los muros perimetrales, y ninguna rigidez en el plano de enmaderado del techo.

ANALISIS NUMERICO EN MURO DE ADOBE REFORZADO

Para remediar la fragilidad de las construcciones de adobe frente a sismos, tal como se puso en evidencia por los resultados expuestos, en especial respecto a la mayor debilidad constructiva, la falta de amarre de los muros de adobe entre sí, se prestó atención a la técnica de refuerzo, elaborada y validada experimentalmente por la PUCP, consistente en confinar los ángulos con una malla de hilos de acero. La técnica aplicada preventivamente, parece haber dado óptimos resultados en ocasión del terremoto del 2007, aunque en Chinchá no se hayan hecho aplicaciones preventivas. Se considera, por lo tanto, que la técnica es eficaz, de fácil realización y de costos accesibles a la colectividad peruana.

Una pequeña muestra de esta malla ha sido analizada en el Laboratorio de Construcciones a fin de caracterizarla mecánicamente. La malla, cuadrada, con paso de 1.9 cm., está constituida por hilos de acero de 0.8 mm. de diámetro. Al inicio, se modeló numéricamente un ‘obelisco’ con una sección de 95 x 25 cm y 270 cm de altura. Las dimensiones dependieron del ancho de las hojas de la malla metálica disponible en el mercado y del espesor y altura de la dimensión media de los muros de adobe. El ‘obelisco’, calculado con el sistema de STRAUS7, con un esquema estático de encaje perfecto al pie, fue sometido a acciones horizontales paramétricas distribuidas, aplicadas alternativamente al lado corto y largo de la sección y, posteriormente, a ambos lados al mismo tiempo.

Se examinaron diversos casos: obelisco no confinado, obelisco confinado, obelisco confinado con elementos diatónicos de enlace transversal, considerando el desplazamiento horizontal a la cabeza del obelisco como parámetro significativo para los objetivos del análisis, con los siguientes parámetros elásticos:

	E	v
Acero de malla	210000 Mpa	0.33
Adobe	1245 Mpa	0.20

Partiendo del obelisco simple, se consideró otro compuesto por dos elementos que forman una esquina, Figura 8, considerando los muros, primero sin amarre, y después según las reglas del arte. También se consideraron cargas horizontales aplicadas a la cabeza del muro, en un lado, y luego simultáneamente en ambos, sin examinar en detalle diferentes resultados numéricos. Se puede afirmar que el uso de la malla solo ayuda a la resistencia en un 10 %. Al contrario, es el amarre de los muros a las esquinas que mejora en un 50 % los desplazamientos horizontales a la cabeza y luego la resistencia al sismo. Como conclusión se deduce que el confinamiento ayuda al comportamiento de la albañilería en muros sin amarre y que, al hacerlo, produce por sí mismo un aumento notable de la resistencia frente al sismo. En este caso, tanto el confinamiento como los elementos diatónicos, tendrían la función de contener el material terroso en fase de colapso, aumentando minimamente la ductilidad de la estructura.

Para una ulterior confirmación de las deducciones indicadas se realizó la modelización de una simple construcción de un local de 3 x 3 m, similar al prototipo validado experimentalmente sobre la mesa vibrante de PUCP, Figura 9, considerando los siguientes casos: paredes sin amarre, paredes sin amarre y confinadas, paredes con amarre y paredes con amarre y confinadas.

El análisis estático y mecánico realizado, simulando el terremoto del 2007, permitió afirmar y concluir que el papel del confinamiento es fundamental en muros sin amarre, aberturas ubicadas en el centro de los muros para no debilitarlos y garantizar adecuada ventilación. Sobre puertas y ventanas se colocaron dinteles de cañas Guayaquil de 12 cm de diámetro, sobresaliendo 50 cm mínimo a cada lado de la abertura, contribuyendo también en paredes con amarre, especialmente en la fase de colapso de la estructura. Se considera que se deberían utilizar los dos tipos de intervenciones: ‘cosido y descosido’ para unir las esquinas y aplicar el refuerzo con la malla.

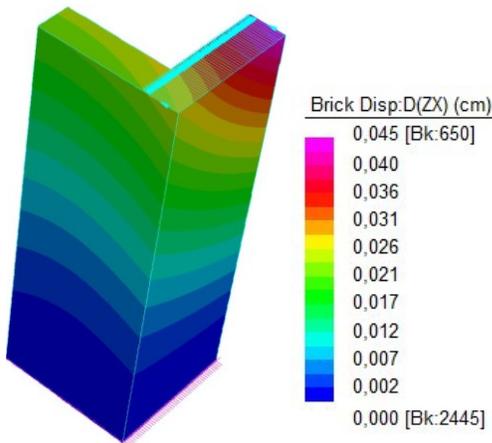


Figura 8. Obelisco compuesto

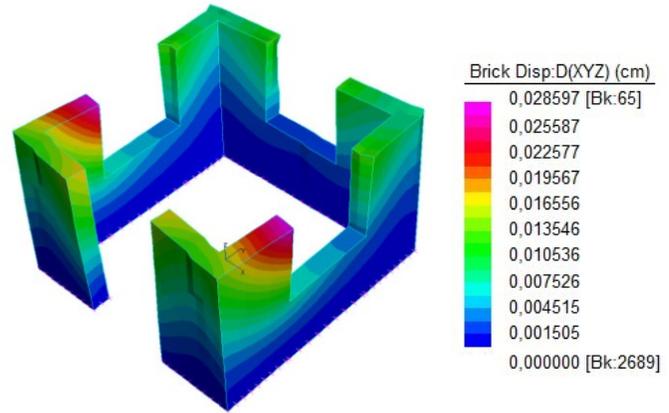


Figura 9. Casa de la prueba de PUCP

PROPUESTA DE VIVIENDA TIPO EN ADOBE

Posteriormente la investigación se dirigió a proyectar una vivienda tipo en adobe con adecuada sismo-resistencia. En una primera fase se analizó el conjunto de normas italianas y peruanas para nuevas construcciones sismo-resistentes en mampostería, particularmente en adobe, observando que no hay mucha diferencia entre las dos, enfocadas a dar consejos sobre el concepto de regularidad geométrica, buena calidad de los materiales utilizados y buena práctica constructiva. Con esas referencias, se proyectó el prototipo, utilizando ladrillos de adobe según la norma peruana de 40x40x10 cm, dando particular importancia a lograr buena rigidez en planta y en altura. Se trata de una vivienda unifamiliar de 80 m² con cimientos continuos en cemento ciclópeo, muros portantes en ladrillos de adobe y mortero de tierra cruda, techo con vigas de cañas Guayaquil ancladas con tensores de varillas de acero y una capa final de torta de barro.

Los materiales locales garantizan costos accesibles, factor importante para modular el proyecto de geometría volumétrica muy simple, regular y simétrica: 4 locales de 3 x 5 m, una sala, dos dormitorios y un comedor-cocina, divididos por un corredor central. El patio posterior cuenta con un baño externo según el sistema sanitario BISON promovido por SENCICO, y la posibilidad de una cocina externa. La casa ha sido pensada como una estructura compuesta de muros portantes en adobe de 40 cm de espesor, a los cuales se añade el terrajeo.

La característica particular de esta estructura es que se dispusieron contrafuertes con ancho decreciente en altura en correspondencia del encastrado de los muros portantes a lo largo del perímetro externo, y que las esquinas son de base cuadrada. Este sistema permite incrementar la rigidez de la estructura, garantizando mejor absorción de las acciones sísmicas. Las estructuras de cimentación son continuas, a 60 cm de profundidad, construidas con cemento e inertes, cuyo tamaño disminuye de abajo hacia arriba. La geometría de la cimentación sigue las prescripciones del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

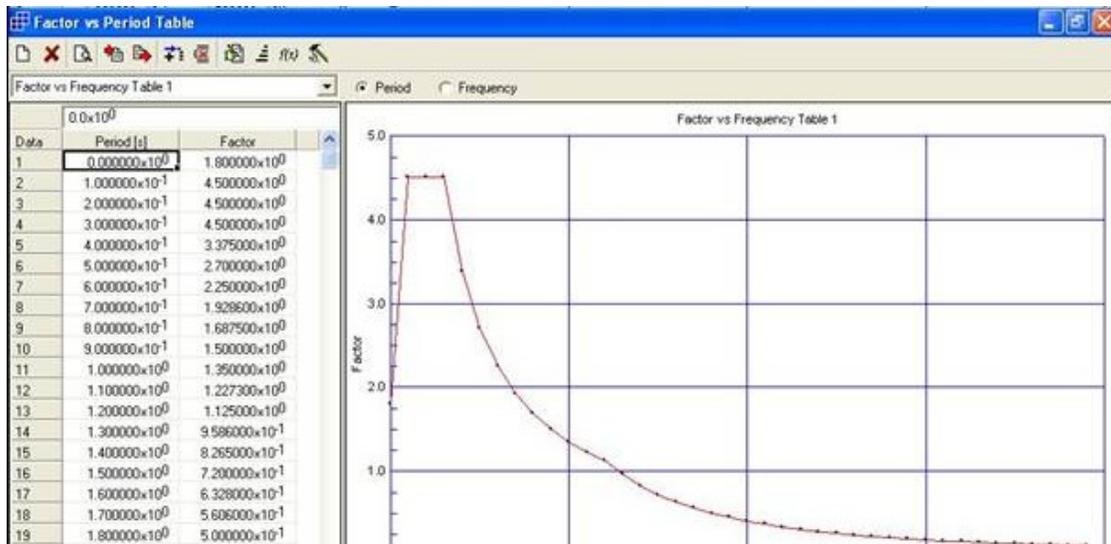
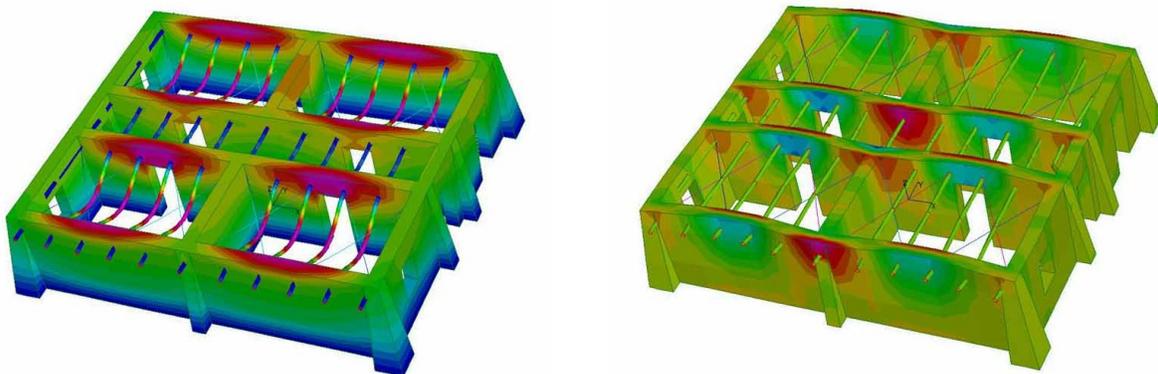


Figura 10. Espectro de respuesta del sismo del 2007.

El prototipo fue analizado con el código STRAUS7, sometiendo la estructura a acciones de tipo carga propia y dinámica, considerando un buen amarre de muros, sin confinamiento con malla metálica, según los siguientes parámetros considerados:

	E	v	PE
Muros de adobe	1265 Mpa	0.2	16000 N/m ³
Caña de cobertura	9900 Mpa	0.15	5500 N/m ³

Como se esperaba, el análisis de tipo elástico del comportamiento de la estructura evidenció valores no relevantes de desplazamientos y tensiones. En el caso dinámico, se tuvo en cuenta un espectro de respuesta del sismo, Figura 10, derivado de los acelerogramas del sismo del 2007. Las características del suelo, según lo informado por algunos expedientes de casos análogos que se pudieron consultar, presentan terreno orgánico hasta 1m de profundidad y, en limitadas proporciones, arena con piedra y limo con ausencia de capa freática hasta 3m de profundidad. Los resultados, Figuras 11 y 12, evidencian desplazamientos contenidos y tensiones de tracción siempre menores a 0.1 Mpa, dependiendo del sistema de refuerzo de acero del techo, que ayuda al comportamiento rígido del enmaderado y limita el mecanismo de colapso por flexión, privilegiando la rotura por corte.



Figuras 11 y 12. Output de STRAUS7 sobre el prototipo

CONCLUSIONES

El proyecto de cooperación en la Región Toscana en Pueblo Nuevo de Chíncha y concluido en septiembre 2010, incluyó la realización de talleres participativos con pobladores, técnicos, empresas, profesores de la PUCP y políticos, puso en marcha un proceso de integración y comunicación más fuerte entre las instituciones peruanas y los usuarios finales. Más, particularmente, se ha realizado el prototipo de vivienda con la fabricación de ladrillos normados en adobe, y un taller para explicar la técnica de refuerzo de paredes con malla metálica. En ese sentido, en el marco de los procesos de cooperación, la componente científica universitaria ha podido verificar in-situ su capacidad de pasar de la teoría a la acción directa.

REFERENCIAS

- Paradiso, M., Milani, P. (2010). *Reconstruir en adobe: análisis, consideraciones y propuestas para la reconstrucción*, Ed. Medina, Florencia.
- Cuadros, C. (2009). *Manual de Construcciones Sismorresistentes en Adobe Tecnología de Geomalla*, Publicación GTZ, CUADROS SAC, Lima.
- Rodríguez Otiniano, A. y Walker Herrera, M. C. (2009). *Módulo Básico de Adobe Reforzado con Geomalla* Proyectos Especiales Sur. DARS-PUCP, marzo 2009, Lima.
- CED-TERRA (1974). *Proposta di Modifica alla legge 2 Febbraio 1974, n° 6, recanti provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*.
- IGP (2008). *La geofísica y su aporte en la reducción de riesgos de desastres naturales*. Simposio Internacional: terremotos, volcanes, tsunamis, deslizamientos, sismicidad inducida y efectos asociados, Hernando Tavena Editor, Arequipa, 12-13-14 Agosto 2008.
- Taverna, H. (2008) *El terremoto de Pisco, Perú, del 15 agosto de 2007 (7.9 Mw)*, Instituto Geofísico del Perú, junio 2008, Lima.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (2009). *Educación, organización y preparación comunitaria para la reducción del riesgo*, Editoria ABC Perú S.A.C., Septiembre 2009.
- ITDG (2008). *Reconstrucción con prevención. Qué hacer, qué no hacer en la reconstrucción de viviendas luego de un sismo*, ITDG, Lima.
- Guzmán Negrón, E. (2009). *Sistema constructivo empleado en la reconstrucción posterior al sismo del 15 agosto 2007 en la región de Ica*, ITDG, Lima.

**ANEXO.
PERÚ Y EL SISMO DEL 2007**

De las placas tectónicas existentes, la de la costa oeste sudamericana es una de las zonas más importantes desde el punto de vista sísmico a causa de la considerable velocidad con la que se mueven la placa de Nazca y la placa Sudamericana, en un orden de 8 cm. al año. La placa de Nazca se extiende desde Panamá hasta el sur de Chile; mientras que la placa Sudamericana nace en la fosa marina del Perú y se extiende a lo largo de la costa sudamericana hasta la cordillera del Atlántico Sur. La constante fricción de estas placas ha dado origen a los terremotos más violentos conocidos en la historia del Perú y de Sudamérica: desde la conquista española en el siglo xv se ha registrado más de 2500 terremotos significativos.

Los fenómenos sísmicos en el territorio peruano son el resultado de la interacción de estas dos placas que forman parte del Círculo de Fuego del Pacífico, toda la actividad sísmica del país y volcánica al sur del Perú es el resultado del proceso orogénico que dio origen a la Cordillera Andina y que persiste hasta nuestros días. Cabe recordar que todos los sismos ocurridos en Perú, de una intensidad mayor a 8 grados en la escala Mercalli, generaron maremotos y produjeron daños a lo largo de la costa peruana; en la parte central en 1586, 1687 y 1746, que destruyeron la ciudad de Lima y provocaron maremotos con olas de 15 a 20 m de altura.

Los sismos más importantes de la región sur, registrados en 1604, 1784 y 1868, destruyeron la ciudad de Arequipa, Moquegua, Tacna y el norte de Chile; el de 1868 se sintió desde Ecuador a Chile, produciendo un maremoto con olas de 15 m. En las regiones internas los sismos causan efectos colaterales, como fracturas y deslizamientos de tierra de diverso tipo, siendo los más frecuentes las caídas de rocas y deslizamientos de terreno se desplazan a gran velocidad afectando extensas áreas. Como consecuencia, el material que se desprende, unido al agua que recoge a su paso, dan origen a los aluviones, el más significativo registrado en la historia peruana afectó la ciudad de Yungay y fue consecuencia del terremoto del 1970, que causó la muerte de 67.000 personas en el Departamento de Ancash.

En Perú, son muy frecuentes los casos de desplazamiento/deslizamiento del terreno, el fenómeno de licuefacción del suelo, los aluviones y las fracturas en el suelo (fenómenos geodinámicos asociados a un sismo) y han causado daños a la población e infraestructuras como vías de acceso, redes de agua, desagüe, y otras relacionadas a la agricultura, ganadería y canales de riego. La frecuencia de los sismos en la costa occidental sudamericana se debe al proceso de fricción de ambas placas, cuando las fuerzas que las movilizan son mayores al total de las fuerzas que se oponen, el deslizamiento de una placa sobre otra se transforma en un sismo, tanto más violento cuanto mayor es la longitud de la placa que se desplaza sobre la otra.

El proceso de fricción de la placa Nazca y la placa Sudamericana se lleva a cabo a lo largo de toda la superficie de contacto, sobre una longitud de aproximadamente 5.000 km; sin embargo el movimiento que da origen a los sismos involucra segmentos de longitud menor, llamadas zonas de subducción; las superficies de fricción no son visibles porque se encuentran debajo del nivel del mar.

Se debe entender que, debido a la heterogeneidad de las placas, la distribución espacial de las áreas involucradas en la ruptura no es aleatoria así como no lo es el avance lineal de las dos placas. Los sismos, por su parte, ocurren de manera casual sobre la superficie de fricción y a ello precisamente se debe la peligrosidad, al desconocer el lugar donde se producirá el sismo. Sin embargo, la distribución espacial de los grandes sismos y sus áreas de ruptura permiten prever la presencia de otras áreas, con diferentes geometrías, que podrían estar afectadas y producir un sismo de gran magnitud en el futuro.

Miércoles 15 de agosto 2007, a las 6:40 p.m., un sismo de 8 grados de magnitud MW golpeó la costa central de Perú: el terremoto de Pisco e Ica, causando severos daños a las ciudades de Pisco, Ica, Cañete y Chincha. La onda expansiva se sintió en Lima y el epicentro se localizó a 60 km al oeste de la ciudad de Pisco, 13.76° de latitud Sur y 76.97° de longitud Oeste. El mapa de intensidad del sismo se realizó con informaciones de más de 70 ciudades en todo Perú. El sismo, además de golpear las ciudades citadas, se sintió a lo largo de la costa de Piura (al Norte), Arequipa (al Sur), Quito (Ecuador), La Paz (Bolivia) y Manaos (Brasil) según la información divulgada del U.S. Geological Service. El terremoto de Pisco causó severos daños al interno del área mesosísmica. De acuerdo a las evaluaciones del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) del 13 de noviembre 2007, el sismo afectó a 320000 personas, causando la muerte de 519 y 1291 heridos, con 48208 construcciones destruidas y 45813 dañadas en diverso grado.

La mayor parte de daños y pérdidas se constató en Pisco, donde según las estimaciones el 80 % de las estructuras colapsaron o fueron gravemente dañadas, registrándose la mayor parte de los daños en las construcciones de adobe. Al terremoto siguió un tsunami, verificándose olas de entre 5 y 10 m de altura en la Laguna Central, 30 km al sur de Paracas, y 8 réplicas de 5-6 grados de magnitud en escala Richter. Las sucesivas réplicas llegaron a 250 y se verificaron en la semana sucesiva al terremoto distribuyéndose en un área rectangular de 170x130 km orientada en dirección Sureste. Estas réplicas son prueba ulterior que el sismo fue causado por un gran movimiento de subducción de las placas de Nazca y Sudamericana, con otros efectos devastadores en la población y el paisaje, por ejemplo la licuefacción del suelo, derrumbes y deslizamientos que originaron daños en edificios y carreteras, con posteriores inconvenientes.