Informes de la Construcción
Vol. 61, 515, 59-65,
julio-septiembre 2009
ISSN: 0020-0883
eISSN: 1988-3234
doi: 10.3989/ic.09.006

Ensayo en Lima (Perú) de edificio de adobe sismorresistente construido con el sistema de albañilería integral

The integral masonry system with adobe block tested in Lima for earthquake resistance

B. Orta(*), J. M. Adell(**), R. Bustamante(**), A. García(**), S. Vega(**)

RESUMEN

Este artículo presenta una aplicación del Sistema de Albañilería Integral (SAI), desarrollado en Europa bajo la marca "AllWall System" para muros de albañilería de ladrillo o bloque, cerámico o de hormigón, empleando sólo mortero. En este caso el sistema se modifica para adaptarlo al adobe y permitir la construcción de viviendas sismorresistentes en países en desarrollo.Cuando el relleno empleado es de adobe, es imposible transferir las tensiones de los refuerzos por adherencia de las barras debido a que estas estructuras carecen de mortero. Se hace necesario que las armaduras transmitan los esfuerzos entre sí. Las armaduras, en forma de cercha, se pueden cruzar en las tres direcciones del espacio, lo que permite la construcción de muros y forjados. De esta manera sólo se necesita un posterior relleno con bloques de adobe o el tablero del forjado para que el conjunto tenga la rigidez suficiente. Para verificar la seguridad de este nuevo tipo de edificación para su construcción en zonas sísmicas del tercer mundo, se ha ensayado a sismo un prototipo realizado con el sistema SAI con adobe, de 6x6x6 m y dos plantas a escala 1/2 en la PUCP (Pontificia Católica Universidad del Perú) de Lima en colaboración con la UPM (Universidad Politécnica de Madrid). Los resultados de este ensayo muestran que el SAI con adobe permanece estable sin grietas significativas ante un sismo severo de 130 mm de desplazamiento (equivalente a un sismo de 10° en la escala de Richter).

650-6

Palabras clave: sistema de albañilería integral, estructura antisísmica, adobe, armado sismorresistente, adobe armado.

SUMMARY

This paper presents an adaptation of the Integral Masonry System (IMS) developed in Europe under the "AllWall System" trade name for concrete or clay, block or brick masonry walls using just mortar. In this case the system is modified for an adobe block infill to allow the construction of earthquake resistant housing in developing countries. When adobe block is employed as an infill it is impossible to transfer the bond stresses of the reinforcement bars as these structures are not bonded with mortar and the reinforcement then has to transfer the stresses purely within the reinforcement. The truss-shaped reinforcement may intersect in the three spatial directions and allow the construction of reinforced walls and slabs. It is then only necessary to infill with locally made adobe blocks or flooring in order to provide sufficient rigidity to the structure. A two-storey, 6x6x6 m, adobe building employing the IMS system has been tested for earthquake resistance at half scale at the PCUP (Pontificia Universidad Católica del Peru) in Lima in collaboration with the UPM (Universidad Politécnica de Madrid) to test the viability of this new type of building construction for seismic areas in the Third World. The test results have shown that the IMS system with adobe block remained stable without significant cracking even under 130 mm displacement seismic movement, equivalent to 10.0 on the Richter magnitude scale.

Keywords: *integral masonry system, anti-earthquake structure, adobe, reinforced earthquake resistance, reinforced adobe.*

(*) Doctor Arquitecto, Dpto. Estructuras de Edificación (UPM) (Madrid, España)
(**) Doctor Arquitecto, Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas (UPM) (Madrid, España)

Persona de contacto/*Corresponding author*: belen.orta@upm.es (B. Orta)

Fecha de recepción: 23-02-09
Fecha de aceptación: 01-06-09

1. Vivienda a ensayar.

1. ANTECEDENTES

En mayo de 2005, profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, presentaron en el Seminario Internacional SismoAdobe 2005 (2), organizado en Lima, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, la ponencia "La vivienda de adobe sismorresistente con el Sistema de Albañilería Integral", un nuevo sistema constructivo ideado para países en desarrollo, basado en los materiales del lugar, aunque armados con una nueva técnica. Recientemente, en el año 2007 se ha planteado una variante aplicable con tierra en Bangolore, India (3).

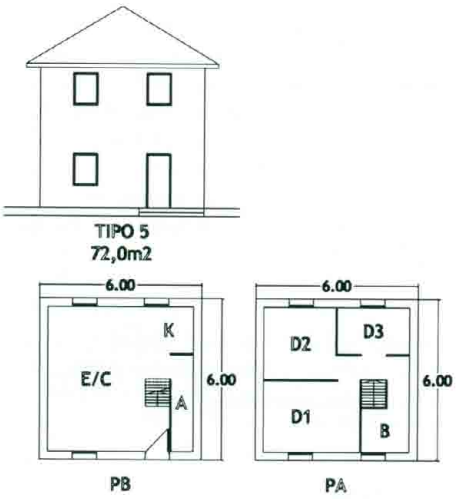
El seísmo ocurrido en Pisco (Perú) en agosto del 2007, puso de actualidad la necesidad de experimentar la propuesta presentada en su día, con el fin de poder implantar este sistema constructivo alternativo que posibilita la reconstrucción de las viviendas derruidas por el seísmo, con la seguridad necesaria ante cualquier otra catástrofe posible.

2. OBJETIVOS

Se ha escogido para ensayar, la vivienda Tipo 5 (Figuras 1, 4 y 5) de las 6 planteadas en 2005 (2), de 72 m² construidos (58 m² útiles), dos plantas de altura y 3 dormitorios, por tratarse de un volumen cúbico. Tiene 6 m de lado, perfectamente adaptable a las posibilidades de ensayo de la mesa sísmica del laboratorio (cuadrada de 4 m de lado), que permite ensayar el conjunto de la vivienda a escala 1/2.

Los objetivos fundamentales de este proyecto son tres:

El objetivo inmediato consiste en validar experimentalmente la nueva tecnología constructiva.



1

El objetivo técnico para solucionar la problemática actual a medio plazo y ofrecer una solución constructiva alternativa a la actual, que dé garantías de fiabilidad frente a desastres naturales y que tenga el mínimo coste, añadiendo sólo el coste del armado necesario.

Y un objetivo constructivo de solucionar la vivienda social a largo plazo, ofreciendo a las sociedades en vías de desarrollo, un sistema constructivo sencillo de viviendas, con unas tipologías adaptadas a su forma de vida, con costes mínimos de ejecución, dando una fácil opción de autoconstrucción que no requiere hormigón.

3. CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO

La tecnología de armado empleada, consiste en un trenzado de armaduras prefabricadas en forma de cercha, con alambres longitudinales y transversales en zig-zag, de acero B-500-S, ya soldados entre sí y con un recubrimiento galvanizado que evita su corrosión. Se utiliza el mismo sistema en muros y en forjados (Figura 2 y Figura 3).

La conexión entre estas cerchas prefabricadas de 5,85 m de longitud, se hace manualmente mediante tornillería diseñada para el caso. Hay que resaltar que la novedad de este sistema constructivo reside en que los esfuerzos entre las armaduras, no se transmiten por la colaboración del hormigón, que no existe, ni siquiera por el adobe que poco puede contribuir a ello, sino por medio de la tornillería que permite solidarizar el conjunto de las cerchas horizontales y verticales de la edificación.

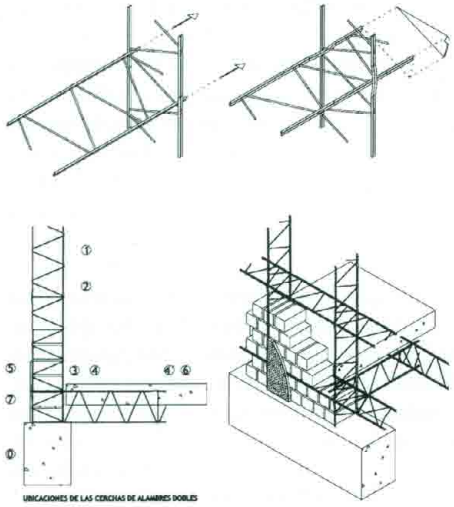
Posteriormente se rellenan los intersticios con adobe local. Las piezas de adobe se realizan con una proporción de tierra-arena-paja 5:1:1., se estima que el adobe pueda tener una resistencia a compresión entre 0,03 a 0,05 kN/cm² y un peso específico de18kN/m³ (Figura 6).

El dimensionado elegido es el siguiente:

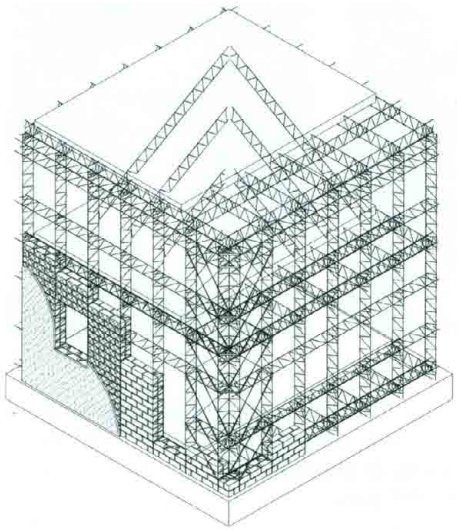
- Armadura del modelo de ensayo (3x3x3m): 2 alambres longitudinales de 5 mm a cada lado de una cercha de alambre en zig-zag de 5 mm separados 150 mm. Muro de adobe de 15 cm de grueso. La disposición del armado de paredes y forjados es cada 45 cm, en vertical y horizontal,

- Esto corresponde con una armadura del edificio a escala real (6x6x6m): 2 alambres longitudinales de 10mm a cada lado de una cercha de alambre en zig-zag de 2 alambres de 5 mm, separados 300 mm. Muro de adobe de 30 cm de grueso. La dispo-

Informes de la Construcción, Vol. 61, 515, 59-65, julio-septiembre 2009. ISSN: 0020-0883. eISSN: 1988-3234. doi: 10.3989/ic.08.018



2



3

2. Esquema de armado.

3. Vista en 3D del modelo a ensayar.

4. Sección (izquierda), alzado (derecha) del modelo a escala real.

5. Plantas del modelo a escala real.

6. Aspecto del prototipo en fase de ejecución.

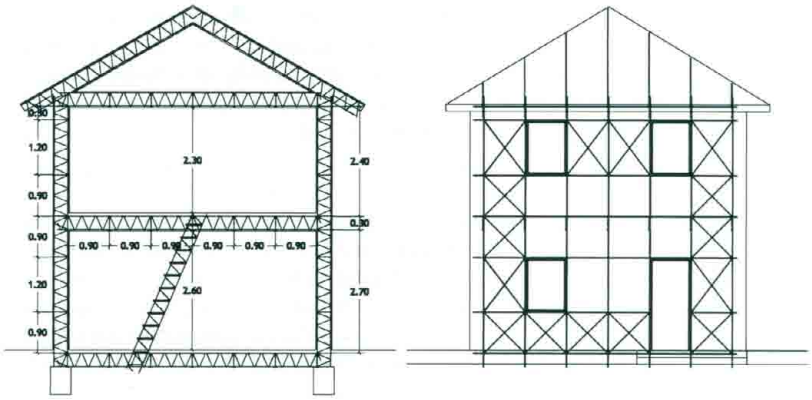
sición del armado de paredes y forjados, de 45 cm del prototipo se corresponden con una separación de 90 cm en la realidad. Módulo que permite abrir puertas y ventanas y paso de escaleras, con dicha organización estructural en un edificio habitable.Por lo tanto, el área de las armaduras longitudinales ensayadas están a escala con relación a la correspondiente de la realidad 4 veces mayor. El área de las cerchas en zig-zag, sólo es 2 veces más en la realidad.Los cálculos ya realizados frente a la acción sísmica, sobre la aplicación de esta nueva tecnología, ofrecen un resultado teórico muy esperanzador, por lo que se propone ensayar directamente un prototipo de vivienda completo, ya que previamente cada uno de sus elementos metálicos ya se han ensayado por separado en Europa.

En el prototipo los forjados no se ejecutan en su totalidad, sólo se dispone la parrilla de armado y el relleno, acabados y sobrecargas se simulan con carga adicional con sacos de arena (Figura 7, pág. siguiente). Dos de los muros se enfoscan (uno frontal y otro lateral a la acción sísmica) con una malla polimérica (4) al interior y exterior del muro unidas por unas tiras de rafia que atraviesan el muro y que las ata (Figura 7).

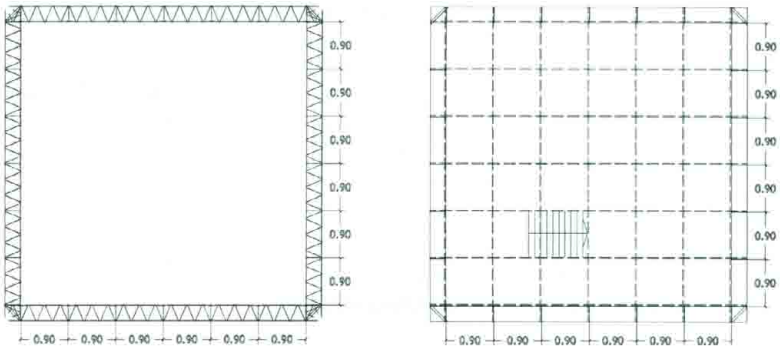
El proceso constructivo es muy sencillo, debido a la ligereza de las piezas, tanto las cerchas (unos 3 kg la cercha de 5,85 m) como los adobes se puede montar con solo dos personas en un proceso muy rápido gracias a la prefabricación de las armaduras (13 días el montaje de la estructura metálica y 9 días la colocación de los adobes).

4. PLAN DE ENSAYO PROPUESTO

El ensayo se realiza en la mesa sísmica del Laboratorio de Estructuras antisísmi-

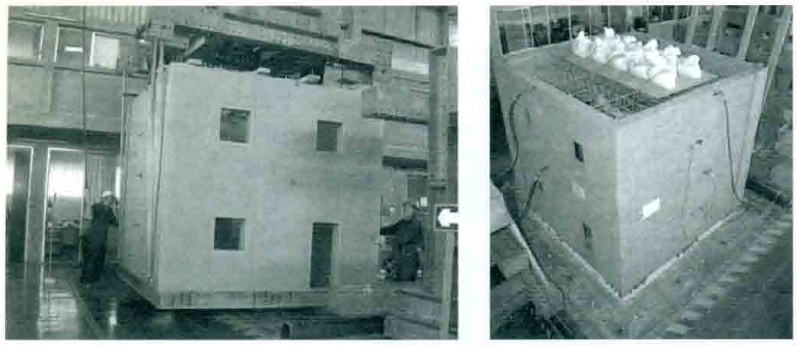


4



5

6



7

7. Prototipo terminado, antes del ensayo.

8. Movimiento de la plataforma del simulador con señal "mayo70co", con 20 mm de despalzamiento máximo.

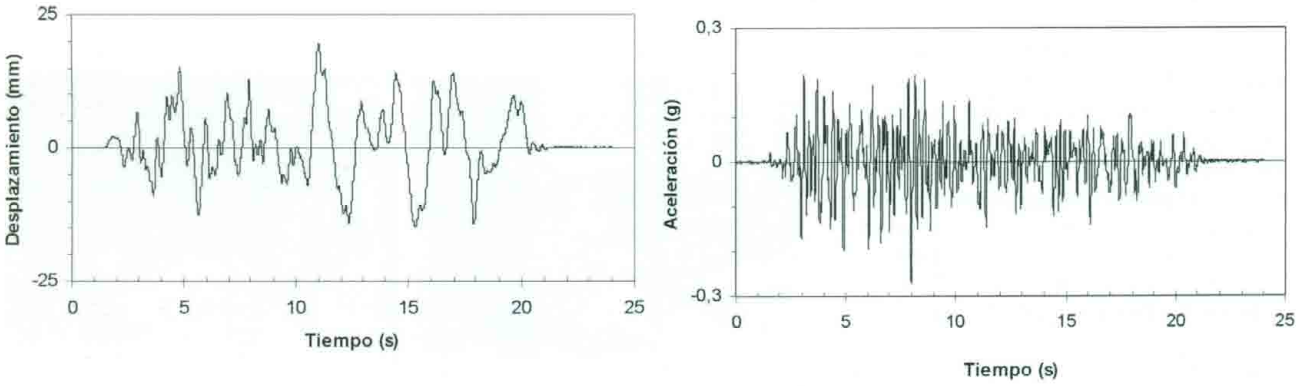
cas del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, que es la entidad más representativa dentro del país. La mesa tiene un solo grado de libertad (de los seis de un sismo real), el desplazamiento en un sentido. Este proyecto de investigación, de referencia AL08-P(i+D)-01, se lleva a cabo gracias a la financiación, estándolo por la Universidad Politécnica de Madrid, dentro del programa de ayudas para la realización de actividades con Latinoamérica, proyectos I+D en la convocatoria del 2008.

El prototipo se dispone de manera que las fachadas con huecos (puerta y ventanas) quedan perpendiculares al sentido del movimiento y las fachadas ciegas en paralelo. El movimiento (señal de comando) que se aplica a la plataforma del simulador proviene de la componente longitudinal (N8°O) de la aceleración medida en Lima del Terremoto de Ancash del 31 de mayo de 1970. El registro original, obtenido en un acelerógrafo analógico, fue procesado por el United States Geological Survey (USGS) para obtener una aceleración digital corregida, que sirvió de base para generar la señal de comando denominada "mayo70" (el estándar en el citado Laboratorio). Debido a que se ensaya un modelo a escala, se utilizó una versión comprimida en el tiempo de esta señal ("mayo70co") modificando sus frecuencias fundamentales en función de las de la estructura escalada.

De esta manera se pasa de 100 puntos por segundo de la señal original a 133,3 puntos por segundo en la señal modificada, de acuerdo al factor de escala físico (1/2) del prototipo. Como consecuencia de esta operación, para un desplazamiento determinado, la señal comprimida ("mayo70co") produce aceleraciones mayores que la señal original.

En la Figura 8 se muestran el desplazamiento y la aceleración en la plataforma del simulador, sin carga, cuando actúa "mayo70co". El ensayo dinámico se realizó en una secuencia de movimientos (fases) de amplitud creciente, con la misma señal de comando. Cada fase se define por el desplazamiento máximo absoluto alcanzado. Inicialmente se programaron tres fases, cada una de ellas asociada a lo que serían, en orden creciente de intensidad, un sismo frecuente (leve), uno ocasional (moderado) y uno raro (severo). En el caso de "mayo70co", esos movimientos corresponden a desplazamientos máximos de 20, 50 y 80 mm, respectivamente. Las aceleraciones esperadas en la base del módulo para esos desplazamientos son 0,3 g; 0,7 g y 1,1 g, aproximadamente.

En principio se programó una cuarta fase, en caso de que el módulo se mantuviera en buen estado tras las tres fases señaladas, repitiendo el terremoto severo (desplazamiento máximo de 80 mm). Sin embargo, durante la ejecución de las tres primeras fases se observó que el comportamiento de la parrilla horizontal intermedia no era el esperado, el de un forjado, por lo que los muros estarían trabajando con la altura de 3 m, análogo a un modelo a escala natural, de ahí que finalmente se sometiera el conjunto a la señal del comando original "mayo70" con una amplitud máxima de 130 mm (capacidad máxima del simulador, equivalente a un sismo de 10° en la escala de Richter) con una aceleración estimada en la base de 1,8 g. En los muros se colocan los instrumentos de medición (Figura 9), donde A0-A8 son acelerómetros y D0-D10 miden desplazamientos relativos.



8

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El estado final del prototipo ensayado se puede observar en las Figuras 9 a 13, págs. siguientes. El prototipo se agrieta significativamente con el mayor desplazamiento aplicado, 130 mm, sin perder la estabilidad. Las grietas se producen marcando las armaduras, en la parte baja tienden a la diagonal. Las grietas son más finas en la zona más alta y mayores cuanto más cerca está de la base (Figura 10), como cabía esperar. Los muros perpendiculares a la acción sísmica, los que tienen los huecos, son los que menos se agrietan. En los muros transversales, ciegos, colabora el adobe en la resistencia del sismo que permanece confinado en los espacios entre cerchas. Los forjados no están colaborando como se esperaba debido a que no se han ejecutado en su totalidad y, por lo tanto, carecen de resistencia compresión. El comportamiento del muro con malla polimérica y enfoscado es muy similar al que sólo tiene adobes. La zona más dañada son las esquinas, donde el muro se hace sólo con adobes cuadrados sin aparejar con el resto del muro.

Los valores máximos de los instrumentos de medición se dan en la Tabla 1, indicando el valor y el momento del ensayo en que se produce. Se observa que las aceleraciones que se registran superan en algunos puntos los valores estimados a priori y siempre superiores a la aceleración sísmica normada que en Perú es de 0,4 g.

Los desplazamientos relativos D7 a D10 marcan la apertura máxima de las grietas medidas durante el ensayo, siendo el valor máximo de 0,4 mm en fase 1 y 2; 3,8 mm en fase 3 y 4,1 mm en la fase 4. Los desplazamientos máximos medidos en la coronación del modelo son ligeramente superiores a los aplicados en la base.

Las cerchas que están confinadas entre el muro de adobe no sufren deformaciones, sin embargo, las que no tienen esta situación por limitar con los huecos sufren deformaciones por pandeo de las barras comprimidas (Figura 13).

6. CONCLUSIONES

Los resultados de este ensayo muestran que el SAI con adobe tiene un comportamiento sismorresistente frente a la solicitación dinámica del simulador, la estructura permanece estable por lo que se logra el objetivo buscado. El prototipo se agrieta significativamente, con grietas medidas del orden de 4 mm (fases 3 y 4). El estado final es tal que, reparando las grietas provocadas, se puede prolongar su vida útil y soportar sismos futuros. Por lo tanto es un sistema parece idóneo para la construcción de viviendas en zonas sísmicas. Para validar con seguridad el sistema constructivo sería necesario probar un modelo a escala natural. Debido a las características de la mesa sísmica sería necesario además probar el modelo con una arquitectura más crítica, es decir, con los vanos colocados en los muros paralelos a la dirección del movimiento.

El refuerzo adicional de malla polimérica de maneara generalizada parece innecesario a

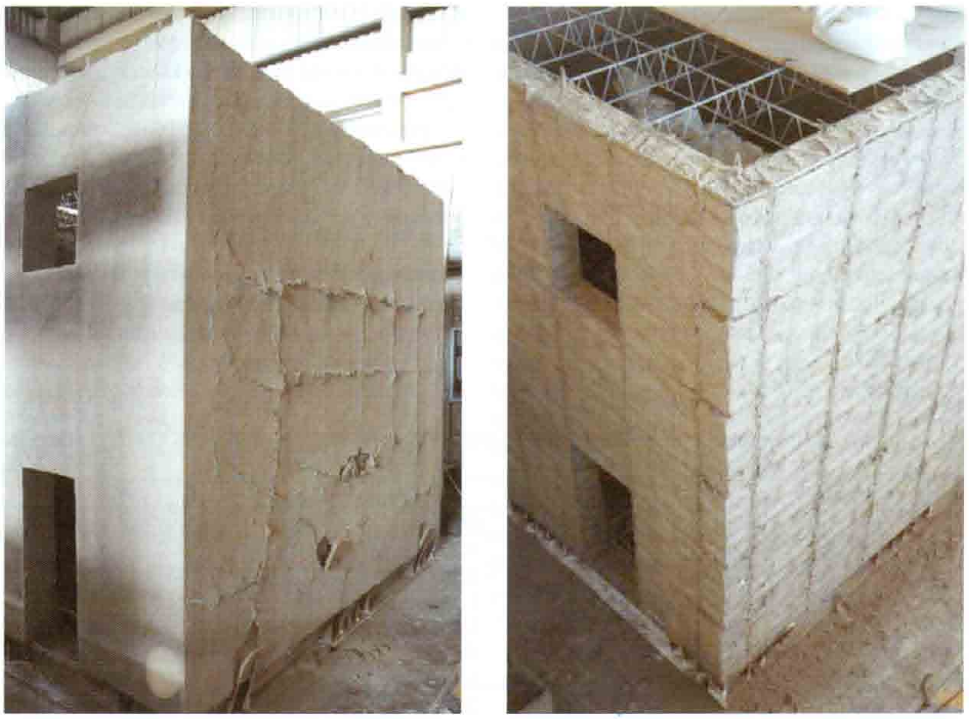
Tabla 1

Valores máximos de los instrumentos de medición (A0-A8 acelerómetros y D0-D10 miden desplazamientos relativos).

INST.	FASE 1		FASE 2		FASE 3		FASE 4	
	MÁX.	t (s)	MÁX.	t (s)	MÁX.	T (S)	MÁX.	t (s)
A0 (g)	0,281	7,49	0,733	7,49	1,173	7,355	1,181	9,585
A1 (g)	0,581	7,715	0,962	5,575	1,258	7,52	1,399	6,265
A2 (g)	1,1126	7,715	1,779	2,695	3,155	7,39	2,737	6,58
A3 (g)	0,501	7,505	1,295	8,105	2,213	7,575	2,168	4,16
A4 (g)	0,746	7,685	1,091	2,665	1,752	7,7	1,917	4,515
A5 (g)	0,509	7,765	1,501	8,11	3,062	7,58	3,370	9,86
A6 (g)	1,638	7,685	3,212	4,025	3,330	3,53	2,787	4,21
A7 (g)	0,727	7,71	1,097	3,97	1,396	7,53	1,484	6,26
A8 (g)	1,300	7,705	2,075	2,69	3,195	7,445	2,940	6,565
D0 (mm)	20,56	10,57	50,46	10,575	82,29	10,425	129,56	13,69
D1 (mm)	20,67	10,615	59,72	10,585	93,25	10,435	158,88	13,705
D2 (mm)	22,66	17,495	65,35	10,595	138,89	10,445	189,83	13,71
D3 (mm)	20,49	10,575	54,05	10,57	96,65	10,445	147,94	13,73
D4 (mm)	21,12	10,655	62,13	10,6	114,52	10,445	164,88	13,7
D5 (mm)	20,72	10,575	54,46	10,575	102,31	10,445	156,30	13,705
D6 (mm)	26,43	17,495	70,72	10,645	142,51	10,49	189,49	13,69
D7 (mm)	0,072	6,89	0,067	15,71	0,25	7,475	0,358	8,125
D8 (mm)	0,094	6,885	0,081	8,54	3,761	5,545	0,734	4,84
D9 (mm)	0,352	7,735	0,406	2,71	0,536	17,73	4,079	7,17
D10 (mm)	0,122	7,74	0,348	2,725	0,315	5,54	0,437	9,795

9

10



11

9. Ubicación de instrumentos de medición en muros.

10. Fisuración de muros al final del ensayo.

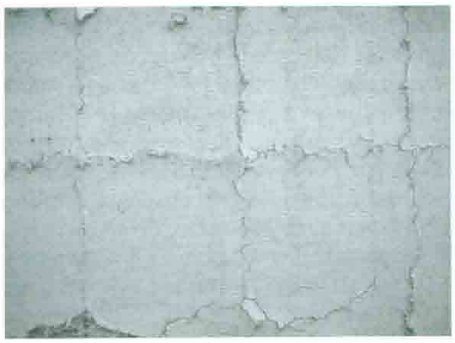
11. Aspecto del modelo después del ensayo.

pesar de la falta de continuidad del muro por la presencia de las cerchas verticales.

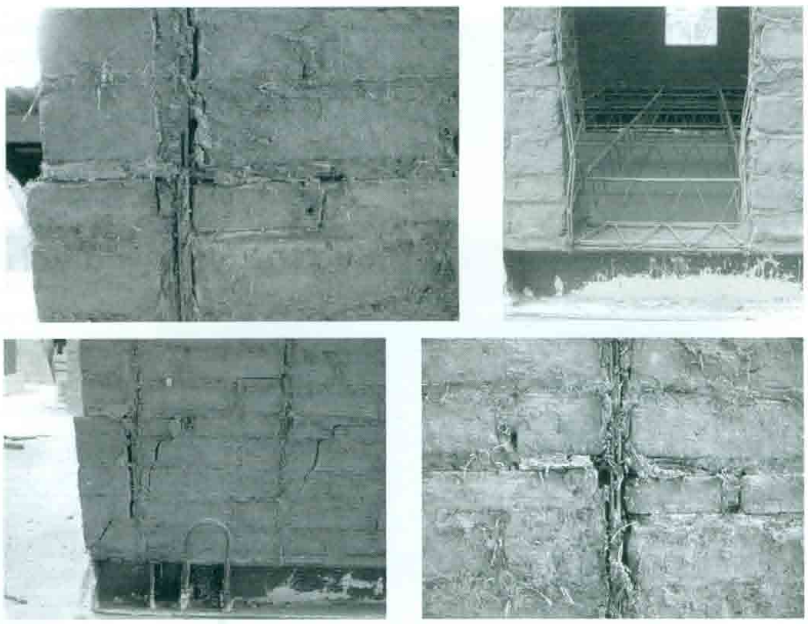
En las esquinas, al ser la zona más dañada donde el adobe no se encuentra confinado por las cerchas, si mejora la respuesta con el refuerzo de malla. Por otra parte, las cerchas que no están rodeadas de adobe, en la zona de los huecos, sufren deformaciones por pandeo por lo que necesitarían un mayor atado. Por otra parte el sistema constructivo ha resultado de fácil puesta en práctica, a pesar de ser la primera utilización del sistema en el país, los operarios asimilaron sin mayor dificultad el procedimiento.

AGRADECIMIENTOS

Por parte de la PUCP han colaborado en este proyecto de investigación el equipo a



12



13

cargo de Marcial Blondet del Departamento de Ingeniería, agradecer en especial el trabajo de Francisco Ginocchio por la documentación de los resultados del ensayo. Agradecer su colaboración al personal de laboratorio de Estructuras Antisísmicas del citado departamento, dirigido por Gladys Villa García, y a los alumnos Yalí Barrera Candela (alumno de pregrado de la especialidad de Ingeniería Civil) asistente del proyecto, colaborando en la supervisión de todas las etapas del trabajo y en el procesamiento de los datos del ensayo; Elisa Quintanilla (estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil) por su labor en el procesamiento de datos y su apoyo el día del ensayo, José Pérez Costa y Fidel Loyola (de pregrado), y Julio César Chang (de postgrado), por su colaboración el día del ensayo.

12. Grietas tras la fase 4 marcando las cerchas.

13. Detalles tras el ensayo, esquinas (izquierda), puerta (arriba derecha) y cercha interior (abajo derecha).

BIBLIOGRAFÍA

(1) Adell, J. M. "La fábrica armada" Ed. Munilla-Lería. Madrid, 2000.

(2) Adell J. M., Bustamante R., Dávila D., "La vivienda de adobe sismorresistente con el Sistema de Albañilería Integral", Seminario Internacional SismoAdobe, Lima Perú, 2005.

(3) Adell, J. M. Bustamante R. A. García Santos, B. Lauret, S. Vega "The Integral masonry system with earth-based materials: Rubble based earthquake resistant construction" Proceedings of International Symposium on Earthen Structures, Bangalore, India, 2007.

(4) Blondet, M., Torrealva, D., Villa García, G., Ginocchio, F. y Madueño, I. "Reforzamiento de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente: Estudio preliminar." PUCP. Lima, Perú, 2004.

(5) Adell, J. M., Lauret, B. "El sistema de albañilería integral AllWall con BHH/BLOC+". Informes de la Construcción. Vol. 57, nº 495 (2005), pp. 33-43.

* * *