

Earthquake - Integral Masonry System tested in Lima: Buildings behaviors of Adobe & Hollow Brick.

ADELL, JOSEP¹; G-SANTOS, ALFONSO²; ORTA, BELÉN³; BUSTAMANTE, ROSA⁴;
PEÑA, JORGE⁵; BLONDET, MARCIAL⁶; GINOCCHIO, FRANCISCO⁷; V-GARCÍA, GLADYS⁸

ABSTRACT:

This paper presents an adaptation of the Integral Masonry System (IMS) developed in Europe under the trade name of the "AllWall System", for adobe without mortar or hollow clay masonry walls with mortar, in order to allow the construction of housing in developing seismic areas.

The prefabricated wire electrowelded galvanized truss-reinforcement is employed in the IMS. This truss-reinforcement may intersect in the three spatial directions and allows the construction of reinforced walls and slabs with these very lightweight and manageable components. These only require infilling with block masonry to provide sufficient rigidity to the structure.

A two-storey 3 m x 3 m x 3 m adobe based integral masonry system has been tested on a seismic plate at one half scale at the PUCP (Pontificia Universidad Católica del Peru) in Lima (2008) in collaboration with the UPM (Universidad Politécnica de Madrid) in order to assure the viability of this new type of building construction for seismic areas. Also similar test has been done with hollow brick in 2009, in the same Universities colaboration.

The comparison of the results of these tests (at 0.5 scale of a 6 m x 6 m x 6 m building) have shown that the Earthquake - Integral Masonry System remains stable without significant cracking in adobe (2008) and without any cracks in hollow brick (2009).

Keywords: *Integral Masonry System, earthquake resistant construction, adobe and hollow brick masonry, prefabricated truss-reinforcement.*

¹ Professor PHD. Architect. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas. josep.adell@upm.es

² Professor PHD. Architect. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas. alfonso.garciasantos@upm.es

³ Professor PHD. Architect. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Estructuras de Edificación. belen.orta@upm.es

⁴ Professor PHD. Architect. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Const. y Tecnología Arquitectónicas. 18447bustamante@coam.es

⁵ Architect. AllWall Systems, S.L. www.allwall.es asesoria@allwall.es

⁶ Professor PHD. Civil Engineer. Pontificia Universidad Católica del Perú. Dpto. Estructuras. mblondet@pucp.edu.pe

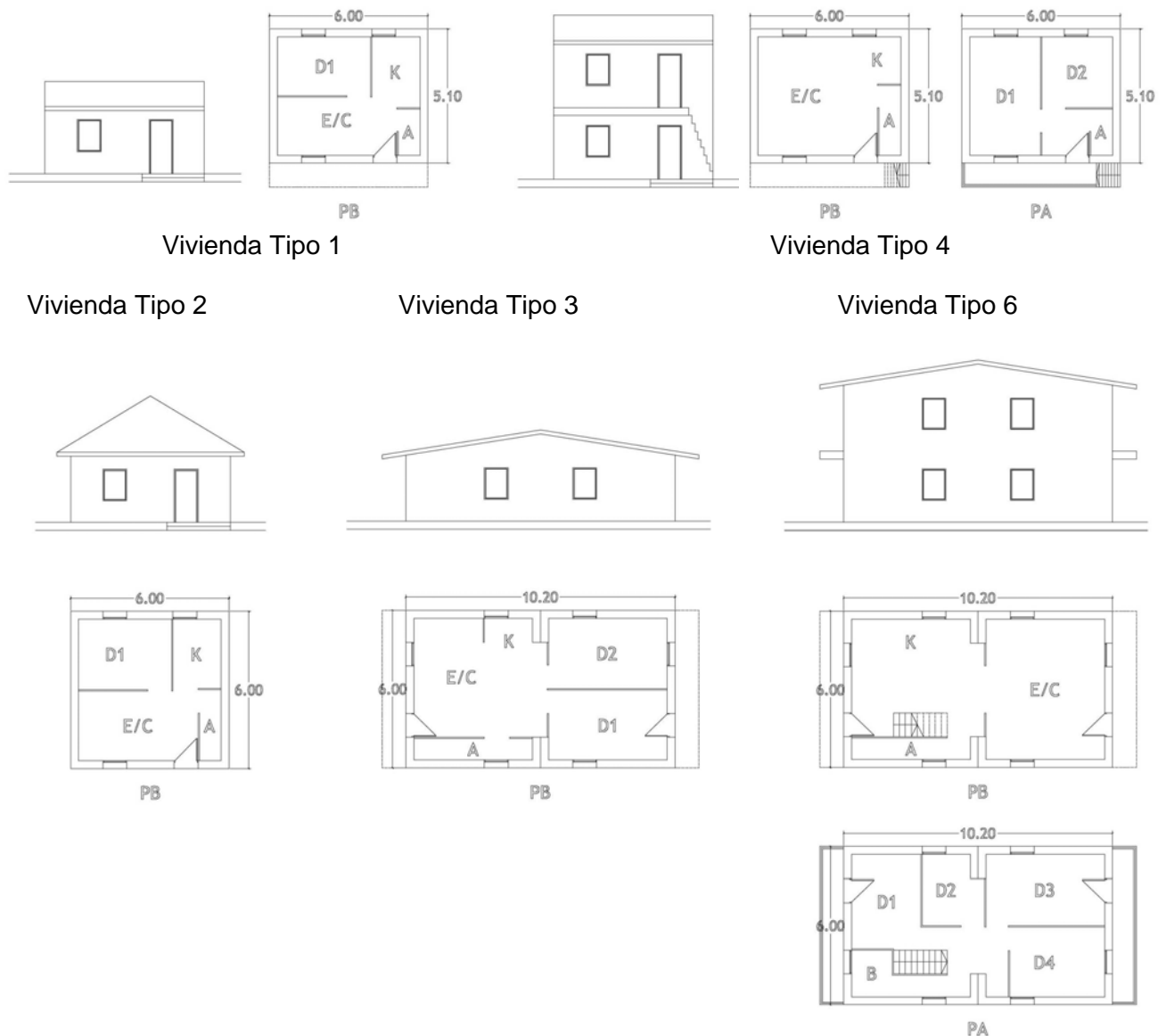
⁷ Professor PHD. Civil Engineer. Pontificia Universidad Católica del Perú. Dpto. Estructuras. fginocc@pucp.edu.pe

⁸ Professor PHD. Civil Engineer. Pontificia Universidad Católica del Perú. Dpto. Estructuras. gvillag@pucp.edu.pe

1 INTRODUCCIÓN

En SismoAdobe 2005 (Lima, Perú) se presentó el diseño de 6 viviendas tipo basadas en las medidas estándar de la Costilla a prefabricar del Sistema AllWall de 5,85m, para transportarse con facilidad en la caja de un camión pequeño (6m), con una ligereza de 8 kg/pieza aprox.

Se plantean viviendas de 1 y de 2 plantas, aprovechando al máximo la longitud de las armaduras de unos 6m, con muros de 30cm de grueso. La modulación estructural puede ser de 30cm y la espacial suele considerarse de 90cm, obteniéndose los siguientes prototipos:



Viviendas de 1 planta:

Tipo 1	5,10 x 6,00m	30,6m ² construidos	24,3m ² útiles	1 dorm.
Tipo 2	6,00 x 6,00m	36,0m ² construidos	29,2m ² útiles	1 dorm.
Tipo 3	2 (5,10 x 6,00m)	61,2m ² construidos	51,3m ² útiles	2 dorm.

Viviendas de 2 plantas:

Tipo 4	2(5,10 x 6,00m)	61,2m ² construidos	51,3m ² útiles	2 dorm.
Tipo 5	2(6,00 x 6,00m)	72,0m ² construidos	58,4m ² útiles	3 dorm.
Tipo 6	2[2(5,10 x 6,00m)]	122,4m ² construidos	102,6m ² útiles	4 dorm.

A continuación se expone en síntesis, la tipología del prototipo nº 5 (6x6x6m) ensayado con el Sistema de Albañilería Integral, con dos materiales de fábrica distintos, adobe y ladrillo hueco.

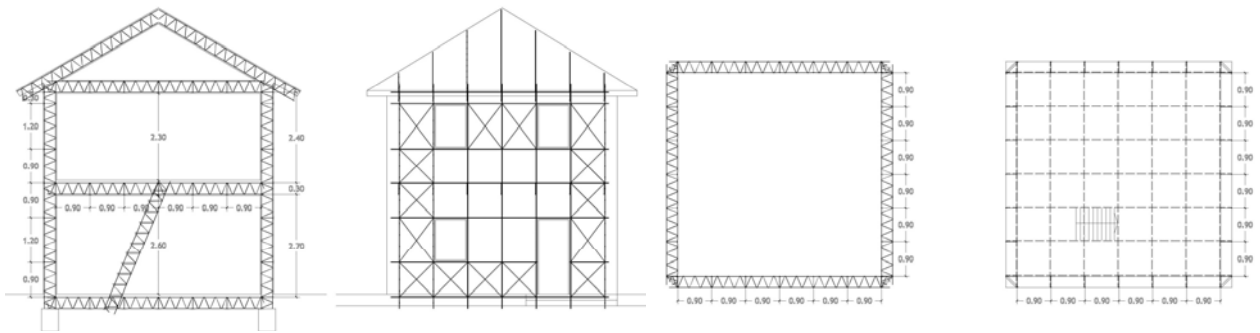


Figure 1. Edificio nº 5 escogido para su ensayo, primero con adobe y después con ladrillo hueco

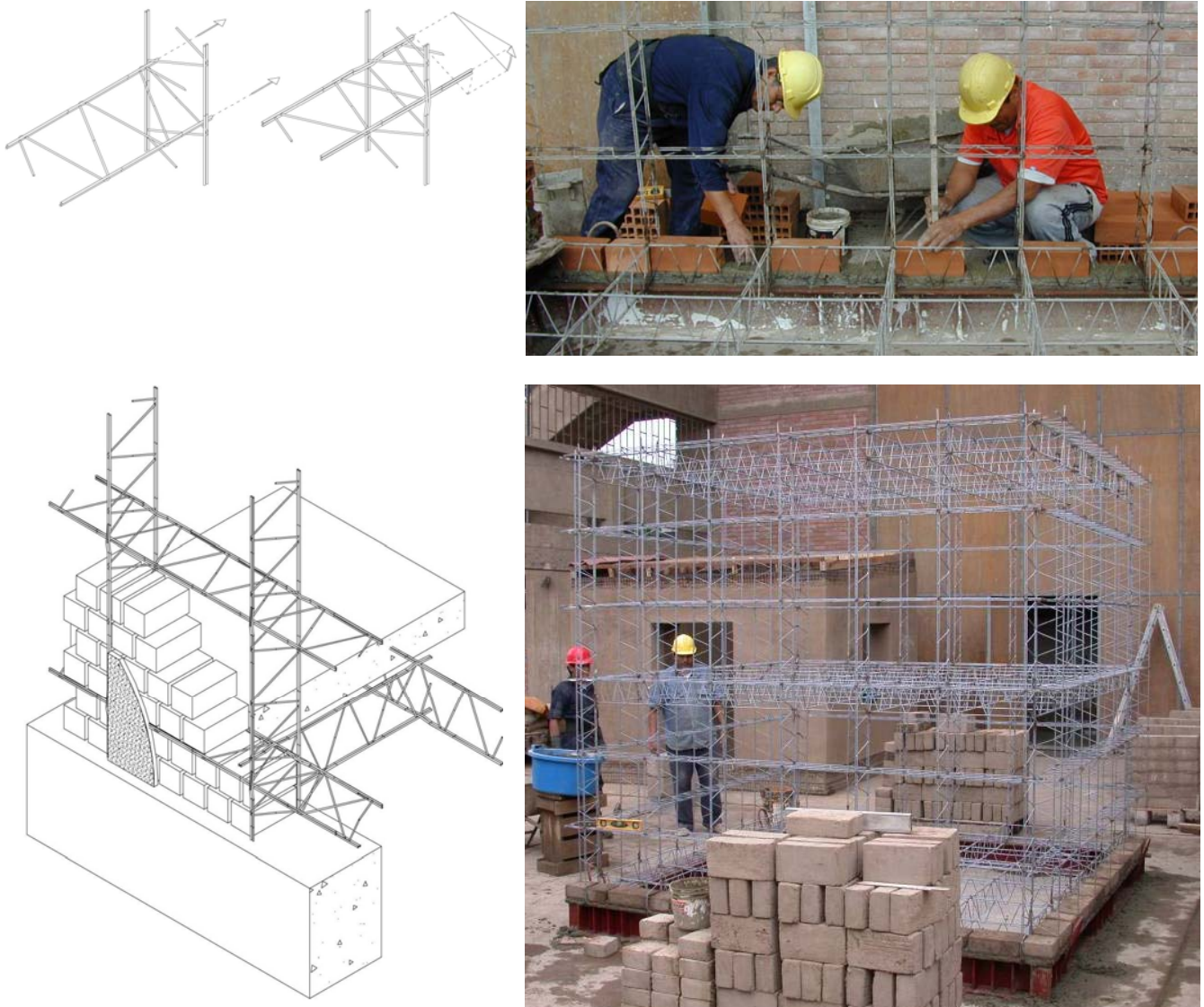


Figura 2. Sistema de Albañilería Integral con su tecnología de trenzado de cerchas prefabricadas en las 3 direcciones del espacio. Permite levantar muros y forjados que se rellenan de adobe, ladrillo hueco o cualquier otro material de fábrica, con alambres galvanizados.

2 OBJETIVOS

El objetivo de este paper, es comparar el buen comportamiento obtenido en los dos ensayos sismorresistentes realizados en Lima (Perú) con el Sistema de Albañilería Integral, sobre el prototipo nº 5 con adobe (2008) y con ladrillo hueco (2009), aplicados a un mismo tipo de vivienda de 72m² de 2 plantas de altura (de 6x6x6m en su tamaño real) y ensayados a escala 0,5 de 3x3x3m, hasta el máximo que ofrece el instrumental del laboratorio de la PUCP.

En ambos ensayos se han empleado las mismas armaduras prefabricadas del Sistema AllWall en forma de cercha, denominadas “costillas”. Ello ha sido posible gracias a reutilizarlas después del primer ensayo con adobe (sin mortero), volviéndolas a emplear (después de quitar el adobe) en un segundo ensayo hecho con ladrillo hueco y mortero de cemento.

Se presentan los dos prototipos ensayados paralelamente para comparar sus diferencias.

3 MATERIALES DE FÁBRICA

3.1. Adobe



Figure 3. Preparación del muro de adobe y sus piezas de 24x12x6cm.

3.2. Ladrillo Hueco



Figura 4. Preparación del muro de ladrillo hueco con perforaciones horizontales de 24x11,5x9,5cm.

4 SAI: SISTEMA DE ALBAÑILERÍA INTEGRAL: CONSTRUCCIÓN

Para el ensayo se han empleado Costillas AllWall galvanizadas de 150mm de ancho, con dobles alambres longitudinales de acero B-500 de 5mm de diámetro, soldadas entre sí cada 150mm, con un alambre en zig-zag, también de 5mm. Estas secciones se corresponden con el escalado del ensayo de la vivienda en su tamaño real.

Para la construcción de cada prototipo de vivienda a ensayar, primero se levanta el conjunto de la malla estructural, donde hay los 4 muros perimetrales y los 3 forjados intermedios (inferior, central, superior) entrelazados entre sí con los muros. Posteriormente, se rellenan los interespacios de la retícula de costillas de 45x45cm (90x90cm en su tamaño real) con las piezas de fábrica sin escalar:

- Con el adobe caben 5 hiladas sentadas sólo con barro, dentro de cada retícula.
- Con el ladrillo hueco caben 4 hiladas sentadas con mortero de cemento, dentro de dicha retícula.

En cada ensayo sólo 2 de los muros se han enfoscado para ver la diferencia de comportamiento.

4.1. El Sistema de Albañilería Integral con Adobe: construcción de la muestra



Figure 5. Para la construcción del muro de adobe, se colocan las piezas dentro de la retícula de las cerchas previamente levantadas, dejando sobresalir bandas de agarre para el enfoscado.

4.2. El Sistema de Albañilería Integral con ladrillo hueco: construcción de la muestra

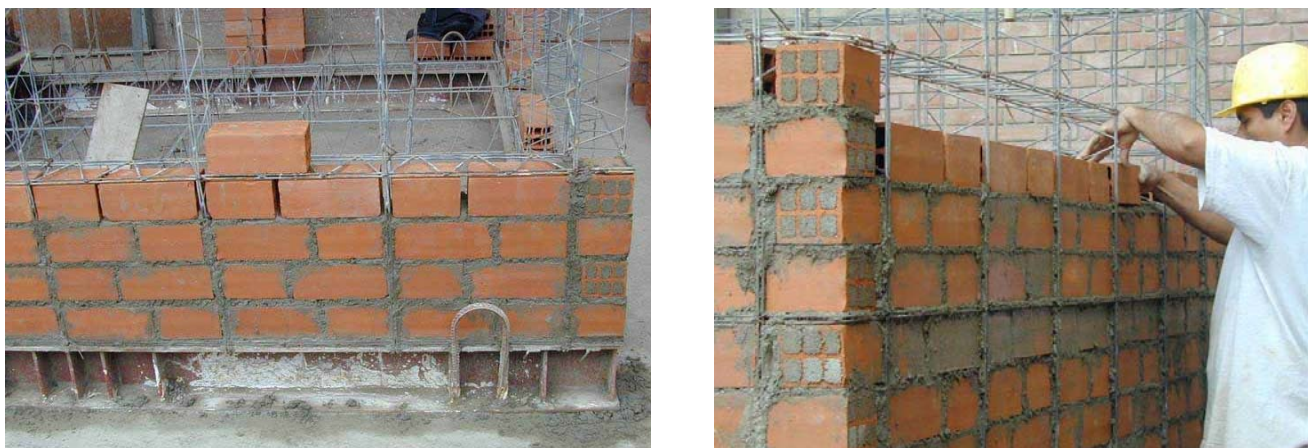


Figura 6. Para la construcción del muro de ladrillo hueco, se colocan las piezas dentro de la retícula de las cerchas previamente levantadas, pudiendo enfoscarse posteriormente.

5 EL SISTEMA DE ALBAÑILERÍA INTEGRAL: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO



Figura 7. Anillo metálico de la planta cuadrada de la vivienda a ensayar y soldado de costillas.

Con el fin de poder construir fuera de la nave del ensayo con los distintos materiales de fábrica, se ha construido un anillo metálico que actúa como cimentación de la vivienda a ensayar (permitiendo levantarla y trasladarla), y que puede fijarse a la mesa de ensayo sísmico para garantizar la transmisión de esfuerzos de vibración. Para asegurar que la vivienda no se mueve de la mesa de ensayo durante el mismo, las Costillas de los muros y el forjado inferior, se han soldado sobre el anillo metálico, que se ha empleado junto con sus armaduras para los dos ensayos de viviendas.

5.1 El Sistema de Albañilería Integral con Adobe: ensayo del prototipo

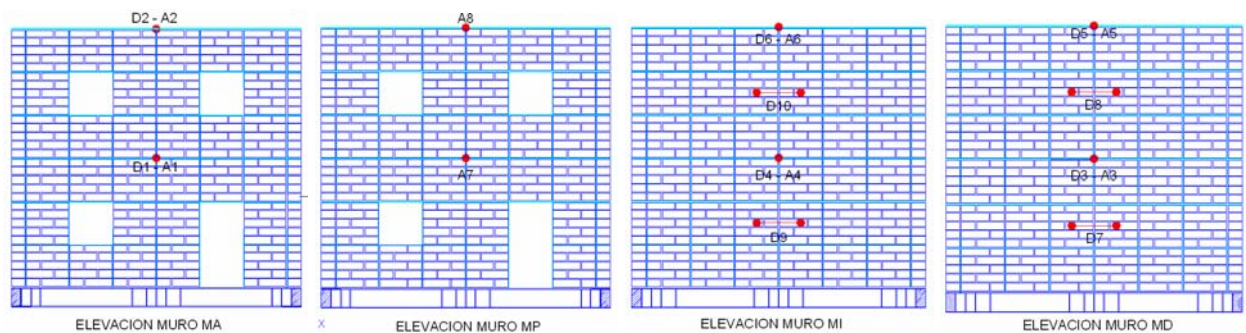


Figure 8. Configuración del edificio a escala 0,5 con sus costillas y adobes vistos.



Figure 9. Construcción terminada, empleando sólo barro y con 2 de las paredes enfoscadas, incluyendo la sobrecarga de los forjados correspondiente a construcción mínima.

El ensayo de la vivienda de adobe (figura 9), plantea unos forjados hechos con las mismas Costillas pero con una menor sobrecarga que las del correspondiente ensayo de ladrillo hueco, ya que se considera que la edificación de adobe es más económica (y por lo tanto más endeble) que la de ladrillo hueco. Como se puede observar (figura 119, la sobrecarga aplicada sobre el edificio de ladrillo hueco, es unas tres veces mayor que la del edificio de adobe, al considerarse una construcción de mayor calidad y por lo tanto, más pesada. En ambos casos las sobrecargas están firmemente atadas a los forjados para que se desplacen con ellos durante los ensayos sísmicos.

5.2. El Sistema de Albañilería Integral con ladrillo hueco: ensayo del prototipo

Mientras que en el prototipo de adobe apenas se distinguen las paredes enfoscadas de las que no lo están (al tener el mismo color el adobe que el mortero) en el caso del prototipo de ladrillo hueco se distinguen claramente las paredes sin enfocar, ya que permanecen en rojo con la retícula de las Costillas, frente a las paredes enfoscadas que además se han pintado de blanco para facilitar la búsqueda de las fisuras o grietas que produzca el ensayo.

Mientras que en el prototipo de adobe éste se ha fabricado a mano con el ancho de 15cm, igual al de la Costilla de 150mm, quedando la armadura y las piezas enrasadas, con el ensayo de ladrillo hueco se ha utilizado una pieza del mercado de 11,5cm de ancho, sobresaliendo 3,5cm hacia el interior de los muros, las Costillas de 150mm ancho, lo que podría suponer alguna alteración del resultado del ensayo de este prototipo de vivienda.

El enfoscado de mortero sobre el ladrillo hueco, no ha requerido de cintas de agarre en el ladrillo.

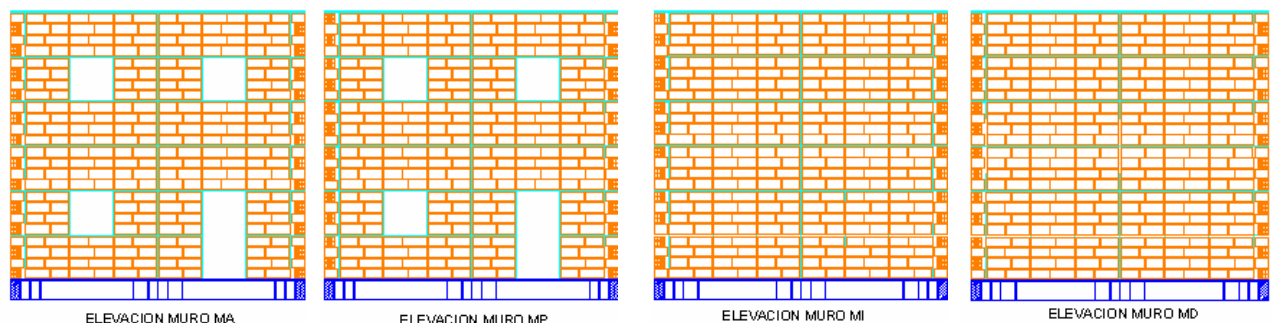


Figura 10. Configuración del edificio a escala 0,5 con sus costillas y ladrillos huecos vistos.



Figure 11. Construcción terminada, empleando mortero de cemento y con sólo 2 paredes enfoscadas y la sobrecarga de los forjados correspondiente a construcción media.

6 COMPORTAMIENTO DE LOS ENSAYOS DEL SISTEMA DE ALBAÑILERÍA INTEGRAL

Los 2 prototipos de edificio de adobe y de ladrillo hueco con el Sistema de Albañilería Integral, empleando las mismas armaduras para ambos edificios, se han ensayado 4 veces cada uno (sumando 8 para las armaduras), en las 4 etapas sucesivas de 2cm, 5cm, 8cm y 13cm de desplazamiento horizontal en un solo sentido, empleando la señal del sismo “mayo70co”.

6.1. Comportamiento del prototipo con adobe



Figura 12. Vista de distintos agrietamientos aparecidos y del pandeo de la Costilla de la puerta.

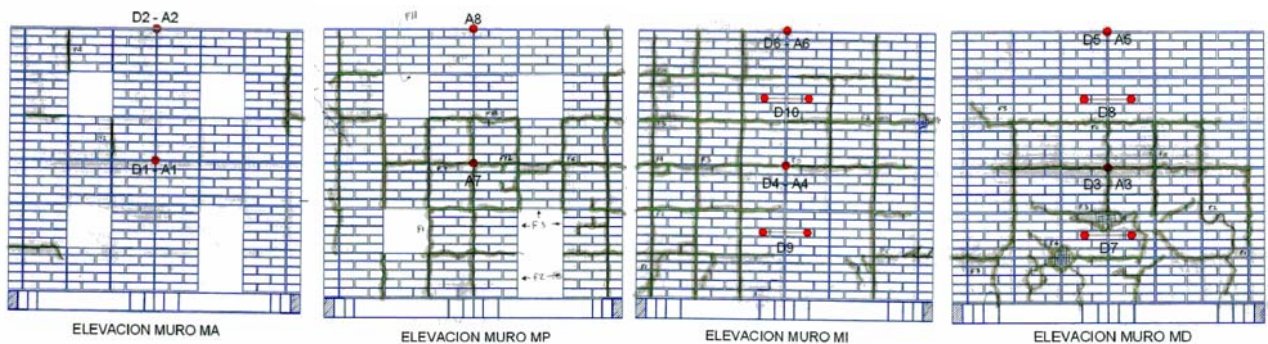


Figure 13. Dibujo de las fisuras sobre los muros de adobe surgidas después de los 4 ensayos.

Puede observarse que sólo ha habido mínimos desprendimientos en las paredes enfoscadas y ligeras separaciones de las Costillas respecto del adobe, liberando la conexión del barro interpuesto.

El comportamiento unitario de los muros con los forjados bidireccionales, todos ellos hechos con Costillas cada 45cm (90cm en la realidad) a escala 0,5 entrelazadas entre sí, ha permitido soportar al conjunto del edificio un “seísmo severo” sin apenas apreciarse fisuración y sin haberse desprendido ninguna pieza de adobe del muro (sólo algo del grueso del enfoscado). Las piezas de adobe del edificio que más se han movido, son las correspondientes a las esquinas en su parte inferior, de sólo unos 2cm de desplazamiento. El edificio de adobe sólo requiere de barro para renovarse del todo.

6.2. Comportamiento del prototipo con ladrillo hueco.



Figura 14. Al no haber aparecido grietas, se hace una búsqueda intensiva de posibles fisuras, tanto por el exterior como por el interior del prototipo, donde las Costillas AllWall de 150mm sobresalen 3,5cm del grueso del muro de ladrillo hueco de 11,5cm de ancho.



Figure 15. Tres vistas del edificio por sus 4 paredes, 2 con enfoscado y 2 sin enfoscarse, donde a pesar de las 4 etapas del ensayo realizado con armaduras previamente ensayadas con el prototipo de adobe, no ha aparecido ninguna mínima fisura (ni grieta), por ninguna parte.

El hecho de que las Costillas del edificio de ladrillo hueco fueran algo más anchas (3,5cm) que el propio grueso del muro (11,5cm), hizo pensar que se podrían dar problemas de pandeo de los alambres de dichas Costillas, cuyas triangulaciones soldadas están cada 150mm de altura.

El resultado del ensayo ha demostrado que el hecho anterior no ha tenido ninguna incidencia para el “seísmo severo” a que se ha ensayado el prototipo de ladrillo hueco con el Sistema de Albañilería Integral.

También se ha podido demostrar que no ejerce ninguna influencia, ni positiva ni negativa, el hecho de que los muros de ladrillo hueco estén enfoscados con mortero de cemento. En ningún caso ha aparecido la más mínima fisura que haga manifestarse las Costillas de la fábrica con o sin revoco.

7 CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar con el paper presentado, es evidente que la comparación de los 2 ensayos realizados con el Sistema de Albañilería Integral empleando sucesivamente adobe sentado con barro entre las piezas y las armaduras, y ladrillo hueco con mortero de cemento entre los ladrillos y las armaduras, los resultados son plenamente satisfactorios, al margen de algunas consideraciones precisas sobre el tipo de ensayo sísmico aplicado y sus resultados numéricos y gráficos (que no se considera necesario presentar en este paper de divulgación).

Los vídeos que se han realizado durante los dos ensayos, muestran también con claridad, el buen comportamiento de ambos prototipos del edificio nº 5 con adobe y ladrillo hueco, apareciendo visibles fisuras en el caso del adobe, y sin mostrarse ninguna fisura en el caso del ladrillo hueco, observándose claramente el movimiento elástico de ambos edificios, gracias al característico trenzado del armado del Sistema de Albañilería Integral, que incluso ha permitido emplear las mismas armaduras para los dos ensayos (2008 y 2009), sin haberse afectado en absoluto, por lo que podrían emplearse para otros sucesivos seísmos o ensayos.

Por todo ello, el Sistema queda totalmente validado por lo que a los ensayos se refiere, si bien con el fin de cumplimentar las exigencias de la normativa peruana, se ha solicitado financiación para un tercer y último ensayo de $\frac{1}{4}$ del edificio a tamaño 1:1 (con ladrillo hueco) que dé respuesta a los datos requeridos por la normativa, que volverán a ser totalmente favorables dados los precedentes.

Esta experimentación abre el camino para la aplicación del Sistema de Albañilería Integral como solución a la problemática de la construcción sísmica con albañilería, ya sea con ladrillo, adobe u otros materiales, y muy especialmente dados los últimos seísmos de Perú, Haití y Chile.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las respectivas instituciones (UPM de Madrid y PUCP de Lima) por haber facilitado los fondos que han permitido esta investigación con el Sistema de Albañilería Integral. A su vez, agradecen a la empresa AllWall Systems, la donación de las costillas metálicas del Sistema de Albañilería Integral. También se quiere agradecer a los distintos alumnos y postgraduados que han ayudado en las labores de construcción, ensayo y seguimiento de los prototipos en Perú: Yalí Barrera Candela; Elisa Quintanilla; José Pérez Costa, Fidel Loyola y Julio César Chang.

REFERENCIAS

- [1] Adell, J: *La fábrica armada*. Ed. Munilla Lería. Madrid 2000.
- [2] Adell, J. & Bustamante, R: *La vivienda de adobe sismorresistente con el Sistema de Albañilería Integral*. Seminario Internacional SismoAdobe. Lima, Perú, 2005.
- [3] Adell, J. & Bustamante, R. & García Santos, A: *The integral masonry systems 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. & Madueño, I: *Reforzamiento de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente: Estudio preliminar*. PUCP, Lima, Perú, 2004.
- [5] Adell, J. *The AllWall Integral Masonry System with HCB(Bloc+)*. BFT International. 05/2008.
- [6] Adell, J. & Orta, B. & Bustamante, R. & García-Santos, A: *The Integral masonry system with adobe tested in Lima for earthquake resistant construction*. 11TH Canadian Masonry Symposium. Toronto, Ontario, 2009.
- [7] Orta, B. & Adell, J.; Bustamante, R; García-Santos, A: *Ensayo en Lima (Perú) de edificio de adobe sismorresistente construido con el sistema de albañilería integral*. Informes de la Construcción nº 515. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. Madrid 2009.