



11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3, 2009

THE INTEGRAL MASONRY SYSTEM WITH ADOBE TESTED IN LIMA FOR EARTHQUAKE RESISTANT CONSTRUCTION

J. Adell¹, B. Orta², R. Bustamante³, A. García-Santos⁴, S. Vega⁵

¹ Professor Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. TISE (Técnicas Innovadoras Sostenibles Edificación), josep.adell@upm.es

² Professor Universidad Politécnica de Madrid, E. T. S. de Arquitectura. Profesor Titular Interino del Departamento de Estructuras de Edificación. TISE (Técnicas Innovadoras y Sostenibles Edificación), belen.orta@upm.es

³ Associate Professor Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, restauracion.arquitectura@upm.es

⁴ Professor Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. TISE (Técnicas Innovadoras Sostenibles Edificación)

⁵ Professor Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. TISE (Técnicas Innovadoras Sostenibles Edificación), sergio.vega@upm.es

ABSTRACT

The paper presents an adaptation of the Integral Masonry System (IMS) developed in Europe under the trade name of the “AllWall System”, for concrete or clay, block or brick masonry walls using just mortar. In this case the system is modified to suit adobe to allow the construction of housing in seismic areas.

The prefabricated reinforcement employed in the IMS is made from electro welded galvanized wire and comes in 5.85 m lengths arranged in the form of a 30 cm truss. This 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 then only require infilling with adobe in order to provide the structure with sufficient rigidity.

One integral masonry system with adobe building of 3mx3mx3m with two flats, has been tested on a seismic plate in one half scale at the PCUP (Pontificia Católica Universidad del Perú) of Lima, 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 for the 3rd world.

The results of this test has shown that the Integral Masonry System stays stable without significant cracks, even with 130mm displacement seismic movement, which means more than 10° in Richter seismic scale.

KEYWORDS: Integral Masonry System, earthquake resistant construction, adobe.

1. INTRODUCTION

En el año 2005 se propuso en el Seminario Internacional Sismoadobe celebrado en Lima, un sistema de viviendas autoconstruibles de adobe en zonas sísmicas, con un nuevo tipo de armaduras presoldadas en forma de cerchas para ser ensambladas entre sí en obra (1). También en el ISES-2007 celebrado en Bangalore, se planteó una variante aplicable con tierra (2).

El seísmo ocurrido en Pisco (Perú) en agosto del 2007, que destruyó las viviendas de adobe y causó la muerte de cientos de habitantes, fue una razón para experimentar la propuesta de albañilería armada, con el fin de poder implantar este sistema constructivo alternativo en base a tierra, que posibilite la construcción de viviendas seguras ante catástrofes naturales.

The design of the standard housing is based on the dimensions of standard prefabricated reinforcement which comes in 5.85 m lengths to allow ease of transport in the back of a small lorry (6 m) or on the roof rack of a car, given its light weight (approx. 8 kg/piece).

One or two-storey houses are considered, taking full advantage of the length on 6 m lengths of reinforcement and employing 30 cm thick walls. The structural modulation may be 30 cm and the spatial modulation 90 cm, in order to give the following prototypes:

Table 1: IMS Standard houses

Bungalows				
Type 1	5.10 x 6.00m	30.6m ² total area	24.3m ² floor area	1 bed
Type 2	6.00 x 6.00m	36.0m ² total area	29.2m ² floor area	1 bed
Type 3	2 (5.10 x 6.00m)	61.2m ² total area	51.3m ² floor area	2 beds
Two-storey houses:				
Type 4	2(5.10 x 6.00m)	61.2m ² total area	51.3m ² floor area	2 beds
Type 5	2(6.00 x 6.00m)	72.0m ² total area	58.4m ² floor area	3 beds
Type 6	2[2(5.10 x 6.00m)]	122.4m ² total area	102.6m ² floor area	4 beds

2. OBJETIVOS

Los objetivos de la investigación de este proyecto son los siguientes:

- *A nivel experimental:* validar en laboratorio la nueva tecnología constructiva frente a los movimientos sísmicos.
- *A nivel técnico:* desarrollar un sistema constructivo medianamente vulnerable al impacto producido por desastres naturales, en base a elementos prefabricados, de ejecución rápida y mínimo coste.
- *A nivel social:* ofrecer a las sociedades en vías de desarrollo, un modelo tecnológico de vivienda, con unos tipos adaptados a su forma de vida, y basado en la autoconstrucción.

Se ha elegido la vivienda Tipo 5, de las seis viviendas planteadas, por tratarse de un volumen cúbico de 6 m de lado, que permite ensayar el conjunto de la vivienda, aunque construida a escala 0,5 (Fig. 1), y que se adapta perfectamente a las posibilidades de ensayo de la mesa sísmica (cuadrada de 4m de lado). Tanto la construcción del prototipo como el ensayo del mismo, se ha realizado en el laboratorio de estructuras antisísmicas del Departamento de

Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (Lima), que es la entidad más representativa dentro del país.

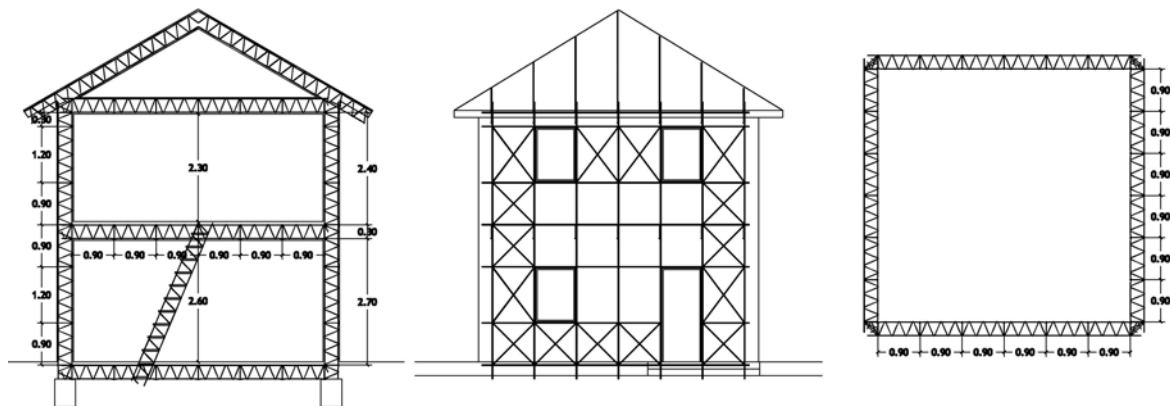


Figure 1: Type 5 house. a) Section with reinforcement trusses set in walls, slabs, roof and stairs; b) Elevation showing reinforcement prior to rendering; c) Plan showing wall reinforcement

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales empleados en la construcción del prototipo de ensayo son: acero laminado (anillo perimetral), acero galvanizado (cerchas y uniones de las mismas) con una resistencia de 50kN/cm^2 , y adobe, en los muros perimetrales con una resistencia a compresión de 0.03 a 0.05 kN/cm^2 . Las cerchas fueron enviadas desde Madrid a Lima.

Los adobes rectangulares son de $28\text{cm} \times 15\text{cm} \times 8\text{cm}$, compuestos de tierra-arena-paja en la dosificación $5:1:1$, aunque dada la separación que producen las cerchas en los muros y en su intersección en las esquinas, el número de adobes cuadrados, fue significativamente alto. Se prepararon en moldes de dos piezas (Figs. 2 a and 2 b).

Las armaduras prefabricadas son de alambres galvanizados, que están organizadas en forma de cerchas. El dimensionado elegido es el siguiente:

- Armadura del modelo de ensayo ($3 \times 3 \times 3\text{m}$): 2 alambres longitudinales de 5mm a cada lado de una cercha de alambre en zig-zag de 5mm separados 150mm las armaduras verticales y 140mm las horizontales. Muro de adobe de 15cm de grueso. La disposición del armado de paredes y forjados, han seguido en el ensayo un módulo de 45cm de lado, en vertical y horizontal.

4. EL SISTEMA CONSTRUCTIVO IMS

La tecnología de armado empleada consiste en un trenzado de las armaduras que se cruzan fácilmente entre sí en las tres direcciones del espacio. Posteriormente se rellenan los vacíos con

ladrillo, bloque, adobe, tapial, o material de reciclaje para levantar las paredes, pudiendo incorporar una tablazón sobre las cerchas para conformar los forjados.

El prototipo IMS de adobe, emplea como relleno solamente la tierra y ante la imposibilidad de transmitir ésta los esfuerzos del armado por adherencia, es necesario emplear armaduras presoldadas o debidamente unidas, que transmitan los esfuerzos entre sí, por enhebrado o atornillado entre unas y otras. Se aconseja un acabado final de barro o revoco armado de mortero, hidrorrepelente, aunque como se ha indicado, las armaduras ya vienen protegidas frente a la corrosión con un galvanizado de fábrica.

La primera fase de construcción del prototipo de ensayo empezó en julio y consistió en la preparación de los adobes para permitir su secado antes del levantamiento de los muros.



Figure 2: Preparación de adobes: a) Amasado; b) Adobes secados en un patio cubierto

La segunda fase fue la preparación de un anillo de soporte del prototipo, con un perfil HEB 200, incluye las placas de sujeción a la mesa de ensayos y asas para el izado y traslado a la mesa misma. Tras los trabajos de soldadura se procede a la aplicación de pintura anticorrosiva (Fig. 3 a).

Paralelamente se ensamblaron las cerchas mediante enhebrado y posterior fijación con alambre de las intersecciones (Fig. 3b). Se unen al anillo es por medio de soldaduras. También se ensamblaron los tres forjados, uno sobre el anillo perimetral, otro intermedio, y el superior para la cubierta plana, sobre el que se colocaron sacos de arena en el ensayo para simular el peso de la cubierta.

En la tercera fase se procedió a levantar los muros de 15cm de grueso mediante hiladas de adobes rectangulares y cuadrados (Fig. 4 a), insertando unas rafias en las juntas (Fig. 4 b), para atar una malla de armado del revoque. Para facilitar la adherencia al anillo de acero la primera hilada va con mortero de cemento. Se dejaron los huecos (una puerta y tres ventanas) solamente en las caras perpendiculares al movimiento en la mesa de ensayos.



Fig. 3: a) Construcción del anillo perimetral de 3 m x 3 m; b) Unión en obra de las cerchas con alambre

La geomalla de polietileno de 15 mm de hueco, adherida mediante los haces de rafia solamente en dos lados del prototipo, tenía como objetivo verificar las diferencias que se producen en el ensayo en la mesa de desplazamientos, con los muros que no estaban revocados.



Fig. 4: a) Prueba en seco; b) Hiladas de adobe del cerramiento del prototipo

A fines de octubre, un mes después de terminar de construir el prototipo para permitir el secado de las juntas de los muros, se procedió a su colocación sobre la mesa de ensayos (Figs. 5 a, 5b y 5c).

5. PLAN DEL ENSAYO REALIZADO

La mesa de ensayos solo tiene un grado de libertad de los seis que caracterizan a un sismo real. Se plantearon cuatro fases de aplicación del desplazamiento producidos por la máquina de ensayo incrementandolo progresivamente (20, 50, 80 y 130 mm), que coinciden con el desplazamiento del terreno según el grado del sismo de 2, 5, 8, y más de 10 en la escala de Richter:

Fase 1: desplazamiento 20 mm, sismo leve, no se aprecian fisuras considerables.

Fase 2: desplazamiento aplicado 50mm, seísmo moderado, se fisura el prototipo.

Fase 3: desplazamiento 80mm, seísmo elevado, se agrieta el prototipo pero sigue resistiendo, ante la evidencia del buen comportamiento de la edificación se decidió aplicar la máxima capacidad sísmica de la mesa.

Fase 4: desplazamiento 130mm, seísmo muy elevado, aparece grietas claramente visibles sin perder la estabilidad como se aprecia en las Figs. 6 and 7.



Fig. 5: Vistas del prototipo antes del ensayo de resistencia al sismo: a) Sobre la mesa de ensayos; b) Vista superior; c) Puerta.



Fig. 6: Fotografías de las grietas después del 4º ensayo (130 mm); a) Side without rendering; b) Side with rendering.



Fig. 7: Damages pictures before 4º Test (130 mm); Left a) Indoor; b) Entry; Center c) Sides without rendering, Right d) Detachment of rendering; e) Double truss-type prefabricated f) Cracks wall.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

El prototipo se agrieta significativamente con el mayor desplazamiento aplicado (130mm equivalente a un sismo de 10° en la escala de Richter), sin perder la estabilidad. Las grietas se producen marcando las armaduras, aunque en la parte baja tienden a la diagonal. Las grietas son más finas en la zona más alta y mayores cuanto más cerca de la base.

El comportamiento del muro enfoscado respecto del no enfoscado es muy similar. La zona más dañada son las esquinas, donde el muro se hace solo con adobes cuadrados sin aparejar con el resto del muro.

El proceso constructivo es muy sencillo, debido a la ligereza de las piezas (tanto las cerchas como los adobes) se puede elevar con solo dos personas. El montaje es muy rápido debido a la prefabricación de las armaduras.

Los muros perpendiculares a la acción sísmica son los que tienen los huecos (puerta y ventanas) son los que menos grietas tienen tras el ensayo gracias a la colaboración de las cerchas. En los muros transversales, ciegos, colabora el adobe en la resistencia del sismo que permanece confinado en los espacios entre cerchas.

7. CONCLUSIONS

El ensayo ha demostrado la resistencia del IMS al sismo, puede soportar las acciones a las que ha sido sometido sin sufrir daños que puedan afectar su estabilidad y por lo tanto a vidas humanas, reparando las grietas provocadas se puede prolongar su vida útil y soportar sismos futuros. Por lo tanto es un sistema idóneo para la construcción de viviendas en zonas sísmicas.

8. ACKNOWLEDGEMENTS

Este proyecto, cuenta con la participación por parte de la PUCP de los investigadores Dr. Marcial Blondet, Decano de la Escuela de Graduados, Ing. Francisco Ginocchio, Prof. Responsable de la Investigación e Ing. Gladys Villa, García Jefe del Laboratorio. Se agradece la colaboración del Ing. Marcos Fuentes, Ing. Ángel San Bartolomé, experto en albañilería antisísmica, becarios Yalí Barrera y Elisa Quintanilla, y demás personal del Laboratorio de Estructuras.

9. REFERENCES

1. Adell J., Bustamante R., D. Dávila (2005), “La vivienda de adobe sismorresistente con el Sistema de Albañilería Integral”, Seminario Internacional SismoAdobe, Lima, Perú.
2. Adell J., Bustamante R. A. García Santos, B. Lauret, S. Vega (2007), “The Integral Masonry System with earth-based materials: rubble based earthquake resistant construction”. International Symposium on Earthen Structures (ISES-2007), Bangalore, India.