

ENSAYO BAJO CARGAS HORIZONTALES DE MURO CONSTRUIDO CON MAMPUESTOS DE SUELO CEMENTO.¹

Mary Saldivar^{*2}, José Luis Bustos³, Osvaldo Albarracin⁴, Arturo Pereyra⁵

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño
Universidad Nacional de San Juan (IRPha-FAUD-UNSJ).

Av. Ignacio de La Roza y Meglioli, Rivadavia, 5400 San Juan, Argentina.

Tel: +54(0)264 423 2395. Fax: +54(0)264 423 5397. Web: <http://www.irpha.com.ar>

Palabras clave: muro de ensayo - suelo-cemento – sismorresistencia

Resumen

En el marco de las investigaciones desarrolladas por el área tecnológica del IRPha, en el tema de tecnologías apropiadas aplicadas a la vivienda social en regiones árido-sísmicas, se trata de desarrollar alternativas constructivas económicas, aptas para la autoconstrucción, que recuperen conocimientos propios del sector al que está dirigido, incorporen el máximo de materiales disponibles en la zona, hagan uso racional del recurso humano disponible y den respuestas a las condiciones sísmicas y de aridez propias de la región sanjuanina en lo referido a seguridad y habitabilidad.

Con el objeto de demostrar que es posible desarrollar alternativas tecno-espaciales superadoras de las soluciones de carácter espontáneo, que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de las viviendas maximizando los recursos materiales, humanos y económicos disponibles, en procesos participativos facilitadores de la reinclusión social, se llevan a cabo verificaciones experimentales de una tipología estructural basada en mampostería de suelo cemento con vigas de encadenado inferior y superior y contrafuertes laterales, sin columnas de encadenado..

La tecnología desarrollada realiza aportes a resultados de investigaciones efectuadas en otras regiones, principalmente en lo referido a verificar las cualidades sismo-resistentes del sistema. Es importante destacar que los bloques empleados se producen respetando las condiciones de trabajo de campo, similares a las que cuentan los destinatarios del sistema, y no las ideales de laboratorio. Para poder determinar la factibilidad de uso de acuerdo a las reglamentaciones vigentes, es necesario realizar las correspondientes verificaciones experimentales y empíricas del sistema, conforme lo exige la rigurosidad de las normativas INPRES-CIRSOC.

En el presente trabajo se describe el ensayo de un muro en escala natural que fue sometido a un ensayo pseudo-estático, realizado con el fin, de valorar la capacidad sismo-resistente del sistema, verificando el comportamiento a cargas horizontales.

Del ensayo a carga horizontal se obtiene la rigidez, el módulo de corte y la capacidad de disipación de energía de la mampostería, parámetros necesarios para la valoración de una tipología estructural, en zonas de alto riesgo sísmico como la Provincia de San Juan.

Las conclusiones del ensayo permitirán inferir los límites de aplicabilidad de la mencionada tipología estructural, y determinar condicionantes para los diseños de modelos de viviendas materializables por autoconstrucción.

Introducción

En el presente trabajo se desarrolla la mecánica seguida con el objeto de determinar las características sismorresistente del sistema estructural cuya mampostería está compuesta por bloques de suelo cemento.

Teniendo en cuenta la cantidad de variables que influyen en su determinación se decidió realizar ensayos que parten desde sus elementos constitutivos más simples **el suelo**, siguiendo por los **bloques**, **muretes** hasta el ensayo de un **muro a escala natural**.

Partiendo de los suelos definidos como adecuados para el suelo cemento dado por "Portland Cement Association", se realizaron los análisis granulométricos de muestras representativas de diferentes tipos de suelo, en nuestra provincia, obteniendo las

correcciones necesarias a realizar, para que se adecuen a las curvas granulométricas recomendadas.

En una segunda etapa se ensayaron los mampuestos, y muretes con el objeto de determinar las resistencias a la compresión, y al corte respectivamente.

Finalmente se ensayó un muro a escala natural, en el Laboratorio de Estructuras del Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la Universidad de San Juan. En el presente trabajo se desarrolla la mecánica seguida en el ensayo a carga horizontal, de un muro con contrafuertes, con el objeto de evaluar las características sismorresistentes del sistema estructural cuya mampostería está compuesta por bloques de suelo cemento.

Descripción del ensayo

Construcción del modelo

La construcción del modelo comenzó con la elección de la tierra que sería empleada, la tierra seleccionada pertenece al departamento de Zonda, uno de los lugares viables, para la aplicación del sistema propuesto, en las construcción de viviendas.

Se realizó el análisis granulométrico, y se decidió corregir el suelo en laboratorio, de modo de alcanzar un mejoramiento en su constitución granulométrica, que le permita ubicarse dentro del rango definido como adecuado para el empleo en suelo cemento según, Portland Cement Association. (Fig 1)

Los mampuestos fueron realizados por un solo operario con conocimientos básicos de albañilería, la máquina IRPHa-RAM se instaló en un lugar cerrado, donde se fabricaron y se acopiaron bajo techo para su posterior fraguado, los bloques. Los mampuestos fabricados se mantuvieron en condiciones ideales de curado normal durante siete días y permanecieron cubiertos con nylon durante todo el periodo de fragüe (30 días aproximadamente) en condiciones de humedad aceptables.

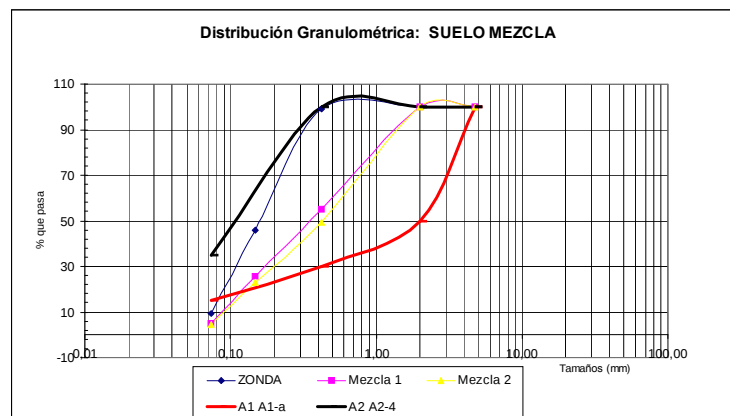


Figura 1

De la totalidad de los mampuestos que se fabricaron, por tratarse de mampostería armada, se hicieron 100 con hueco en el centro, 300 macizos, 300 con huecos en los costados y 80 mitades.

Posteriormente se comenzó por la construcción de la base de apoyo del muro, en el Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, cuyas dimensiones responden a las características del sistema estructural que se desea ensayar, con contrafuertes, y a la losa de carga del Laboratorio de Estructuras del mencionado Instituto. (Fig 2)

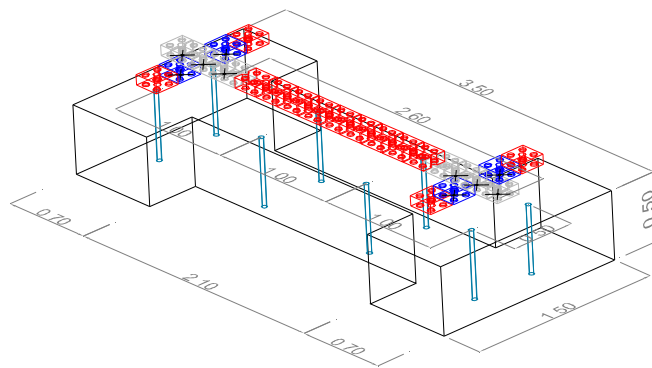


Figura 2



Figura 3



Figura 4

La armadura principal fue de $1\Phi 12$ c/30cm y los estribos de $1\Phi 8$ c/10cm, se empleó un hormigón elaborado H17 de 300kg de cemento por m³ de hormigón siendo construida por mano de obra especializada. (Fig 3 y Fig 4).

Una vez fraguada la misma se continuó con la ejecución del muro, tratando de reflejar las condiciones de trabajo reales y no condiciones ideales de laboratorio.

Con este objeto los bloques fueron realizados por mano de obra no especializada, como será la encargada de materializar, por el sistema de autoconstrucción las viviendas destinatarias de ésta tipología estructural. Con el asesoramiento técnico profesional mínimo necesario para la adquisición de las técnicas básicas.

El muro se construyó con mampuestos de 19 cm de espesor (19x19x8cm), armado vertical y horizontalmente. La armadura horizontal consistió en $2\Phi 6$ c/ 5 hiladas y la armadura vertical esta formada por 5 $\Phi 8$ enhebrados en los mampuestos que forman el encuentro de muros (Fig 5).

Para el asiento de los mampuestos se utilizó un mortero con una dosificación 1:4 (cemento, arena gruesa), las hiladas de ladrillos se trabaron conservando una junta vertical de 1 cm. y una horizontal de 2 cm. aproximadamente

Las dimensiones del modelo (largo y ancho) fueron determinadas en función de la modulación de los ambientes de una vivienda, destino principal de la tipología estructural bajo ensayo, que determina paños de mampostería cuyas dimensiones oscilan en los 3m de largo y una altura promedio de 2,60m. Las medidas del panel ensayado fueron de: 0,19m de espesor, 3.00 de ancho x2.65 de alto. (Fig 6 – Fig 7).



Figura 5

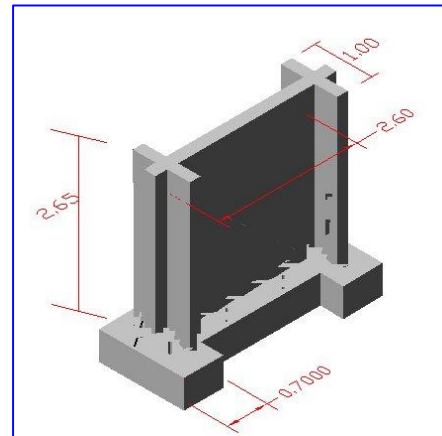


Figura 6



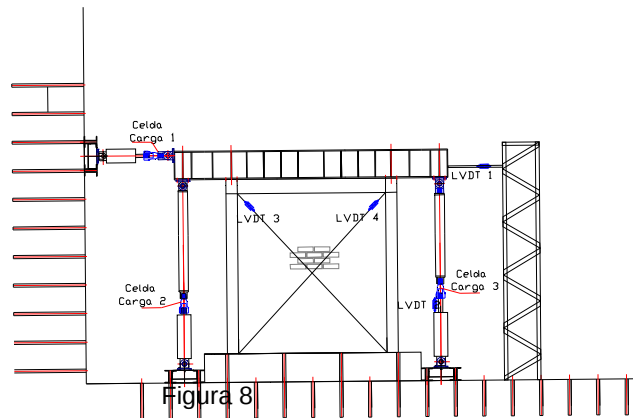
Figura 7

En la parte superior del muro se armó una viga de 50 cm. de altura, que sirve para simular la viga de encadenado superior y la carga del techo liviano que soportaría el muro. Durante la construcción del muro se advirtió que un porcentaje de los mampuestos no tenían la trabajabilidad necesaria por lo que se desecharon, producto de condiciones inadecuadas de fragüe. Fue trasladado hasta la losa de carga por una grúa cuidando no someter el modelo a esfuerzos que pudieran alterar los resultados del ensayo.

Instrumentación

Con el objeto de medir algunos parámetros durante el ensayo se colocó la siguiente instrumentación (Figura 8):

- Sensor de desplazamiento L.V.D.T. en dirección horizontal en correspondencia con la viga metálica superior, para el control del desplazamiento del actuador horizontal. (L.V.D.T. 1)
- Un sensor de desplazamiento L.V.D.T. en dirección vertical, ubicado en el actuador vertical izquierdo del modelo. (L.V.D.T. 2)
- Dos sensores de desplazamiento L.V.D.T. en correspondencia a la dirección de las diagonales del modelo, uno a cada lado del muro.(L.V.D.T. 3 y 4)
- Celdas de carga (3) en cada uno de los actuadores servocontrolados.



ESQUEMA DEL ENSAYO PSEUDOSTÁTICO EN LOSA DE CARGA

En la Figura 9 se muestra el modelo del muro antes del ensayo, y en la Figura 10 y 11 los detalles del L.V.D.T. diagonal, y de la celda de carga ubicada en uno de los actuadores verticales.



Figura 9



Figura 10



Figura 11

Desarrollo del ensayo

El muro se ensayó manteniendo carga vertical constante y permitiendo el giro libre del extremo superior. Para simular la carga vertical, que puede actuar sobre el muro debida al peso de una estructura de techo liviano, se aplicó una carga controlada constante de compresión de 2 t mediante dos actuadores hidráulicos verticales a través de una viga metálica. Luego se aplicaron desplazamientos laterales cíclicos de amplitud creciente mediante un actuador servocontrolado horizontal (Figura 2). Estos desplazamientos se miden y se controlan con el sensor LVDT 1 ubicado en la misma dirección. Durante el ensayo se incrementó sucesivamente el valor de desplazamiento máximo impuesto a los modelos. En todo instante los valores de desplazamientos y carga en los actuadores se registraron mediante un sistema de adquisición de datos y control en computadora, mostrado en la Figura 12.



Figura 12

Comportamiento del Modelo

Durante la ejecución del ensayo se observó un patrón de agrietamiento sucesivo similar al que se indica en las Figuras 13 a 15. Con la aplicación de los primeros valores de distorsión el agrietamiento inicial fue horizontal y a través de la interfase de separación entre el mortero y mampuesto. Las juntas horizontales ubicadas por debajo de las juntas con armadura presentaron mayor agrietamiento. Cuando se aumentó el desplazamiento lateral, se observó un agrietamiento escalonado entre las juntas con armadura horizontal y a través de la interfase mortero – mampuesto como se muestra en las Fotos adjuntas. Este comportamiento se repitió y acentuó en toda la altura del muro a medida que se impuso sucesivamente mayor desplazamiento lateral.

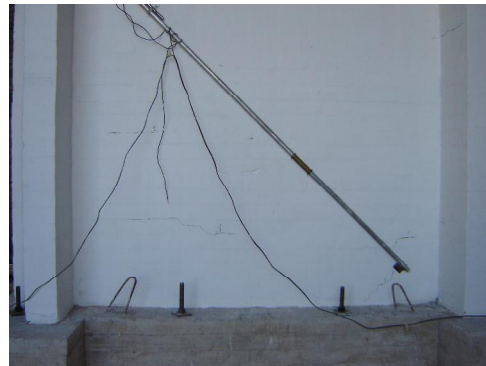
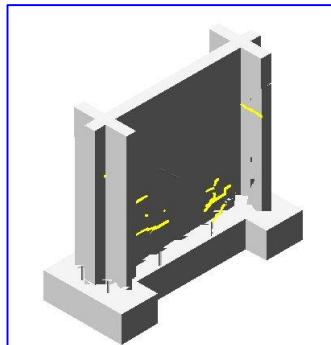


Figura 13

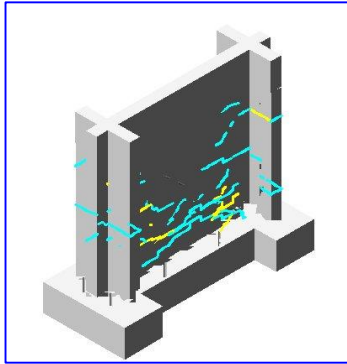


Figura 14

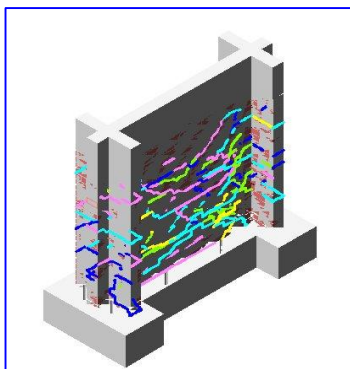
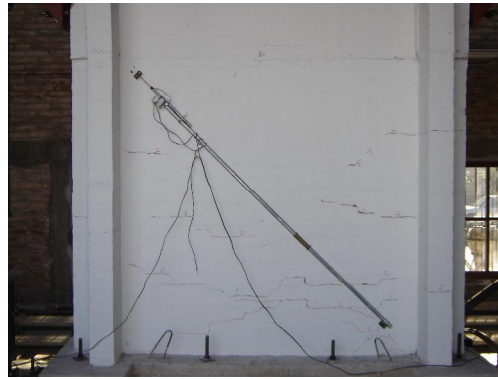


Figura 15

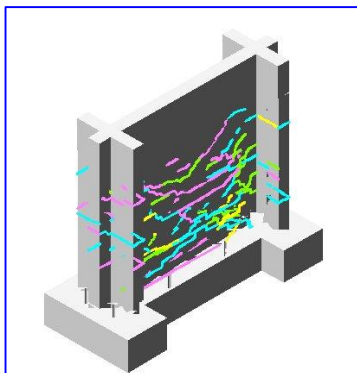
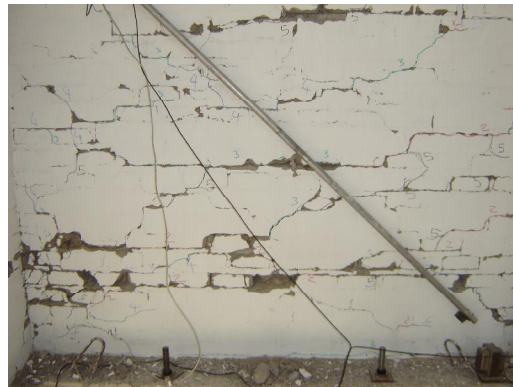
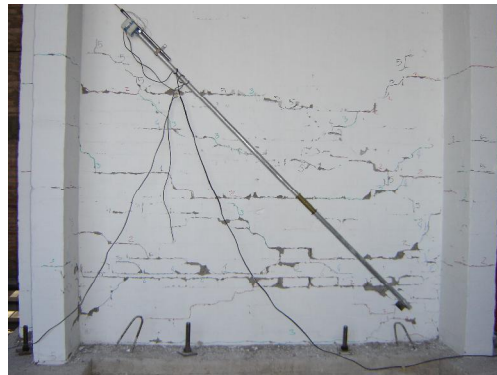


Figura 16



En la etapa final del ensayo, para una deformación lateral de 30 mm, se propagaron las fisuras de la mampostería con mayor énfasis a los muros contrafuertes (Fig 16). Para estos niveles de deformación se produjo una separación en la interfase de la mampostería con la fundación. A pesar de ello, no hay indicios de que se hayan cortados las armaduras verticales cuando se alcanzó la deformación lateral máxima. Durante la realización del ensayo no se produjo el vaciamiento del panel agrietado y tampoco la expulsión de mampuestos.

En la Figura 17 se muestra un gráfico correspondiente al ensayo E-11, en el que se representa el desplazamiento lateral controlado vs. el tiempo. En la Figura 18 se muestran las deformaciones medidas con los sensores de desplazamiento (L.V.D.T.) en las diagonales, vertical y horizontal de control.

La totalidad de los ensayos en carga-deformación lateral se representan en la figura 19. Cada desplazamiento objetivo se aplicó al menos dos veces y es posible observar una fuerte disminución de la rigidez en el segundo ciclo de carga. La rigidez inicial es de aproximadamente 21tn/cm.

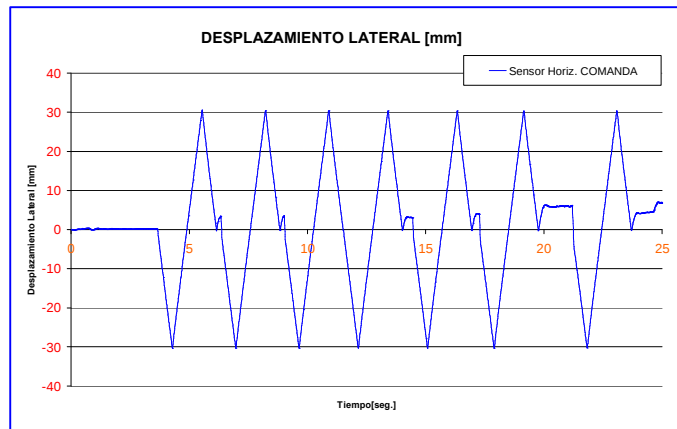


Figura17

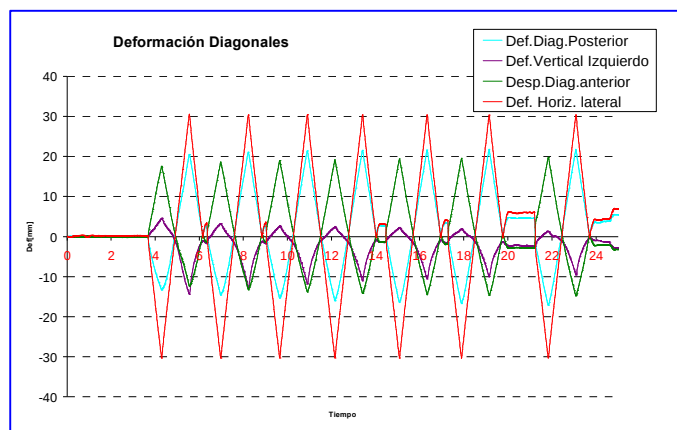


Figura 18

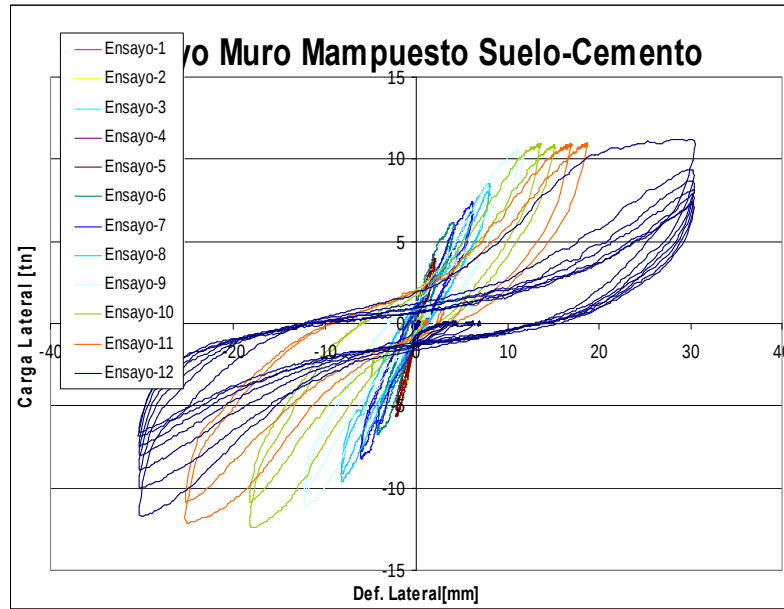


Figura 19

Una vez agrietado el muro presenta rigidez baja, como se puede observar en las curvas carga deformación, debido a la baja resistencia friccional de la junta horizontal. La rigidez del conjunto cambia para desplazamientos sucesivamente mayores, con una marcada caída de pendiente. Para una deformación de 10mm la rigidez secante fue de 8.8t/cm. La carga alcanzada para una deformación de 30mm fue de 11.5t que corresponde a una tensión nominal de corte de aproximadamente 1,3 kg/cm². La rigidez en el primer ciclo de este último ensayo fue de 3.5 t/cm.

El agrietamiento producido al aplicar ciclos de carga lateral creciente se puede observar en la sucesión de fotos adjuntas. Para el desplazamiento lateral de 30mm del último ensayo, se produjeron grandes agrietamientos en los talones comprimidos de los contrafuertes, por lo que se decidió terminar el ensayo. (Figura 20 y 21)



Figura 20



Figura 21

Conclusiones

- 1- La rigidez observada en los ensayos es baja si se la compara con resultados obtenidos para muros de mampostería de ladrillón.
- 2- La armadura horizontal ha resultado muy efectiva para disminuir y distribuir el agrietamiento. Se considera que se debe exigir su uso.
- 3- El comportamiento del muro ante la aplicación de carga vertical y lateral en su plano fue buena ya que no se produjo el vaciamiento del panel agrietado ni y tampoco la expulsión o caída de mampuestos o trozos de estos.
- 4- Se estima que es posible utilizar el muro como elemento de cierre en viviendas económicas con techo liviano.
- 5- Los resultados del ensayo nos permitieron determinar parámetros mecánicos y dinámicos de la mampostería de suelo cemento sin encadenar.
- 6- A partir de éstos primeros resultados quedan una serie de estudios, e investigaciones sobre las cuales avanzar, con el objeto de llegar a encontrar índices, coeficientes, para la valoración de una vivienda en una zona de alto riesgo sísmico, garantizando la seguridad de vida de sus ocupantes para el sismo de diseño.
- 7- Las conclusiones del ensayo nos permitirán inferir los límites de aplicabilidad de la tipología estructural bajo estudio, y determinar condicionantes para los diseños de modelos de viviendas materializables por autoconstrucción.

Citas y notas

¹ Investigaciones realizadas en el marco de los proyectos CONICET PIP 03007/00, FONCYT-ANPCYT PICT 13059, y CICITCA-UNSJ 21/A381. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan (IRPha-FAUD-UNSJ). Av. Ignacio de La Roza y Meglioli, Rivadavia, 5400 San Juan, Argentina. Tel: +54(0)264 423 2395. Fax: +54(0)264 423 5397. Web: <http://www.irpha.com.ar>

² Ingeniera. Profesor Adjunto de la FAUD-UNSJ. Docente en las Cátedras de Estructuras I y Estructuras Especiales. Investigador en el Área Tecnológica del IRPha-FAUD-UNSJ. E-mail: msaldivar@sinectis.com.ar

³ Magíster Ingeniero. Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería. UNSJ. Docente en la Cátedra Computación. Investigador en el Instituto de Investigaciones Antisísmicas Aldo Bruchi. E-mail: jlb@unsj.edu.ar

⁴ Arquitecto Profesor Adjunto de la FAUD-UNSJ. Docente en la Cátedra Construcciones II y en la Asignatura Electiva Vivienda de Interés Social. Director del Proyecto CICITCA-UNSJ 21/A381, Co-Director del Proyecto PIP 03007/00, e integrante del Grupo Responsable del PICT 13059. E-mail: galbarra@farqui.unsj.edu.ar Investigador en el Área Tecnológica del IRPha-FAUD-UNSJ.

⁵ Arquitecto Profesor Jefe de Trabajos Prácticos de la FAUD-UNSJ. Docente en las Cátedras Instalaciones y en la Asignatura Electiva Diseño Bioclimático. Investigador en el Área Tecnológica del IRPha-FAUD-UNSJ. E-mail: arturoar2003@yahoo.com.ar

Bibliografía

- *ZABALA, F, Bustos, J.L, Masanet, A,R y Santalucía J,R. "Aspectos del diseño de muros de mampostería encadenada bajo cargas sísmicas". Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estructural. (2002)
- *GIULIANI Hugo "Arquitectura Sismorresistente ". Editorial FAUD-IRPha. (1984).
- *ROTONDARO R. "Arquitectura de Tierra y Tecnología Apropriada". Curso Teórico Práctico, pp. 1-41. Ficha 2, Programa de Ecología Regional, UNJu. (1990).
- *SALDIVAR, Mary- ALBARRACIN, Osvaldo "Verificaciones Experimentales del Sistema Constructivo en suelo-cemento para zona sísmica". (2004)