

ESTUDIO ANALITICO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN PROTOTIPO DE VIVIENDA DE SUELO-CEMENTO.

José Luis Bustos; Mary Zaldívar; Osvaldo Albarracín

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.

osalbarra@farqui.unsj.edu.ar -

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

Palabras claves: ensayos, sistemas constructivos, resistencia, sismo

RESUMEN

En el marco de investigaciones realizadas por el IRPHa en el tema de tecnologías apropiadas aplicadas a la vivienda social en regiones árido-sísmicas, se llevan a cabo verificaciones experimentales de un sistema constructivo basado en el uso de suelo-cemento con contrafuertes.

El comportamiento de este tipo de estructuras durante la ocurrencia de un sismo destructivo es complejo y sus propiedades de rigidez, resistencia y capacidad de deformación son altamente variables según el diseño adoptado y las características de los materiales.

Como primer paso se realizó un ensayo pseudo-estático de un muro en escala natural en la Losa de Carga del Laboratorio de Estructuras del Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la U.N.S.J., del que se obtuvo la rigidez, el módulo de corte y la capacidad de disipación de energía de la mampostería, parámetros necesarios para la valoración del sistema estructural, en zonas de alto riesgo sísmico como la Provincia de San Juan. Es importante destacar que los mampuestos y el modelo ensayado se construyeron respetando las condiciones de trabajo que cuentan los destinatarios del sistema, y no las ideales de laboratorio.

Del comportamiento estructural observado, y con los parámetros obtenidos en el ensayo, se construyó y ajustó un modelo analítico del prototipo ensayado, utilizando un programa de elementos finitos (SAP 2000 versión educativa).

Con el ajuste de este modelo se pudo avanzar en la modelación de prototipos completos de viviendas y así poder determinar pautas de diseño que garanticen un comportamiento sísmico adecuado del sistema constructivo propuesto. En el presente trabajo se muestran los resultados de esta modelación para el caso de un prototipo completo de vivienda en zona rural, y su comportamiento ante cargas sísmicas.

INTRODUCCIÓN

La problemática que se origina en el déficit de viviendas rurales aptas para los sectores de menores recursos de los países "emergentes" que las demandan, no parece encontrar respuestas acordes con la complejidad de la temática en las políticas habitacionales implementadas. Lejos de ello los avances tecnológicos propios del fenómeno de la globalización no contemplan soluciones sostenibles a una problemática particularmente compleja.

En un intento por dar solución al problema de la vivienda social, los organismos oficiales responden con propuestas de diseño de viviendas que no presentan diferencias significativas entre los ámbitos semirurales, suburbanos y urbanos. La urbanización de lo rural implica una apropiación del espacio propuesto que responde a modos de vida rurales o por el contrario una transformación en los hábitos culturales de los pobladores.

Sumado a lo anterior el costo constructivo de las viviendas en la provincia de San Juan se ve incrementado por la problemática sísmica, que conlleva requerimientos de sismo-resistencia establecidos en la normativa vigente (normas INPRES-CIRCO). Sin embargo, se ha prestado poca atención a la problemática de la vivienda social en su vinculación con el medio ambiente, a diferencia de lo que sucede en otras regiones del mundo con la promoción de construcciones sustentables, verdes ecológicas, eco-tecnológicas y normativas relativas al control del consumo de materiales y energía.

Constituye un verdadero desafío tecnológico ofrecer alternativas constructivas innovadoras para el sector, que contribuyan a atenuar el déficit de viviendas, como así también al

mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de las mismas principalmente, en lo referido a facilitar la posibilidad de autoconstrucción de viviendas rurales y suburbanas sin sacrificar la calidad de las mismas en sentido amplio.

En el marco de investigaciones realizadas por el IRPHa en el tema de tecnologías apropiadas aplicadas a la vivienda social en regiones árido-sísmicas, se llevaron a cabo verificaciones experimentales de un sistema constructivo basado en el uso de suelo-cemento con contrafuertes.

En este trabajo se muestra como los datos obtenidos de las mencionadas verificaciones experimentales fueron usados como input en un software de análisis tridimensional “SAP 2000”, con el objeto de obtener una herramienta informática que permita la evaluación del comportamiento ante cargas gravitatorias y sísmicas de distintos modelos materializables con el sistema propuesto.

ANTECEDENTES

El sistema constructivo pensado y analizado teniendo presente que esta destinado a zonas rurales, con mano de obra no especializada, fue presentado en reuniones técnicas anteriores, y como ya se expuso con detalle en esas oportunidades, hacemos solo un resumen a fin de marcar el punto de partida de este trabajo.

Se comenzó realizando ensayos de los distintos elementos constitutivos (tierra, mampuesto, murete), a fin de normalizar su uso. A partir de los resultados obtenidos se modeló en escala natural un muro que reflejaba el sistema estructural completo y donde se aplicaron los resultados y recomendaciones de los ensayos anteriores.

El muro fue sometido a un ensayo pseudo-estático en escala natural en la Losa de Carga del Laboratorio de Estructuras del Instituto de Investigaciones Antisísmicas de la U.N.S.J., del que se obtuvo la rigidez, el módulo de corte y la capacidad de disipación de energía de la mampostería, parámetros necesarios para la valoración del sistema estructural, en zonas de alto riesgo sísmico como la Provincia de San Juan. Los resultados del ensayo nos permitieron determinar parámetros mecánicos y dinámicos de la mampostería de suelo cemento sin encadenar, como la rigidez inicial de aproximadamente 21tn/cm, ver Figura 1.

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. Del ensayo de obtuvieron las siguientes 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 tampoco la expulsión o caída de mampuestos o trozos de estos.
- 4- Se infiere 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.

A partir de éstos primeros resultados son necesarios una serie de estudios, e investigaciones 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.

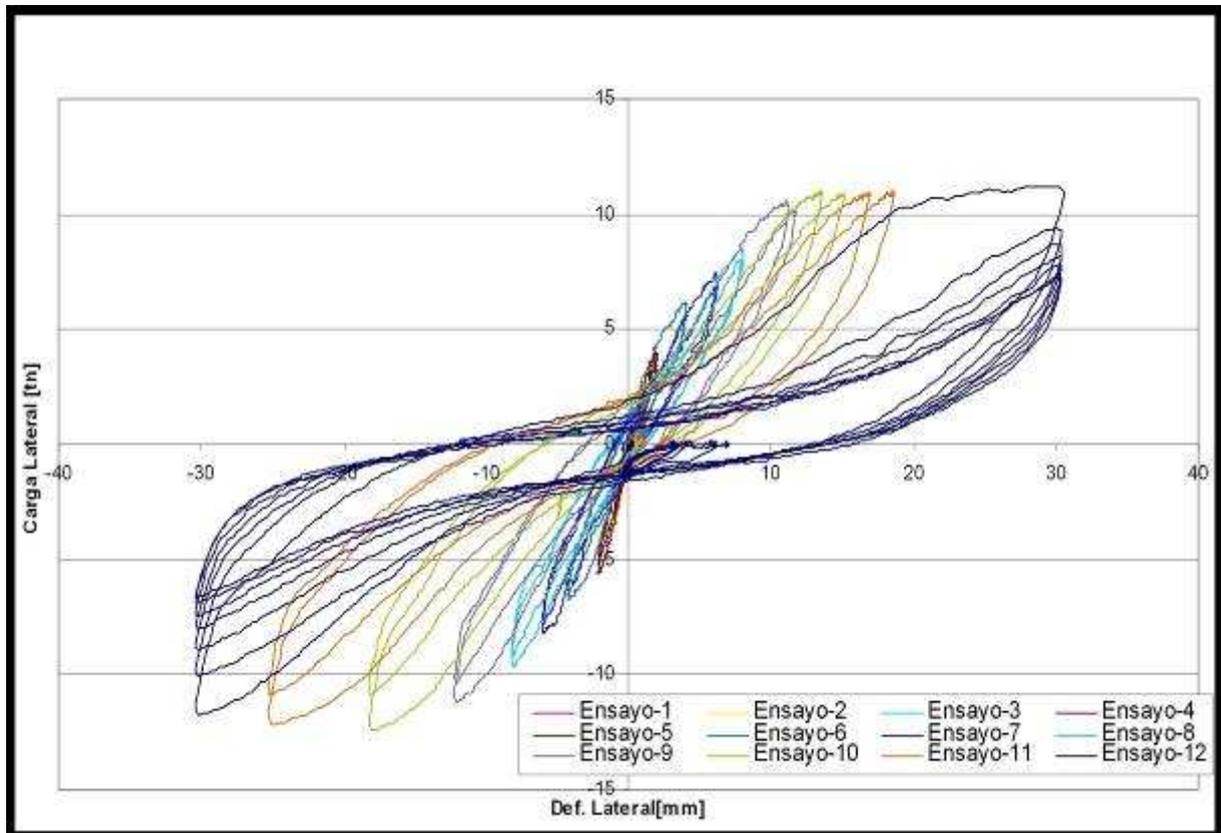


Figura 1. Gráfico Carga –Deformación del Ensayo

OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

La provincia de San Juan se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, motivo por el cual al generar un sistema constructivo no tradicional debe evaluarse su sismo resistencia. Teniendo en cuenta que la zona, objetivo del proyecto, es de carácter rural, bastante amplia y con características particulares, se propone alcanzar los siguientes objetivos:

- Analizar el comportamiento global del sistema a través del modelado de una vivienda tipo diseñada a tal fin, mediante el uso de elementos finitos.
- Determinar los límites de aplicabilidad del sistema constructivo propuesto, prescripciones constructivas y pautas de diseño estructural sismorresistente.
- Obtener una herramienta informática que nos permita la evaluación del comportamiento ante cargas gravitatorias y sísmicas de distintos modelos materializables con el sistema propuesto.
- Analizar el comportamiento individual de los elementos que nos permitirá concluir en pautas de diseño que sean pertinentes tanto desde lo estructural como desde lo funcional.

DESARROLLO

Del comportamiento estructural observado, y con los parámetros obtenidos en el ensayo del muro a escala natural, se construyó y ajustó un modelo analítico del prototipo ensayado, utilizando un programa de elementos finitos (SAP 2000 versión educativa). Ver Figura 2.

Se ajustó el modelo (características de los materiales) para que los valores de deformación en la dirección de aplicación de la carga sean los medidos en el ensayo, y además consecuente con el estado tensional del modelo matemático indicado en el patrón del mismo.

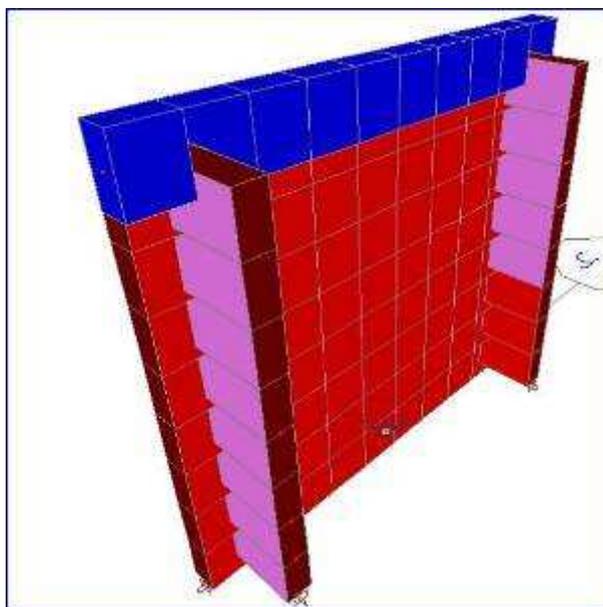


Figura 2. Vista del Modelo en Elementos Finitos

Partiendo de este estado de avance de las investigaciones y usando los resultados de los mismos como input en el software "SAP 2000" se procedió al modelado de un prototipo de vivienda, en forma tridimensional, sometidos a las distintas solicitaciones requeridas por la normativa vigente de modo de analizar su respuesta ante las mismas.

MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA VIVIENDA MÍNIMA DE SUELOCEMENTO

La vivienda propuesta ha sido diseñada conjugando los modos de vidas propios de los sectores sociales a la que está dirigida, es decir a zonas rurales y semirurales. Dicho modelo se desarrolla en una superficie aproximada de 54 m².

El diseño de la vivienda responde a las pautas constructivo-arquitectónicas, que establece el sistema constructivo. Por lo tanto poseen una estricta coordinación modular que condiciona las dimensiones interiores de los locales a múltiplos de módulos de 0.60x0.60 metros, modulación que se compatibiliza con las medidas de mampuestos, por consiguiente el número de mampuestos utilizados resulta un número entero en las hiladas pares e impares, asegurando la correcta traba de las juntas verticales del aparejo.

La vivienda posee una resolución de diseño compacto del núcleo húmedo, que contiene a la cocina, baño y lavadero, para permitir que se mantenga la economía de las instalaciones materializándose dentro de un bloque sanitario.

Morfológicamente la vivienda presenta una segregación espontánea de los volúmenes. Las formas segregadas presentan una rápida interpretación de las proporciones de sus lados, esto es debido a la estricta coordinación modular, con las que han sido diseñadas.

La materialidad de la vivienda explota el uso del bloque de suelo cemento a la vista, esto no solo evita el uso de revoques, sino también que se exalta la rugosidad del material y genera texturas superficiales, que se evidencian tanto a nivel visual como táctil, generando viviendas con cierto carácter expresivo.

La morfología de la vivienda resulta de la yuxtaposición de volúmenes, donde el esquema compositivo no se ve confinado a los límites del terreno. Además se hace uso de elementos funcionales, entre ellos el volumen del tanque de agua y los contrafuertes, como partes del esquema morfológico compositivo. Por ejemplo, el uso de los contrafuertes le otorga cierto ritmo a las fachadas.

Existe una adecuada diferenciación espacial en el interior de la vivienda, que se evidencia en el exterior y se encuentra condicionada por el uso de sus ambientes. La altura interior de dichos ambientes está en relación con la escala del usuario y se encuentra proporcionada según el uso, sea este diurno o nocturno.

La vivienda, a través del uso de galería, genera un espacio semiabierto que sirve de transición y expansión. Además, al estar en relación directa con el espacio diurno de la vivienda facilita los modos de vida en el exterior, modos que poseen los sectores de población a los que están destinados.

La habitabilidad de la vivienda se encuentra condicionada a la capacidad de responder a las necesidades originadas por las diferentes actividades que poseen dichos sectores sociales, a las condiciones de economía, y al siguiente programa de vivienda:

- Un área de estar- comedor unida a la cocina (zona diurna), y desde la cual se vincula con con el baño y la zona de dormitorios (zona nocturna).
- El área de trabajo doméstico (cocina) se comunica con el área de lavado (lavadero).
- El área de dormitorio, goza características de iluminación, ventilación y espacio para guardar y se conectan en forma directa con el baño.
- El baño posee ventilación, iluminación y desarrollo de instalaciones mínimas.
- El área galería / pérgola, de extensión al aire genera espacios habitables, con una relación espacial interior-exterior.

El crecimiento de la vivienda, se desarrolla conforme a las necesidades de la familia y según el número de sus miembros, dejando previsto la posibilidad de ampliar los dormitorios por el paso que se genera entre el baño y su vinculación con el exterior. Asimismo, la galería permite su cerramiento y brinda la oportunidad de ampliar la zona diurna.

Bioclimáticamente la viviendas ha sido diseñada para ser orientada norte-sur, así se aprovecha el asoleamiento y las corrientes de aire característica de la zona, de esta manera se mejoran las condiciones de habitabilidad, y se optimiza el uso de energía para el acondicionamiento climático.

El sistema constructivo de la vivienda, posee el concepto de caja armada, esto se debe a que no posee columnas, este condicionante permite la realización de volumetrías con mayores quiebres. El uso de los contrafuertes facilita constructivamente la realización de ampliaciones.

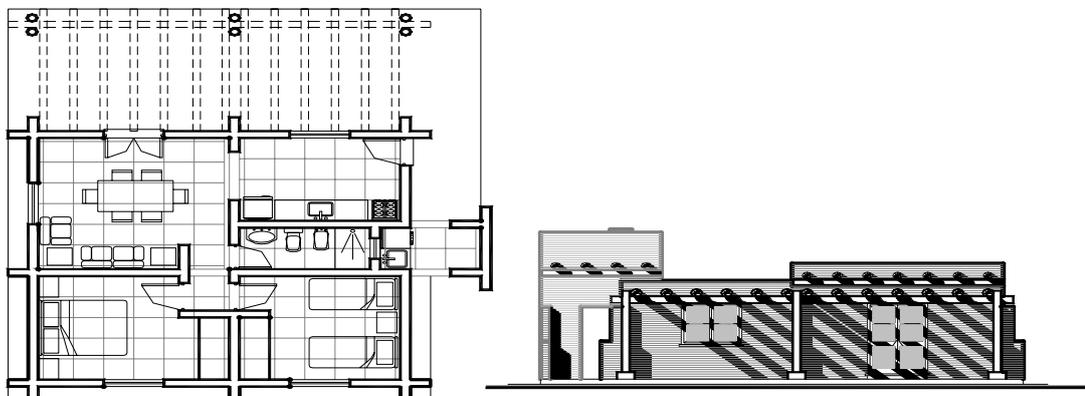


Figura 3. Planta y vista de la vivienda.



Figura 4. Imagen de la vivienda.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para la formulación del modelo matemático tridimensional en elementos finitos se emplearon dos tipos de elementos:

- a-) El elemento tipo viga, con eje recto con dos nudos y seis grados de libertad en cada uno y que permite tener en cuenta las deformaciones por esfuerzo normal, flexional y de corte. Estos elementos se han utilizado para modelar la viga de encadenado superior y la viga de fundación. La viga de encadenado superior recibe el peso de techo y sirve de viga collar en la aplicación de la carga vertical permanente y la carga lateral de distorsión. También fue empleado un elemento tipo viga para simular los encuentros de muro y contrafuertes armados verticalmente.
- b)- El elemento tipo wall-shell para modelar el paño de mampostería principal y los contrafuertes. Este elemento tiene eje recto con cuatro nudos y rigidez membranal y flexional.

De esta manera la vivienda modelada en elementos finitos se muestra en la figura 5. Las cargas aplicadas al modelo son:

Carga uniformemente distribuida en dirección vertical sobre el muro que equivale a la reacción del peso del techo ($q = 150 \text{ kg/m}^2$).

El peso propio de los muros, los tiene en cuenta el programa, como estado de carga de peso muerto, y lo calcula con el valor ingresado del peso por unidad de volumen del material suelo-cemento declarado.

Para estudiar el efecto sísmico, se considera una carga lateral estática equivalente como la que prevé la Norma Inpres-Cirsoc, que se obtiene del semipeso en altura del muro superior afectado por un coeficiente sísmico, en cada dirección de análisis.

Con estas consideraciones resulta: Carga uniformemente repartida de 120 kg/m en dirección horizontal obtenida aplicando un coeficiente sísmico de 0,3 fijado por la norma INPRES CIRSOC, vigente.

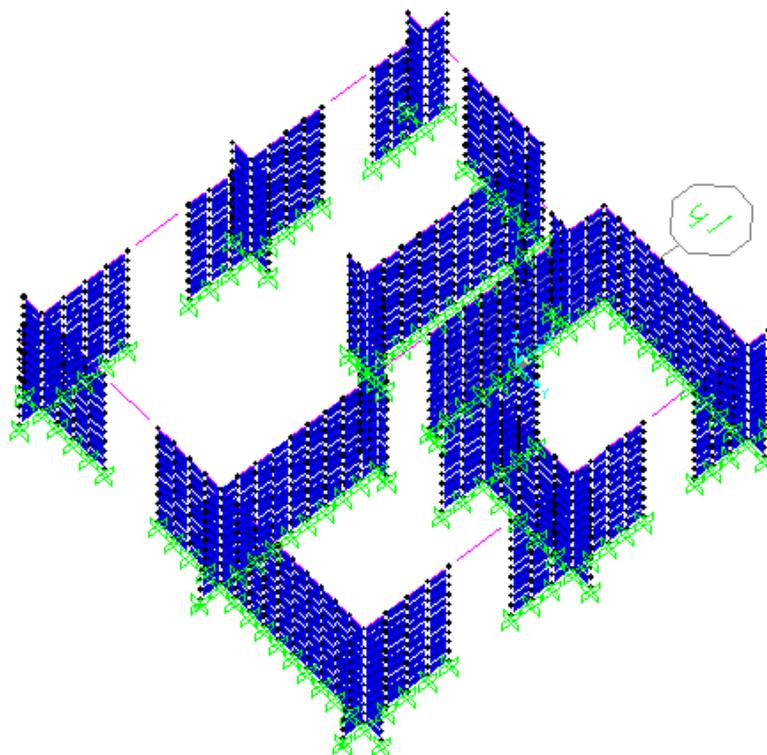


Figura 5. Vista del modelo de elementos finitos

COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Los techos propuestos en el sistema son livianos, flexibles en el sentido de no ser aptos para distribuir las fuerzas sísmicas a los muros, proporcionales a sus rigideces y los muros vibran como un borde libre, parecido a una caja de zapatos sin tapa.

Por tal motivo las fuerzas sísmicas a considerar en la verificación de cada muro, son las que se obtienen de aplicar el correspondiente coeficiente sísmico a las cargas verticales actuantes sobre los mismos.

Al actuar la fuerza sísmica provoca solicitaciones perpendiculares al plano del muro. Este proceso lleva a que los muros tiendan a volcar, trabajando en voladizo.

El fenómeno analizado se ve incrementado a medida que aumenta la separación entre los muros, pues el momento flector se incrementa.

Por su parte los contrafuertes aparte de mejorar la estabilidad de las paredes permiten materializar el anclaje de la armadura de la viga collar en los refuerzos longitudinales de los contrafuertes.

Para mejorar la resistencia al corte se coloca armadura longitudinal compuesta por $2\Phi 6$ c/ 5 hiladas.

Se analiza el estado tensional más desfavorable de la combinación de cargas de peso propio más la carga lateral sísmica equivalente, como se muestra en la figura 6, en la que se puede deducir que en general los muros se encuentran comprimidos, o con una tensión de tracción prácticamente nula. Este resultado garantiza la estabilidad de la estructura, y comparativamente con el modelo ensayado, se puede inferir que el agrietamiento resulte nulo.

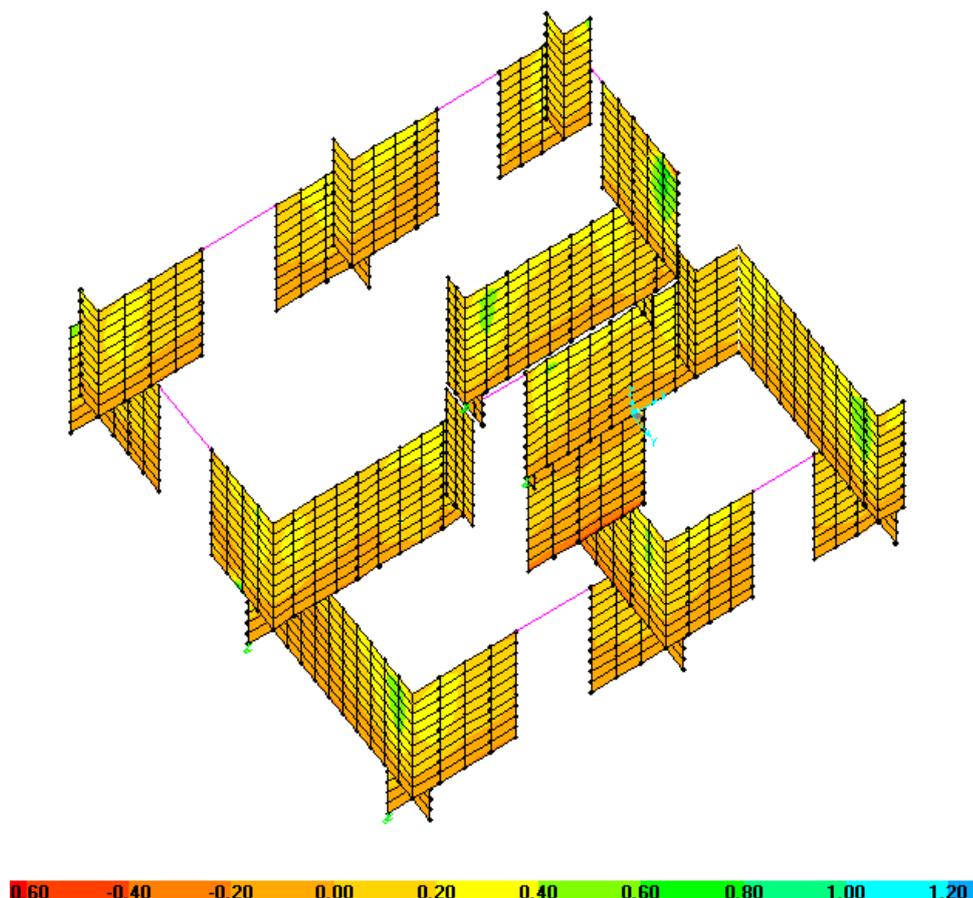


Figura 6. Estado tensional resultante más desfavorable.

Se han controlado también los desplazamientos máximos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas antes mencionada. El caso más desfavorable resulta de un nudo extremo en un muro perimetral de la vivienda, con un valor de 0,7cm, el cual se considera por demás aceptable, en función de la altura de la vivienda.

REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO FORMAL DE LA VIVIENDA

- ✓ Se deben procurar plantas simétricas con distribución balanceada de muros.
- ✓ Limitación de altura de los muros a una planta y no superar la relación de 14 veces el espesor del muro.
- ✓ Limitación de la longitud máxima de los muros entre contrafuertes (mantener la relación de 15 veces su espesor), cuando la longitud supere este valor deberá colocarse contrafuertes intermedios.
- ✓ Los muros deberán poseer en su borde superior e inferior vigas de encadenado con dimensiones y armadura mínima.
- ✓ Aberturas de puertas y ventanas pequeñas (con anchos no mayor de 1,20 m).
- ✓ Los vanos de puertas y ventanas alejados por lo menos 1,00 m de las esquinas o de lo contrario en el centro del muro.
- ✓ Empleo de techos livianos como elemento de cierre horizontal.
- ✓ La suma de las longitudes de las aberturas en un muro deberá ser no mayor de 1/3 de la longitud total del mismo.
- ✓ Los dinteles se ubicaran en coincidencia con la viga de coronamiento superior.
- ✓ El terreno de fundación deberá ser suelo firme. Suelo arenosos pobremente compactados y zonas con alto nivel de la napa freática deben descartarse.

BIBLIOGRAFÍA

GUIDELINES FOR EARTHQUAKE RESISTANT NON-ENGINEERED CONSTRUCTION IAEE - nice
2004 REDUCCION DE DESASTRES – Julio Kuroiwa- LIMA, enero de 2002
Giuliani H. (1984). Arquitectura Sismorresistente. Editorial FAUD-IRPHa.
Merril A.; (1990). Casas de tierra apisonada y suelo cemento. Editorial Winsor, Buenos Aires,
Argentina.
SAP 2000 (Versión 10-Demo-Educativa)

José Luis Bustos: Magíster Ingeniero. Profesor Titular F.I.-UNSJ. Docente en las Cátedras de Computación y en Dinámica I. Investigador en el Laboratorio de Estructuras del I.D.I.A. de la UNSJ. E-mail: jlb@unsj.edu.ar

Mary Zaldívar: Ingeniera. Profesor Adjunto de la FAUD-UNSJ. Docente en las Cátedras de Estructuras I, de la Facultad de Arquitectura de la U.N.S.J. y Estructuras Especiales, de la Facultad de Ingeniería de la U.N.S.J. Investigador en el Área Tecnológica del IRPHa-FAUD-UNSJ. E-mail: msaldivar@sinectis.com.ar

Oswaldo Albarracín: Arquitecto. Profesor Adjunto Interino 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: oalbarra@farqui.unsj.edu.ar