

MODELACIÓN NUMÉRICA DE ENSAYOS MECÁNICOS EN MUROS DE QUINCHA

Gerardo A. González del Solar^a, Guadalupe Cuitiño^b, Noemí G. Maldonado^a

^a*Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina, ceredetec@frm.utn.edu.ar, <http://www.frm.utn.edu.ar/ceredetec>*

^b*Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA) Centro Científico tecnológico – CCT Mendoza-CONICET, Av. Ruíz Leal s/n Parque General San Martín. 5500 Mendoza, Argentina.*

Palabras Clave: Quincha, Carga Vertical, Carga Horizontal, Simulación.

Resumen. Las construcciones de quincha se presentan como una alternativa a problemas habitacionales. La quincha es un sistema constructivo cuyos cerramientos están conformados de un bastidor de madera, un esqueleto interno de caña y el relleno es una mezcla de barro a base de arcilla-arena-fibra vegetal. Al tratarse de un elemento para la conformación de una estructura habitacional, es necesario que cumpla con características mecánicas de resistencia a compresión vertical y de carga horizontal. Para ello se realizaron los ensayos experimentales correspondientes según normas IRAM, en elementos a escala real. A partir de los resultados obtenidos en forma, se realizó un modelo matemático, empleando el software Abaqus, que representa el comportamiento general de la estructura. Este modelo intenta ser una primera aproximación a la respuesta real de estos componentes alternativos ante sollicitaciones mecánicas. Los resultados teóricos alcanzados en la simulación muestran un comportamiento general similar al observado en los ensayos experimentales.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática habitacional conlleva a la búsqueda de soluciones que ayuden a paliar la situación actual. Los datos aportados por el Censo 2010 indican que en la provincia de Mendoza el déficit de viviendas irrecuperables es de 16.933 unidades, es decir el 3,14% del total de viviendas existentes (INDEC, 2010). Este porcentaje puede ser tratado desde las tecnologías alternativas (Capello et al, 2011). En este sentido, las construcciones de quincha están orientadas hacia la búsqueda de una solución económica y permanente. Esta técnica es una confluencia de distintos materiales cuya combinación dan características particulares a la estructura formada.

La innovación en las tecnologías constructivas exige a los ingenieros el estudio exhaustivo del comportamiento estructural de los elementos propuestos. Este estudio puede ser llevado a cabo a través de ensayos experimentales que representen las condiciones de trabajo bajo las que se verá sometido el elemento. Sin embargo el costo económico y humano que esto implica suele ser muy elevado. Para sortear este problema, se propone el análisis a través de un modelo matemático basado en el Método de Elementos Finitos.

En este trabajo se describe el modelo matemático desarrollado con el software ABAQUS (Simulia, 2011) y se presentan los resultados alcanzados así como la contrastación con los resultados experimentales obtenidos en laboratorio.

2. DESCRIPCIÓN DEL PANEL DE QUINCHA

Para los ensayos mecánicos de los muros se confeccionaron paneles a escala 1:1, de 1,20 m de ancho, 1,80 m de altura y 0,10 m de espesor. Los elementos se encuentran conformados por un bastidor de madera y un esqueleto de cañas con relleno de barro, y en algunos casos, enmarcado por una estructura perimetral de rollizos.

El bastidor del panel, se compone de un marco que contiene en su interior una diagonal y dos listones horizontales ubicados en los tercios medios. Esta distribución genera un muro conformado por seis paños (Fig. 1). El material es madera de álamo cepillado de 2" x 4" (donde las 4" dan el espesor del panel). Para la fijación de las uniones entre listones se emplean clavos espiralados de 3" y adhesivo vinílico.

El relleno del elemento se compone de cañas de Castilla (*Arundo donax*) dispuestas con una separación de 8 cm, tanto en sentido horizontal como vertical. Éstas se fijan a la estructura por medio de un listón de 1/2" x 1 1/2", unido al bastidor a través de clavos cajoneros de 2" y adhesivo vinílico. Finalmente se aplica sobre la caña en ambas caras, un recubrimiento con una mezcla de barro y paja.

Para dar mayor estabilidad a la base del panel se coloca un rollizo canteado en dos caras de 10 cm de espesor.

Cabe mencionar que los elementos destinados a ser ensayados bajo carga horizontal son reforzados en su perímetro con rollizos de álamo unidos al bastidor por clavos espiralados de 4".



Fig. 1: Secuencia de armado del panel de quincha: Izq. Armado del bastidor y esqueleto de caña. Medio: Aplicación de barro. Der: Panel terminado.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

3.1 Ensayo de carga vertical

El ensayo de carga vertical, normalizado en la norma IRAM N° 11.588 (IRAM, 1972), consiste en la aplicación de una carga distribuida en la parte superior del panel en ciclos crecientes de carga y descarga, registrando las deformaciones sufridas.

La Fig. 2 esquematiza el ensayo realizado en laboratorio. En ella se puede observar que la aplicación de la fuerza puntual es distribuida en toda la sección por medio de una viga de carga. Las deformaciones verticales son medidas por medio de cuatro flexímetros ubicados uno por cada vértice superior. Además, se dispone de dos flexímetros horizontales para registrar los desplazamientos fuera del plano.

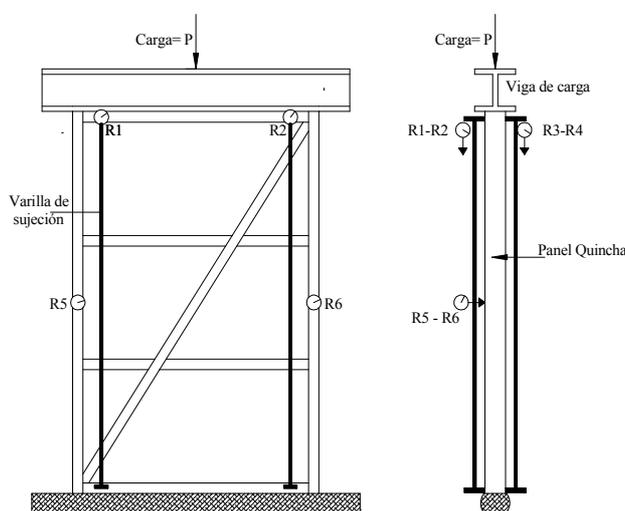


Fig. 2: Esquema de ensayo de carga vertical en los paneles de quincha.

3.2 Ensayo de carga horizontal

El ensayo de carga horizontal consiste en la aplicación de una fuerza lateral en el extremo superior del muro registrando las deformaciones experimentadas. La sollicitación es aplicada en ciclos crecientes de carga y descarga.

Debido al diseño del panel es necesario realizar el estudio en dos direcciones, la primera en el sentido del refuerzo diagonal y la segunda en el opuesto. En ambos casos se colocan

flexímetros que registran la deformación del panel. Estos se distribuyen en el perímetro de manera de medir el levantamiento en la cara de carga, el desplazamiento horizontal del extremo superior y el acortamiento en la cara del talón. La Fig. 3 muestra las características generales del ensayo.

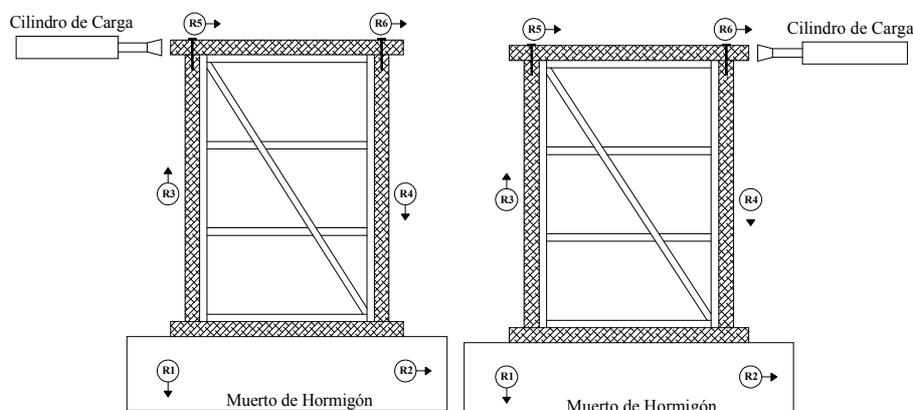


Fig. 3: Esquema de aplicación de carga horizontal según la dirección de la diagonal.

4. MODELO MATEMÁTICO ADOPTADO

Para el análisis del comportamiento estructural del panel de quinchas, se procedió a la simulación del elemento empleando el Software Abaqus/CAE v6.11.

Para ello se confecciona un macro modelo bajo el Método de Elementos Finitos compuesto fundamentalmente de partes sólidas deformables tridimensionales. Además, se emplean elementos analíticos rígidos tipo cáscara que simulan los dispositivos de carga.

La geometría del panel responde a las características del elemento ensayado experimentalmente y que se detallan en la Fig. 4.

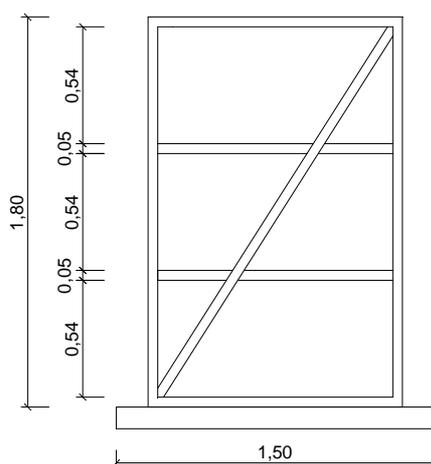


Fig. 4: Descripción general del panel de quinchas.

Debido a la diversidad de materiales presentes en el panel, se procedió al diseño de dos materiales ideales que representan en su conjunto las características mecánicas totales evidenciadas durante los ensayos.

Se asume como hipótesis de partida, una unión perfecta entre las diferentes partes componentes simuladas para el panel. De esta manera, están impedidos todos los desplazamientos relativos entre los distintos componentes dentro del elemento.

4.1 Modelo discreto

El modelo de elementos finitos se compone de aproximadamente 37000 elementos hexaédricos tipo C3D8R y 300 elementos lineales tipo C3D6.

El tamaño de los elementos y la densidad de la malla han sido definidos de manera tal de permitir un estudio en el espesor del panel, que muestre la respuesta del refuerzo diagonal y el comportamiento del relleno ante los diferentes estados de carga, Fig. 5.

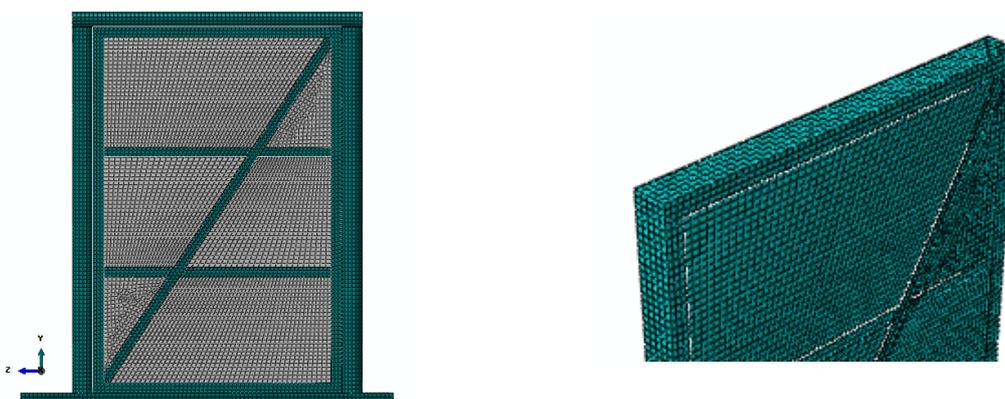


Fig. 5: Mallado del panel de quincha. Izq. Vista frontal. Der. Detalle.

4.2 Modelos de Materiales

La gran diversidad de materiales componentes (barro, caña, y madera de álamo) así como de sus proporciones hace de este panel una estructura por demás compleja. A fin de acotar los parámetros, se propone para la simulación un macro modelo cuya respuesta estructural sea coherente con lo evidenciado durante los ensayos experimentales.

Para ello se procede a la simulación de dos materiales ideales que sin ser de igual naturaleza que los originales, respetan su comportamiento general dentro de rangos de tolerancia aceptables.

Los materiales empleados son isótropos y homogéneos y han sido denominados "Marco" y "Compuesto", y distribuidos según puede observarse en la Fig. 6.

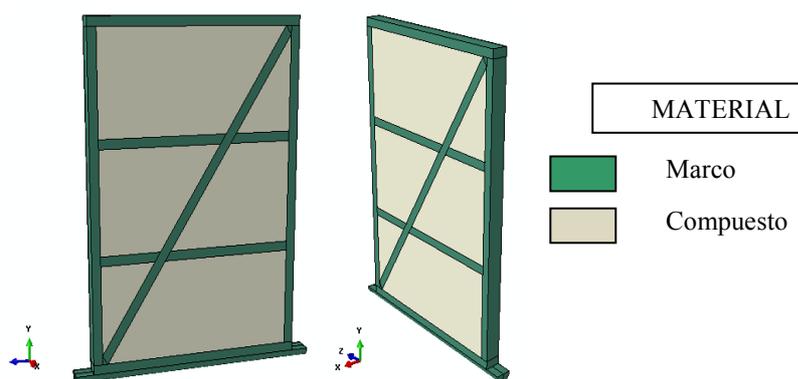


Fig. 6: Modelación numérica del panel de quincha.

4.2.1. Material "Marco":

De la figura anterior se observa que el material denominado "marco" se corresponde con el bastidor. Debido a esto, la densidad adoptada es la correspondiente al *Populus x canadensis* 'I-78', una variedad de álamo (Calderón et al, 2011).

Las características elasto-plásticas obtenidas durante los ensayos experimentales son adoptadas para definir el comportamiento de este material ideal.

La [Tabla 1](#) resume lo antedicho.

Características Elásticas	
E [N/m ²]	6,44E+08
Coef. de Poisson (ν)	0,30
Características Plásticas	
Tensión umbral inicio de daño a compresión [N/m ²]	1,74E+05
Tensión última de compresión [N/m ²]	8,41E+05
Deformación última a compresión [m]	0,00188

Tabla 1: Características elasto-plásticas generales del material "Marco".

En virtud del comportamiento observado en la estructura durante los ensayos experimentales se adoptó para la simulación de este material ideal, un modelo de falla denominado "Concrete Damaged Plasticity". Este modelo utiliza conceptos de daño elástico isotrópico en combinación con tensión isotrópica y plasticidad a compresión para representar el comportamiento de materiales de baja ductilidad. De esta manera, la teoría de falla es apta para describir el daño irreversible que se produce en la estructura debido a la acción de cargas cíclicas. El modelo toma en consideración la degradación de la elasticidad inducida por los esfuerzos a tensión seguidos de compresión.

El modelo "Concrete Damaged Plasticity", asume que la reducción en el módulo de elasticidad está definido a través de una variable llamada *parámetro de daño* "dc", y que puede obtenerse a partir de la Ecuación 1.

$$E_i = E_0(1 - d_c) \Rightarrow d_c = 1 - \frac{E_i}{E_0} \quad (1)$$

La pérdida de rigidez ocasionada por los ciclos de carga y descarga, se puede analizar en términos de la deformación inelástica (ϵ_c^{in}) en lugar de emplear la deformación plástica (ϵ_c^{pl}). La deformación inelástica a compresión (ϵ_c^{in}) se define como la deformación total sufrida menos la deformación elástica (ϵ_{0c}^{el}) correspondiente al material sin dañar, es decir, a la deformación proveniente de la relación entre la tensión a compresión, σ_c , y el módulo elástico inicial E_0 . Esto queda en evidencia al analizar la [Fig. 7](#).

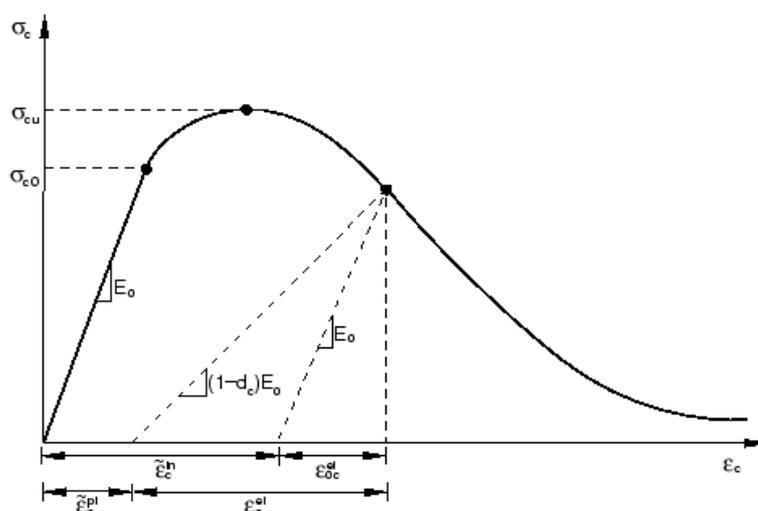


Fig. 7: Comportamiento σ - ϵ a compresión en un modelo tipo Concrete Damaged Plasticity.

Por medio del parámetro de daño d_c , el Software ABAQUS convierte automáticamente los valores de deformación inelástica (ϵ_c^{in}) a valores de deformación plástica (ϵ_c^{pl}) mediante la aplicación de la Ecuación 2.

$$\epsilon_c^{pl} = \epsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} * \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (2)$$

Este parámetro de daño es incorporado al modelo numérico en término de la curva de daño a compresión $d_c - \epsilon_c^{in}$ a través de la subrutina "Concrete Compression Damage".

La [Tabla 2](#) resume los resultados obtenidos durante los ensayos experimentales a carga vertical cíclica en los elementos de quincha. También expone los ensayos valores de deformación inelástica y del parámetro de daño necesarios para la confección de la curva de daño a compresión.

σ_c [N/m ²]	E_i [N/m ²]	d_c	ϵ_c^{in} [m/m]
1,74 E+05	$E_0 = 6,44 E+08$	0,000	0,00
2,58 E+05	4,97 E+08	0,229	2,37 E-04
3,41 E+05	4,38 E+08	0,321	5,00 E-04
4,24 E+05	4,03 E+08	0,375	7,89 E-04
5,08 E+05	4,02 E+08	0,377	9,53 E-04
5,91 E+05	3,98 E+08	0,382	1,13 E-03
6,74 E+05	3,90 E+08	0,396	1,37 E-03
7,58 E+05	3,84 E+08	0,404	1,59 E-03
8,41 E+05	3,74 E+08	0,419	1,88 E-03

Tabla 2: Parámetros del material "Marco" para el modelo Concrete Damaged Plasticity.

4.2.2. Material "Compuesto":

Para el macro modelo desarrollado se simula un único material ideal denominado "compuesto" y que representa la respuesta mecánica del relleno formado por barro y caña.

El material simulado tiene un comportamiento isótropo lineal elástico. Las propiedades elásticas del mismo surgen de un proceso de iteración basado en valores límites obtenidos por

medio de la Teoría de Mezclas para materiales compuestos (Truesdell et al., 1960). También se determina una densidad equivalente a través de la teoría mencionada.

Las Ecuaciones 3 y 4 permiten determinar un parámetro máximo (E_{\max}) y uno mínimo (E_{\min}) para el Módulo de Elasticidad equivalente. Estos valores límites están en función del módulo de elasticidad y del volumen relativo del barro (E_B y V_B , respectivamente) así como del módulo de elasticidad y del volumen relativo de la caña (E_C y V_C , respectivamente).

Por otra parte, a través de la Ecuación 5 se obtiene la densidad equivalente como función de los volúmenes relativos y las densidades de cada uno de los componentes (ρ_C y ρ_B , densidad de la caña y del barro, respectivamente).

$$E_{\max} = V_C (\%) \times E_C + V_B (\%) \times E_B \quad (3)$$

$$E_{\min} = \frac{E_B \times E_C}{V_C (\%) \times E_B + V_B (\%) \times E_C} \quad (4)$$

$$\rho = V_C (\%) \times \rho_C + V_B (\%) \times \rho_B \quad (5)$$

Para la aplicación de las ecuaciones anteriores, se adoptaron las propiedades mecánicas de cada componente de acuerdo a lo que se especifica en la Tabla 3 y que fueron obtenidos por medio de ensayos experimentales realizados sobre muestras de los materiales.

Material:	Caña	Barro
Densidad [kg/m ³]	675	1604
Módulo de Elasticidad [N/m ²]	2,50 E+10	1,650 E+8
Volumen relativo [%]	15,2	84,8

Tabla 3: Características de máxicas y elásticas del barro y la caña.

La Tabla 4 muestra los valores límites para el Módulo de Elasticidad y la densidad calculados por medio de la Teoría de Mezclas. Además expone los parámetros elásticos y máxicos adoptados en el modelo, los que surgen de un proceso de iteración.

Valores s/Teoría de Mezclas	
E_{\max} [N/m ²]	3,94E+09
E_{\min} [N/m ²]	1,94E+08
ρ [kg/m ³]	1462,8
Valores adoptados	
E [N/m ²]	7,61E+08
ρ [kg/m ³]	1462,8
Coef. de Poisson (ν)	0,20

Tabla 4: Características elásticas del material "Compuesto".

4.3 Estado de cargas y condiciones de borde

El modelo matemático representa los estados de carga y condiciones de vínculos materializados durante los ensayos experimentales de compresión vertical y carga horizontal descriptos en el apartado 3.1.

En tal sentido, el sistema simulado se compone del plato de carga, del modelo discreto en estudio y de la losa de hormigón armado sobre la que descansa el panel. Debido a que el análisis se centra en el comportamiento estructural del panel, tanto el plato de carga como la

losa fueron simulados a través de sendos elementos rígidos analíticos (rigidez infinita). La losa por su parte, fue vinculada por medio de un empotramiento, es decir impedida de todo tipo de movimiento.

Se asumió un contacto rígido en las interfaces plato de carga - panel y panel - losa de apoyo.

4.3.1. Ensayo de compresión vertical

El plato de carga simulado posee un sistema de vinculación que permite el desplazamiento según el eje vertical (Eje Y) y las rotaciones alrededor de los ejes perpendiculares. De esta manera, el elemento puede adaptarse libremente a las deformaciones que sufre el panel a medida que incrementa la carga.

Por otro lado, el panel se encuentra apoyado sobre la losa quedando impedido de los desplazamientos verticales y permitiendo los transversales producto del efecto Poisson.

Finalmente, la carga aplicada se trata de una fuerza distribuida en la sección transversal del modelo y cuya magnitud incrementa de manera lineal hasta la falla del elemento. Además, el sistema considera la acción de la gravedad.

4.3.2. Ensayo de carga horizontal

La modelación responde a las características observadas durante la ejecución del ensayo experimental y que fueron presentadas en la Fig. 3. Cabe mencionar que se simularon los dos casos expuestos, con la aplicación de la carga horizontal (según eje Z) en la dirección de la diagonal, primero, y en la dirección opuesta, en segundo lugar.

En cuanto a las condiciones de borde, el plato de carga de rigidez infinita posee un sistema de vinculación similar al presentado en el ensayo anterior. Se permite el desplazamiento en la dirección lateral (eje Z) y las rotaciones alrededor de los ejes perpendiculares.

Durante el ensayo experimental, el panel de quinchas fue sujeto a la losa sobre la que descansaba por medio de abrazaderas que impedían el cabeceo y el traslado horizontal. Para el modelo matemático, este sistema de vinculación fue simulado a través de dos restricciones: Por un lado se toman las salientes del rollizo inferior impidiéndolos de todo desplazamiento vertical (eje Y). Como segunda medida, se vincula toda la base de apoyo del modelo a la losa de manera de evitar el desplazamiento lateral (ejes X y Z).

Para simular las condiciones de carga del panel se sometió al sistema a una fuerza lateral creciente aplicada en el rollizo superior, primero en el sentido positivo del eje Z y luego en el sentido negativo. Lo anterior en combinación con la acción de la gravedad.

5. RESULTADOS

Se exponen a continuación los resultados alcanzados durante los ensayos de laboratorio y aquellos obtenidos por medio del modelo matemático propuesto.

Cabe mencionar que la curva Fuerza-Desplazamiento para los ensayos experimentales se ve interrumpida al 50% de la carga de rotura para preservar los instrumentos de medición. Por este motivo, los datos experimentales presentados se componen de las deformaciones alcanzadas hasta una carga de referencia y la carga de rotura.

5.1 Ensayo de compresión vertical

La Fig. 8 presenta la curva Fuerza-Desplazamiento comparativa para el ensayo de carga vertical. En ella se observa los resultados promedios del ensayo experimental de tres elementos de quinchas, registrados hasta una carga del orden de la mitad de la correspondiente a la rotura del panel. Asimismo, se exhibe en la misma figura los resultados alcanzados por el

modelo matemático hasta la falla del elemento.

Durante la ejecución del ensayo experimental, se toman registros de las deformaciones hasta una carga de $1,01E+05$ N. Para esta magnitud, el acortamiento promedio medido es de $0,0038$ m. Por otro lado, y como puede observarse en la gráfica, el modelo matemático presenta un acortamiento de $0,0026$ m para el mismo estado tensional.

Además, la carga de rotura promedio en los ensayos de laboratorio alcanza un valor de $2,08E+05$ N con una desviación de $7,492 E+03$ N y una carga característica de rotura de $1,87 E+05$ N. El modelo matemático, en tanto, presenta una carga de rotura de $1,95E+05$ N.

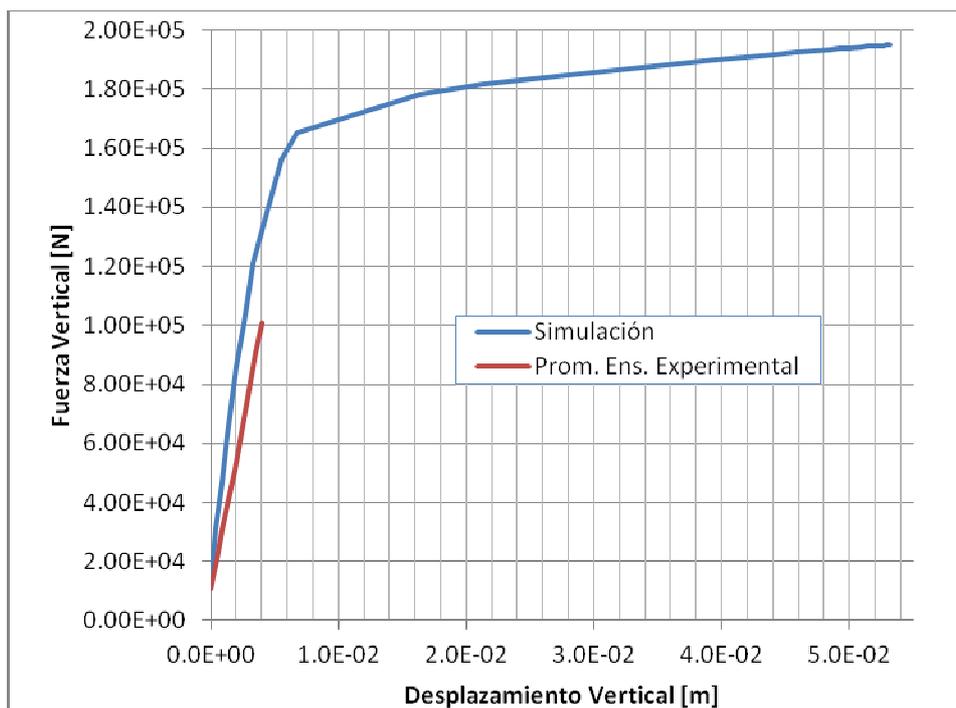


Fig. 8: Curva comparativa Fuerza - Desplazamiento vertical.

La Fig. 9 exhibe el estado de tensiones máximas y los acortamientos verticales obtenidos en la simulación para la carga de rotura. A través de los colores rojo y gris, el diagrama de tensiones esquematiza las zonas más afectadas, las que son coincidentes con aquellas que evidenciaron mayores daños durante el ensayo experimental.

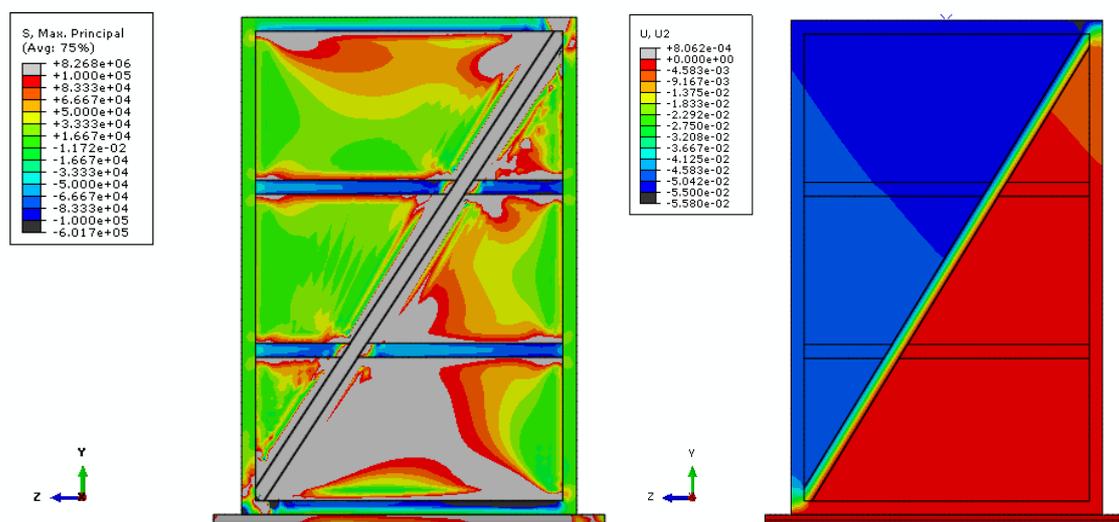


Fig. 9: Tensiones máximas y desplazamientos verticales para la carga de rotura simulada.

5.2 Ensayo de carga horizontal.

La Fig. 10 muestra la curva Fuerza-Desplazamiento para la carga horizontal aplicada en la dirección del refuerzo diagonal, que compara los resultados obtenidos entre el ensayo experimental de los paneles denominados PQH-2 y PQH-3 y los alcanzados a través del modelo matemático.

Durante los ensayos de laboratorio se registró un desplazamiento horizontal promedio de 0,0033 m para una carga de $1,40E+04$ N, siendo la carga de rotura promedio de $1,62E+04$ N. Por otro lado, el modelo numérico diseñado alcanzó una carga de rotura de $1,00E+04$ N con una deformación correspondiente a 0,0147 m.

Asimismo, la Fig. 11 exhibe los resultados experimentales de los paneles denominados PQH-4 y PQH-5 sometidos a carga horizontal en el sentido opuesto al de la diagonal de refuerzo. Estos se expresan en términos de la curva Fuerza-Desplazamiento y son comparados con los alcanzados por el modelo de simulación.

Los resultados experimentales registrados muestran un desplazamiento horizontal promedio de 0,00388 m a una carga de $1,40E+04$ N, siendo la carga de rotura promedio de $1,97E+04$ N. Por otro lado, el modelo numérico presenta una carga de rotura de $1,04E+04$ N con una deformación correspondiente a 0,0174 m.

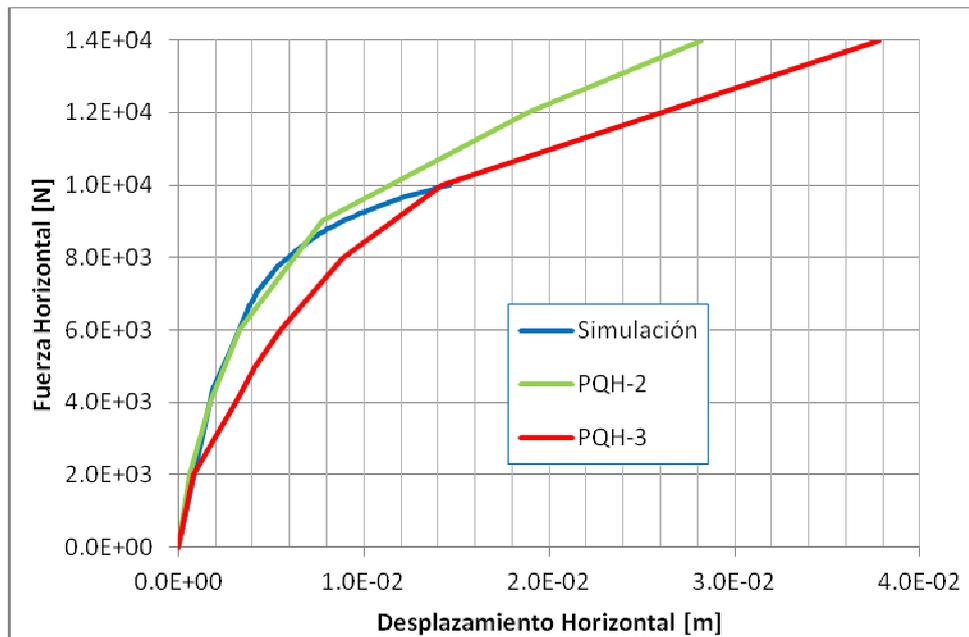


Fig. 10: Curva comparativa Fuerza - Desplazamiento en carga horizontal en la dirección de la diagonal.

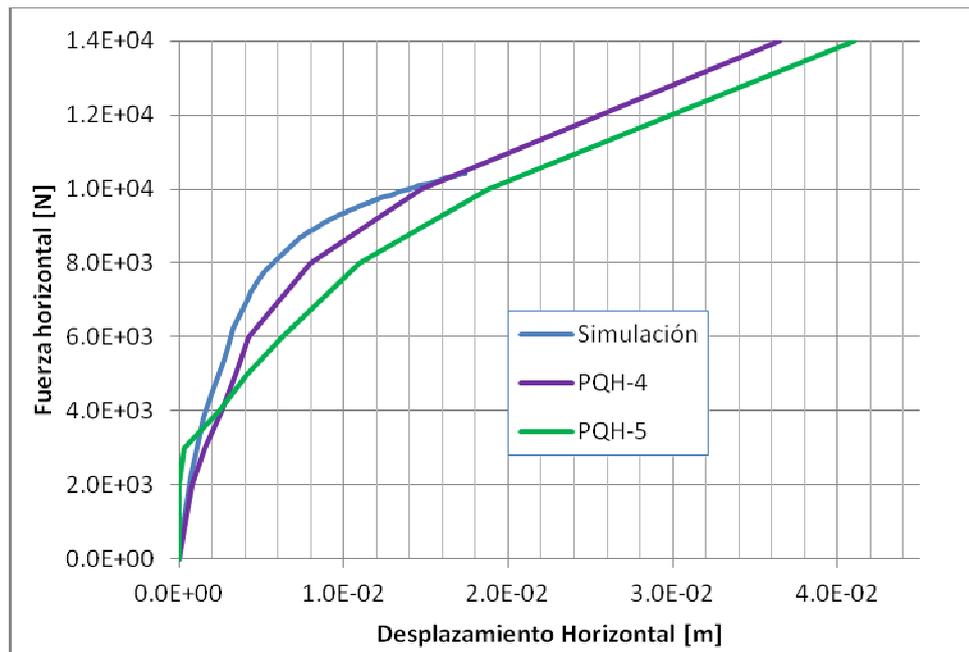


Fig. 11: Curva comparativa Fuerza - Desplazamiento en carga horizontal en la dirección opuesta a la diagonal.

Asimismo, la Fig. 12 y la Fig. 13 muestran la distribución de tensiones máximas y los desplazamientos horizontales obtenidos en el modelo matemático para los dos casos en estudio.

Se destaca el estado tensional en las uniones entre rollizos. Durante los ensayos experimentales se alcanza el colapso de la estructura debido al arrancamiento de los elementos en estos puntos.

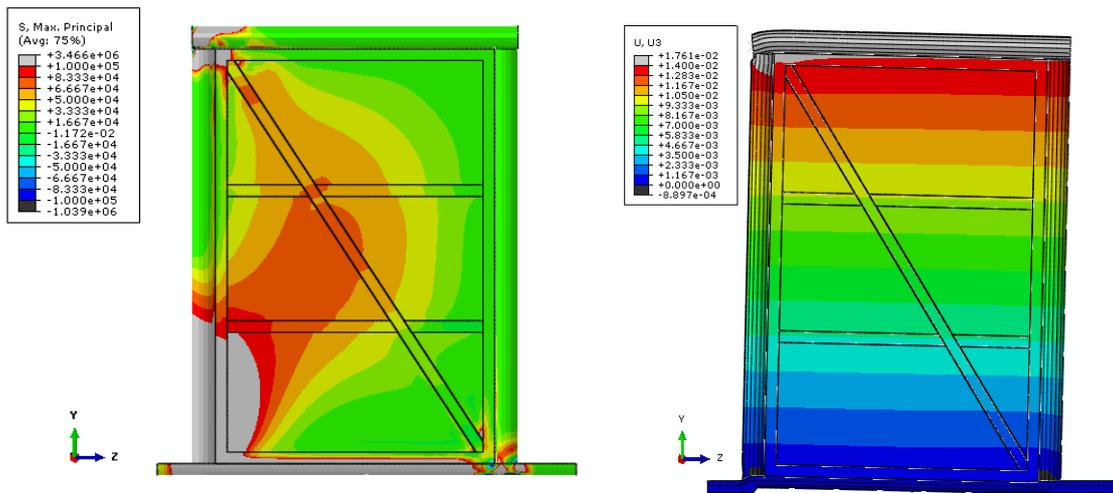


Fig. 12: Dirección de aplicación de carga: de sentido positivo en eje Z. Izq. Distribución de tensiones máximas. Der.: Desplazamiento en la dirección Z bajo carga horizontal. Escala de deformación: 3.

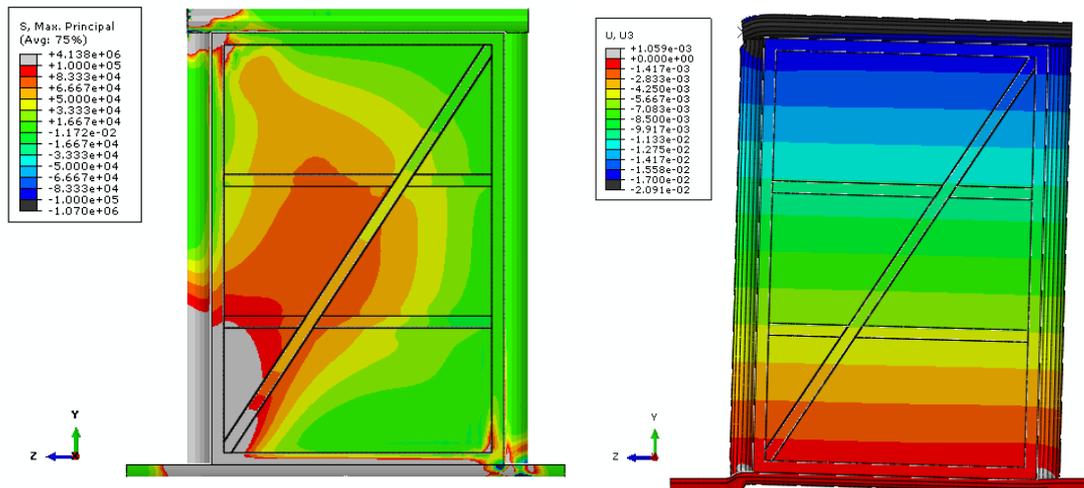


Fig. 13: Dirección de aplicación de carga: de sentido negativo eje Z. Izq. Distribución de tensiones máximas. Der.: Desplazamiento en la dirección Z bajo carga horizontal. Escala de deformación: 3

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo, se realizó el análisis de un macro modelo propuesto para el estudio del comportamiento estructural de elementos de quinchas para construcciones habitacionales. Los resultados alcanzados fueron comparados con los obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

La respuesta general del modelo numérico refleja con fidelidad el comportamiento general de la estructura. Sin embargo, es prudente mencionar algunas limitaciones observadas durante el análisis del modelo.

En general, la hipótesis de partida presenta un modelo cuya unión entre las diferentes piezas componentes es perfecta. Esto, evidentemente, no representa el comportamiento real de la estructura produciendo deformaciones menores a las verdaderas. Los paneles ensayados bajo carga horizontal en laboratorio evidenciaron que el motivo principal de falla se debe al arrancamiento de los componentes del nudo en el que se aplicó la carga, efecto que no queda expuesto en el modelo.

Los diagramas de tensiones obtenidos a través del modelo matemático, tanto para el caso

bajo carga vertical como el de carga horizontal, son representativos de los daños observados durante los ensayos experimentales.

Al tratarse de un material alternativo y con pocos antecedentes en el campo de la simulación numérica estructural, esta primera aproximación al comportamiento real resulta un enfoque interesante en el que se puede seguir trabajando.

7. REFERENCIAS

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2010). <http://www.censo2010.indec.gov.ar>
- Capello, Marcelo; Galassi, Gabriela. (2011). Problemas habitacionales e inversión en viviendas sociales en Argentina. *Instituto de Estudios sobre la Realidad Argentina y Latinoamericana (IERAL) de Fundación Mediterránea*.
- Simulia. Abaqus Analysis User's Manual, 6.11. *Dassault Systèmes Simulia Corp*, 2011.
- Norma IRAM 11.588. (1972). Muros ciegos de edificios. Método de ensayo de compresión. *IRAM*. Buenos Aires.
- Calderón, A.D.; Roig, F.A. ; Zanetti, R.P.; Aguado, E. G.; Furlani, A.M.; Martínez, F. G. Características físico-mecánicas de maderas de clones de álamo ensayadas en la Provincia de Mendoza – República Argentina – Parte I. *III Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina - Trabajo Técnico*. Neuquén, 2011.
- Truesdell, C.; Toupin, R. The classical field theories. Ed. by S. Flugge. *Handbuch der Physik III/I Springer Verlag Berlin*. 1960.