

# Avances en simulación numérica de un muro de corte de madera en entramado ligero utilizando software de elementos finitos basado en Building Information Modeling

Ailín ML. Alegre <sup>a</sup>, Camila I. Korpys <sup>b</sup>, Diego A. García <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Alumna del Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Docente del Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> Docente del Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: ailin.alegre95@gmail.com, garciadieago@fio.unam.edu.ar, camila.korpys@fio.unam.edu.ar

---

## Resumen

En este trabajo se presentan los avances logrados mediante la simulación numérica de un muro de corte de madera en entramado ligero. Se ha modelado el muro en software basado en el método de elementos finitos (MEF) y *Building Information Modeling* (BIM). Se compara lo logrado en cuanto a deformación horizontal máxima obtenida en ensayos de paneles similares realizados en Pino Taeda o Pino Elliotti en base a los lineamientos establecidos por la normativa europea EN 494. El perfeccionamiento del modelo permitirá en un futuro optimizar los componentes del sistema constructivo, modelar viviendas completas y lograr la interoperabilidad con otros softwares BIM para lograr una gestión integral del diseño, cálculo, seguimiento en la construcción, operabilidad y mantenimiento de estructuras de entramado ligero.

**Palabras Clave** – *Building Information Modeling, Elementos Finitos, Entramado Ligero, Paneles de madera.*

## 1 Introducción

En Argentina, la madera es un material de construcción utilizado para viviendas y edificaciones desde hace muchos años, pero en la actualidad es una tendencia que ha tomado fuerza debido a sus ventajas constructivas, ecológicas, económicas y estéticas. El sistema constructivo de mayor difusión en nuestra región es el de entramado ligero, el cual se basa en la utilización de un bastidor de madera y un sistema de capas con diferentes funciones, entre las cuales se puede mencionar el soporte estructural, y la aislación térmica, entre otras. Mediante este módulo estructural se crean paneles que pueden ser utilizados en la construcción de paredes de viviendas.

En este trabajo se analiza el comportamiento mecánico de un muro de corte utilizado en el sistema constructivo de entramado ligero como elemento resistente frente a las cargas horizontales. El mismo está formado por un bastidor de madera aserrada y tableros multilaminados estructurales unidos a través de clavos al bastidor. El bastidor se materializa con piezas aserradas de pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*), los cuales son los más utilizados en nuestra provincia. El objetivo es simular mediante el método de los elementos finitos el comportamiento estructural de un

panel de madera, comparando los resultados obtenidos mediante el software SAP 2000 (2016) y con RFEM 5 Versión estudiantil (2019), ya basado en BIM, que es a fin de establecer comparativa entre ambos.

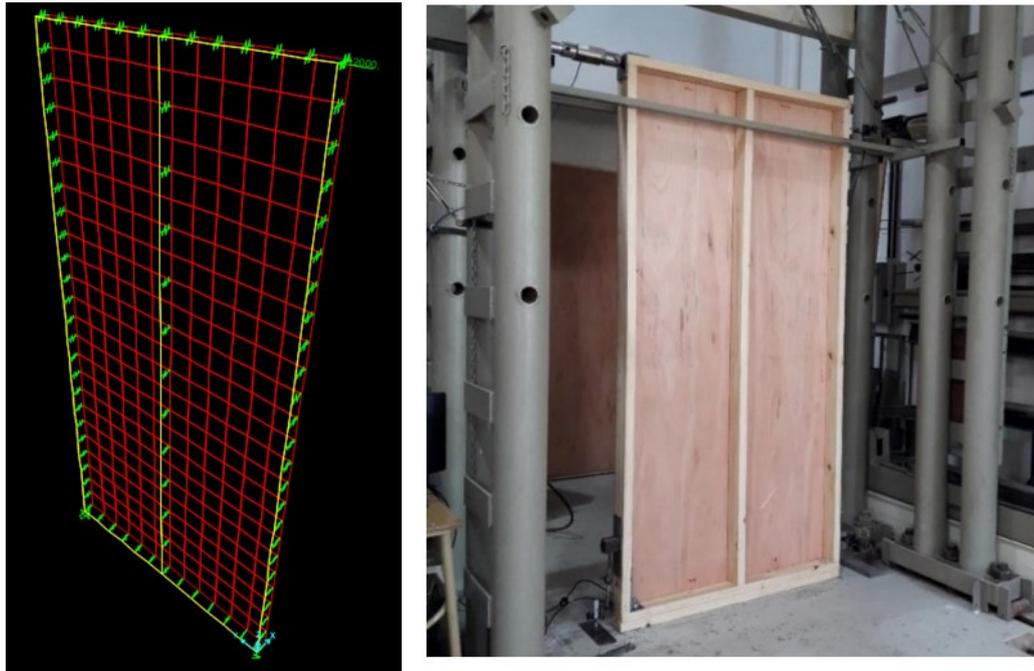
La importancia de migrar a softwares basados en BIM nace de que es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción [1]. Esta busca centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. Supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano (2D), ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D) [2]. Por lo que en este trabajo se pretende mostrar los avances tenidos en cuanto a su utilización.

## 2 Secciones y materiales

El panel de entramado ligero se compone por el bastidor, placa de corte y uniones placa-bastidor. El bastidor consta de 3 parantes de 2,40 m de alto, y dos soleras de 1,2 m de largo; la sección transversal de los elementos que conforman el bastidor es de 2"x4". La placa de corte multilaminada de 11,2mm de espesor está unida al bastidor mediante clavos torsionados de 2 pulgadas.

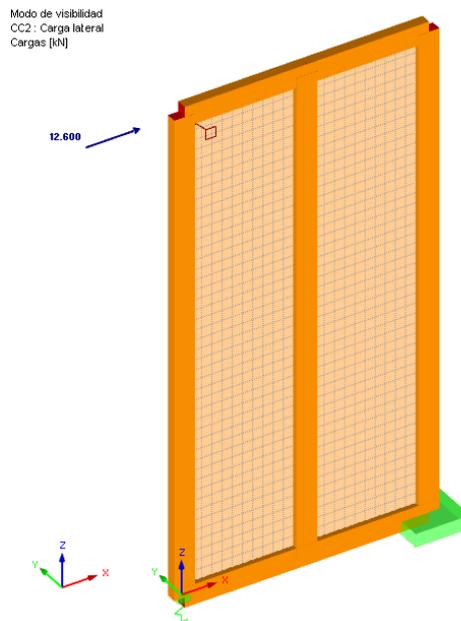
Para la simulación del muro de corte y su ensayo experimental [3], el bastidor se representa mediante elementos *frame*, utilizando como material la madera de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, cuyo módulo de elasticidad se adopta igual a 13.300 MPa con una densidad de 496 kg/m<sup>3</sup>[4]. Para simular la placa de corte multilaminada, se utilizan elementos de área tipo shell se modela utilizando un modelo de material ortótropo [5] definiendo sus módulos de elasticidad en dos direcciones, 1000 MPa y 1600 MPa, para el módulo de corte se adopta 520 MPa (todas las direcciones) y una densidad de 692 kg/m<sup>3</sup>. Para simular las uniones placa - bastidor en el modelo en SAP 2000 se utilizaron elementos link, adoptando un módulo de deslizamiento (rigidez del medio de unión) según los lineamientos del CIRSOC 601[6]. El módulo de deslizamiento relaciona el diámetro del elemento de unión y la densidad de los materiales vinculados, obteniéndose un valor de referencia de 1.774,33 N/mm. Mientras que en RFEM 5 se empleó una herramienta llamada liberación de línea buscando replicar el comportamiento de los clavos que se observó en el modelo en SAP 2000.

Finalmente, el muro de corte se vincula a la fundación mediante un anclaje antivuelco del tipo *hold down* el cual se modela como elemento tipo *spring* o resorte en ambos softwares adoptando un valor de referencia para su rigidez de 12.000 N/mm [5]. En la Figura 1, se presenta el modelo numérico desarrollado (izquierda 1A) y una imagen del ensayo experimental reportado en el trabajo de referencia [4] (derecha 1B, imagen tomada del mismo). En la Figura 1B, se puede observar la aplicación de la carga horizontal en la esquina superior izquierda, mientras que las deformaciones horizontales son registradas en la esquina superior derecha del panel. En el ensayo se registra además el levantamiento en la esquina inferior izquierda (Figura 1B), en donde se coloca el anclaje antivuelco (dispositivo *hold down*).

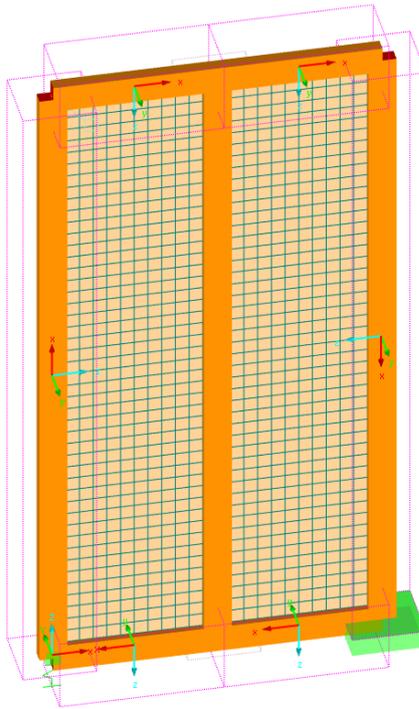


**Fig. 1.** Modelo numérico desarrollado en SAP 2000 (izquierda 1A). Ensayo experimental presentado en el trabajo de referencia (Ramos et al., 2021) (derecha 1B, imagen tomada del mismo).

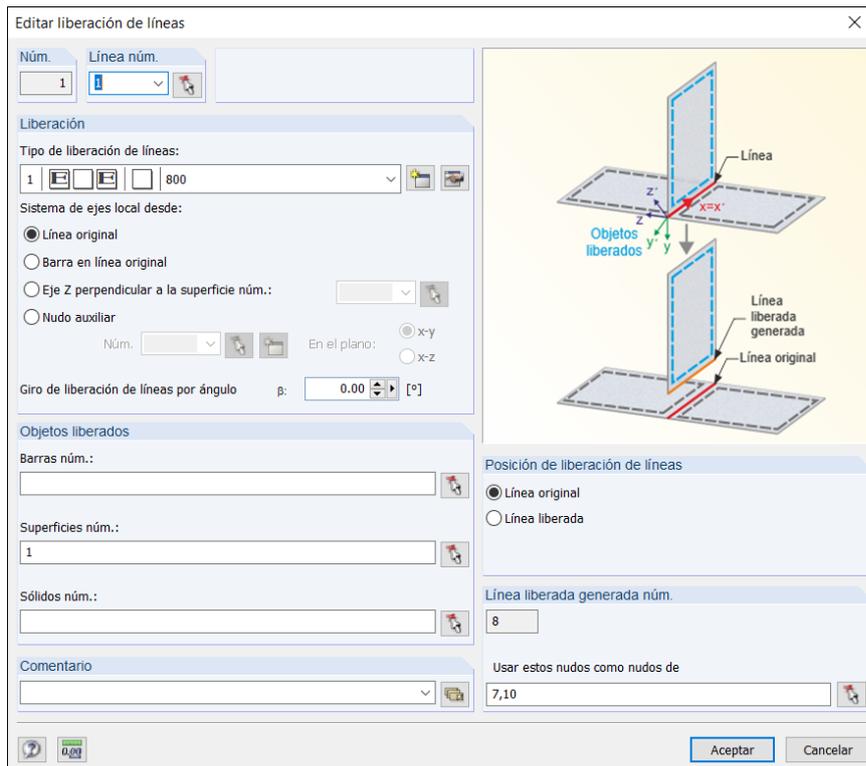
En la Figura 2, se muestra el modelo logrado en RFEM 5, este difiere con respecto al modelo en SAP 2000 en cuanto a la posición del tablero que por cuestiones de inestabilidad del modelo se debió poner alineado con el eje del bastidor y los clavos se asemejaron a la herramienta liberación de línea que se observa en las Figuras 3, 4 y 5.



**Fig. 2.** Modelo de elementos finitos realizado en RFEM 5.



**Fig. 3.** Modelo de elementos finitos realizado en RFE5 en rosado se observa la liberación de línea.



**Fig. 4.** Edición de liberación de línea en RFE5.

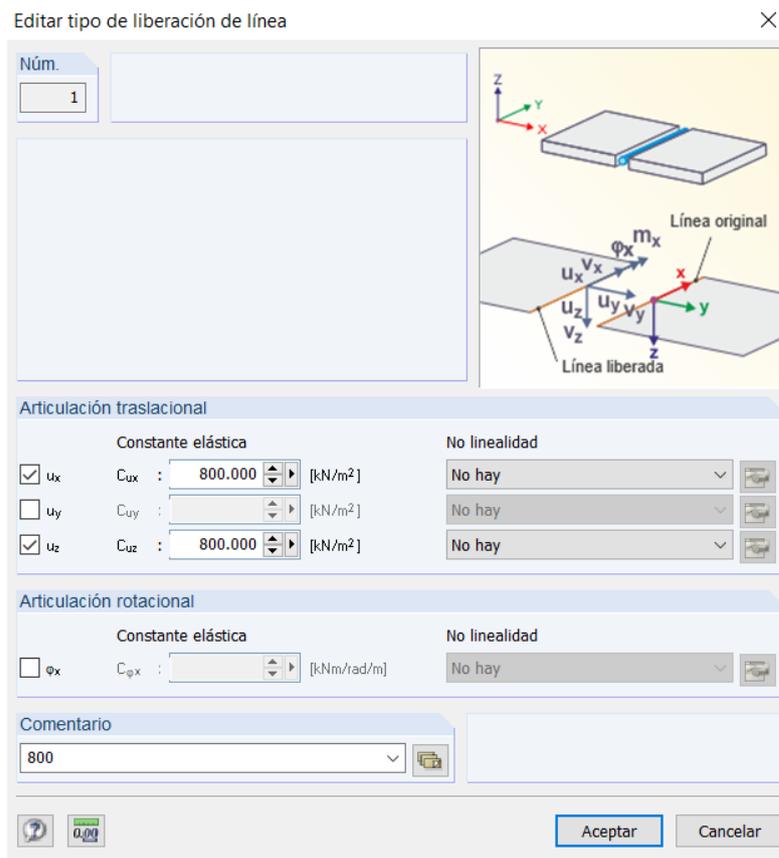


Fig. 5. Edición de liberación de línea en RFEM 5.

### 3 Resultados y comparación

En las Figuras 6 y 7, se presentan los resultados de la simulación numérica en SAP 2000 y su comparación con los resultados publicados en el trabajo de referencia. En la Figura 7, se observan los valores de deformaciones horizontales obtenidos en la esquina superior del bastidor cuando sobre el mismo se aplica una carga horizontal. En el gráfico se observan los resultados publicados para distintas configuraciones de paneles (relación entre su altura y su ancho) siendo de interés para el presente trabajo los resultados correspondientes al Panel de Referencia (P. Ref., Figura 7, línea continua color verde oscuro) que se corresponde con un panel de medidas estándar de 1,22 x 2,44 m.

En la Figura 6, se observan los valores de deformaciones horizontales en la esquina superior del bastidor obtenidos mediante la simulación numérica del ensayo. Para realizar la simulación del mismo en SAP 2000, se tomaron intervalos de carga dentro de los cuales se fue variando la rigidez de los medios de unión, partiendo de los valores de referencia mencionados previamente, hasta lograr el ajuste con los resultados experimentales. Esto debido al comportamiento mecánico no lineal de los medios de unión con su consecuente pérdida de rigidez a medida que aumenta la carga. Los modelos lineales de rigidez para los medios de unión tienen validez para la parte inicial del ensayo en donde se puede evidenciar una relación casi lineal entre cargas y deformaciones. En este

caso, esta relación lineal se evidencia hasta unos 4 kN de carga lateral con una deformación aproximada de 7mm.

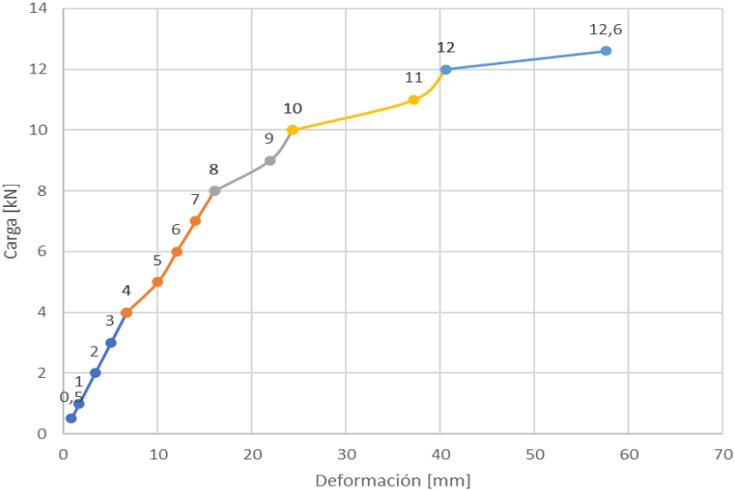


Fig. 6. Deformaciones horizontales obtenidas mediante el modelo numérico desarrollado en SAP 2000.

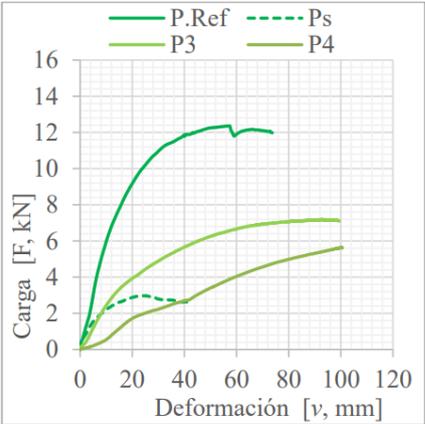
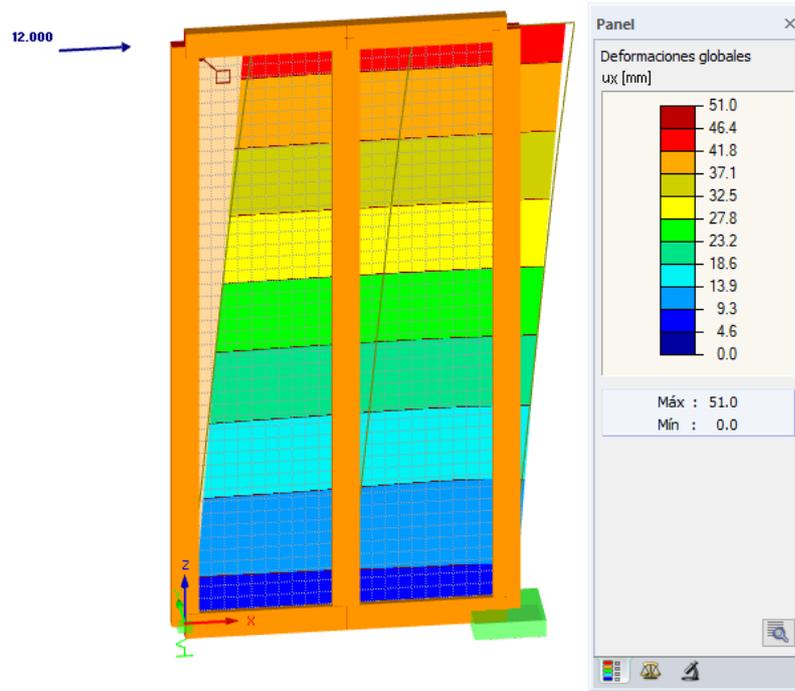
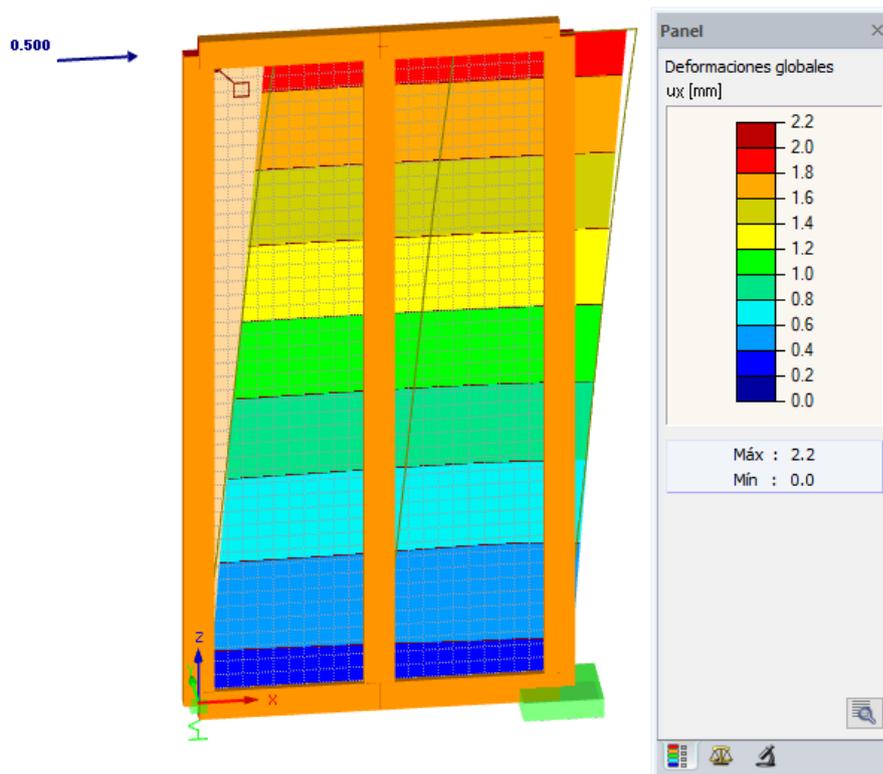


Fig. 7. Resultados de ensayo experimental presentado en el trabajo de referencia (Ramos et al., 2021).

En cuanto al modelo en RFEM 5, no se pudo lograr la variación de la rigidez de los medios de unión. Sin embargo, mediante la herramienta de liberación de línea se pudo lograr una deformación para la carga de 12kN de 51.1mm similar a las deformaciones obtenidas en SAP 2000 y el ensayo que se observan en la Figura 8. Y ante una carga inicial de 0.5kN, como se aprecia en la Figura 9, la deformación resulta de 2.2mm. Por lo que se puede interpretar una variación lineal de la deformación para el modelo en RFEM debido a la falta de variación de la rigidez entre los elementos de fijación.



**Fig. 8.** Deformaciones horizontales obtenidas mediante el modelo numérico desarrollado en RFEM 5 para una carga de 12kN.



**Fig. 9.** Deformaciones horizontales obtenidas mediante el modelo numérico desarrollado en RFEM 5 para una carga de 0.5kN.

#### 4 Conclusiones

Como conclusión del presente trabajo se puede mencionar que se ha logrado simular mediante elementos finitos el muro de corte y su comportamiento mecánico para el estudio de las deformaciones ante cargas laterales. Si bien aún queda trabajo por hacer para lograr un modelo en RFEM 5 que se ajuste de mejor forma a la variación en la rigidez entre los elementos y a la forma de falla real de los paneles, se ha avanzado en el entendimiento de la metodología BIM, y en la comprensión de los parámetros involucrados para la modelación en este software. Una vez superada la etapa de ajuste y validación del modelo numérico, se avanzará en otras etapas de investigación. Estás incluirán, entre otras cosas, el estudio de los elementos componentes del sistema para su optimización estructural, la modelación de viviendas implementando estos paneles y la vinculación entre el software de elementos finitos y otros programas BIM específicos para el armado de documentación de obra, cómputo, presupuesto, control de ejecución, mantenimiento y demolición. Debido a la interoperabilidad que permiten los softwares BIM entre ellos se puede llegar a una gestión integrada de la edificación a lo largo de todo su ciclo de vida y reducir costos.

#### Referencias

- [1] Miller, H. & Miller, H. (2013). BIM - Building Information Modelling.. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- [2] González Pachón, V. (2021). Los proyectos de construcción con BIM según ISO 19650. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
- [3] European Committee for Standardization (2011). EN 594: Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Método de ensayo para la determinación de la Resistencia y rigidez al descuadre de los paneles de muro entramado. Bruselas, Bélgica.
- [4] Ramos, M.R., Fank, P.Y., Soza Zitto, M.A., Torrán, E.A., Piter, J.C. (2021). Comportamiento mecánico de muros de corte: importancia de la relación altura/ancho y del anclaje. Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (EMBRAMEM XVII). Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- [5] Guindos P.B. (2019). Conceptos avanzados del diseño estructural con madera, Parte II. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- [6] Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)- Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC), Buenos Aires; 2016.
- [7] Computers and Structures, Inc. (2016). SAP2000 Structural Analysis and Design Software.
- [8] Dlubal (2019). RFEM 5 Spatial Models Calculated According to Finite Element Method User Manual Version December 2019