



REVISTA INGENIO

Evaluación del Modelo Estructural de Casas Construidas con Fardos de Paja y Mochetas de Madera en la Región Andina Central del Ecuador

Structural Model Evaluation of Houses Built with Straw Bales and Wooden Piers in the Central Andean Region of Ecuador

Pablo Enrique Caiza Sánchez [1](#) | [ID](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí (Ecuador)

Luisa Paulina Viera Arroba [2](#) | [ID](#) Universidad Central del Ecuador, Quito (Ecuador)

Marcos Andrés García Peñaloza [3](#) | [ID](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí (Ecuador)

HISTORIA DE ARTÍCULO

Recepción: 28/09/2023
Recepción tras revisión: 23/10/2023
Aprobación: 20/11/2023
Publicación: 31/01/2024

PALABRAS CLAVE

evaluación de modelos estructurales, materiales no convencionales, tableros de virutas orientadas, fardos de paja

ARTICLE HISTORY

Received: 28/09/2023
Received after revision: 23/10/2023
Approved: 20/11/2023
Accepted: 31/01/2024

KEY WORDS

Evaluation of structural models, unconventional materials, oriented strand boards, straw bales

RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología para la evaluación de los modelos estructurales de residencias construidas usando fardos de paja, pero reforzadas con mochetas de madera. Se usa como ejemplo una casa construida en la ciudad de Sangolquí, en la región andina central del Ecuador. Este tipo de edificación tiene una serie de características únicas debido a los materiales empleados, a las virtudes y defectos de la mano de obra y a las limitaciones impuestas por presupuestos restringidos. Los resultados obtenidos en los modelos analíticos se validaron al compararlos con los determinados experimentalmente usando sensores y dispositivos de adquisición de datos. Se obtuvo una diferencia máxima del 6.4% en los periodos de vibración estructural.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for the evaluation of the structural models of residences built using straw bales but reinforced with wooden piers. A house built in the city of Sangolquí, in the central Andean region of Ecuador, is used as an example. This type of building has a series of unique characteristics due to the materials used, the strengths and weaknesses of the workmanship, and the limitations imposed by restricted budgets. The results obtained in the analytical models were validated by comparing them with those determined experimentally using sensors and data acquisition devices. A maximum difference of 6.4% was obtained in the structural vibration periods.

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador la agricultura es una de las principales fuentes de ingresos para la población rural, donde la cosecha y siembra de trigo es una de las actividades de explotación de recursos naturales que más se practica, sobre todo en la región Sierra [1]. Según [2], las provincias con mayor producción de trigo en el país son Pichincha e Imbabura con 9140 ha y 8980 ha, respectivamente. El residuo de esta actividad es propiamente la paja, la cual representa cerca del 50% de todo el material que se cultiva. Por lo general, con una mínima parte de este material se realizan fardos prismáticos, que facilitan su acopio y que posteriormente serán destinados para alimentación de ganado. La mayor parte, sin embargo, simplemente se quema.

En [3], se indica que todo este material puede ser reutilizado para la construcción de viviendas con bajo impacto ambiental ya que de cada 4 toneladas de fardos de paja se pueden construir cerca de 100 viviendas artesanales. Al combinar el uso de fardos de paja con materiales de bajo costo e impacto ambiental como la madera, barro, arcilla, cal, se pueden obtener viviendas funcionales y técnicamente desarrolladas [4].

La síntesis de estos materiales se ve reflejada en casas con un sistema constructivo de fardos de paja recubiertos con barro y estructura en base a mochetas de madera [5]. Las construcciones con fardos de paja y madera, como elemento resistente, son una buena alternativa de bio-

construcción sostenible, e incluso se conoce de algunas estructuras construidas hace más de un siglo que aún se mantienen en pie; países como Francia, Canadá, Inglaterra, Austria, Dinamarca, Australia, han llevado a cabo este tipo de estructuras y su impacto ambiental cada vez es más bajo [6].

Dentro de estas estructuras, los fardos de paja cumplen la función de aislamiento acústico y térmico, pero, con la ayuda del revoque de barro, son capaces de resistir cargas verticales, mientras que el sistema resistente para cargas sísmicas lo componen las mochetas y otros elementos como las cerchas de madera [7].

Existe un diverso número de materiales alrededor del mundo, pero materiales tradicionales como el hormigón y acero, que además generan un alto impacto ambiental desde su elaboración hasta la puesta en obra, no se pueden implementar en todos los lugares, fundamentalmente por motivos económicos. Es por eso por lo que, para aprovechar las plantaciones circundantes de la parte rural de la Sierra ecuatoriana, se propone analizar estructuras realizadas con materiales no convencionales como la paja y la madera [8].

Actualmente, en Ecuador se encuentran diversas estructuras de este tipo, pero la que se usa como ejemplo en el presente estudio se encuentra implantada en la provincia de Pichincha, sector Sangolquí. Esta investigación consiste en la validación analítica en base a programas especializados de modelación de los resultados de vibración ambiental realizada in situ. Todo esto con la finalidad de establecer un tipo de modelación que permita mejorar el diseño al momento de realizar nuevas viviendas de este tipo.

En un primer paso, se ha caracterizado el material de recubrimiento de las mochetas de madera para determinar

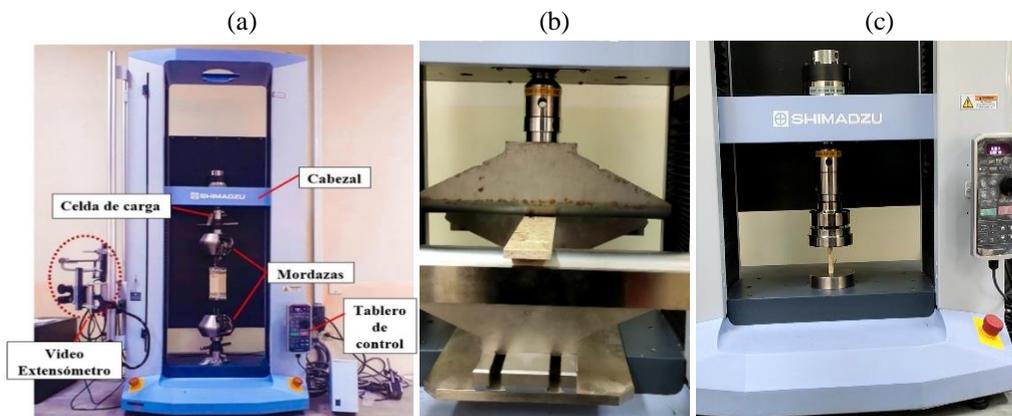
sus características físico-mecánicas e ingresar esos valores en la modelación. Esto ha sido necesario por la falta de información como elemento estructural de las propiedades de los tableros de virutas orientadas, también conocidos como tableros OSB por su nombre en inglés (Oriented Strand Board). Luego, se ha creado el modelo estructural en base a la estructura aporticada, pero incluyendo los paneles OSB modelados con elementos finitos y el material de relleno que es la paja. De igual manera que para los paneles OSB, las características de los fardos de paja se alcanzan de los resultados experimentales, en este caso del estudio realizado por [9], para obtener resultados lo más cercanos a la realidad. Debe notarse que se desarrollaron varios modelos analíticos, con los que se concluyó que, la opción relativamente más precisa y con menor tiempo de ejecución en el software, es la aporticada con secciones equivalentes. Esta conclusión se obtuvo al comparar los resultados analíticos con los experimentales.

2. MÉTODO

En este estudio se investigaron, en un primer paso, las propiedades de los tableros OSB mediante los ensayos a tracción flexión, compresión, contenido de humedad y peso específico, para cada ensayo se realizaron probetas con dimensiones expuestas en la norma American Standard Test Method (ASTM) para materiales a base de madera. En el ensayo de flexión se usaron 14 muestras de dimensiones 500x50x9.5mm; para el de tracción, 14 de 410x25x9.5, con disminución de sección de acuerdo a la norma; para el de compresión, 16 de 60x25x9.5mm. Se utilizó una máquina de ensayos universales AGS-X Shimadzu (UTM) de 50 KN, ver Fig. 1.

Figura 1

(a) Máquina Universal de ensayos AGS-X Shimadzu, (b) ensayo a flexión y (c) ensayo a compresión



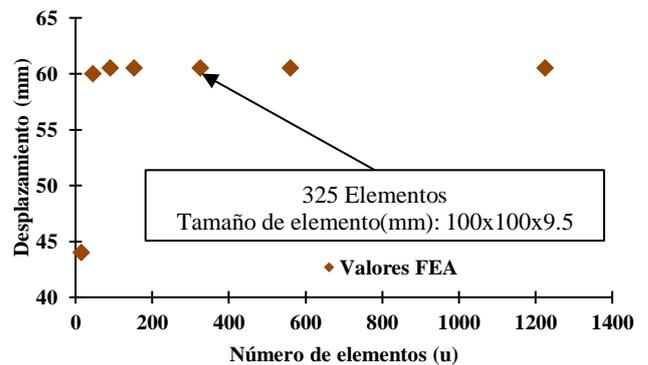
En un segundo paso, se estudiaron las propiedades de pandeo de los tableros de dimensiones comerciales de

1220x2440 mm, mediante el uso de un software comercial con la capacidad de realizar un modelo de elementos finitos (FEM), de elementos tipo placa rectangulares de 8 nudos, de comportamiento elástico lineal. Se asignaron apoyos fijos en la parte inferior y/o corta del tablero y se restringió el desplazamiento en sentido paralelo al espesor del tablero. De los ensayos se usaron los siguientes valores: para el módulo de elasticidad a compresión, 1499,8 Mpa (valor promedio), para el coeficiente de poisson 0,3 y, para el peso específico 60 N/m³. La carga fue de compresión, aplicada como puntual en cada nudo del borde corto en la parte superior del modelo del panel, representando por tanto una carga distribuida. En el modelo, el análisis incluía la formación de una curva de pandeo con valor máximo al centro de la altura del panel. Para la modelación numérica se escogió un mallado de dimensiones entre 500x500mm y 50x50mm. En efecto, se apreció que, a partir de un mallado de 200x200mm, se obtienen resultados similares por lo que se optó por trabajar con un mallado de 100x100mm, porque genera resultados confiables y el tiempo de procesamiento es relativamente bajo (ver Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1
Comportamiento de elementos finitos

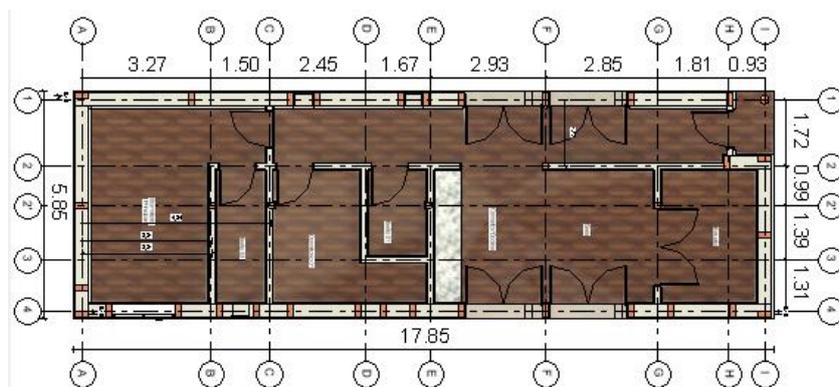
Dimensión de elementos (mm)	Número de elementos (u)	Desplazamiento (mm)
500x500	15	44
300x300	45	60
200x200	91	60.5
150x150	153	60.5
100x100	325	60.5
75x75	561	60.5
50x50	1225	60.5

Figura 2
Curva de convergencia de elementos finitos



En un tercer paso, esencial, se buscó determinar el comportamiento modal de una estructura construida a base de fardos de paja y mochetas compuestas de tableros OSB y madera sólida. La geometría de la estructura es la indicada en [10], cuenta con una sola planta de forma rectangular con 5.85m de ancho y 17.85m de largo, y la cubierta es a dos aguas con una altura máxima de 5.00m. Esta edificación será destinada a vivienda, (ver Figura 3). Debe notarse que el lado corto se identifica con el eje de referencia “Y”.

Figura 3
Dimensiones en planta de la estructura para el modelo de análisis modal



Esta estructura está compuesta por muros de fardos de paja de 35x48x150cm, columnas de 15x15cm de madera sólida

y tipo mochetas, cubierta conformadas de vigas de 70x150mm, 70x140mm y puntales de 70x110mm.

Las cargas que considerar son las expuestas en la norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 [11] y [12].

Se considera que el sistema resistente es mixto debido a la presencia de pórticos de madera y de muros de paja, se espera, por tanto, modos de vibración experimental diferentes al medirlos sobre las columnas y los muros. Las masas que se usaron en el análisis vibracional provenían de la masa propia de los elementos considerados en el modelo (pórticos, muros y cubierta), pero también se incluyó, con fines de comparación, la sobrecarga aplicada sobre la cubierta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, se presentan los resultados de los diferentes ensayos para caracterizar los tableros OSB

Figura 4

Curva Fuerza vs Desplazamiento a Flexión

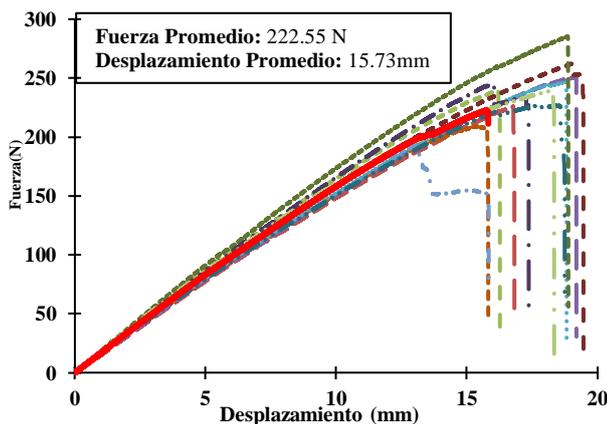
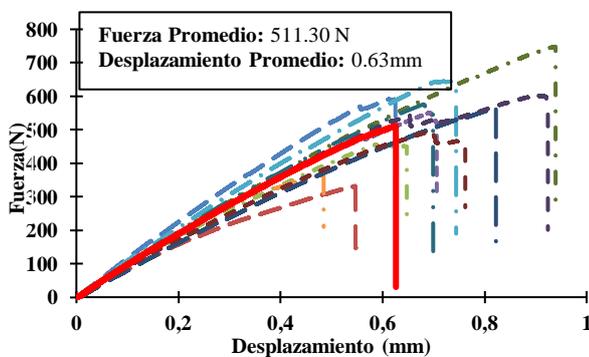


Figura 5

Curva Fuerza vs Desplazamiento a Tracción



Modo mecánico de flexión

En la Figura 4 se presentan las curvas Fuerza versus Desplazamiento de cada muestra en línea punteada, mientras que en línea continua de color rojo la curva promedio, de donde se tiene una fuerza a flexión promedio de 222.55 N.

Modo mecánico a tracción

En la Figura 5 se presentan las curvas fuerza versus desplazamiento para cada muestra en línea punteada, mientras que en una línea continua de color rojo la curva promedio, de donde se tiene una fuerza promedio a compresión de 4117.05N. Anexo Fig. 6 y Fig. 7.

Modo mecánico a compresión

En el modo mecánico a compresión se identificó que para las 16 muestras ensayadas la fuerza mínima de falla es de 2663.86N mientras que la máxima fuerza es de 4700.11N, se grafica la curva fuerza versus desplazamiento de cada muestra en línea punteada y la curva promedio en línea continua de color rojo, además se tiene una fuerza promedio a compresión de 4117.05N. Anexo Fig. 6 y Fig. 7.

Se presenta la curva esfuerzo versus deformación unitaria para determinar el módulo de elasticidad a compresión (MOE_C) del material (ver Figura 7).

En la Figura 7 se aprecia un esfuerzo a compresión de 16.67 N/mm² y una deformación unitaria de 0.013mm/mm y un MOE_C promedio de 1499.8Mpa o 15297.70kg/cm².

Modo mecánico de corte

En la Figura 8 se presentan las curvas fuerza desplazamiento para cada muestra donde se aprecia un rango de fuerza a corte entre 8167.75N y 13630.90N. Anexo Fig. 8.

Carga crítica a pandeo

Para determinar la carga crítica a pandeo en los tableros OSB, se procedió a ingresar los valores de peso específico, el módulo de elasticidad a compresión (MOE_C) y el coeficiente de poisson obtenidos de los ensayos de laboratorio y ya indicados previamente. También, se configuró la geometría del modelo para el análisis de un tablero comercial. Anexo Fig. 9.

En la Figura 9 se indica el modelo con un mallado de 100x100mm y al que se asignó una carga distribuida de 250

kg/m, Con estos datos se tiene un desplazamiento en sentido paralelo al espesor del material máximo de 60.5mm en el centro del tablero y un factor de 1.00514 para calcular la carga crítica a pandeo, con estos resultados se calcula la carga crítica a pandeo.

$$Q_{cr} = 17.86 * 14 * 1.00514 \quad (1)$$

$$Q_{cr} = 251.3 \text{ kg/m} \quad (2)$$

Una vez realizada las operaciones se determinó que el tablero OSB de dimensiones 1220x2440x9.5mm tiene la capacidad de resistir una carga crítica a pandeo de 251.3kg/m.

Análisis modal de una estructura con fardos de paja y

Tabla 2

Resultados del análisis modal de la estructura de fardos de paja (Software comercial)

Modo (u)	Periodo (s)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	RZ (%)	SumRZ (%)
1	0.188	0.00%	54.30%	0.00%	54.30%	0.14%	0.14%
2	0.149	36.20%	0.00%	36.20%	54.30%	43.20%	43.30%
3	0.133	33.90%	0.41%	70.10%	54.70%	32.50%	75.80%
4	0.128	11.10%	1.30%	81.10%	56.00%	5.10%	80.90%
5	0.115	0.05%	26.20%	81.20%	82.20%	0.09%	81.00%
6	0.114	1.30%	2.30%	82.50%	84.50%	1.10%	82.00%
7	0.108	0.07%	0.07%	82.60%	84.60%	0.79%	82.80%
8	0.107	0.00%	0.05%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
9	0.107	0.00%	0.03%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
10	0.106	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
11	0.099	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
12	0.099	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%

En la Tabla 2 se identifica que el modo número 1 es el modo fundamental de la estructura debido a que en este modo se presenta la mayor participación de masa en el sentido “Y” (paralelo al lado corto de la planta rectangular de la edificación) con un 54.30%, y un período fundamental de 0.188s. El modo número 2 es, en cambio, el modo fundamental para el sentido “X” con un 36.20 % y un periodo de 0.149 s.

En la Figura 10 se presenta la vista en planta y una visualización 3D del comportamiento modal en el sentido “Y” con un 54.30% de masa participativa. Anexo Fig.

mochetas con tablero OSB

En este análisis se busca encontrar los modos de vibrar representativos del comportamiento estructural de la edificación, a partir del porcentaje de masa que interviene en ellos. Se encuentra que hay modos que por sí solos contribuyen con más del 20% de la masa de la edificación. Al estudiar sus formas vibratorias se determina que en ellos intervienen conjuntamente tanto los pórticos como los muros. Posteriormente, el estudio se concentra en validar su existencia e importancia al comparar los resultados analíticos con los experimentales.

Análisis modal mediante el uso del software comercial

Para este modelo, al igual que en el descrito en la Figura 9, se utilizó las propiedades obtenidas de los ensayos de laboratorio y valores expuestos en la norma [12], en la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis modal de la estructura utilizando el software comercial.

10.

En la Figura 11 se aprecia una vista en planta y una visualización 3D del comportamiento modal en el sentido “X”, con un 36.20% de masa participativa. Anexo Fig. 11. Debe recalarse que estos modos de vibrar incluían el movimiento conjunto de pórticos y muros, es decir que no existió un comportamiento independiente de los pórticos y muros.

Análisis modal mediante el uso del software SeismoStruct

Para la validación adicional de los resultados obtenidos con el software comercial se presenta las respuestas del software SeismoStruct (ver Tabla 3).

Tabla 3

Resultados del análisis modal de la estructura de fardos de paja (Software SeismoStruct)

Modo	Período	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
1	0.177	0.00%	39.82%	0.00%	1.44%	0.00%	0.08%
2	0.148	56.93%	39.82%	0.00%	1.45%	2.18%	24.56%
3	0.129	80.11%	39.85%	0.00%	1.45%	3.97%	86.57%
4	0.124	80.98%	43.66%	0.00%	1.45%	3.98%	86.62%
5	0.116	83.35%	44.66%	0.00%	1.48%	4.04%	87.72%
6	0.113	84.37%	47.85%	0.00%	1.49%	4.46%	88.04%
7	0.104	84.39%	84.26%	0.00%	1.56%	4.52%	89.58%
8	0.092	84.40%	90.74%	0.00%	1.57%	4.53%	90.01%
9	0.082	84.40%	90.74%	0.00%	1.57%	4.53%	90.83%
10	0.072	85.00%	91.30%	0.01%	1.72%	5.45%	91.20%

Análisis modal experimental

En el estudio realizado por [10], se determina la vibración ambiental mediante la utilización de un dispositivo de adquisición de datos (DAQ) y 4 sensores A, B, C y D, los mismos que se ubican en distintos lugares como se aprecia en la Figura 12. Anexo Fig. 12.

Los sensores A y C se ubicaron en columnas de madera sólida mientras que los sensores B y D se ubicaron en mochetas. La ubicación de estos sensores está pensada para obtener no sólo datos traslacionales sino también datos de desplazamientos rotacionales de la estructura. Se puede apreciar también el dispositivo de adquisición de datos, DAQ, donde se registran las aceleraciones de la estructura.

Se realiza el procesamiento de los datos registrados y se determinan 3 modos de vibración, cada uno con su respectivo período y frecuencia. En la Tabla 4 se aprecian estos valores.

Tabla 4

Periodos y frecuencias de vibración

	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuencia	5.698	6.785	7.942
Periodo	0.176	0.147	0.126

En la Tabla 4 se indica que el modo 1 es el modo fundamental de la estructura con un periodo de $T=0.176$ s. Al comparar el período obtenido en campo con el periodo de la modelación se tiene un 1.70% de diferencia entre estos dos resultados, con lo que se concluye que el periodo

reportado en la modelación está dentro de un rango aceptable.

Con los resultados del análisis de la vivienda elaborada con fardos de paja y columnas tipo mochetas se determinó lo siguiente:

Influencia de los paneles OSB en el comportamiento de la estructura

Se presentan los resultados tomando en cuenta las propiedades propias de los paneles OSB y los resultados del modelo donde se asumen propiedades nulas. Anexo Fig. 12.

En la Figura 13, se identifica que los paneles OSB proveen una mayor rigidez a la estructura, con un 17% de diferencia entre los períodos de cada modelo. Se concluye que los tableros OSB sí aportan rigidez a los fardos de paja. Anexo Fig. 13.

Análisis del comportamiento de las secciones equivalentes utilizadas un software adicional: SeismoStruct

Las columnas tipo mochetas se conforman por dos tipos de secciones y de dos materiales por lo que para el software SeismoStruct, ocupado para la validación de los resultados del software comercial, se trabajó con dos secciones equivalentes, en la Figura 14 se presentan las dos secciones utilizadas. Anexo Fig. 14.

La sección equivalente "a", es una sección rectangular hueca de $150 \times 350 \times 18.5$ mm y el material utilizado es el

OSB, el cual tiene las propiedades más desfavorables de los dos materiales. A su vez, la sección equivalente “b” es una sección compuesta por dos secciones: un canal tipo C y una placa adicional. En esta se utilizaron los dos tipos de materiales. En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de las dos secciones.

Tabla 5

Resultados del análisis modal de la sección equivalente 1 y 2

Modo	Sección Equivalente 1				Sección Equivalente 2			
	Período	Ux	Uy	Rz	Período	Ux	Uy	Rz
1	0.177	0.00%	39.82%	0.08%	0.163	0.00%	24.95%	0.01%
2	0.148	56.93%	39.82%	24.56%	0.122	0.01%	26.03%	0.06%
3	0.129	80.11%	39.85%	86.57%	0.104	56.87%	26.03%	3.45%
4	0.124	80.98%	43.66%	86.62%	0.091	57.00%	40.64%	3.52%
5	0.116	83.35%	44.66%	87.72%	0.090	57.83%	42.39%	63.99%

En la Tabla 5 se aprecia que la estructura es mucho más rígida al utilizar la sección equivalente 2, pero en cambio se tiene un menor porcentaje de participación modal en las tres direcciones; Por otro lado, el periodo de la sección equivalente 1 es mucho mayor que el de la sección 2, pero, tiene un mayor porcentaje de masa participativa.

Al analizar las dos secciones equivalentes, tanto en período como en masas participativas, se optó por trabajar con la sección equivalente 1 porque cuenta con un comportamiento estructural acorde con los resultados experimentales.

Análisis modal de los modelos creados

En la Figura 15 se presentan los 3 primeros períodos de cada modelo, y a la vez, los períodos del análisis experimental. Anexo Fig. 15.

Al analizar el comportamiento de cada modelo se nota que, en éstos, cuando se asigna una carga temporal se tiene una diferencia del 7.9% entre cada período fundamental. A su vez, para los modelos donde se toma en cuenta solo carga permanente, se tiene una diferencia del 5.03%. Se puede concluir que el modelo numérico realizado es válido debido a que no existe una variación significativa en los resultados que reporta cada software.

Una vez validada la modelación numérica, se puede identificar en la Figura 15 que los modelos que tienen una mayor similitud con el análisis experimental son los que toman en cuenta únicamente la carga permanente de la estructura.

Una vez validada la modelación computacional, en la Figura 16 se presenta el comportamiento de los modelos que sólo consideran el peso propio y el análisis experimental. Anexo Fig. 16.

De la Figura 16 se puede concluir que, en efecto, el análisis de vibración ambiental experimental genera resultados a partir de las cargas actuantes en el momento del estudio, por lo que el análisis se debe realizar usando la carga permanente de la estructura. Por esta razón, se procede a realizar la comparación únicamente con los resultados de los modelos donde se toma en cuenta el peso propio de los elementos estructurales.

Obsérvese que el periodo fundamental que reporta el software SeismoStruct tiene un porcentaje de 0.10% de diferencia con el periodo del análisis experimental, mientras que la diferencia con el software comercial es del 6.38%.

Si bien el software SeismoStruct tiene un periodo similar al determinado en el análisis experimental, el comportamiento en periodos que reporta el software comercial tiene una mayor similitud con el comportamiento reportado en el análisis experimental.

Finalmente, es importante resaltar que las diferencias entre los resultados en los modelos analíticos y los experimentales están dentro de un rango que se considera aceptable en la práctica diaria de la ingeniería civil. Por tanto, el diseño a partir de los modelos desarrollados asegura resultados confiables en términos de seguridad estructural.

4. CONCLUSIONES

La carga crítica a pandeo determinada mediante la modelación computacional tiene una diferencia del 59% con respecto a la carga a compresión promedio determinada de los ensayos de laboratorio, esta variación se da en razón de que el programa permite realizar un modelo ideal mientras que en el laboratorio se puede tener muestras

irregulares lo que no permite realizar una compresión pura, o a su vez generar desplazamiento lateral, lo que provoca variación en los resultados.

Los modelos computacionales de la estructura tomando en cuenta solo pesos propios tienen un 6.81% de diferencia en periodos con respecto al análisis experimental, mientras que los modelos donde se asigna una sobre carga en la cubierta tienen una diferencia del 186%, con lo que se concluye que los modelos computacionales donde se considera solo pesos propios tienen una mayor similitud con respecto al análisis experimental realizada in situ.

La modelación realizada en el software comercial genera periodos similares tanto en valor como en comportamiento a los determinados a través de un análisis experimental realiza in situ con respecto a periodos.

Al realizar el modelamiento de la estructura sin tomar en cuenta la participación de los paneles OSB, se concluye que la influencia de estos tableros es la de proveer de una mayor rigidez a la estructura lo que se traduce en un aporte significativo a la rigidez de los fardos de paja.

Las casas elaboradas con fardos de paja y columnas tipo mochetas pueden ser una alternativa confiable de construcción para viviendas unifamiliares además que permiten generar un ahorro significativo al utilizar materiales propios de las zonas andinas.

Se ha desarrollado un proceso de validación de los resultados experimentales que incluyen la incorporación como elementos estructurales de los fardos de paja y los tableros OSB. Para las secciones de las mochetas se recomienda usar una sección hueca equivalente. Las cargas deben estudiarse inicialmente sólo considerando el peso propio, con el fin de facilitar su comparación con resultados experimentales de vibración.

Se usan dos programas de análisis estructural que muestran que, si bien los primeros modos son similares, los superiores no. Se puede recomendar, por tanto, crear configuraciones regulares tanto en planta como en elevación que disminuyan la importancia de estos modos superiores de vibración.

REFERENCIAS

- [1] S. Caguana, «Análisis de la transformación del sistema agrario en el territorio del Hatun Cañar, Ecuador,» Universitat Jaume, Valencia, 2018.
- [2] MAGAP, «Sistema de información pública agropecuaria. Boletín Situacional. Trigo, Ecuador,» Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, 2017.
- [3] V. Ponce, «Análisis de eficiencia energética de muro con fardo de paja y revoque de tierra cruda,» Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2017.
- [4] Viera, «Factibilidad de construcción de viviendas sismo resistente en la zona andina del Ecuador utilizando fardos de paja,» vol. 1, n° 269, 2020.
- [5] J. Mardones y I. Jofré, «Construcción con fardos de paja: Una solución sustentable para la Finca Ecológica Prema Mandal,» Universidad Técnica Federico Santa María, Concepción, 2018.
- [6] Viera, Paulina; Aguirre, Dario; Monzo, J, «Determinación de las Características del fardo de paja de trigo como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción,» 2020.
- [7] C. Martínez, «Estudio y aplicaciones de las construcciones con fardos de paja beneficios de los materiales naturales,» Universidad de Valladolid, Valladolid, 2019.
- [8] J. Reyes, «Diseño arquitectónico de un conjunto residencial sustentable en la ciudad de Loja,» Universidd Internacional del Ecuador Loja, Loja, 2017.
- [9] J. Pachala y H. Rosero, «Sistema constructivo de casas unifamiliares con muros de paja portantes,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2016.
- [10] P. Viera, «Estudio de vibración ambiental de una casa hecha con fardos de paja en la región Andina de Ecuador,» Quito, 2022.
- [11] NEC Cargas no Sísmicas, «Cargas no Sísmicas,» Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Quito, 2015.
- [12] NEC Estructuras de Madera, «Estructuras de Madera,» Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Quito, 2015.

Figura 6
Curva Fuerza-Desplazamiento a Compresión

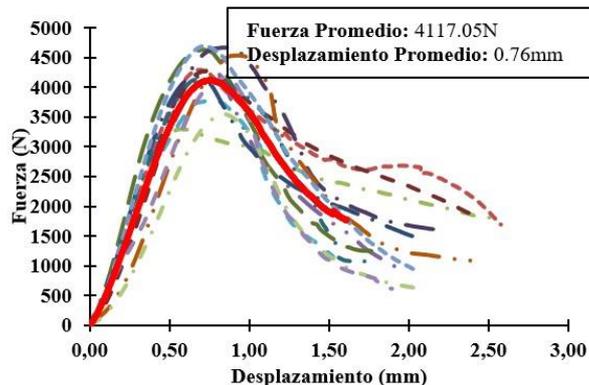


Figura 7
Curva Esfuerzo-Deformación unitaria

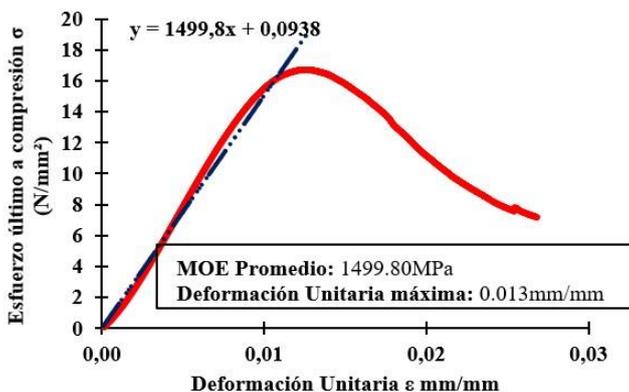


Figura 8
Curva Fuerza vs Desplazamiento a Corte

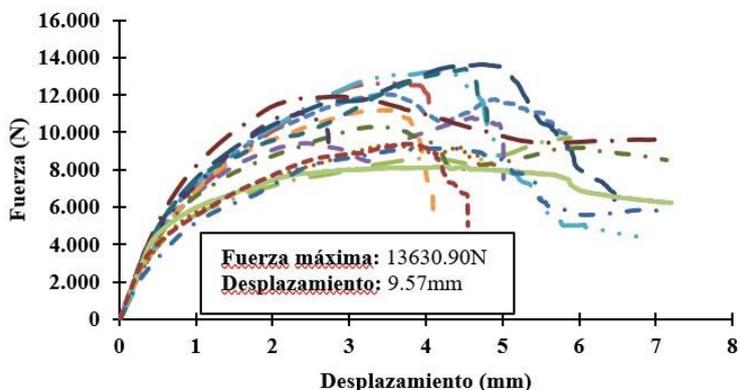


Figura 9
Comportamiento a pandeo debido a una carga distribuida

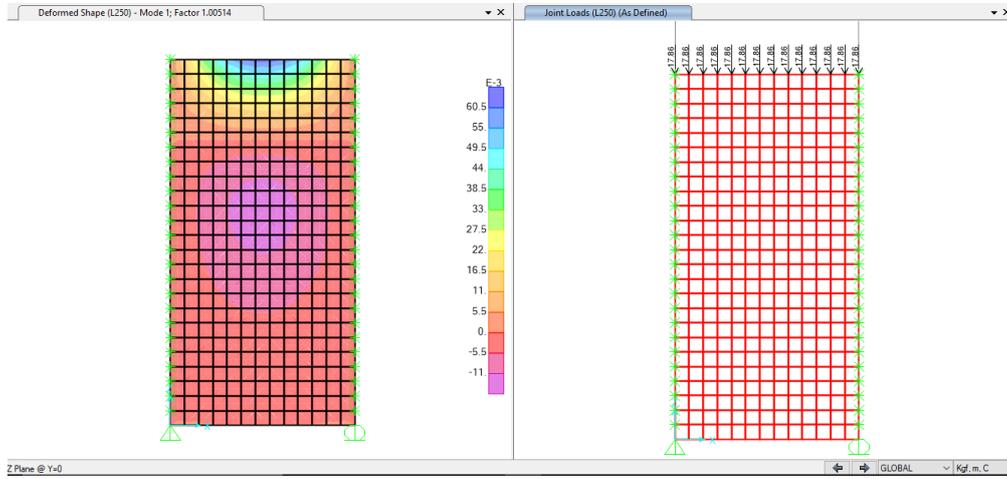


Figura 10
Vista en planta y visualización 3D del modo 1

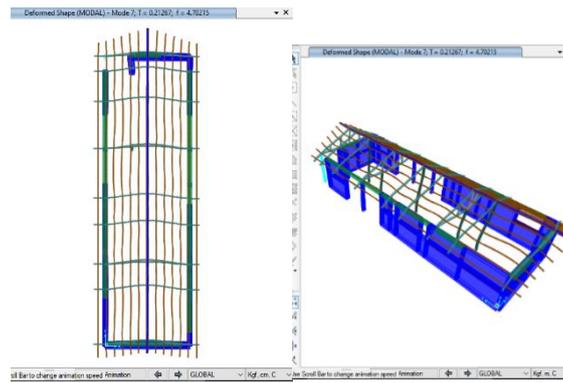


Figura 11
Vista en planta y visualización 3D del modo 2

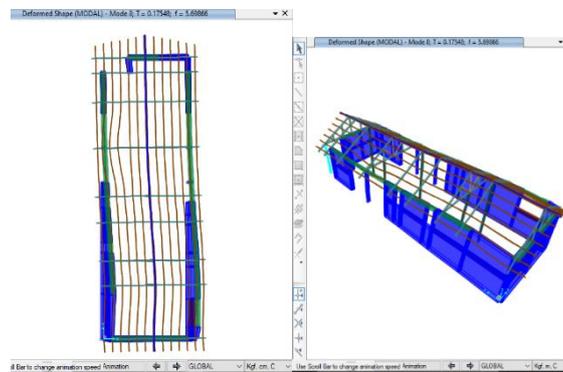


Figura 12

Ubicación de los instrumentos para el estudio de vibración ambiental

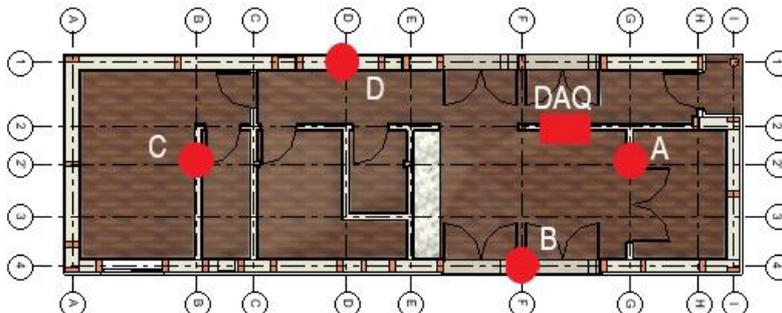


Figura 13
Influencia de los paneles OSB- Comportamiento del período

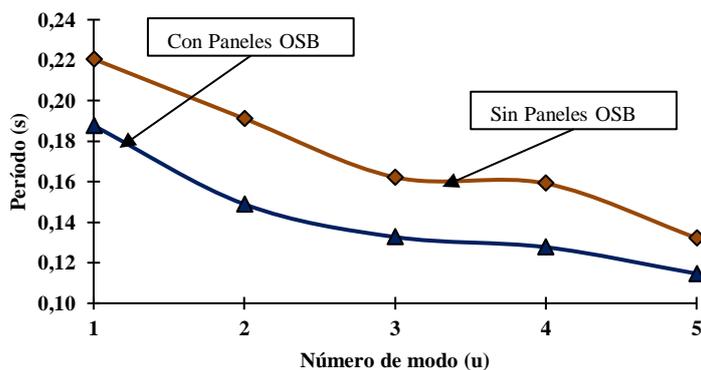


Figura 14
Secciones equivalentes utilizados en el software SeismoStruct

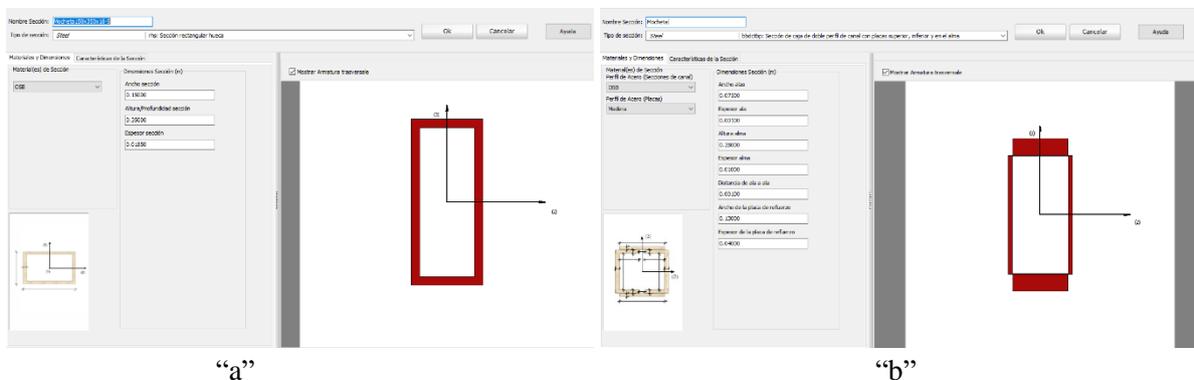


Figura 15

Periodos de los modelos creados y del análisis experimental

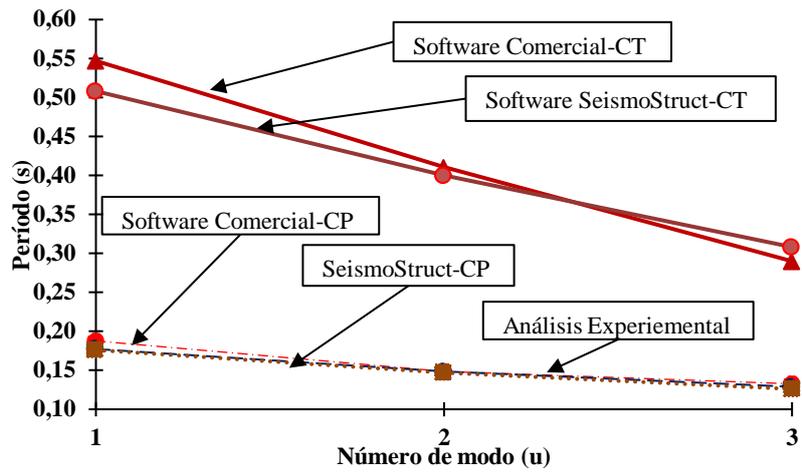


Figura 16

Comportamiento del análisis numérico y el análisis experimental

