

Artículo de Investigación

Análisis de las características mecánicas de un muro marco plataforma de madera de eucalipto, sin carga vertical

Analysis of the mechanical characteristics of a eucalyptus timber platform frame wall, without vertical loading

Alejandro Cayambe¹, Alex Chiluisa¹, Diego Quizanga¹, Paulina Viera^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 170403; adchiluisa@uce.edu.ec; dmquizanga@uce.edu.ec; lviera@uce.edu.ec

²Universitat Politècnica de València, València, España, 46022

*Correspondencia: jacayambem@uce.edu.ec

Citación: Cayambe, A.; Chiluisa, A.; Quizanga, D. & Viera, P., (2024). Análisis de las características mecánicas de un muro marco plataforma de madera de eucalipto, sin carga vertical. *Novasinerгия*. 7(1). 107-121.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.13.06>

Recibido: 20 junio 2023

Aceptado: 30 octubre 2023

Publicado: 10 enero 2024

Novasinerгия
ISSN: 2631-2654

Resumen: La madera desde la antigüedad ha sido utilizada como un material natural renovable en la construcción. En la actualidad en Chile, se construyen edificaciones de madera usando muros marco plataforma. En el Ecuador este sistema estructural no ha sido estudiado, siendo importante hacerlo para propiciar un mayor desarrollo en la industria de la construcción nacional. En el presente documento se analiza el comportamiento de un muro de madera ante cargas cíclicas y monotónicas, sin carga vertical de acuerdo con las normativas ASTM E2126 y ASTM E564 respectivamente. El muro está conformado por piezas de madera de eucalipto producidas localmente, recubierto en ambas caras con tableros de virutas orientadas (OSB). Como resultado del ensayo monotónico se obtuvo la capacidad máxima del muro, y del ensayo cíclico la rigidez efectiva, amortiguamiento efectivo y la relación de desplazamiento por piso (SDR). Se demuestra que la probeta tiene una alta resistencia y rigidez, gran capacidad de disipar energía y se encuentra en un nivel de desempeño de ocupación inmediata.

Palabras clave: Estructura, Madera, Muro, Resistencia, Rigidez.

Abstract: Since ancient times, timber has been used as a natural renewable material in construction. Currently in Chile, timber buildings are constructed using platform frame walls. In Ecuador this structural system has not been studied, and it is important to do so in order to promote a greater development in the national construction industry. This paper analyzes the behavior of a timber wall under cyclic and monotonic loads, without vertical load according to ASTM E2126 and ASTM E564 respectively. The wall is made of locally produced eucalyptus timber pieces, covered on both sides with Oriented Strand Board (OSB) panels. The results of the monotonic test showed the maximum capacity of the wall. In the cyclic test, the effective stiffness, effective damping and Story Drift Ratio (SDR) were obtained. It is shown that the specimen has high strength and stiffness, high energy dissipation capacity and is at an immediate occupancy performance level.

Keywords: Structure, Timber, Wall, Strength, Stiffness.



Copyright: 2024 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

En el Ecuador se puede encontrar una gran variedad de especies forestales (Bravo, 2014, p.1). Aproximadamente, el 40% del territorio está constituido por bosques (Sánchez, Vayas, Mayorga & Freire, 2020). El uso de la madera para la construcción debe provenir de bosque nativo manejado sustentablemente, de preferencia de plantaciones forestales (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014b,). La madera ha sido usada a nivel nacional para edificar viviendas desde inicios del siglo XX (Los Hogares Eran Construidos Con Materiales Típicos, 2015). Sin embargo, los sistemas estructurales con este material han sido poco investigados localmente (Dahua, 2021).

Un ejemplo de estructuras de madera son los muros “marco plataforma”. Estos se conforman con pies derechos y paneles de aglomerados. (Montaño, Berwart & Santa María, 2021). Actualmente, son ampliamente estudiados como una alternativa de construcción de edificios y viviendas en Chile (Sánchez et al., 2020). Como resultado de estas investigaciones se conoce, por ejemplo, que la longitud de los muros es inversamente proporcional a la capacidad de resistir cortante y a las derivas de piso. Además, a menor separación entre clavos se obtiene un aumento en la resistencia y un retraso en la degradación de la rigidez. (Guíñez, Santa María & Almazán, 2019; Orellana, Santa María, Almazán & Estrella, 2021). Además, según Orellana et al. (2021) para muros de 2400 x 2400 mm y separación entre clavos de 100 mm se ha obtenido resultados de rigidez efectiva de 4 kN/mm a 6 kN/mm y según Guíñez et al. (2019) valores entre 2.60 kN/mm a 2.80 kN/mm.

También se ha demostrado que un posible desplazamiento horizontal, de estos muros, debido a cargas laterales (sismo), puede ser controlado por soportes angulares “Hold Down” que se anclan al cimiento en las esquinas inferiores, junto a los pies derechos exteriores. Estos anclajes contribuyen significativamente en la resistencia a cortante y a tracción (Gavric, Ceccotti & Fragiaco, 2011). Además, permiten una correcta transferencia de fuerzas manteniendo las derivas y drift controlados.

Una deriva del orden del 2% produce daños no estructurales en los muros marco plataforma de madera (Orellana et al., 2021, p.15). Como referencia, en el caso de edificaciones de hormigón armado, se determina que para garantizar la seguridad estructural ante el sismo de diseño la deriva de piso no debe llegar al 2% (NEC, 2014a).

En esta investigación se presentan datos relevantes acerca del comportamiento de un muro marco plataforma estándar de 2400 x 2400 mm, con separación de clavos de 100 mm y anclajes con ménsulas angulares tipo “Hold Down”. El material para los pies derechos y el marco es madera de eucalipto, ya que presenta buenas características de resistencia a compresión, con carga paralela y perpendicular a las fibras, y también a tracción, en comparación de otros tipos de madera estructural. Además, su valor en el mercado es muy accesible por lo que es viable para la construcción (Cruz, 2022). Para cubrir las caras del muro se empleó tableros Oriented Strand Board (OSB). Una vez conformado se lo sometió a cargas cíclicas y monotónicas, y se analizó la condición más crítica (sin carga vertical) siguiendo lo especificado en las normativas American Society for Testing and Materials (ASTM) ASTM E564 y ASTM E2126.

El análisis de las propiedades mecánicas del muro se hizo con las ecuaciones propuestas en la normativa chilena (Norma Chilena, 2003). La Relación de desplazamiento por piso (SDR) se compara con valores establecidos en el FEMA 356. Como resultado se obtiene, que la estructura analizada ante la aplicación de cargas laterales (sismo) según la normativa ASTM se encuentra dentro del nivel de desempeño de ocupación inmediata para muros de madera (Federal Emergency Management Agency, 2000).

2. Metodología

2.1. Características del eucalipto

El eucalipto presenta buenas propiedades mecánicas. Además, de ser un material económico en el mercado ecuatoriano tal como se indica en la Tabla 1 (Cruz, 2022).

Las probetas tipo marco plataforma se construyeron con piezas de eucalipto siendo este el material principal de la estructura y con un recubrimiento de OSB en ambas caras del muro.

Tabla 1. Características del eucalipto

DESCRIPCIÓN	VALOR
Compresión paralela	52.89 MPa
Compresión perpendicular	24.88 MPa
Tensión	80.88 Mpa
Flexión Estática	118.46 Mpa
Módulo de Elasticidad	11384 Mpa
Precio	\$ 7.00 USD

2.2. Descripción de la probeta

En la figura 1, se indica un esquema general en donde se muestra las partes, dimensiones y conexiones de las piezas de madera de eucalipto que constituyen el muro marco plataforma ensayado. Las dimensiones de las secciones mostradas están en función de una probeta construida en Chile y estudiada por los autores Guiñez y Orellana. Sin embargo, la conformación del prototipo final se ajusta a los materiales existente en el mercado ecuatoriano y las condiciones del laboratorio en donde se realizó el ensayo. Cabe mencionar que este tipo de sistema estructural en madera no está basado en una normativa.

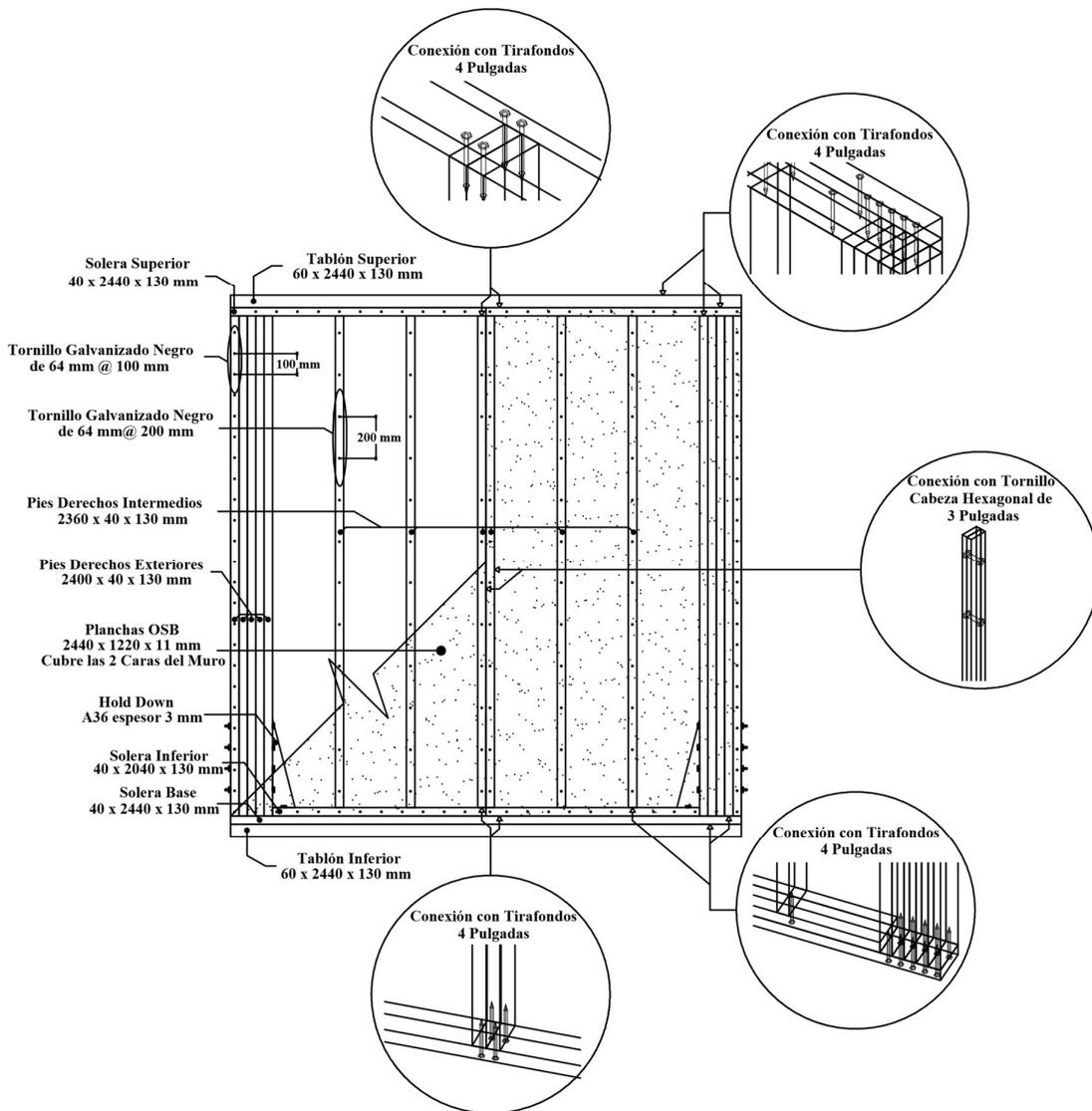


Figura 1. Esquema del muro de madera marco plataforma

Las placas de Hold Down como se indica en la figura 2, se deben ubicar en la parte inferior del muro. Estas son elaboradas con acero A36 con un espesor de 3 mm, con perforaciones de diámetro de 19.05 mm, sus características y detalles se muestra en la Tabla 2.

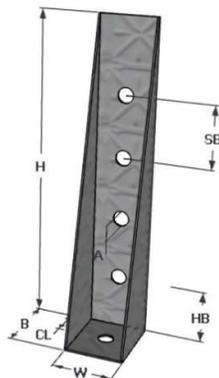


Figura 2. Hold Down

Tabla 2. Dimensiones del Hold Down

Descripción	Medida mm
H	420
B	110
CL	55
SB	100
HB	90
W	90
A	19,05

2.2.1. Hold Down – Pies derechos exteriores

El ensamblaje de las placas de Hold Dow con los pies derechos exteriores requirió de cuatro varillas roscadas ASTM A193 B de \varnothing 15.88 mm (5/8 pulgada) con una longitud de 25 cm cada una. Se ajustaron a ambos extremos con su respectiva arandela y tuerca, dando un torque de 50 N-m.

2.2.2. Ensamblaje planchas de OSB - cuerpo del muro

Antes de acoplar las planchas de OSB se colocó pegamento blanco en los pies derechos exteriores e interiores y en la solera superior e inferior, realizado este proceso se instala las planchas de OSB las cuales se unieron al cuerpo del muro con tornillos galvanizados negros de 64 mm separados en la zona perimetral cada 100 mm y en la zona interior cada 200 mm como se indica en la figura 1.

2.3. Instrumentación

En el ensayo cíclico la aplicación de la fuerza lateral se realizó una con una celda de carga de 20 ton empotrada a un muro de reacción. Así mismo, para el ensayo monotónico se colocó una celda de carga de 50 ton. Para la toma de lecturas de deformaciones se situaron tres transductores de desplazamiento lineal variable (LVDT) ubicados de la siguiente manera: el primero en la parte superior derecha, el segundo en la mitad de la altura del muro y el ultimo centro del alto y ancho de la viga. Finalmente, se colocó un "Y" de acero empotrada en el muro de reacción para evitar que la probeta salga del plano de acción de carga tal cómo se indica en la Figura 3. En la Tabla 3 se muestra las capacidades y apreciaciones de los equipos utilizados.

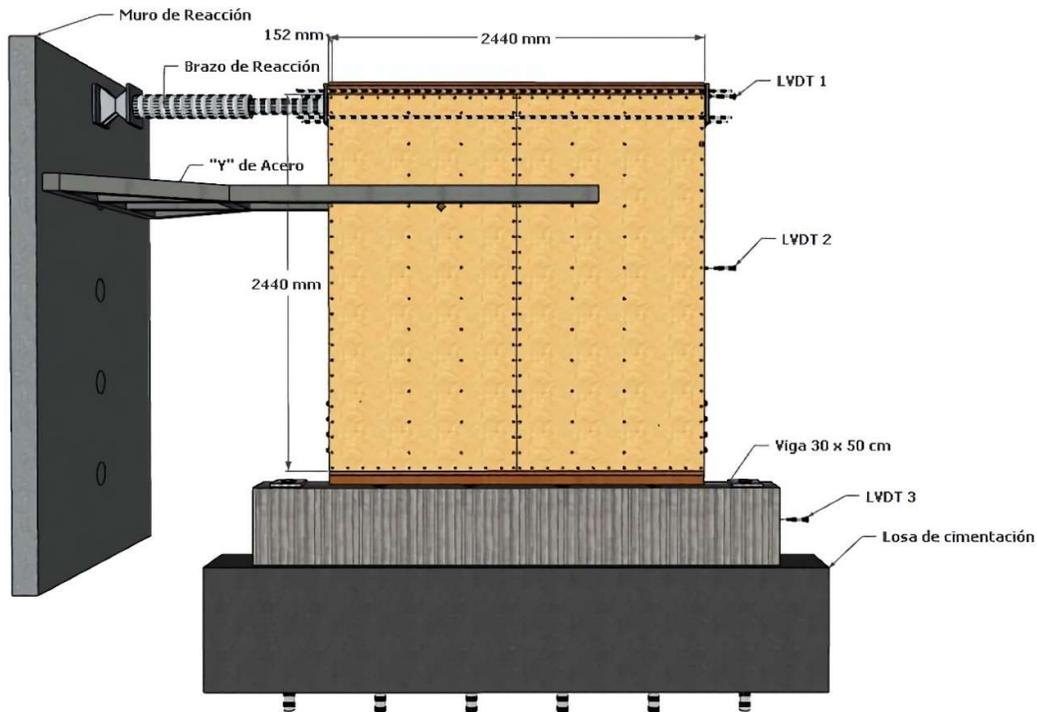


Figura 3. Instrumentación en el muro de madera marco plataforma

Tabla 3. Capacidad y apreciación de los equipos

Equipo	Capacidad	Apreciación
Celda de Carga 1	20 ton	$\pm 0,001 \text{ kg}$
Celda de Carga 2	50 ton	$\pm 0,001 \text{ kg}$
Lvdt	200 mm	$\pm 0,001 \text{ mm}$

2.4. Ensayo cíclico

La norma empleada fue la ASTM E2126, (2011). El ensayo consiste en empujar y halar la probeta mediante la celda de carga. La aplicación de carga es controlada en base a un porcentaje de desplazamiento máximo. Los ciclos que se deben realizar están definidos por un protocolo de carga y un porcentaje del desplazamiento máximo como se indica en la Figura 4 y Tabla 4 de tal forma que permita evaluar la capacidad de corte y ductilidad ante cargas laterales (sismo).

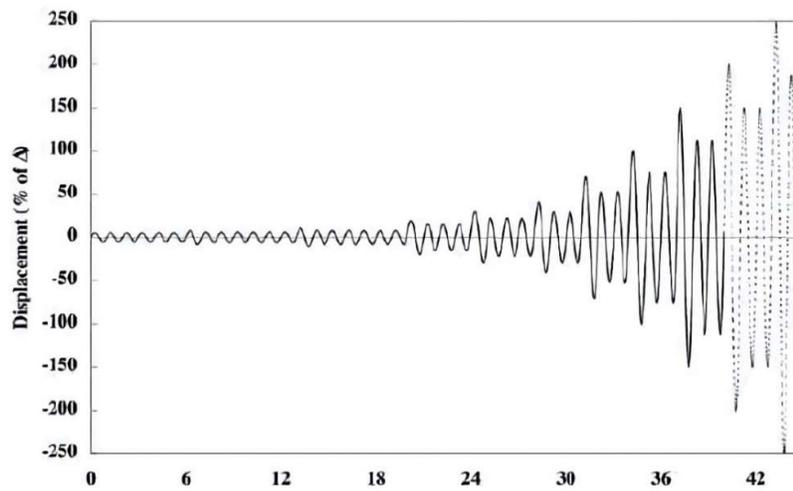


Figura 4. Patrones de desplazamiento por ciclos - Método "C". (ASTM E2126, 2011)

Tabla 4. Protocolo de carga - Método "C"

Patrón	Paso	Número de ciclo mínimo	Amplitud del primer Ciclo, %D
1	1	6	5
2	2	7	7.5
	3	7	10
3	4	4	20
	5	4	30
	6	3	40
4	7	3	70
	8	3	100
	9	3	100+100 Incremento adicionales de 100 (Hasta el fallo de la muestra)
	10	3	

Fuente: (ASTM E2126, 2011)

Nota: Se estima que la probeta llegue hasta la falla patrón No.4

2.5. Ensayo monotónico

El ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM E564, (2006). Las tomas de lecturas de deformaciones se realizaron cada 5 segundos. El ensayo finalizó cuando se

alcanzó una caída del 20% de la capacidad máxima de carga alcanzada. En este punto se registró el desplazamiento final siendo este un dato de entrada para el ensayo cíclico.

3. Resultados

3.1. Análisis estático inelástico

Es el análisis inelástico de la estructura, el cual entrega una curva de capacidad conocida también como "Pushover". Esta permite analizar el comportamiento estructural cuando esté excede su rango elástico lineal. Esta gráfica permite evaluar el estado actual, desempeño y vulnerabilidad de una estructura (Andrade, 2019).

En la figura 5 se presenta la curva de capacidad obtenida del muro ensayado. Se observa que la fuerza máxima es de 243.10 kN a un desplazamiento de 24.74 mm, a partir de este punto la capacidad del muro empieza a disminuir llegando a una fuerza 46.74 kN con un desplazamiento máximo (Δ_{max}) de 38.94 mm equivalente a un SDR del 1.62 %. Finalmente, la relación entre el desplazamiento final y desplazamiento en "y" (Δ_{max}/Δ_y) proporciona el valor de ductilidad de 2.18 mm/mm del muro.

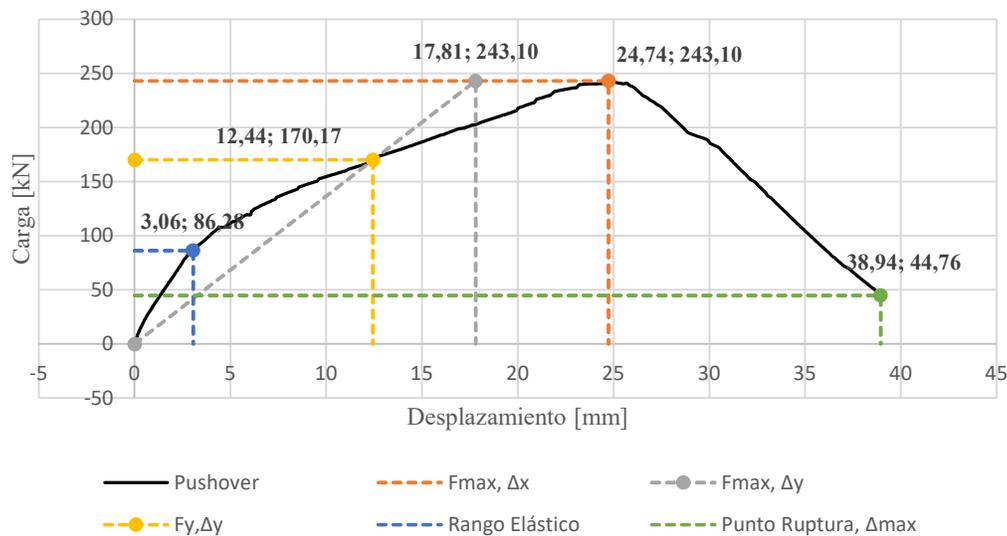


Figura 5. Curva de capacidad

3.2. Curva de histéresis

La curva fuerza vs desplazamiento permite realizar un análisis de las propiedades mecánicas como la rigidez, resistencia, amortiguamiento y derivas en cada ciclo de carga y descarga. (Coral, 2018).

En la figura 6, se puede observar que la pendiente del ciclo disminuye a medida que aumenta el desplazamiento. El desplazamiento máximo es de 21.57 mm a una carga de 211.97 kN.

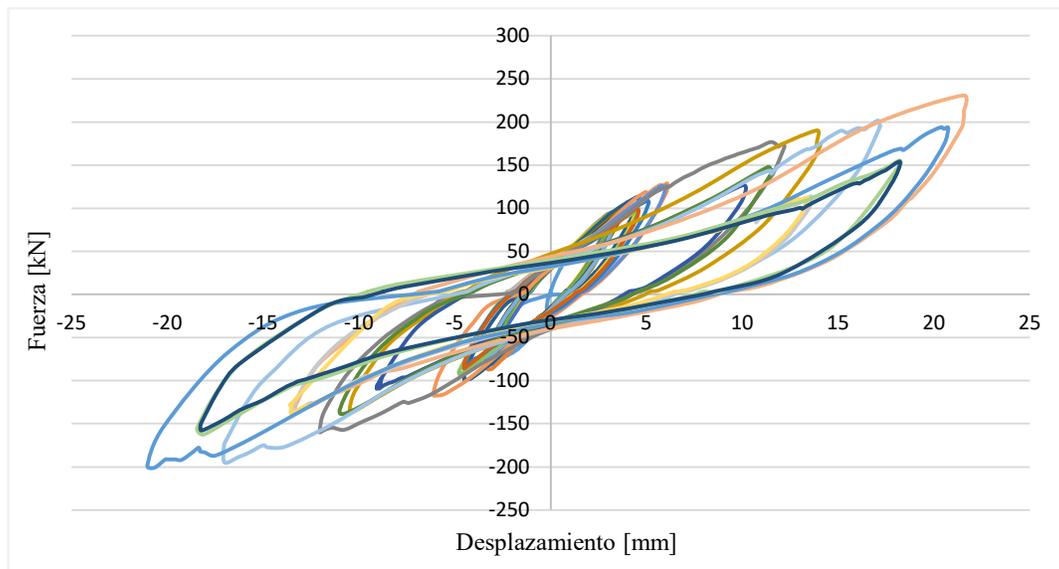


Figura 6. Curva de histéresis

3.3. Propiedades efectivas

3.3.1. Rigidez efectiva (K_{ef}) vs Ciclo

La rigidez del ciclo es la pendiente de la línea secante que une el origen del sistema de coordenadas con el punto asociado al cortante máximo, en donde se analiza el deterioro de la rigidez lateral que se presenta en cada bucle de histéresis (Zúñiga & Terán, 2008).

En la figura 7 se observa que la rigidez efectiva disminuye a medida que se fatiga el muro teniendo un valor máximo de 28.8 kN/mm en el primer ciclo y un valor mínimo de 8.87 kN/mm en el ciclo 28.

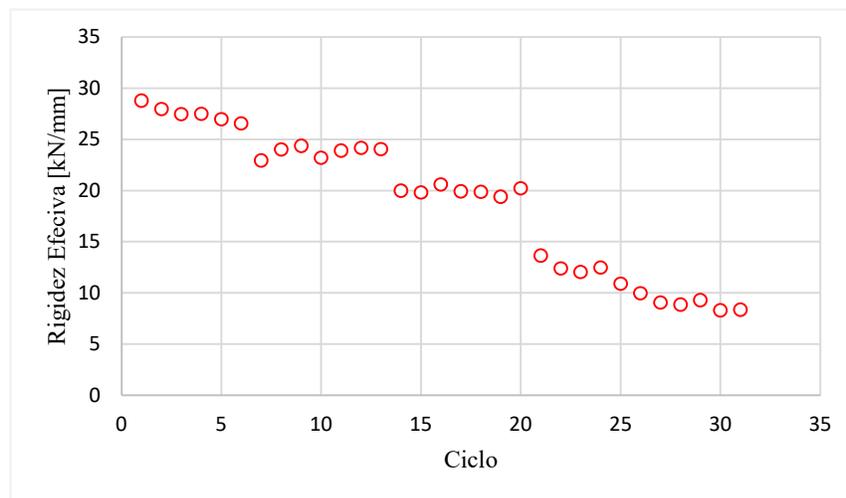


Figura 7. Rigidez efectiva vs ciclo.

3.3.2. Rigidez efectiva (K_{ef}) vs Drift

La gráfica rigidez vs drift permite analizar el desplazamiento producido durante la degradación de resistencia y rigidez, la cual está asociada al agrietamiento que puede presentar la estructura ante cargas laterales (Cedeño, 2019).

En la figura 8 se observa un desplazamiento máximo de 20.90 mm a una rigidez efectiva de 9.32 kN/mm y un desplazamiento mínimo de 3 mm a una rigidez efectiva de 27.49 kN/mm.

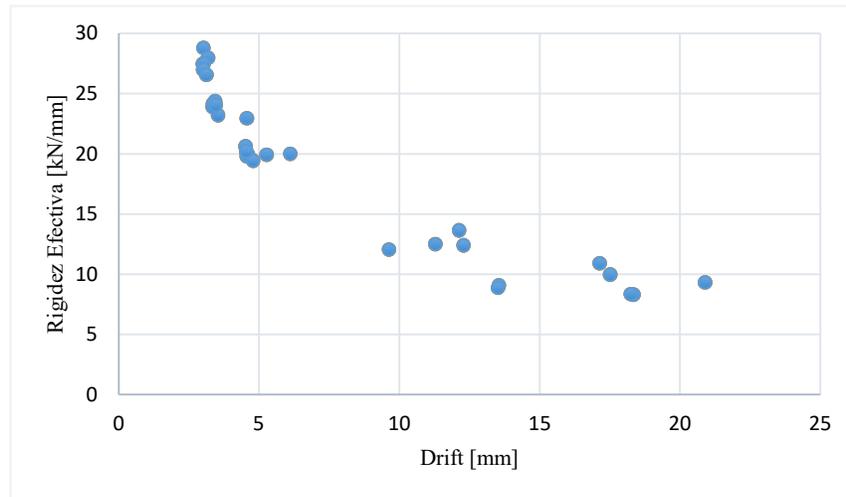


Figura 8. Rigidez efectiva vs desplazamiento

3.3.3. Rigidez efectiva (K_{ef}) vs SDR

La gráfica rigidez vs deformación del piso permite evaluar el desempeño de la estructura durante el proceso de degradación de rigidez y resistencia (FEMA , 2000).

En la figura 9 la curva rigidez efectiva vs SDR donde se observa que se produce un SDR máximo de 0.87% a una rigidez efectiva de 9.32 kN/mm un SDR mínimo de 0.12 % a una rigidez efectiva de 27.49 kN/mm.

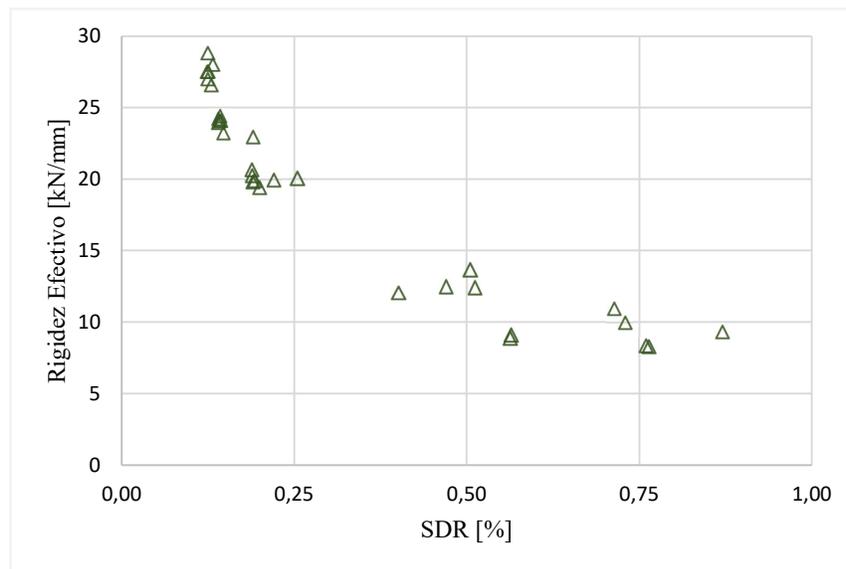


Figura 9. Rigidez efectiva vs derivas

3.3.4. Degradación de la rigidez vs ciclo.

En la figura 10 se observa que a medida que se realiza cada ciclo del ensayo la degradación de la rigidez aumenta paulatinamente. En el ciclo 21 se identifica un aumento en la degradación con un valor del 52.58%.

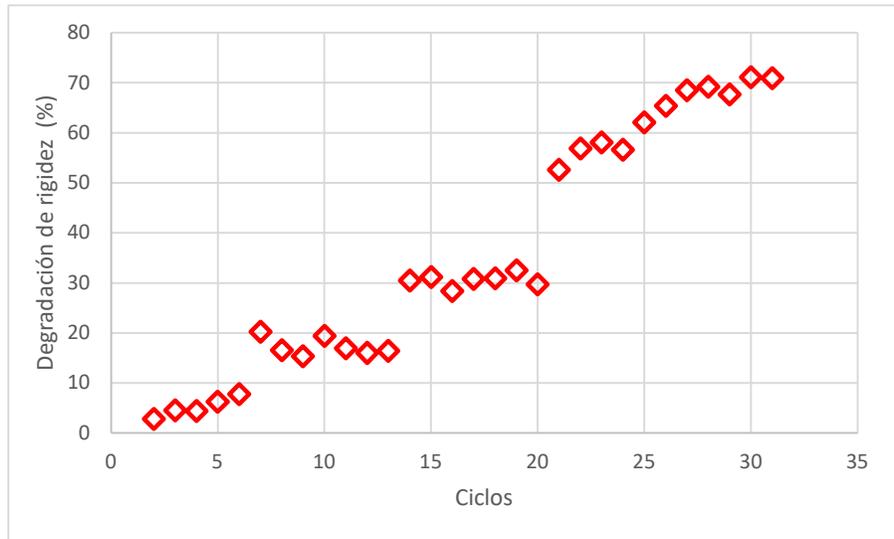


Figura 10. Degradación de la rigidez vs ciclo

3.3.5. Amortiguamiento efectivo (B_{ef}) vs Ciclo

El amortiguamiento efectivo se define como la capacidad de absorber fuerzas externas mediante las secciones transversales de los componentes estructurales durante cada ciclo. A una buena configuración un mayor amortiguamiento y un valor alto de disipación de energía (Cabrera, 2016).

Se presenta en la Figura 11 la curva amortiguamiento efectivo vs ciclo se produce un B_{ef} máximo de 0.16 en el ciclo 21 y un B_{ef} mínimo de 0.1305 en el ciclo 5.

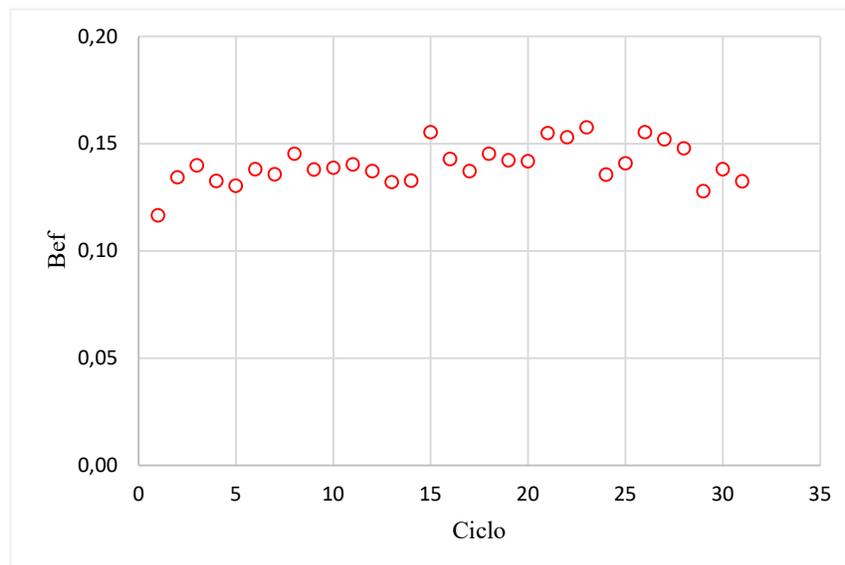


Figura 11. Amortiguamiento efectivo vs ciclo

3.3.6. Amortiguamiento efectivo (B_{ef}) vs Drift

La gráfica amortiguamiento vs drift permite observar que para cada desplazamiento se produce cierta capacidad de absorción de fuerzas. El amortiguamiento es directamente proporcional a la capacidad de la estructura de disipar energía (Cabrera, 2016).

En la figura 12 se observa que se produce un desplazamiento máximo de 20.90 mm a un amortiguamiento efectivo 0.13 y un drift mínimo de 3 mm a un amortiguamiento efectivo de 0.14.

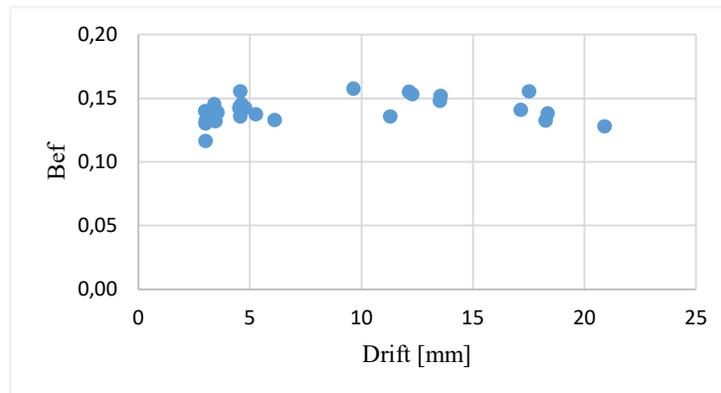


Figura 12. Amortiguamiento efectivo vs desplazamiento

3.3.7. Disipación de energía por ciclos

En la figura 13 se indica que hasta el ciclo 20 la disipación de energía es lineal con una pendiente de 0,31. A partir del ciclo 21 se tiene un incremento considerable de disipación de energía con una pendiente de 2,14. Además, se evidencia un aumento en el desplazamiento horizontal producto de la fatiga del muro.

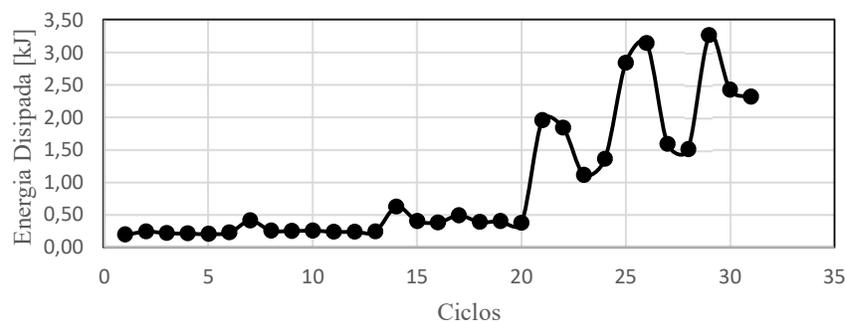


Figura 13. Disipación de energía vs ciclo

4. Discusión

En la curva de capacidad de la figura 5 se puede identificar el rango elástico, plástico y el punto de ruptura, las cargas límites de cada estado son de 86.28 kN, 243.10 kN y 46.74 kN respectivamente, produciéndose un desplazamiento máximo de 38.94 mm que corresponde a la carga ultima de resistencia. Este desplazamiento máximo equivale a un SDR 1.62% que de acuerdo al FEMA (2000) para muros de madera el cual indica que el SDR

entre 1% al 2% se encuentra en un nivel de desempeño de seguridad de vida. Además, durante el rango de ruptura se produce el mayor daño del muro evidenciándose agrietamientos en las planchas de OSB.

El muro presenta una rigidez efectiva máxima de 27.49 kN/mm, mostrando un considerable incremento de rigidez respecto a este tipo de muros de madera con sistema marco plataforma construidos comúnmente. Este aumento de rigidez se debe al sistema de anclaje empleando 6 varillas roscadas ASTM A 193B de \varnothing 15.88 mm (5/8 pulgada), la conexión con tornillos hexagonales entre pies derechos intermedios y a la unión con pegamento entre las planchas de OSB con la estructura principal del muro.

Debido a la aplicación de cargas durante los ensayos se obtuvo un drift de 21.5 mm, normalizando respecto a la altura se obtuvo un valor de SDR igual a 0.87% encontrándose dentro del nivel de desempeño de ocupación inmediata, según la FEMA (2000) para muros de madera, el cual indica que para este nivel el drift debe estar entre un valor de 0.25% a 1%. Los daños que se presentaron en el muro fueron de grietas menores en el recubrimiento de OSB y no sufrió daños en las piezas de eucalipto.

Como resultados de los ensayos monotónico y cíclico realizados se obtuvo cargas máximas de 243.10 kN y 211.97 kN. Esto indica que se tiene una diferencia de carga del 14.67%, y desplazamientos máximos de 38.94 mm y 21.75 mm que varía un 79,03% esto se debe a factores como al porcentaje de humedad de la madera que varían al cambio de temperatura del ambiente, así mismo una precarga dada antes de iniciar el ensayo cíclico.

En la figura 8 se observa que la rigidez es inversamente proporcional al desplazamiento, en el ensayo se obtuvo una rigidez efectiva máxima de 28.8 kN/mm donde se produjo un desplazamiento promedio de 3.02 mm y a una rigidez efectiva mínima de 8.32 kN/mm se produjo un desplazamiento considerable de 18.34 mm, esta relación se debe a que durante cada ciclo el muro va perdiendo capacidades resistentes.

En la figura 11 se presenta un incremento de amortiguamiento efectivo a partir del ciclo 15 donde el muro empezó a fisurarse y un valor máximo de amortiguamiento efectivo de 0.16 en el ciclo 23 donde se produjo los máximos agrietamientos en las planchas de OSB. Este fenómeno se produjo debido a que el muro empieza a volverse frágil y aumenta la capacidad de disipar energía para evitar la falla.

5. Conclusiones

En el estudio se utilizó materiales que se tienen al alcance. El tipo de madera "eucalipto" se seleccionó en función de la resistencia y la economía en base a otras investigaciones, las placas de anclaje fueron construidas basándose a los anclajes de sujeción comerciales Simpson Strong-Tie H12 y la altura final del muro se acoplo a las condiciones del laboratorio.

En el ensayo cíclico el muro no llegó a su falla debido a la alta resistencia que el muro presentaba lo cual provoco que la capacidad de la celda de carga y descarga sea insuficiente, sin embargo, esto permitió que la misma probeta sea ensayada ante cargas monotónicas en donde se evidencio que el muro presento variaciones de resistencia producto de la precarga dada a la probeta y a la fatiga de esta en el ensayo cíclico.

El muro de madera ensayado al ser esbelto presentaba problemas de estabilidad, por lo cual se optó por utilizar una “Y” de acero existente en el laboratorio, la cual fue empotrada al muro de reacción de tal forma que durante el ensayo la probeta actúe dentro del plano de acción y se evite problemas de torsión.

Los daños que se presentaron en el muro empezaron con el desprendimiento entre la solera base y el tablón inferior, luego en ruptura de clavos que conectaban los paneles de OSB con las piezas de madera de eucalipto, siguiendo con el daño de planchas de OSB y finalmente con daños en las placas de anclaje.

En el ensayo monotónico uno de los componentes que presentó daños notorios en el sistema de muro marco plataforma fueron los soportes angulares “Hold Down” esto se le atribuye a que el sistema de anclaje es responsable de transferir cargas a la cimentación. Produciendo un descenso significativo en la resistencia del muro.

Las principales causas de los valores elevados de rigidez en comparación con otros estudios, se debe a la forma constructiva donde se implementaron 6 anclajes en la base de muro con la utilización de varillas roscadas ASTM A193 B, la unión entre soleras intermedias, el pegamento blanco utilizado y la fricción existente entre la “Y” metálica y las planchas de OSB.

El sistema de muros de madera marco plataforma permite obtener una alternativa de construcción para muros de corte, debido a la buena respuesta que estos presentan ante cargas sísmicas. De esta manera este método constructivo puede ser utilizado para construcciones en viviendas de baja altura.

La norma ecuatoriana NEC-SE-MD no hace referencia al sistema constructivo de un muro marco plataforma, sin embargo, menciona que para diseño de sistemas estructurales en madera se haga en función del Manual de diseño para maderas del Grupo Andino donde se cumpla un diseño sismo resistente. En Chile existe información relevante a cerca de la construcción de este tipo de muros que contribuye a seguir en esta línea de investigación.

Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Cayambe, A.	Chiluisa, A.	Quizzanga, D.	Viera, P.
Conceptualización				
Análisis formal				
Investigación				
Metodología				
Recursos				
Validación				
Redacción – revisión y edición				

Conflicto de Interés

Los autores declaran que en el desarrollo del presente artículo no existen conflictos de intereses ni personales ni de ningún tipo por parte de los autores.

Referencias

- Andrade, J. (2019). *Análisis comparativo de la curva de capacidad de un edificio de mediana altura en función de las derivas inelásticas* (tesis de grado) Universidad Estatal Del Sur De Manabí, Manabí.
- American Society for Testing and Materials (2006). Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls For Buildings. E564-06. <https://www.astm.org/e0564-06r18.html>
- American Society for Testing and Materials (2011). Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems For Buildings ASTM E2126. <https://www.astm.org/e2126-19.html>
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad En El Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Editorial Universitaria Abala-Ayala.
- Cabrera, A. (2016). *Análisis del comportamiento dinámico ante vibraciones inducidas por rotación de la turbina hidráulica Francis, equipo de puente grúa y vibraciones sísmicas en el sistema estructural de la casa de máquinas de la central hidroeléctrica Machupicchu II Fase* (tesis de grado) Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Cedeño, L. (2019). *Análisis Del Comportamiento Frente Acciones Cíclicas de Muros de Mampostería Reforzados Con Materiales Compuestos de Matriz Inorgánica y Tejidos de Fibras Vegetales* (tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Coral, M. (2018). *Ensayos cíclicos en muros de albañilería confinada construidos con ladrillos king kong de fabricación industrial* (tesis de grado). Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú
- Cruz, C. (2022). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera estructural ecuatoriana y su aplicación en el diseño de vivienda social* (tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Dahua, J. (2021). *Análisis de las propiedades mecánicas de la madera de eucalipto (Eucalyptus), provenientes de la provincia de Tungurahua y su factibilidad como material estructural de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción 2015 (NEC 2015)* (tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Los Hogares Eran Construidos Con Materiales Típicos (06 septiembre 2015). *El Diario*. Recuperado de: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/366855-los-hogares-eran-construidos-con-materiales-tpicos/>
- Federal Emergency Management Agency. (2000) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building FEMA 356. <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/FEMA/PB2009105376.pdf>
- Gavric, I., Ceccotti, A., and Fragiaco, M. (septiembre de 2011). Experimental Cyclic Tests on Cross-Laminated Timber Panels and Typical Connections. En *XIV Convegno ANIDIS*. Bari, Italia.
- Guíñez, F., Santa María, H., & Almazán, J. (2019). Monotonic and Cyclic Behaviour of Wood Frame Shear Walls for Mid-Height Timber Buildings. *Engineering Structures*, 189, 100–110. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.03.043.
- Montaño, J., Berwart S., & Santa María, H., (2021). *Manual De Diseño De Estructuras En Madera*. Santiago, Chile: Centro UC de Innovación en Madera
- Norma Chilena (2003). Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica. NCh2745.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción, (2014a). Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente. NEC-SE-DS. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

- Norma Ecuatoriana de la Construcción, (2014b). Estructuras de Madera. NEC-SE-MD. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Orellana, P., Santa María, H., Almazán, J., & Estrella, X. (2021) Cyclic Behavior of Wood-Frame Shear Walls with Vertical Load and Bending Moment for Mid-Rise Timber Buildings. *Engineering Structures* 240. doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112298.
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, F. (2020). Sector maderero Ecuador. *Observatorio Económico y Social de Tungurahua*. Recuperado de: <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/06/Sector-maderero-Ecuador-aprobado-1.pdf>
- Zúñiga, O., & Terán, T. (2008). Evaluación Basada En Desplazamientos De Edificaciones De Mampostería Confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 48(79), 25-48. doi: 10.18867/ris.79.29