



CONCURSO

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MEMORIAS, INVESTIGACIONES PATENTES,
PROYECTOS DE TÍTULOS

La VII Versión del Concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando memorias de título, proyectos de título, investigaciones o patentes en torno a la madera.



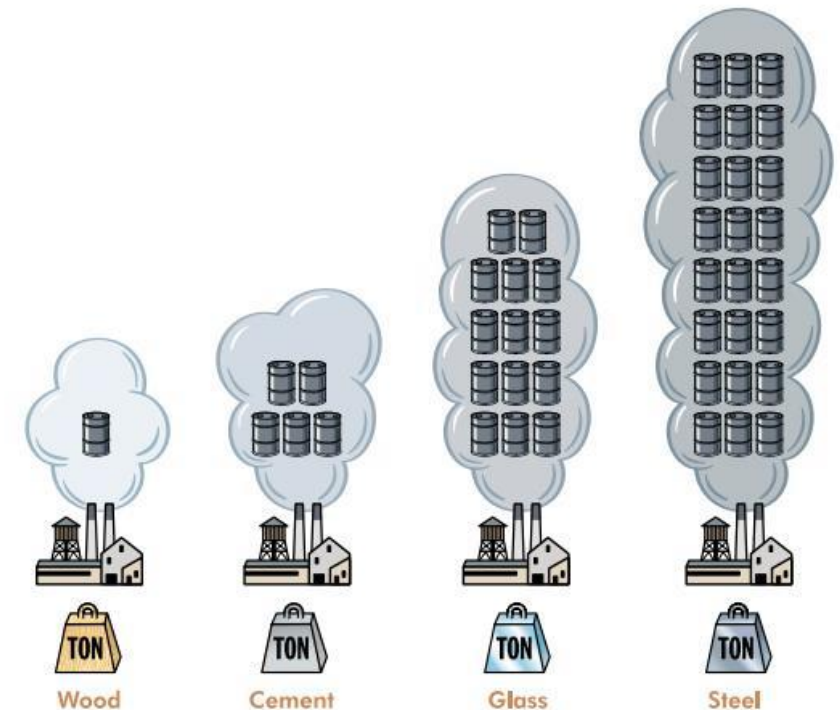
A decorative graphic on the left side of the slide. It features a series of concentric circles in a lighter shade of purple, centered in the upper-left quadrant. A thick white L-shaped line starts from the bottom of the circles and extends horizontally to the right, then vertically down to the bottom edge of the slide.

EQUIPO ING5093

Efecto del deslizamiento de clavos en la deflexión de muros y diafragmas en estructuras de entramado ligero de madera.

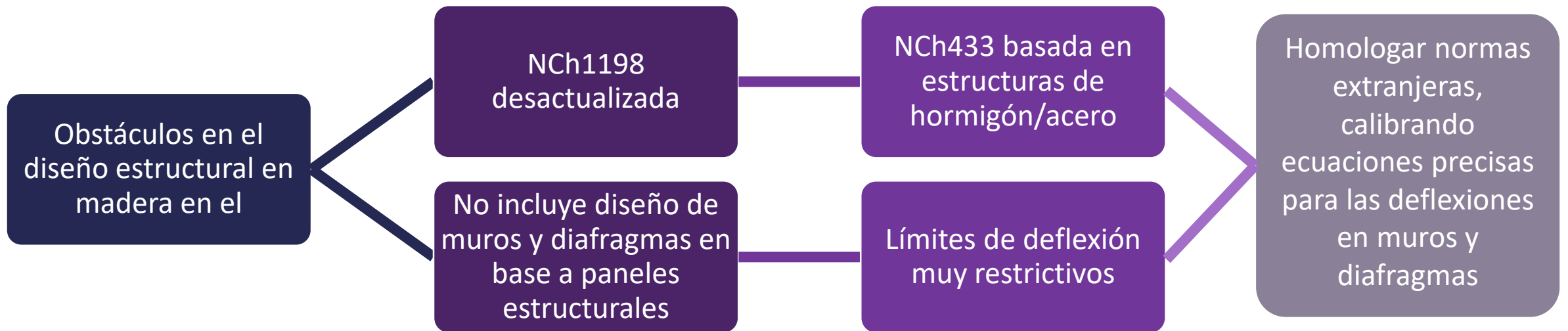
La madera como material estructural

- Uno de los sistemas estructurales más comunes para el diseño de estructuras de baja altura es el entramado ligero de madera. En la actualidad, este sistema se ha llevado a edificaciones de mediana altura (4-5 pisos) principalmente en países del hemisferio norte y está empezando a expandirse al hemisferio sur.

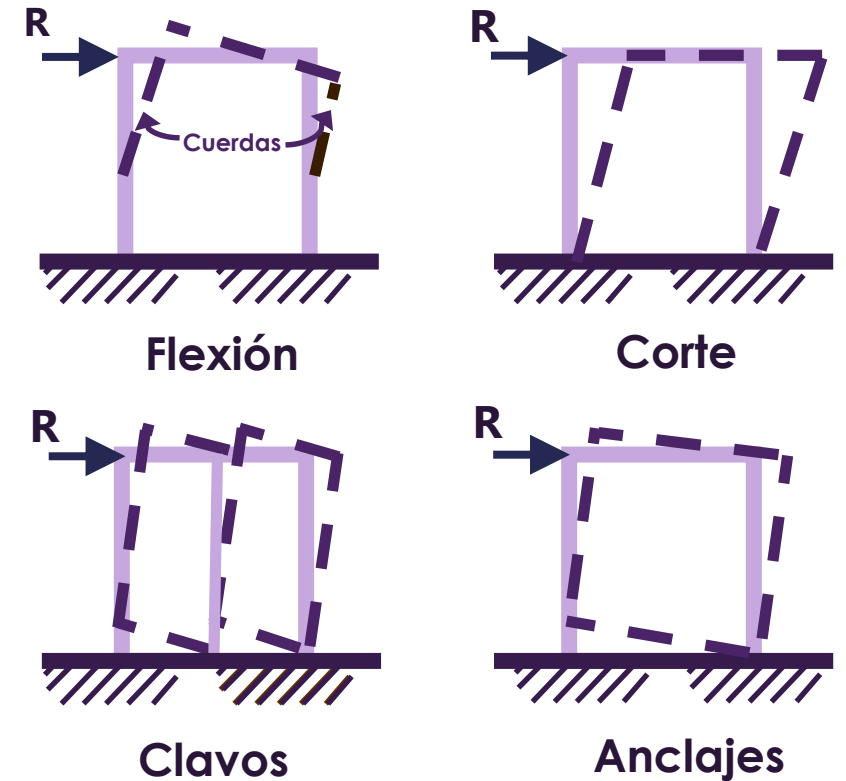


Para producir 1 tonelada de acero se requieren 24 veces la energía para producir 1 tonelada de madera

Obstáculos para el diseño en madera en el país



Deflexión en muros y diafragmas de madera



Componentes en la deflexión de un muro

Deflexión en muros y diafragmas de madera

$$\Delta_M = \frac{2 * v * H_s^3}{3 * E * A * L_s} + \frac{v * H_s}{B_v} + 0.0025 * H_s * e_n + \frac{H_s * \Delta_a}{L_s}$$

Flexión

Corte

Clavos

Anclajes

$$\Delta_d = \frac{5 * v * L^3}{96 * E * A * L_D} + \frac{v * L}{4 * B_v} + 0.00061 * L * e_n + \frac{1}{2 * L_D} \sum x * \Delta_c$$

Flexión

Corte

Clavos

Anclajes

donde, Δ_M es la deflexión total del muro (mm), A el área de la sección transversal de las cuerdas (mm^2), L_s el largo del muro (mm), E el módulo de elasticidad de las cuerdas (N/mm^2), e_n la deflexión de los clavos (mm), B_v la rigidez al corte a través de la fibra del panel estructural (N/mm), H_s la altura del muro (mm), v el corte unitario (N/mm), d_a la elongación vertical del anclaje (mm), Δ_d la deflexión total del diafragma (mm), L_D el ancho del diafragma (mm), L el largo del diafragma (mm) y $\sum(\Delta_c x)$ la suma de las deflexiones producto del empalme de las cuerdas del diafragma (Δ_c) multiplicados por la distancia x al apoyo más cercano (mm).

Objetivos

- La única diferencia entre los códigos internacionales es el cálculo de la deflexión producida en los clavos (e_n) que conectan el panel con el marco.
- Actualmente, los códigos internacionales clasifican la flexibilidad del diafragma a partir de la deflexión relativa de este con respecto a los muros adyacentes, lo que hace necesario tener ecuaciones que estimen de manera precisa el comportamiento de estos elementos para así poder predecir de manera correcta la respuesta de la estructura frente a cargas laterales y así tener un diseño óptimo.
- Este trabajo tiene como objetivo analizar la precisión de las ecuaciones para calcular la deflexión de muros y diafragmas de madera presentadas en los códigos *Special Design Provisions for Wind & Seismic 2015 (SDPWS)* y *National Design Specification 2018 (NDS)* para Estados Unidos, *Engineering Design in Wood 2017 (CSA O86)* para Canadá y Eurocódigo 5 1995 modificado en 2004 para Europa, además de una propuesta experimental presentada por Mengistu y proponer cual sería la solución más adecuada para implementar en el país.



Estructura de entramado ligero de madera

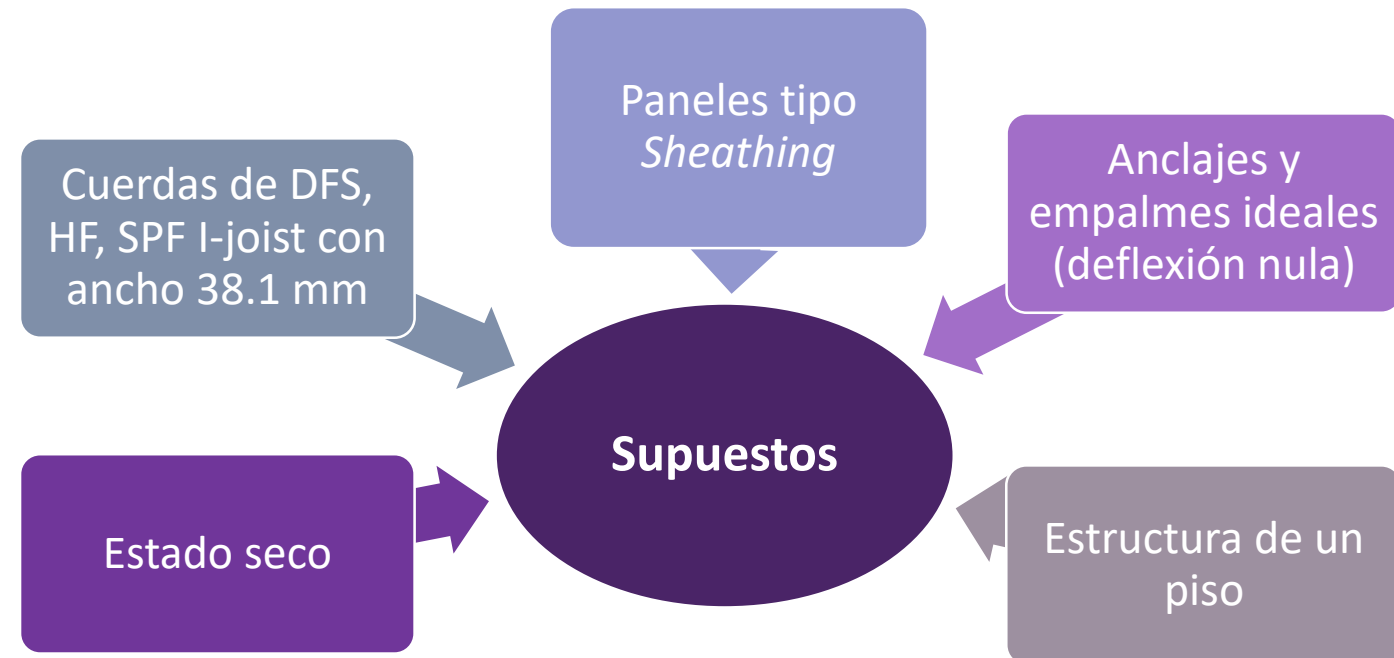
Las propuestas a comparar

	Código/Propuesta					
	SDPWS 2015 4 términos	SDPWS 2015 3 términos	NDS 2018	CSA O86 2017	EN 1995 1-1 Mod. 2004	Mengistu 2020
Cálculo deformación clavos (e_n)	$\left(\frac{V}{a}\right)^b$	$400 * v * \left(\frac{1}{G_a} - \frac{1}{B_v}\right)$	$\frac{V}{\gamma} = \frac{V}{246 * D^{1.5}}$	$\left(\frac{0.013 * v * s}{D^2}\right)^2$	$\frac{(36 * V)}{(1060 * \sqrt{G_1 * G_2})^{1.5} * D^{0.8}}$	$\left(\frac{V}{a}\right)^b$
Supuestos y/o Comentarios	a, b dependen del tamaño del clavo y contenido de humedad	Se Intersecta con SDPWS 4 térm. en 1.4 veces la capacidad ASD del sistema (capacidad LRFD)	Ecuación para módulo de desplazamiento válida para conectores tipo dovola	Adaptación ecuación SDPWS 4 términos	Calibrada para estado seco	a, b dependen del tamaño del clavo, espesor del panel y especie de las cuerdas
	Para paneles grado <i>Sheathing</i> , aumenta la deflexión en un 20%	Valores de G_a se presentan en la normativa, el cual se estima a partir de la expresión SDPWS 4 térm.		Calibrada para paneles tipo <i>Sheathing</i>	Válida para estado de serviciabilidad, para estado último multiplicar por 1.5	Calibrada para paneles tipo <i>Sheathing</i>
				Calibrada para estado seco, amplificar por 2 para estado verde		Calibrada para estado seco

donde, a y b son constantes, V carga por clavo (N), v corte unitario (N/mm), G_a rigidez secante aparente al corte (N/mm), B_v rigidez al corte a través de la fibra del panel estructural (N/mm), γ módulo de deslizamiento (N/mm), D diámetro del conector (mm), s espaciamiento entre clavos (mm) y G_i gravedad específica del panel y de las cuerdas.

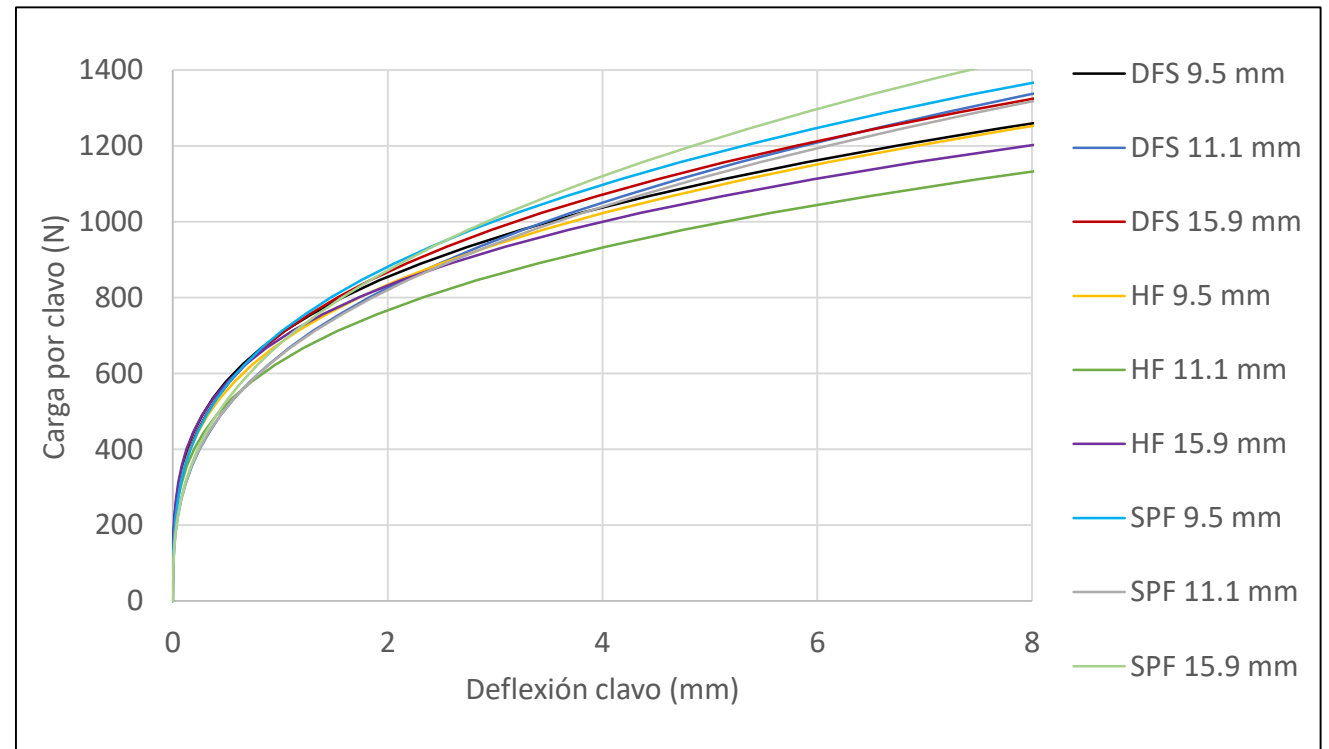
Metodología y Supuestos

- La propuesta de Mengistu fue calibrada en marcos de Douglas Fir South (DFS), Hem Fir (HF), Spruce Pine Fir (SPF) y vigas tipo I-Joist, especies nativas de Estados Unidos, por ende, es necesario utilizar los códigos y especificaciones del mismo país (NDS y SDPWS). La madera tipo DFS es muy similar al Pino Radiata, esto debido a su gravedad específica (0.46 y 0.45 respectivamente).
- Las propuestas también fueron comparadas con ensayos experimentales (Salenikovich, 2000), los cuales fueron realizados en muros de 2.4 x 1.2 m con paneles de OSB tipo *Sheathing* de 11.1 mm de espesor. Se utilizaron cuerdas de SPF y con dimensiones 38.1 x 88.9 mm. Los clavos a utilizar fueron de 63.5 mm de largo y 3.3 mm de diámetro espaciados a 152.4 mm en el perímetro del panel.



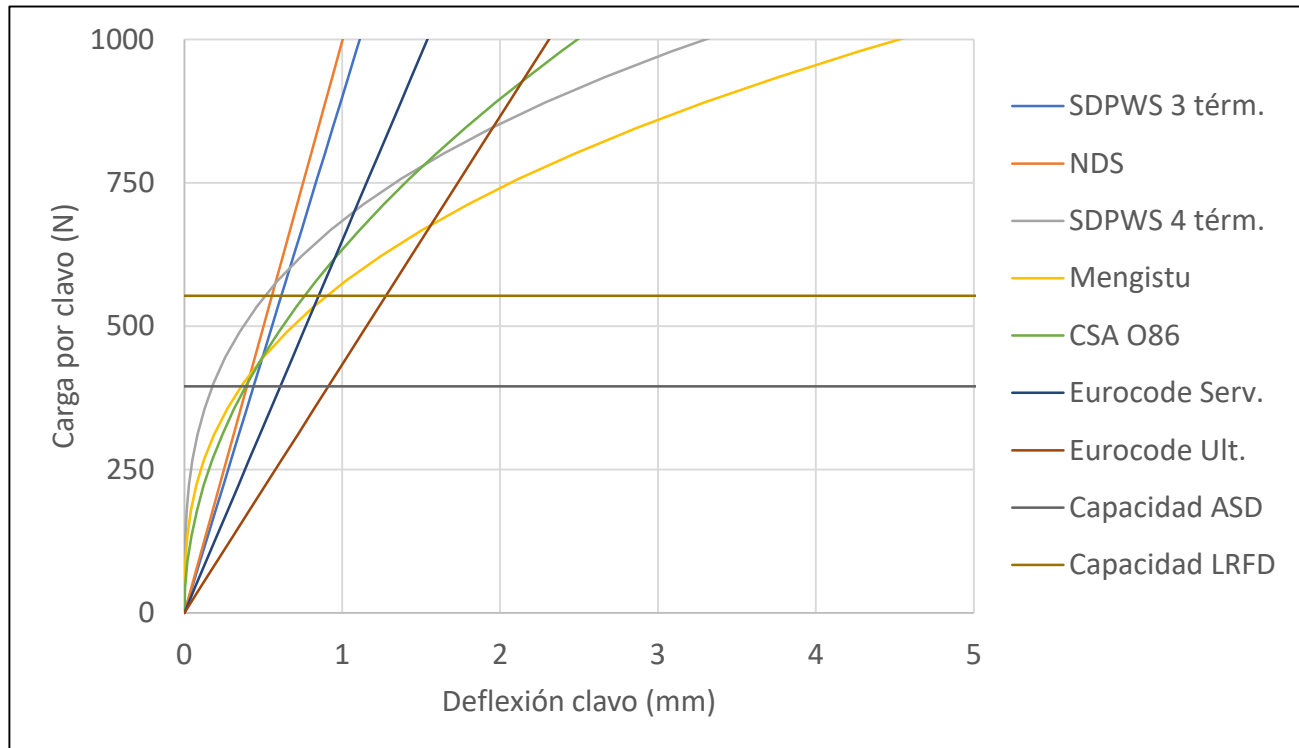
Resultados: Efecto del tipo de madera y espesor del panel

- Códigos norteamericanos no incluyen efecto del tipo de madera.
- Ninguno de los códigos analizados considera el espesor del panel.
- Se analizó la influencia de ambos factores a partir de la propuesta de Mengistu con espesores típicos en muros.



Influencia del tipo de madera y espesor del panel en la deflexión de clavos

Resultados: Comparación general

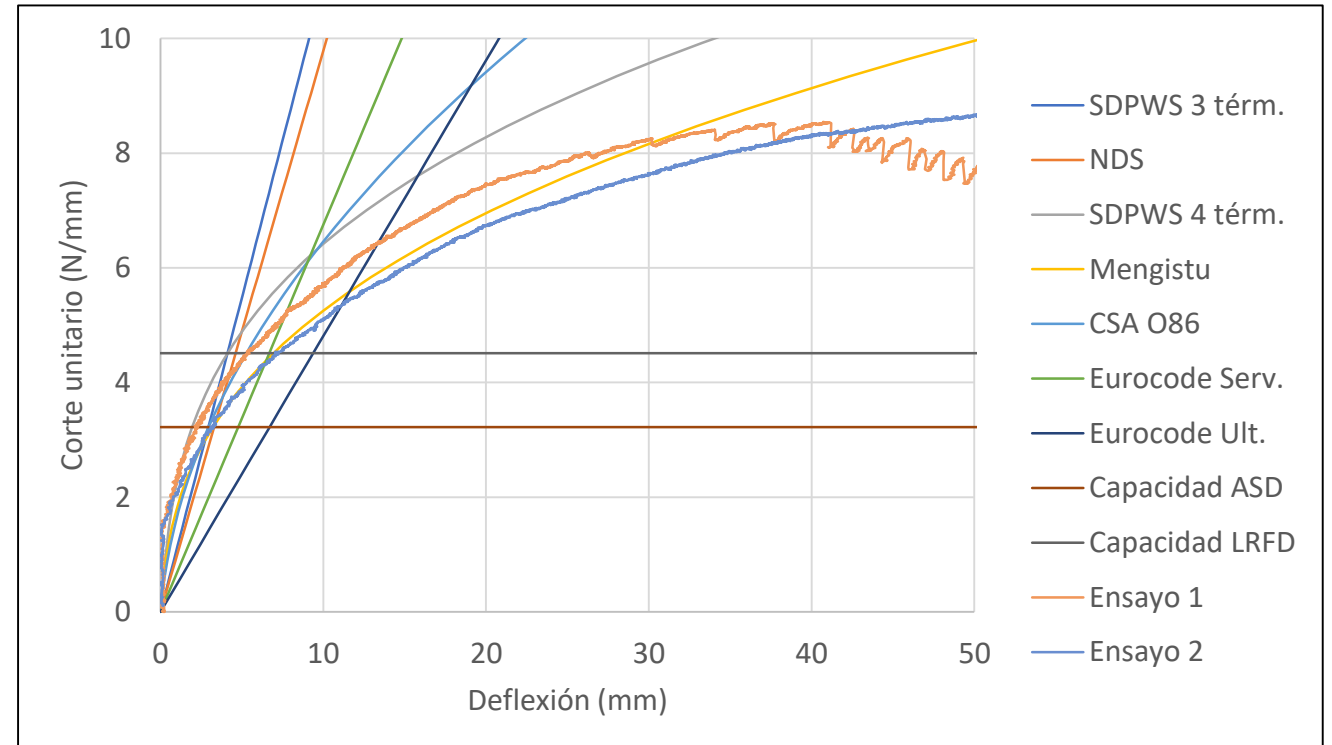


Comparación propuestas de deflexión de clavos

- Comparación del deslizamiento de clavos en el caso de un diafragma utilizando paneles contrachapados con un espesor de 18.3 mm, clavos de 50.8 mm de largo y 2.9 mm de diámetro, separados a 152.4 mm en los perímetros y cuerdas de Douglas Fir South.
- Se aprecian diferencias de hasta un 60% en la capacidad LFRD y 80% para ASD.

Resultados: Comparación con datos experimentales

- Comparación con resultados experimentales demuestran la precisión de la propuesta de Mengistu.
- Las aproximaciones lineales estiman valores muy distintos a la realidad.
- Además de la propuesta de Mengistu, la propuesta del código canadiense y SDPWS 4 términos poseen curvas similares a la deflexión real del muro.
- Se comprueba que el deslizamiento de clavos define el tipo de curva.



Comparación con resultados experimentales

Resultados

Propuesta	Capacidad LRFD (4.5 N/mm)			Capacidad ASD (3.2 N/mm)		
	Deflexión (mm)	Diferencia con ensayo 1 (%)	Diferencia con ensayo 2 (%)	Deflexión (mm)	Diferencia con ensayo 1 (%)	Diferencia con ensayo 2 (%)
SDPWS 3 térm.	4.12	24.76	43.11	2.94	36.14	3.58
SDPWS 4 térm.	4.12	24.76	43.11	1.95	9.78	36.11
NDS	4.61	15.73	36.28	3.29	52.49	7.99
Mengistu	6.94	26.89	4.05	3.22	49.04	5.55
CSA O86	5.27	3.66	27.15	2.95	36.80	3.12
Eurocode Serv.	6.69	22.18	7.61	4.78	121.09	56.58
Eurocode Ult.	9.38	71.40	29.60	6.70	210.16	119.65
Ensayo 1	5.47	-	-	2.16	-	-
Ensayo 2	7.24	-	-	3.05	-	-

- El código estadounidense establece que independiente el método de diseño, las deflexiones deben verificarse en LRFD (amplificación de 1.4 veces los resultados ASD).
- Se aprecian diferencias de aproximadamente 43% con ensayo más flexible.
- En el caso de diafragmas, si bien no fue posible acceder a resultados experimentales, se espera que el resultado sea el mismo, ya que el fenómeno que controla la deflexión es el mismo, la deflexión de clavos.

Conclusiones

Las ecuaciones utilizadas en gran parte del mundo para estimar la deflexión de diafragmas y muros de madera sobreestiman las deflexiones bajo el nivel de diseño LRFD, y subestiman los resultados sobre este valor. Se demostró que la propuesta de Mengistu es más precisa que las ecuaciones normativas;

- 1) Los códigos norteamericanos no incluyen el efecto del tipo de madera utilizado para la deflexión, siendo que la densidad del elemento influye de manera directa en este fenómeno. También se demostró que el espesor del panel también afecta en el cálculo de las deflexiones.
- 2) La comparación con resultados experimentales demostró la poca precisión de las ecuaciones normativas, lo que lleva a una mala representación de la rigidez de los elementos.
- 3) Una mala estimación de las deflexiones de los sistemas de resistencia lateral pueden llevar a una mala caracterización del comportamiento del diafragma (rígido/flexible) asumiendo un comportamiento incorrecto de la estructura.
- 4) La sobreestimación de las deflexiones bajo los niveles de diseño pueden llevar a una estimación incorrecta del *drift*, limitando el diseño de las estructuras de entramado ligero de madera.

Los anclajes en muros y empalmes en diafragmas fueron considerados ideales, es decir con una deflexión nula, este supuesto se utilizó para poder generar comparaciones generales. Por lo tanto, para obtener el valor de la deflexión total en el sistema, es necesario agregar el tipo de anclajes en muros y los empalmes en los diafragmas.

Para fomentar el uso de madera en el país, se requiere una actualización de la normativa de diseño NCh 1198, incluyendo el uso de paneles estructurales de madera. Para incorporar el cálculo de deflexiones de los sistemas de resistencia lateral, es necesario calibrar las ecuaciones para las especies nativas, en vez de homologar directamente las ecuaciones presentadas en los códigos extranjeros, a pesar de que los resultados para la madera de Douglas Fir South puedan ser extrapolados para el caso del Pino Radiata (debido a la similitud entre sus gravedades específicas