



# JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



JIDeTEV- Año 2022 -ISSN 2591-4219

## Deformaciones laterales en muros de corte de madera considerando propiedades materiales estocásticas

Diego A. García<sup>a, b\*</sup>, Matías Medina<sup>a</sup>, Georgia M. Beltrame Yaciuk<sup>a</sup>, Cristhian Rodríguez<sup>a</sup> y Junior A. Riveros Fernandez.

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

<sup>b</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina  
e-mails: diego.garcia@fio.unam.edu.ar, matimedina982@gmail.com, beltrgeor@gmail.com, cristhian.f.rodriguez589@gmail.com, jalriveros98@gmail.com

---

### Resumen

En este trabajo se presenta el estudio de las deformaciones ante cargas laterales de muros de corte de madera utilizados en el sistema constructivo de entramado ligero. En una edificación en madera, estos muros tienen el objetivo de conducir las cargas horizontales que actúan sobre la edificación a la fundación de la misma confiriendo un adecuado grado de rigidez al conjunto. Dentro de este tipo de cargas se encuentran las cargas generadas por el sismo y la acción del viento, siendo esta última la más importante para nuestra región. Un muro de corte, en su configuración más común, está compuesto de un bastidor de forma rectangular formado por piezas de madera aserrada al cual se le añade una placa, de material derivado de la madera, mediante clavos perimetrales y centrales en uno de los lados del bastidor. Para el estudio de las deformaciones laterales se utilizarán expresiones teóricas establecidas en reglamentos estructurales internacionales. Algunas de las propiedades de los materiales que conforman el muro de corte se modelan de forma estocástica mediante sus distribuciones de probabilidad evaluando la propagación de la incertidumbre introducida en estas propiedades en la respuesta estructural.

**Palabras Clave** – Construcciones con madera, Deformaciones laterales, Muros de corte, Propiedades estocásticas.

### 1 Introducción

Actualmente, en el ámbito de la construcción de viviendas, se implementan en nuestro país programas para la ejecución de las mismas con materiales no tradicionales que promuevan el uso eficiente de la energía y la sustentabilidad. Algunos de los programas financian la construcción de viviendas con uso intensivo de la madera, como material sustentable. El sistema constructivo en madera de mayor difusión en nuestra región es el denominado de entramado ligero, en el cual, a partir de un bastidor de madera y un sistema de capas, con distintas finalidades (sostén estructural, aislación, arriostramiento, etc.) se obtienen paneles que pueden utilizarse en la ejecución de las paredes de las viviendas. Estos elementos surgen de un proceso totalmente industrializado, actuando como dinamizador de las industrias locales constituyéndose en una alternativa competitiva. Estos paneles están constituidos por varios elementos, una configuración multicapa, a saber: una estructura resistente o bastidor, una cubierta la cual puede ser de machimbre o placas de terminación, placas multilaminadas o tableros de virutas (Oriented Strand Board, OSB) que confieren arriostramiento,

\*Autor en correspondencia.

una aislación hidráulica, una aislación térmica y un revestimiento inferior. Desde diversos organismos relacionados con la construcción en la Provincia de Misiones como ser el Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional (IPRODHA) y la Asociación de Productores, Industriales y Comerciantes Forestales de Misiones y Norte de Corrientes (APICOFOM) se plantea la necesidad de evaluar objetivamente el comportamiento mecánico estructural como alternativa competitiva a los sistemas de construcción tradicionales que utilizan distintos tipos de mampuestos. El sistema constructivo de entramado ligero de madera está dentro de los sistemas constructivos más utilizados en los países productores de madera, como Canadá y Estados Unidos entre otros. Dentro de los atributos de este sistema se encuentran la prefabricación, velocidad de construcción, eficiencia energética y en general su versatilidad ayuda a potenciar soluciones sustentables con el medio ambiente. Uno de los problemas que deben enfrentar los ingenieros que desarrollan sus proyectos con este sistema constructivo, es saber aplicar correctamente todas las variables que se involucran en un muro de corte tales como la cantidad de pies derecho, el espaciamiento de clavos, sistema de anclaje, placas de OSB, etc.

Dentro de este sistema, es común emplear muros de corte como parte principal del sistema resistente lateral para soportar las cargas horizontales generadas por los movimientos sísmicos y la acción del viento, siendo esta última la de mayor preponderancia para nuestra zona geográfica. Tradicionalmente, un muro de corte individual consiste de un marco o bastidor de madera de 1.2 m de largo y 2.4 m de alto compuesto de piezas verticales denominadas pie-derechos de escuadría 2x4 pulgadas espaciados a 600 mm, de piezas horizontales denominadas soleras formadas por miembros individuales también de 2x4 pulgadas ubicadas en los extremos formando un bastidor en conjunto con los pies derechos, y anclajes tipo hold-downs convencionales en las esquinas para prevenir el volcamiento. La resistencia lateral es proporcionada mediante tableros de OSB o multilaminados fenólicos de 9 a 11 mm de espesor colocados en un lado del muro, unidos al marco de madera a través de clavos helicoidales espaciados a 150 mm en los bordes exteriores y a 300 mm en el interior, como configuración tradicional de clavado.

En el presente trabajo se estudia la influencia que tiene la variabilidad en las propiedades de la madera en las deformaciones laterales de muros de corte [1]. Las piezas de este material utilizadas dentro del ámbito de la construcción presentan una gran variabilidad en sus propiedades físicas y mecánicas en relación a otros materiales [2-3]. Se utilizarán propiedades físicas y mecánicas de especies de madera cultivadas en la provincia de Misiones [4] las cuales son aceptadas para el uso estructural en el país a través del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 [5]. Las propiedades del material serán modeladas de forma estocástica y, mediante expresiones teóricas [6-7], se evaluarán las deformaciones laterales esperadas en muros de corte. De esta manera se obtendrán distribuciones de probabilidad para las deformaciones, las cuales indican la propagación en la respuesta estructural de las incertidumbres consideradas en las propiedades materiales.

## 2 Materiales y métodos

El muro de corte o panel de madera utilizado en el sistema constructivo de marco plataforma, es un tipo de sistema estructural, en el cual todas sus partes componentes con su desempeño específico, aportan a la rigidez y resistencia tanto lateral como vertical. En la Figura 1 se observa un muro de corte preparado para ser ensayado en laboratorio ante la acción de cargas horizontales [8].



Figura 1: Muro de corte con placa arriostrante de OSB [8].

Es un tema de interés en la Ingeniería Civil el poder calcular las deformaciones horizontales de este tipo de muros. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de deformaciones tienen generalmente cuatro términos asociados cada uno de ellos a la flexión del muro, al corte de la placa arriostrante al desplazamiento de los medios de unión, y a la deformación del anclaje por volcamiento, respectivamente (Fig. 2).

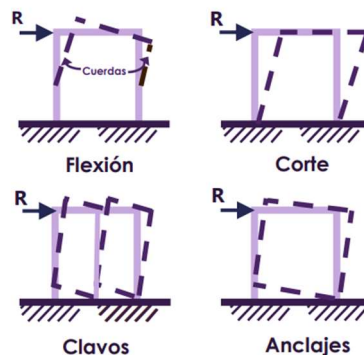


Figura 2: Componentes de la deformación horizontal total de un muro de corte [6].

En este trabajo, se utilizarán tres ecuaciones empleadas comúnmente para el cálculo de la deformación horizontal, se compararán las mismas y se analizará la influencia en la respuesta estructural de los parámetros considerados en forma estocástica.

### 2.1 Ecuación Moroder

Esta ecuación presentada por Moroder [7] incluye la posibilidad de incluir diversas configuraciones de placas arriostrantes, siendo esta su principal contribución. En la misma se plantean en primer lugar la rigidez horizontal ( $k_{uh}$ ) y vertical ( $k_{uv}$ ) para el cálculo de la componente de deformación debida a clavos en hileras horizontales y verticales, respectivamente. Las mismas se ven influenciadas por el valor del módulo de deslizamiento del elemento unión  $k_{ser}$ , por la altura ( $H$ ) y longitud del muro ( $B$ ), por la distancia entre ejes de paneles ( $h$  y  $b$ ), y por el espaciamiento de clavos ( $s$ ):

$$k_{uh} = \frac{K_{ser} B b}{2 s H} \quad k_{uv} = \frac{K_{ser} H h}{2 s B} \quad (1)$$

Luego, incluye además la rigidez a flexión ( $k_f$ ) y la rigidez a corte de la placa arriostrante ( $k_c$ ), de la siguiente manera:

$$k_f = \frac{3 E A B^2}{2 H^3} \quad k_c = \frac{G d B}{H} \quad (2)$$

en donde  $E$  es el módulo de elasticidad de las maderas de los pies derechos,  $A$  es la sección total de los pies derechos de borde,  $G$  es el módulo de corte de la placa, y  $d$  es el espesor de la capa. Siendo estos componentes de la ecuación comunes a la mayor parte de las expresiones utilizadas. La deformación horizontal total se puede expresar en función de la carga aplicada a la estructura ( $V$ ), por ende, se expresa:

$$\delta = \frac{V}{k_{uh}} + \frac{V}{k_{uh}} + \frac{V}{k_f} + \frac{V}{k_c} \quad (3)$$

### 2.2 Ecuación Special Design Provisions for Wind And Sismic (SDPWS)

A continuación, se presenta la ecuación propuesta en la norma de Estados Unidos [9], Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS) en su versión del año 2015:

$$\delta_{sw} = \frac{8vh^3}{EAb} + \frac{vh}{G_v t_v} + 0.75he_n + \frac{h}{b} \Delta_a \quad (4)$$

en donde:  $E$  es el módulo de elasticidad de los pies derechos;  $Gv$  es el módulo de corte de la placa;  $A$  es el área total de los pies derechos;  $h$  es la altura del muro;  $v$  es la sollicitación horizontal expresada como un corte por unidad de longitud;  $b$  es el largo del muro;  $tv$  es el espesor de la placa;  $en$  es el deslizamiento de la unión clavada entre la placa y la pieza de madera aserrada y  $\Delta a$  es la deformación por levantamiento del anclaje. El primer término hace referencia a la deformación por flexión, el segundo a la deformación por corte de la placa, el tercero a la deformación de los medios de unión y el cuarto a la deformación del medio de anclaje. En la misma normativa se presenta además una versión simplificada, empleada en compatibilidad con el cálculo resistente de muros de corte:

$$\delta_{sw} = \frac{8vh^3}{EAb} + \frac{vh}{1000G_a} + \frac{h}{b}\Delta_a \quad (5)$$

en donde se unifican los términos referidos a la deformación por corte de la placa y la deformación de los medios de unión de la placa al bastidor de madera. Esto se logra a través del parámetro  $G_a$  es el módulo de corte combinado que incluye el efecto de la deformación por corte de la placa y de la deformación de los clavos. Ambas ecuaciones en los formatos presentados anteriormente se encuentran en el sistema inglés de medidas.

### 2.3 Ecuación propuesta normativa chilena NCH1198

Esta ecuación se presenta para el nuevo proyecto de normativa chilena NCH1198 [6] y [10]. Parte de la ecuación de 4 términos del SDPWS, y fue adaptada con varios coeficientes para utilizar las unidades de medidas del SI. La misma tiene la siguiente forma:

$$\delta = \frac{2VH^3}{3EAB^3} + \frac{VH}{BGvTv} + 0,0025 * H * en + \frac{H\Delta a}{B} \quad (6)$$

en donde:  $E$  es el módulo de elasticidad de los pies derechos;  $Gv$  es el módulo de corte del panel;  $A$  es el área total de los pies derechos;  $H$  es la altura del muro;  $V$  es la fuerza horizontal aplicada;  $B$  es el largo del muro;  $Tv$  es el espesor de la placa;  $en$  es el deslizamiento de la unión clavada entre la placa y la pieza de madera aserrada y  $\Delta a$  es la deformación por levantamiento del anclaje.

### 2.4 Variables aleatorias

Uno de los parámetros considerados como estocástico en este trabajo es la densidad de la madera de las piezas aserradas que forman los pies derechos y soleras. Para ello se utiliza una distribución de probabilidad normal con valor medio  $\mu = 493 \text{ kg/m}^3$ , y desvío estándar  $\sigma = 73,95 \text{ kg/m}^3$ . La misma tiene influencia en la rigidez de las uniones, y consecuentemente en los términos relacionados a la unión clavada entre placas arriostrantes y piezas aserradas del bastidor. A partir de la densidad de las piezas aserradas del bastidor de madera ( $\rho_{M1}$ ) y teniendo la densidad de la placa ( $\rho_{M2}$ ) como

dato [11], se puede calcular la media geométrica de la densidad, la cual es utilizada para el cálculo del módulo de deslizamiento:

$$\rho_M = \sqrt{\rho_{M1} \rho_{M2}} \quad (7)$$

El módulo de deslizamiento instantáneo del elemento unión o rigidez del medio de unión ( $K_{ser}$ ), puede obtenerse con la siguiente ecuación [5]:

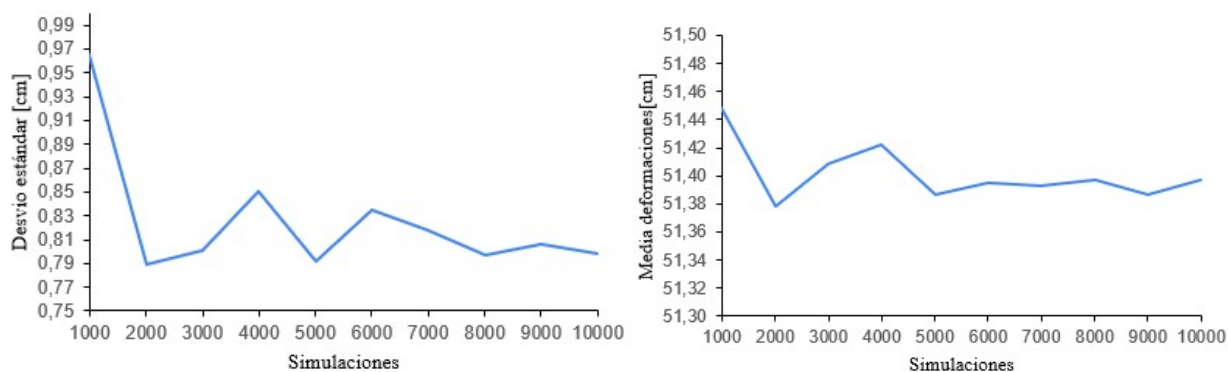
$$K_{ser} = \frac{\rho_M^{1,5} D^{0,8}}{25} \quad (8)$$

expresada en unidades de fuerza por unidad de longitud, en dónde D es el diámetro de los clavos.

La otra propiedad material que se considera estocástica es el modulo de elasticidad de las piezas aserradas que forman el bastidor (pies derechos y soleras). El mismo tiene influencia en el componente de la deformación horizontal del muro de corte que considera su comportamiento a flexión, primer termino de las expresiones presentadas anteriormente. Para ello se utiliza una distribución de probabilidad normal con valor medio  $\mu = 13300 MPa$ , y desvío estándar  $\sigma = 2660 MPa$ . Ambas propiedades materiales, la densidad y el modulo de elasticidad fueron seleccionadas considerando madera de *pinus taeda* y *elliotti* cultivado en la provincia de Misiones y aceptada para uso estructural según el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, CIRSOC 601.

### 3 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos introduciendo los parametros considerados estocasticos en las ecuaciones presentadas en la seccion anterior. Dado que las propiedades materiales son consideradas en forma estocastica, es necesario en primera instancia determinar la cantidad de simulaciones necesarias para lograr un determinado grado de convergencia de la distribucion de probabilidad de la deformacion horizontal  $\delta$ . Para ello se realizaron hasta 10000 simulaciones de manera progresiva con un paso de 1000 para lograr hallar una convergencia de la distribucion de probabilidad de la respuesta a traves del studio de su desvío estándar y de su valor medio. Para el análisis se consideraron los siguientes parámetros: una carga de 70000 N; H=2440mm; B=1220mm; A=10322,56mm<sup>2</sup>; Gv=1080MPa; tv: d=9,5mm; diámetro del clavo D=3,3mm y separación entre clavos: s=150mm. A continuación, en la Figura 3 se presenta la variación del desvío estándar y del valor medio de la variable aleatoria  $\delta$  a medida que aumentan la cantidad de simulaciones, izquierda y derecha respectivamente.



**Figura 3: Análisis de convergencia. Izquierda: desvíos estándar de las deformaciones; derecha: valores medios de las deformaciones.**

Para el resto de los resultados que se presentan, se realizaron un total de 10000 simulaciones, ya que en este valor logramos una convergencia deseada de la media de deformaciones y el desvío estándar. Para analizar la convergencia, se tomó como límite superior de un 5% de diferencia entre los valores medios y los desvíos estándar de dos valores consecutivos de cantidad de simulaciones. La mayor variabilidad del desvío estándar (Figura 3) se da porque los histogramas de deformaciones son sesgados (Figura 4 a 8).

### 3.1 Estudio de la influencia de la densidad:

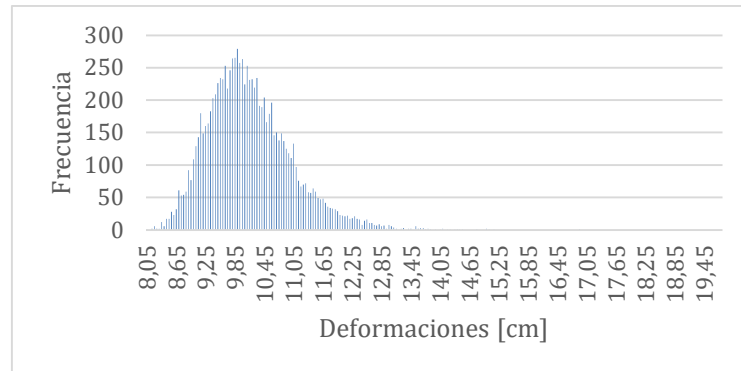
Para realizar el estudio de la influencia que tiene la variabilidad de la densidad en las deformaciones se utilizó la expresión presentada en la sección 2.1, Ecuación 3, en la cual se mantuvieron constantes los siguientes parámetros:  $H=2440\text{mm}$ ;  $B=1220\text{mm}$ ;  $A=10322,56\text{mm}^2$ ;  $E=13300\text{MPa}$ ;  $G=1080\text{MPa}$ ;  $d=9,5\text{mm}$ ;  $h=2440\text{mm}$ ;  $b=1220\text{mm}$ ;  $D=3,3\text{mm}$  y  $s=150\text{mm}$ . El estudio se realizó considerando una carga  $V=12\text{ kN}$ . A continuación, en la Tabla 1, se presentan los valores estadísticos obtenidos. Se puede observar un amplio rango de resultados considerando que para la normativa de ensayos la deformación límite es de 10 cm. A pesar de ello el desvío estándar es reducido con un coeficiente de variación del 8%.

**Tabla 1:** Valores estadísticos obtenidos, influencia de la densidad.

Valor medio deformación [cm]	Desvío estándar deformación [cm]	Coefficiente de variación %	Máxima deformación [cm]	Mínima deformación [cm]
10,13	0,86	8,5	16,18	7,92

En la Figura 4, se presenta el histograma obtenido en donde se visualizan los resultados con su frecuencia, se observa lo comentado anteriormente. Para el caso en estudio se observa que la

variabilidad en la densidad puede conducir a situaciones en que no se verifique la deformación máxima permitida en los ensayos.



**Figura 4: Histogramas de deformaciones. Influencia de la variabilidad en la densidad.**

Analizando los términos de la ecuación utilizada se obtiene que la deformación por flexión constituye un 8.1% de la deformación total, la deformación por corte de la placa un 19.4%, la deformación de los medios de unión un 71 % y la deformación del sistema de anclaje un 1.5%. Podemos notar que la variabilidad en la densidad, la cual esta relacionada a la rigidez de los medios de unión tienen una gran importancia.

### **3.2 Estudio de la influencia del módulo de elasticidad:**

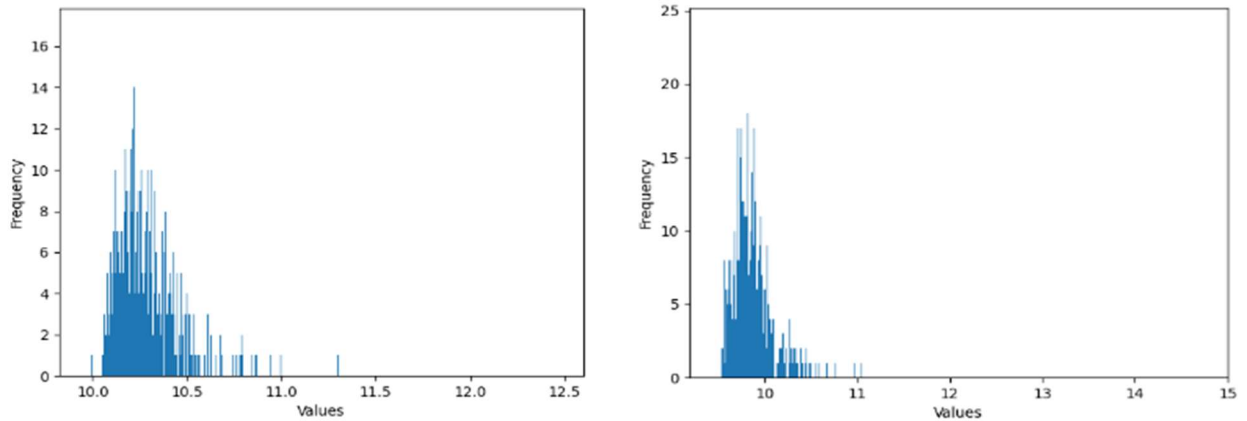
Para el estudio de la influencia del módulo de elasticidad se utilizó la Ecuación 5 presentada en la sección 2.2. Para ello se realizaron pruebas con distinto rango de cargas y separaciones, a continuación, se mostrarán las configuraciones para las cuales se alcanza una media de deformación cercana a 10 cm. En la Tabla 2, se muestran los resultados utilizando una placa de 9.5 mm de espesor con distintas separaciones de clavos. Puede observarse que al disminuirse la separación entre clavos el muro de corte resulta más rígido admitiendo mayor carga y reduciendo los valores estadísticos de las deformaciones. En relación a los resultados mostrados en la sección anterior, se observa un menor rango de variación en la respuesta mostrando la menor influencia que presenta el módulo de elasticidad.



**Tabla 2:** Valores estadísticos obtenidos para  $t_v=9.5$  mm

s [cm]	V [kN]	Valor medio deformación [cm]	Desvío estándar deformación [cm]	Coficiente de variación %	Máxima deformación [cm]	Mínima deformación [cm]
15	14	10.28	0.16	1.5	12.48	9.95
10	19	9.86	0.22	2.2	14.74	9.46

En la Figura 5, se observan los histogramas obtenidos, a la izquierda para una separación entre clavos de 15 cm y a la derecha para una separación de 10 cm. Puede apreciarse que los histogramas resultan sesgados y la menor variabilidad en comparación a cuando se analizó la influencia de la densidad.



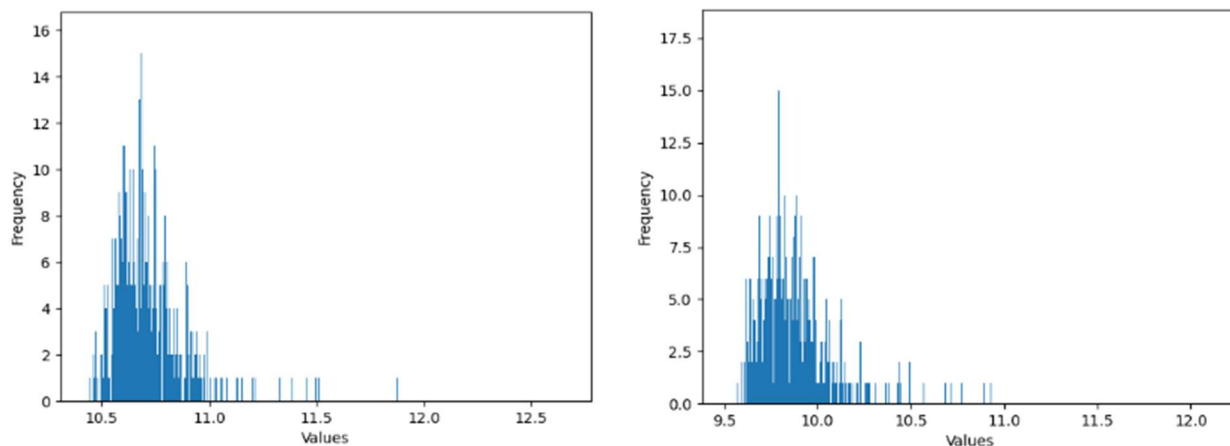
**Figura 5:** Histogramas de deformaciones. Izquierda: para  $s=15$  cm,  $t_v=9.5$  mm y  $V=14$  kN; derecha: para  $s=10$  cm,  $t_v=9.5$  mm y  $V=19$  kN.

En la Tabla 3, se muestran los resultados utilizando una placa de 11.1 mm de espesor con distintas separaciones de clavos. Al igual que en el caso anterior, puede observarse que al disminuirse la separación entre clavos el muro de corte resulta más rígido admitiendo mayor carga y reduciendo los valores estadísticos de las deformaciones.

**Tabla 3:** Valores estadísticos obtenidos para  $t_v=11.1$  mm.

s [cm]	V [kN]	Valor medio deformación [cm]	Desvío estándar deformación [cm]	Coficiente de variación %	Máxima deformación [cm]	Mínima deformación [cm]
15	13	10.71	0.15	1.5	12.67	10.42
10	17	9.89	0.20	2.1	12.13	9.52

En la Figura 6, se observan los histogramas obtenidos, a la izquierda para una separación entre clavos de 15 cm y a la derecha para una separación de 10 cm. Puede apreciarse que los histogramas resultan sesgados y la menor variabilidad en comparación a cuando se analizó la influencia de la densidad. En general al aumentar el espesor de la placa se observa que aumenta la rigidez del conjunto.



**Figura 6: Histograma de deformaciones. Izquierda: para  $s=15$  cm,  $t_v=11.1$  mm y  $V=13$  kN; derecha: para  $s=10$  cm,  $t_v=11.1$  mm y  $V=17$  kN.**

En función de los resultados presentados se puede inferir que, al variar parámetros constantes, como lo son el espesor de la placa, y la separación de los clavos, se aprecia que:

- El espesor de la placa no presenta una gran influencia en lo que respecta al aumentar la rigidez del conjunto, para las situaciones analizadas. Resulta mínimo el cambio de valor en la carga necesaria para obtener deformaciones cercanas a los 10 cm. Podemos notar que, al aumentar el espesor de la placa, con una misma separación de clavos, en ambos casos soporta una mayor carga (mínimo aumento de rigidez).

- La separación de clavos presenta una gran influencia en la rigidez del conjunto, a menor separación, mayor rigidez.

En relación a la expresión utilizada para el cálculo de las deformaciones (expresión del SDPWS de tres términos, Ecuación 5) se observa que el término de flexión aporta un 6.5% a la deformación total, el término de corte aporta un 92% a la deformación total mientras que el término relacionado a la deformación del sistema de anclaje aporta un 1.5% a la deformación total. El módulo de elasticidad si bien es un factor de importancia, tiene una influencia reducida para las dimensiones de muro de corte estudiadas. En muros con relaciones de forma H/B mayores a 2 la influencia del módulo de elasticidad de la madera de los bastidores es mucho mayor.

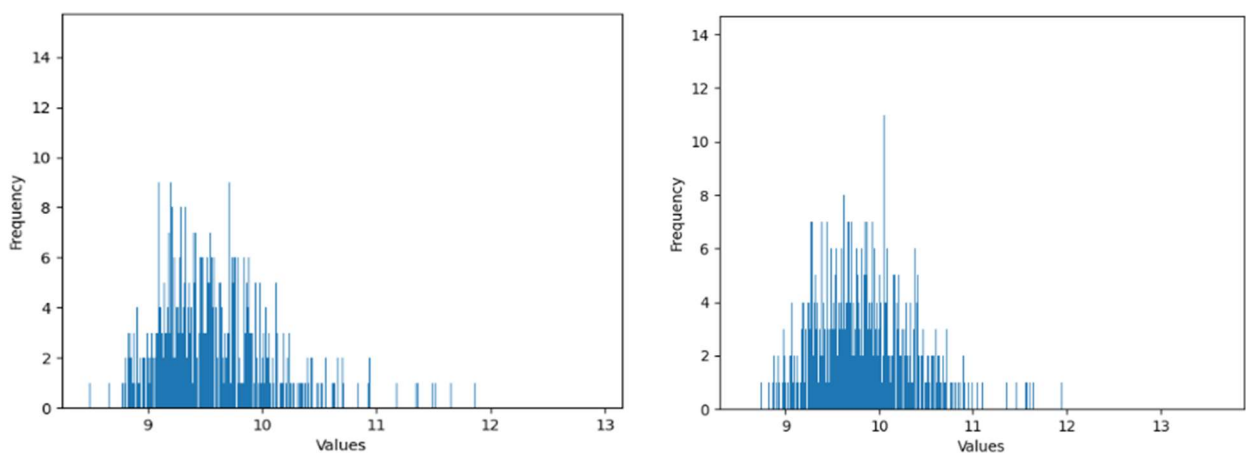
### 3.2 Estudio de la influencia del módulo de elasticidad y la densidad

Para el estudio de la influencia del módulo de elasticidad se utilizó la Ecuación 6 presentada en la sección 2.3. Se realizaron pruebas con distinto rango de cargas y separaciones, a continuación, se mostrarán las configuraciones para las cuales se alcanza una media de deformación de 10 cm aproximadamente que es el límite establecido por la normativa de ensayos para muros de corte. En la Tabla 4, se muestran los resultados utilizando una placa de 11.1 mm de espesor con distintas separaciones de clavos. Puede observarse, que al disminuirse la separación entre clavos el muro de corte resulta más rígido admitiendo mayor carga y reduciendo los valores estadísticos de las deformaciones. En relación a los resultados mostrados en la sección anterior, se observa un mayor rango de variación en la respuesta mostrando la mayor influencia que tienen las deformaciones en los medios de unión.

**Tabla 4:** Valores estadísticos obtenidos para  $t_v= 11.1$  mm

s [cm]	V [kN]	Valor medio deformación [cm]	Desvío estándar deformación [cm]	Coefficiente de variación %	Máxima deformación [cm]	Mínima deformación [cm]
15	28	9.81	0.52	5.3	13.64	8.55
10	32	9.56	0.46	4.8	12.93	8.47

En la Figura 7, se observan los histogramas obtenidos, a la izquierda para una separación entre clavos de 15 cm y a la derecha para una separación de 10 cm. Puede apreciarse que los histogramas resultan sesgados y con mayor variabilidad en comparación a cuando se analizó la influencia del módulo de elasticidad por separado en la sección anterior.



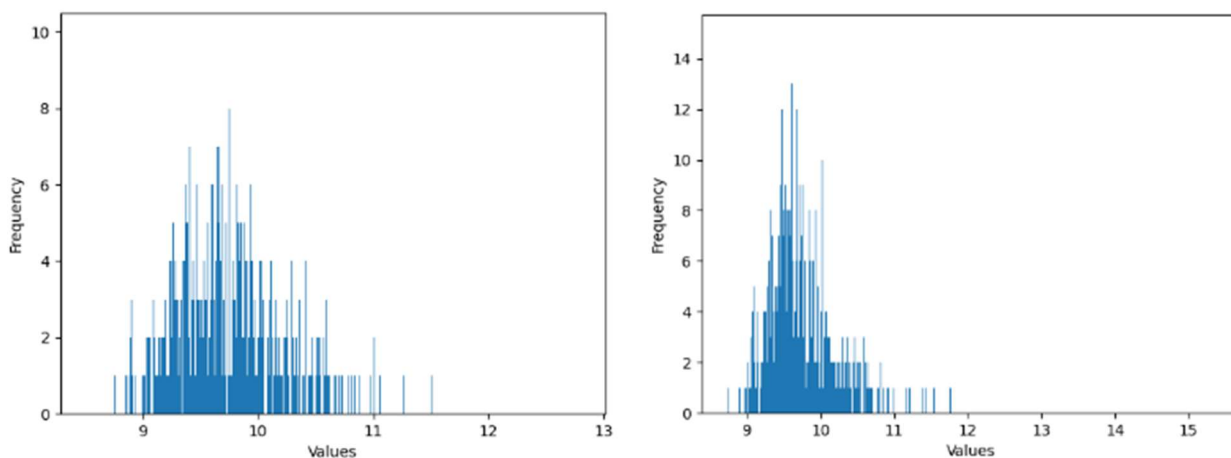
**Figura 7:** Histograma de deformaciones. Izquierda: para  $s=10$  cm,  $t_v= 11.1$  mm y  $V=32$  kN; derecha: para  $s=15$  cm,  $t_v= 11.1$  mm y  $V=28$  kN.

En la Tabla 5, se muestran los resultados utilizando una placa de 9.5 mm de espesor con distintas separaciones de clavos. Se observan los mismos patrones de variación en cuanto a la relación entre espesor de placa y separaciones entre clavos. En relación a los resultados mostrados en la Tabla 4, se observa un valor ligeramente menor del coeficiente de variación posiblemente relacionado a la menor rigidez de la placa de arriostramiento.

**Tabla 5:** Valores estadísticos obtenidos para  $s=15$  cm,  $t_v=9.5$  mm y  $V=27$  kN

s [cm]	V [kN]	Valor medio deformación [cm]	Desvío estándar deformación [cm]	Coefficiente de variación %	Máxima deformación [cm]	Mínima deformación [cm]
15	27	9.78	0.46	4.7	12.80	8.50
10	30	9.76	0.43	4.4	15.38	8.73

En la Figura 8, se observan los histogramas obtenidos, a la izquierda para una separación entre clavos de 15 cm y a la derecha para una separación de 10 cm. Puede apreciarse los mismos patrones generales que en la Figura 7.



**Figura 8:** Histograma de deformaciones. Izquierda: para  $s=15$  cm,  $t_v=9.5$  mm y  $V=27$  kN; derecha: para  $s=10$  cm,  $t_v=9.5$  mm y  $V=30$  kN

Se puede inferir que, al variar parámetros constantes, como lo son el espesor de la placa, y la separación de los clavos, se aprecia que:

-El espesor de la placa no presenta una gran influencia en lo que respecta al aumentar la rigidez del conjunto, para las situaciones analizadas. Resulta mínimo el cambio de valor en la carga necesaria para obtener deformaciones cercanas a los 10 cm. Podemos notar que, al aumentar el espesor de la placa, con una misma separación de clavos, en ambos casos soporta una mayor carga (mínimo aumento de rigidez).

-La separación de clavos presenta una gran influencia en la rigidez del conjunto, a menor separación, mayor rigidez.

En relación a la expresión utilizada para el cálculo de las deformaciones (expresión de la propuesta normativa de la norma chilena) se observa que el termino de flexión aporta un 21% a la deformación total, el termino de corte en la placa de arriostramiento aporta un 41% a la deformación total, el termino relacionado a la deformación en los medios de unión aporta un 35 % a la deformación total y finalmente el termino relacionado a la deformación del sistema de anclaje aporta un 3 % a la deformación total. Se puede apreciar en comparación con las otras expresiones utilizadas un aumento en la contribución de la deformación por flexión que sigue igualmente siendo menor que los términos de corte (placa + uniones) que generan un total del 76% de la deformación de total del muro. También se observa que esta expresión brinda menores deformaciones y por lo tanto una mayor rigidez que las otras expresiones utilizadas.

#### **4 Conclusiones**

Se ha presentado el estudio de las deformaciones horizontales en muros de corte mediante expresiones teóricas propuestas por la normativa y otros autores. La comparación de los resultados muestra que la ecuación utilizada en base a la propuesta de normativa chilena brinda valores menores de deformación y por lo tanto considera una rigidez mayor de muro. Se ha estudiado la influencia de los parámetros considerados estocásticos en las deformaciones mostrando que la variabilidad en los materiales puede conducir en algunas condiciones a situaciones que no cumplan con los límites normativos. Los parámetros seleccionados para el estudio de propagación de incertidumbres son el módulo de elasticidad y la densidad. Se ha observado la mayor influencia de la densidad en la respuesta estructural. Esto se debe a que la densidad de las maderas utilizadas, tanto para las piezas aserradas que forman el bastidor como la placa arriostrante esta relacionada con el módulo de desplazamiento instantáneo de la unión clavada entre placas y bastidor (rigidez de la unión). Y se ha indicado como para las configuraciones estudiadas el componente de deformación con mayor incidencia en la deformación total del muro de corte es aquel relacionado a los medios de unión y el corte en la placa. Se ha estudiado también la influencia del espesor de las placas utilizadas y del espaciamiento entre clavos, observándose que esta última variable es la de mayor importancia, para los casos analizados.

En etapas futuras, se pretende ampliar el rango y la cantidad de variables a ser analizadas de manera tal de optimizar el sistema estructural. Además, se espera contribuir al estudio estructural de este sistema constructivo y a la toma de decisiones en relación al diseño de muros de corte, para de esta manera buscar consolidar el uso de la madera en el ámbito de la construcción en nuestra región.

## Referencias

- [1] Guindos P. “Estabilidad lateral y diseño sismorresistente”, en *Conceptos avanzados del diseño estructural con madera, Parte I*, 1ra edición, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2019.
- [2] García D.A., “Modelos numéricos-estocásticos de elementos estructurales de madera de *Eucalyptus grandis*”, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 2017.
- [3] Fank PY, *et al*, “Análisis comparativo de la madera de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* a través de las propiedades físico-mecánicas”, *Revista Yvyrareta*, N° 28, pp 15-21I, 2020, SSN: 2469-004X.
- [4] Fank PY, “Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural”, Tesis Doctoral, Facultad Regional Concepción del Uruguay UTN, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina, 2018.
- [5] 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, 2016.
- [6] Wagemann Herrera M, “Efecto del deslizamiento de clavos en la deflexión de muros y diafragmas en estructuras de entramado ligero de madera”, Concurso de ingeniería y construcción, Semana de la Madera 2020, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 2020.
- [7] Moroder D, “Floor diaphragms in multi-storey timber building”, PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2016.
- [8] Opazo AI, *et al*, “Modelación numérica no lineal de muros de corte de madera sometidos a cargas laterales monotónicas”, II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Maderas + II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción (CLEM+CIMAD), Junín, Buenos Aires, Argentina, 2017.
- [9] Special Design Provisions for Wind And Sismic (SDPWS). American Wood Council (AWC), 2015.
- [10] González I y Korceck J, “Diseño de muros de corte para el sistema plataforma en madera aserrada. Propuesta para la modificación de la norma chilena NCH1198”, 4º Congreso Latinoamericano de Estructuras de Maderas (CLEM), Montevideo, Uruguay, 2019.
- [11] Arguellez Álvarez R, *et al*, “Valores característicos de las propiedades de los tableros”, en *Estructuras de madera bases de cálculo*, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM), Madrid, España, 2013.