



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío



Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Evaluación del desempeño estructural bajo ensayo de carga concentrada de Panel OLB de 12 mm de espesor

INFORME FINAL

PARA: MASISA S.A

Preparado por:

Franco Benedetti L.

Víctor Rosales G.

Alexander Opazo V.

Mario Nuñez D.

Alan Jara C.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Universidad del Bío-Bío

Concepción, 22 de Mayo de 2019

INFORME FINAL

RESUMEN

En el presente informe se muestran los resultados de la evaluación del desempeño estructural de un panel OLB de 12 mm de espesor, desarrollado por la empresa MASISA S.A. El estudio tiene un alcance exploratorio, en el cual se evalúan solo 1 de los 4 desempeños estructurales requeridos en la normativa PS2-10 "Voluntary Product Standard PS 2-10. Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels". El desempeño considerado en los paneles es referente a la resistencia frente a cargas concentradas. En la prueba de cargas concentradas, se evalúa el control de desplazamientos en rango elástico y resistencia a la rotura, para paneles apoyados sobre vigas distanciadas cada 410 mm y 610 mm, tanto en condiciones de exposición seca y húmeda.

Los resultados de los ensayos realizados permiten generar las siguientes conclusiones:

- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidades 650 kg/m^3 y 700 kg/m^3 tienen un buen desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89 kN de carga concentrada) y resistencia última frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 410 mm, y condiciones de exposiciones tanto secas como húmedas. Por lo anterior, en su condición actual el tablero de OLB cumple los criterios de aceptación PS2-10 para ensayo de carga puntual (deflexión y carga última) para uso como revestimiento de estructura de techumbre, simple y cuando la distancia entre apoyos no supere los 410 mm. Su validación definitiva para este uso debe también considerar ensayo de carga distribuida y ensayo de impacto. Por otro lado, el cumplimiento de los límites PS2-10 de carga concentrada para uso de piso no es logrado.
- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidad 650 kg/m^3 tiene un mal desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89 kN) y resistencia última frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 610 mm, y condiciones de exposiciones tanto secas como húmedas. Para cumplir con los límites establecidos en la norma PS2-10, es necesario reducir los desplazamientos a los 0.89 kN en un 91% y aumentar su resistencia a la rotura en un 33%, a partir de la condición más desfavorable (condición húmeda).
- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidad 700 kg/m^3 tiene un buen desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89 kN) y resistencia última frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 610 mm, y condiciones de exposiciones tanto secas, sin embargo posee un mal desempeño en condición húmeda. Para cumplir con los límites establecidos en la norma PS2-10 en ambas condiciones de exposición, es necesario reducir los desplazamientos a los 0.89 kN .

- Se observa una mejora significativa del desempeño del tablero frente a carga concentrada respecto de la condición evaluada en el año 2016 para tableros OLB de 600 kg/m^3 de densidad. Se obtiene una reducción de hasta un 50% en los desplazamientos elásticos y aumentos de carga última cercanos al 100%.
- Considerando un bajo número muestral, los muros sometidos a ensayos de carga horizontal muestran resultados positivos, que resultan ser mayores a muros equivalentes con tablero de OSB reportados en otros estudios.

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGIA DE TRABAJO	6
2.1. ENSAYO DE CARGA CONCENTRADA A TABLERO SEGÚN NORMA PS 2-10.	6
2.1.1. <i>Ensayos de carga concentradas a franjas de paneles sin borde apoyado</i>	7
2.1.2. <i>Ensayos de carga concentradas a paneles de tamaño completo con borde apoyado</i>	9
2.2. ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL PARA MUROS CON PLACA DE OLB	12
3. RESULTADOS	14
3.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARGAS CONCENTRADAS.....	14
3.1.1. <i>Resultados de ensayos de carga concentrada a franjas de paneles con borde sin apoyo</i>	14
3.1.2. <i>Resultados de ensayos de carga concentrada a paneles completos con borde apoyado</i>	19
3.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL EN MUROS CON TABLERO DE OLB	22
4. ANÁLISIS COMPARATIVO CON ESTUDIOS PREVIOS	26
4.1. ENSAYOS DE CARGA CONCENTRADA EN TABLEROS	26
4.2. ENSAYOS DE MUROS CON CARGA LATERAL	27
5. CONCLUSIONES	29

1. INTRODUCCIÓN

Durante el mes de junio de 2018 la empresa MASISA S.A confirma a la Dirección de Desarrollo y Transferencia Tecnológica de la Universidad del Bio Bio el desarrollo de una Asistencia Técnica, que permita evaluar el desempeño estructural del panel OLB de 12 mm de espesor.

Este trabajo, conforme se define en la propuesta técnica y económica DITEC-UBB N°010/2018, plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Evaluar el desempeño estructural bajo ensayo de carga concentrada según norma PS 2-10 de dos tipos de paneles de OLB de 12 mm de espesor.

Objetivos específicos:

- Realizar ensayos de cargas concentradas a dos tipos de paneles de OLB, para distintas condiciones de exposición a la humedad y distancias entre apoyos, de acuerdo a la norma PS 2-10.
- Calificar el desempeño estructural de dos tipologías de paneles de OLB, según los criterios planteados en la normativa PS 2-10.

Los 2 tipos de tableros a someter a evaluación son los siguientes:

- Tipo 1: Tablero OLB fabricado en prensa continua, con espesor de 12 mm y densidad de 650 kg/m³.
- Tipo 2: Tablero OLB fabricado en prensa continua, con espesor de 12 mm y densidad de 700 kg/m³.

Los tipos de tableros indicados son fabricados con el mismo adhesivo y mismo tamaño de viruta. No se contempla en este servicio la evaluación de tableros con diferentes tamaños de viruta o de adhesivos.

De forma adicional a lo considerado en la propuesta técnica y económica DITEC-UBB N°010/2018, se incluye en el servicio el objetivo de evaluar experimentalmente el comportamiento estructural de muros de sistema de marcos livianos de madera con placa arriostraste de OLB sometidos a cargas laterales, de acuerdo al procedimiento establecido en la normativa NCh 802:2017.

2. METODOLOGIA DE TRABAJO.

2.1. Ensayo de carga concentrada a tablero según norma PS 2-10.

La metodología planteada en este proyecto es compatible con las exigencias presentes en la normativa “Voluntary Product Standard PS 2-10. Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels”.

Esta normativa indica que el desempeño estructural global de un panel está conformado por cuatro aspectos básicos: resistencia a cargas concentradas, resistencia a sujeción de clavos, resistencia a cargas uniformes y resistencia al volcamiento en el plano. Sin embargo, en este trabajo sólo se considera la evaluación de la resistencia a cargas concentradas, debido a que en evaluaciones anteriores se determinó que esta propiedad del tablero controlaba el desempeño estructural.

Asimismo, la normativa plantea la evaluación de tableros según cual sea su uso (muro, techo y piso). Para esta asistencia técnica se contempla la evaluación del tablero OLB para ser usado como techo, además de una evaluación de uso general con el tablero en formato de tamaño completo.

Para cumplir las exigencias de la normativa PS 2-10, respecto del ensayo de carga concentrada, se plantea el diseño experimental mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1: Diseño Experimental

Tipo de ensayo	Tipo de tablero	Uso final del panel	Condición de exposición	Luz de apoyo (mm)	Número de ensayos	Tamaño probeta (mm x mm)		
Carga concentrada según Norma PS 2-10	Espesor=12 mm Densidad=650 kg/m ³ Prensa continua	Techo (eje fuerte) Sin borde apoyado	Seca*	410	10	610x820		
			Húmeda**	410	10	610x820		
			Seca*	610	10	610x1220		
			Húmeda**	610	10	610x1220		
		General (eje débil) Borde apoyado	Seca*	610	10	1220x2440		
			Húmeda**	610	10	1220x2440		
			Espesor=12 mm Densidad=700 kg/m ³ Prensa continua	Techo (eje fuerte) Sin borde apoyado	Seca*	410	10	610x820
					Húmeda**	410	10	610x820
	Seca*	610			10	610x1220		
	Húmeda**	610			10	610x1220		
	General (eje débil) Borde Apoyado	Seca*		610	10	1220x2440		
		Húmeda**		610	10	1220x2440		

*Exposición seca implica ensayar el panel con un contenido de humedad similar a las condiciones de fabricación.

****Exposición húmeda implica ensayar el panel luego de ser humedecido de forma continua con agua en una de sus caras, por 3 días.**

Para evaluar el desempeño frente a cargas concentradas se consideraron 2 estados límites: carga de rotura y desplazamiento vertical en rango elástico. Los paneles se apoyaron sobre vigas de madera, para simular distancias entre apoyos de 610 mm y 410 mm, y se conectaron por medio de tornillos auto perforantes espaciados cada 15cm. Los ensayos consideraron 2 condiciones ambientales: exposición seca (temperatura de 20°C y humedad relativa de 65%) y exposición húmeda. Según la norma PS 2-10, la condición húmeda se logra al mojar los paneles por una cara durante 3 días seguidos, para luego ensayarlos.

Desde el punto de vista del tamaño de las probetas, se realizaron ensayos a franjas de panel apoyados sobre vigas orientadas de manera perpendicular a su eje fuerte (610 mm x 1220 mm y 610 mm x 820 mm), aplicando la carga concentrada en el borde del tablero sin apoyo, y ensayos a paneles de tamaño completo apoyados sobre vigas orientadas de manera paralela a su eje fuerte, con la carga concentrada aplicada cercana al borde apoyado. Estos test se realizaron en el Laboratorio de Diseño y Tecnología de la Madera de la UBB.

2.1.1. Ensayos de carga concentradas a franjas de paneles sin borde apoyado

Según la normativa PS 2-10, el método de ensayo de cargas concentradas debe seguir las recomendaciones de la normativa ASTM E-661. En una primera fase se registra la carga aplicada y el desplazamiento vertical en el rango elástico, a una velocidad de carga de 445 N por cada 30 segundos. Luego de esta fase, se retiran los medidores de desplazamiento y se lleva el panel hasta la rotura, a una velocidad de carga que provoque la falla dentro de 5 minutos. La carga concentrada se debe aplicar en la mitad de la distancia entre apoyos de vigas, pero a 65 mm de un borde. En la Figura 1 se muestra el esquema de implementación normativo y la ejecución real en laboratorio.

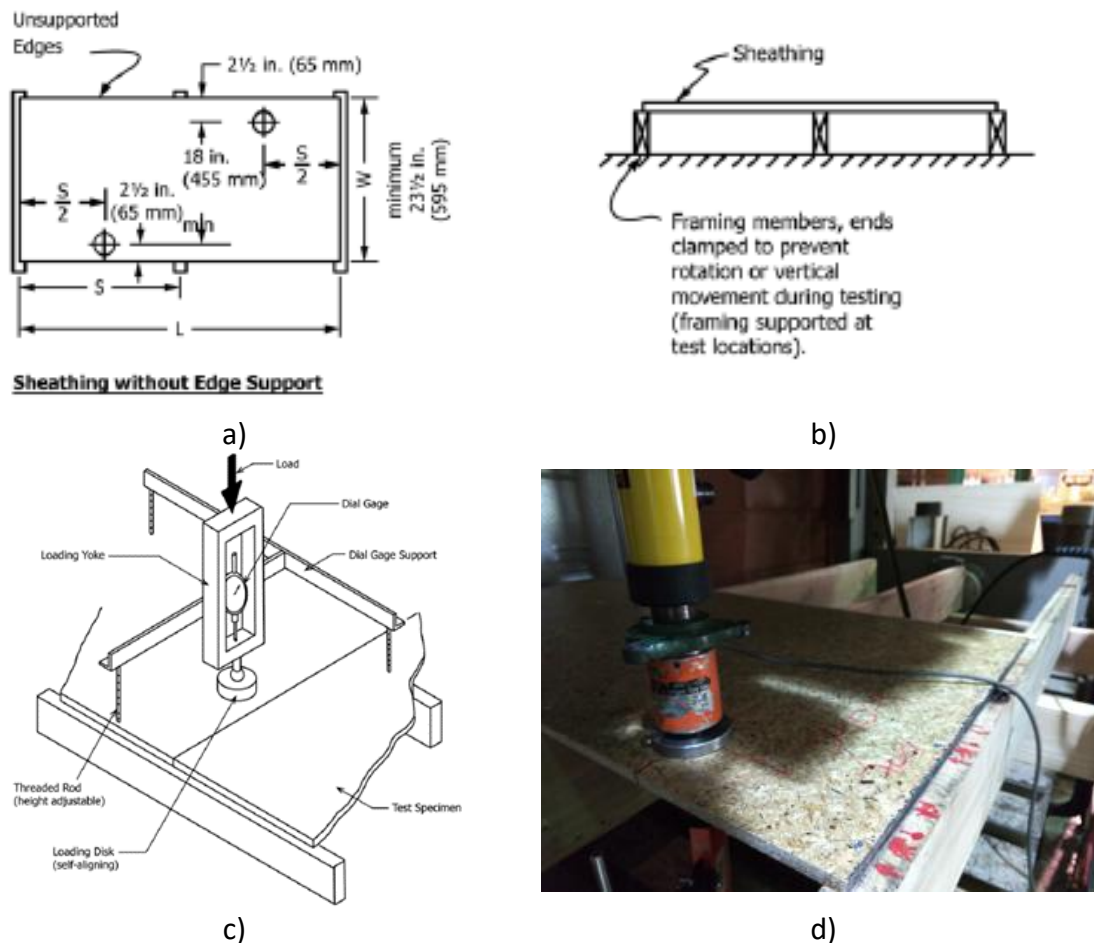


Figura 1: Ensayo de carga concentrada en borde sin apoyo. a) y b) Esquema de aplicación de ensayo de carga concentrada en franjas de paneles según ASTM E-661. c) y d) Implementación real en laboratorio.

Tal como lo exige la norma PS2-10, se realizaron 10 ensayos de carga concentrada, para cada densidad (650 kg/m^3 y 700 kg/m^3) combinación de exposición (seca y húmeda) y distancia entre apoyos (610 mm y 410 mm). Las 10 probetas se obtuvieron de al menos 5 paneles distintos. Los criterios de aceptación estructural son los indicados en la Tabla 2 y capítulo 6.2.2.1 de PS2-10, y se resumen a continuación.

Requisitos de deflexión (desplazamientos verticales en rango elástico):

- La deflexión promedio para una carga de 0.89 kN no debe superar los 11.1 mm para los paneles secos apoyados a distancias de 410 mm, ni superar los 12.7 mm para los paneles secos apoyados cada 610 mm

- Si en no más de 1 ensayo se obtienen desplazamientos mayores a 11.1 mm, para paneles secos apoyados a 410 mm, la muestra de 10 paneles cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en no más de 1 ensayo se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, la muestra de 10 paneles cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en 2 o 3 ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 11.1 mm, para paneles secos apoyados a 410 mm, se debe ensayar una nueva muestra de 10 paneles.
- Si en 2 o 3 ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, se debe ensayar una nueva muestra de 10 paneles.
- Si en 4 o más ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 11.1 mm, para paneles secos apoyados a 410 mm, la muestra de 10 paneles no cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en 4 o más ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, la muestra de 10 paneles no cumple con un desempeño satisfactorio.

Requisitos de resistencia máxima (carga última de rotura):

- La carga máxima promedio debe superar los 1.78 kN para los paneles secos y húmedos apoyados a distancias de 410 mm y 610 mm
- Si en todos los ensayos se obtienen cargas máximas mayores a 1.78 kN, la muestra de 10 paneles cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en 1 de los ensayos se obtienen cargas máximas menores a 1.78 kN, se debe ensayar una nueva muestra de 10 paneles.
- Si en 2 o más ensayos se obtienen cargas máximas menores a 1.78 kN, la muestra de 10 paneles no cumple con un desempeño satisfactorio.

2.1.2. Ensayos de carga concentradas a paneles de tamaño completo con borde apoyado

Según la normativa PS 2-10, además del ensayo de carga concentrada mencionado en el acápite anterior, se debe ensayar con el mismo procedimiento el panel en tamaño completo, apoyado sobre vigas orientadas de manera paralela a su eje longitudinal, aplicando la carga en borde apoyado. En una primera fase se registra la carga aplicada y el desplazamiento vertical en el rango elástico, a una velocidad de carga de 445 N por cada 30 segundos. Luego de esta fase, se retiran los medidores de desplazamiento y se lleva el panel hasta la rotura, a una velocidad de carga que provoque la falla dentro de 5 minutos. La carga concentrada se debe aplicar en la mitad de la distancia entre apoyos de vigas, pero a 1220 mm de un borde. En la Figura 2 se muestra la implementación real en laboratorio junto

con el sistema de rocío continuo sobre una cara del panel que se aplicaba por 3 días seguidos.

Tal como lo exige la norma PS2-10, se realizaron 10 ensayos de carga concentrada, para cada densidad (650 kg/m^3 y 700 kg/m^3), combinación de exposición (seca y húmeda) y con una distancia entre apoyos (610mm). Las 10 probetas se obtuvieron de 10 paneles distintos. Los criterios de aceptación estructural son los indicados en la Tabla 2 y capítulo 6.2.2.1 de PS2-10, y se resumen a continuación:

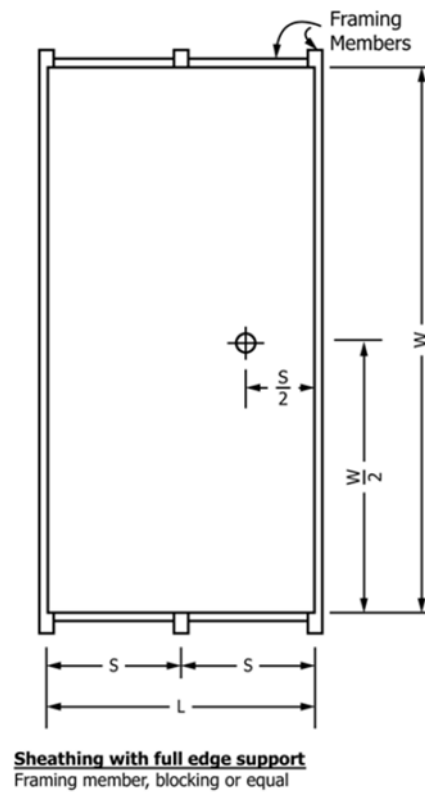
Requisitos de deflexión (desplazamientos verticales en rango elástico):

- La deflexión promedio para una carga de 0.89 kN no debe superar los 12.7mm para los paneles secos apoyados cada 610 mm
- Si en no más de 1 ensayo se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, la muestra de 10 paneles cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en 2 o 3 ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, se debe ensayar una nueva muestra de 10 paneles.
- Si en 4 o más ensayos se obtienen desplazamientos mayores a 12.7 mm, para paneles secos apoyados a 610 mm, la muestra de 10 paneles no cumple con un desempeño satisfactorio.

Requisitos de resistencia máxima (carga última de rotura):

- La carga máxima promedio debe superar los 1.78 kN para los paneles secos y húmedos apoyados a distancias de 610 mm
- Si en todos los ensayos se obtienen cargas máximas mayores a 1.78 kN, la muestra de 10 paneles cumple con un desempeño satisfactorio.
- Si en 1 de los ensayos se obtienen cargas máximas menores a 1.78 kN, se debe ensayar una nueva muestra de 10 paneles.
- Si en 2 o más ensayos se obtienen cargas máximas menores a 1.78 kN, la muestra de 10 paneles no cumple con un desempeño satisfactorio.

No obstante lo anterior, en el desarrollo del proyecto finalmente no se evaluó el desempeño del tablero para carga concentrada en el borde apoyado para el tablero de 700 kg/m^3 de densidad, ya que no se estimó necesario según los resultados obtenidos para las otras configuraciones evaluadas.



a)



b)



c)

Figura 2: Ensayo de carga concentrada con borde apoyado. a) Esquema de aplicación de ensayo de carga concentrada en franjas de paneles según ASTM E-661. b) Implementación de ensayo de carga concentrada para panel completo. c) Sistema de rocío por una cara para humectación de panel.

2.2. Ensayo de carga horizontal para muros con placa de OLB

El ensayo de carga horizontal se ejecuta de acuerdo a los protocolos planteados en la norma NCh 802:2017, considerando la configuración de ensayo sin restricción al giro. El ensayo se ejecutó aplicando ciclos de carga y descarga de la fuerza horizontal intervalos de 200 kg hasta alcanzar la rotura. Se ensayaron tres probetas de muro según los requerimientos de la norma. Los detalles de la implementación del ensayo se presentan en la Figura 3.

La probeta evaluada correspondía a un muro de 2440 mm de largo y 2440 mm de alto. Estaba compuesta por un bastidor de madera de pino radiata de clasificación G1 y G2 de 2x4 cepillado seco. Los pies derecho eran piezas simples que se espaciaron a 400mm. Por su parte, la solera superior estaba compuesta por una pieza doble, mientras que la inferior por una pieza simple. El anclaje del muro al sistema de fundación se materializó por medio de herrajes HTT4 de marca Simpson Strong Tie fijados con 18 tornillos SD #9x1 1/2 a los pies derechos de borde y un perno de anclaje de 5/8" a la fundación, además de 4 pernos de anclaje de 1/2" distribuidos en el interior del muro.

Como placa arriostraste se utilizaron de 2 tableros de OLB (densidad 700 kg/m³) ubicados en la misma cara del muro formando un plano continuo. El patrón de clavado de las placas al bastidor empleado fue clavos espaciados cada 15cm en el perímetro de la placa y espaciados cada 30cm en el interior. Se utilizaron clavos de marca Inchalam, del tipo helicoidales de 2 1/2".



a)



b)



c)

Figura 3: Ensayo de carga horizontal de muros con placa OLB. a) Esquema de fabricación de los muros. b) Vista de la implementación del ensayo. c) Anclajes al sistema de fundación.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de ensayos de cargas concentradas

En este capítulo se presentan de manera resumida los resultados de los ensayos de carga concentrada en franjas de paneles trabajando en eje fuerte (carga en borde sin apoyo) y panel completo (carga en borde apoyado) trabajando en eje débil. En el Anexo 1, se muestran las fichas técnicas detalladas de cada ensayo, con sus curvas carga-desplazamiento y modos de falla.

Todos los resultados se muestran a través de gráficos de cajas. Las cajas azules concentran el 50% central de los datos (cuartiles centrales) y las líneas verticales representan los cuartiles extremos. Los círculos representan a cada resultado de los ensayos y los rombos los valores promedios. La línea roja horizontal representa el valor límite normativo para cada desempeño.

3.1.1. Resultados de ensayos de carga concentrada a franjas de paneles con borde sin apoyo

Los ensayos ejecutados muestran diferencias notorias en los resultados obtenidos para las condición seca respecto de la húmeda, a pesar que la falla observada es similar. Para todos los casos evaluados el estado último del tablero a una fractura del tablero que se propaga desde el borde libre hacia el interior, penetrando aproximadamente de 15cm a 20 cm. En la Figura 4 se muestra la condición de falla típica observada para el ensayo de carga concentrada en el borde apoyado.

Como se observa en las Figura 6 y Figura 7, en general se observa que las probetas húmedas presentan menos rigidez que las probetas secas para las dos densidades evaluadas, mientras que para los resultados de carga última el efecto de la humedad es menos notorio, en particular para el caso de la distancia entre apoyos de 410 mm. Con respecto a la influencia de la densidad del tablero, los ensayos muestran que para el caso de distancia de apoyos a 610 mm la densidad afecta significativamente tanto la deflexión como la carga última, siendo el tablero de 700 kg/m³ el de mejor desempeño. Para el apoyo a 410 mm, ambas densidades del tablero logran los desempeños.

Por otra parte, la respuesta fuerza puntual versus desplazamiento vertical corresponde a una relación prácticamente lineal desde el comienzo de la carga hasta la rotura, como se muestra en la Figura 5.



a) Probeta húmeda antes del ensayo



b) Probeta húmeda en la falla



c) Probeta seca antes del ensayo



d) Probeta seca en la falla

Figura 4: Falla típica de los tableros sometidos a carga concentrada en el borde sin apoyo

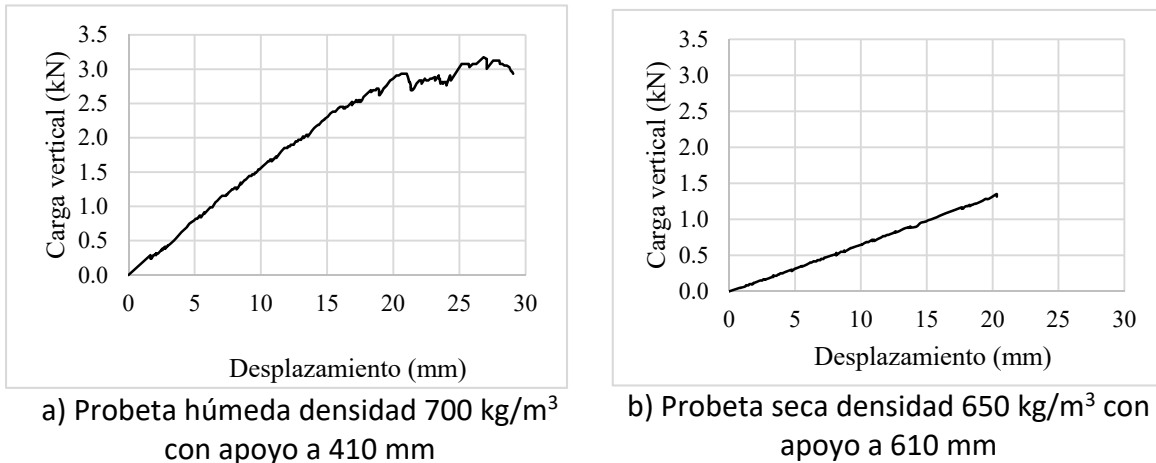


Figura 5: Curva fuerza-desplazamiento típica de los tableros sometidos a carga concentrada en borde sin apoyo

En las figuras Figura 6 y Figura 7 se muestran gráficos de cajas que resumen todos los resultados de ensayos de carga concentrada de franjas de paneles trabajando para carga concentrada en el borde sin apoyo, tanto para el desempeño de desplazamiento como desempeño de carga máxima. Los gráficos incluyen las dos densidades (650 kg/m³ y 700 kg/m³) y 2 tipos de exposiciones (seco y húmedo) para las 2 distancias entre apoyos (610 mm y 410 mm) evaluadas. La identificación de los tipos de probetas en el eje horizontal de cada gráfico es DDD-E, donde DDD es 650 o 700 según la densidad del tablero, mientras que E representa la exposición (S: seco y H: húmedo).

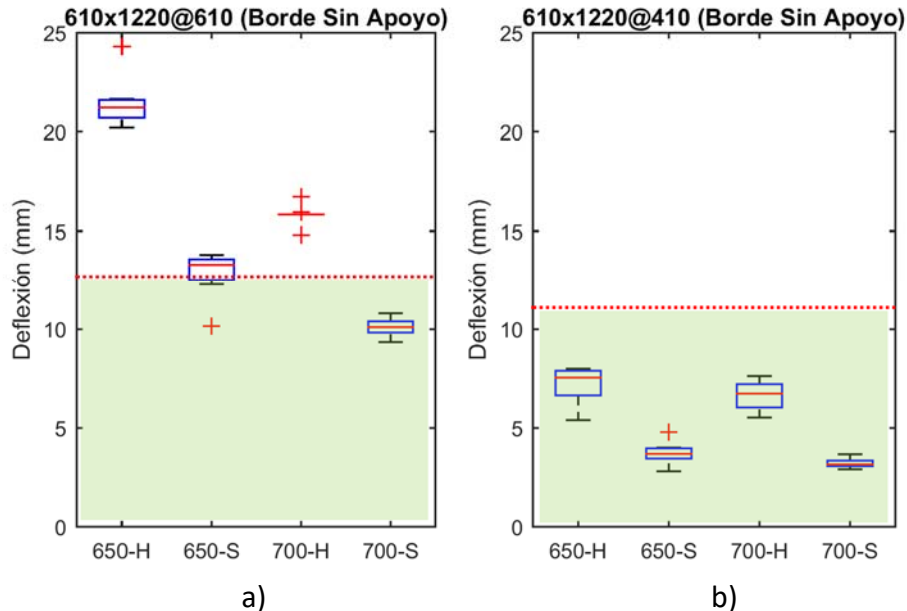


Figura 6: Resultados de deflexión para carga concentrada de 0.89kN en franjas de paneles sometidos a carga concentrada en borde sin apoyo (desempeño de desplazamiento vertical en rango elástico). a) Probeta 610x1220 con distancia de 610 mm entre apoyos. b) Probeta 610x1220 con distancia de 410 mm entre apoyos.

De la Figura 6 se desprenden las siguientes conclusiones:

- Los paneles OLB de 12 mm en densidades de 650 kg/m^3 y 700 kg/m^3 presentan un buen desempeño estructural en términos de control de desplazamientos bajo cargas concentradas en el rango elástico, para distancias entre apoyo de 410 mm y en ambas condiciones de exposición. Los resultados muestran que el 100% de los ensayos (10 de 10) presentaron desplazamientos verticales menores a 11.1 mm para cargas de 0.89 kN.
- Los paneles OLB de 12 mm en densidad 650 kg/m^3 presentan un mal desempeño estructural en términos de control de desplazamientos bajo cargas concentradas en el rango elástico, para la distancia entre apoyo de 610 mm y en ambas condiciones de exposición, ya que solo el 30% de los ensayos en condición seca (3 de 10) presentaron desplazamientos verticales menores a 12.7 mm para cargas de 0.89 kN, mientras que en condición húmeda el 100% de las probetas supera el límite aceptable.
- Los paneles OLB de 12 mm en densidad 700 kg/m^3 en condición húmeda para distancia entre apoyos de 610 mm no cumplen el límite admisible de desplazamiento bajo cargas concentradas. Para la condición seca el

comportamiento es adecuado. Lo anterior se debe a que 4 de 4 ensayos presentaron desplazamientos mayores a 12.7 mm para cargas de 0.89 kN, en condición húmeda, mientras que en condición seca 10 de 10 ensayos presentaron desplazamientos verticales menores a 12.7 mm para cargas de 0.89 kN.

- Los resultados de desplazamientos para condiciones de exposición húmeda solo se mostraron de manera referencial, pues este desempeño no es exigible para este tipo de exposición.

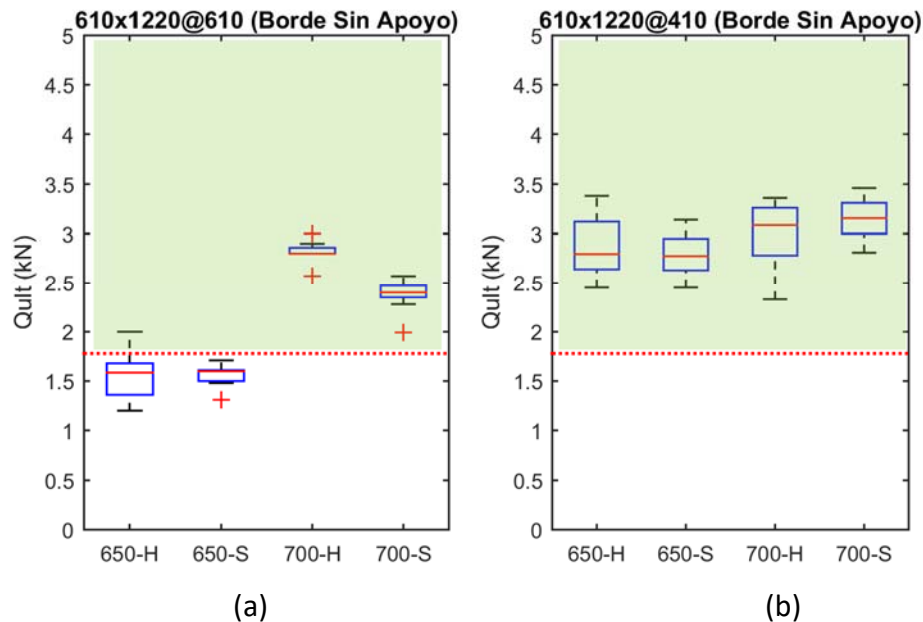


Figura 7: Resultados de los ensayos de carga concentrada para franjas de paneles con borde sin apoyo (desempeño de carga máxima de rotura). a) Probeta 610x1220 distancia 610 mm entre apoyos. b) Probeta 610x1220 distancia 410 mm entre apoyos.

De la Figura 7 se desprenden las siguientes conclusiones:

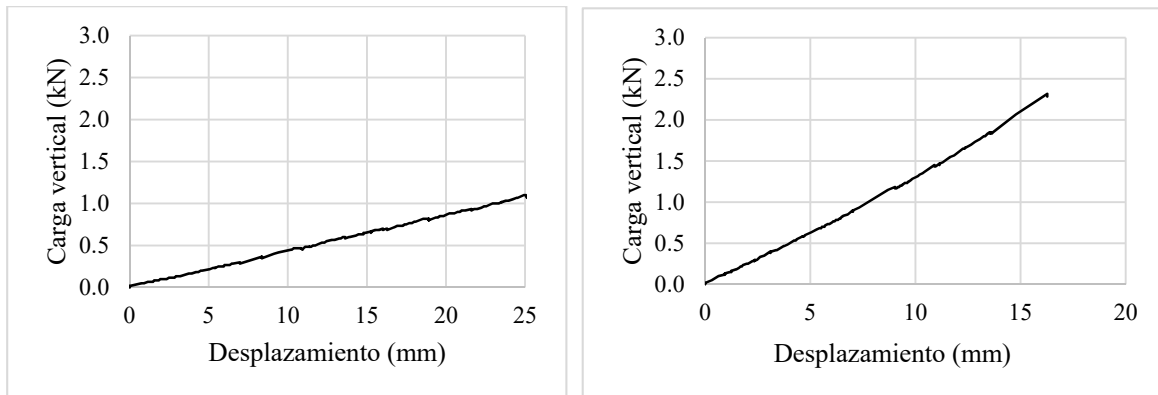
- Los paneles OLB de 12 mm de espesor con densidades 650 kg/m^3 y 700 kg/m^3 presentan un buen desempeño estructural en términos de resistencia a la rotura bajo cargas concentradas, para distancias entre apoyo de 410 mm y condiciones de exposición seca y húmeda. Los resultados arrojaron 100% de los ensayos (10 de 10) con cargas máximas mayores a 1.78 kN.

- El tablero con 650 kg/m^3 no logra superar la carga admisible, ya que solo el 20% de los ensayos (2 de 10) presentaron cargas máximas mayores a 1.78 kN en condición de exposición húmeda.
- Los paneles OLB de 12 mm de densidad 700 kg/m^3 presentan un buen desempeño estructural en términos de resistencia a la rotura bajo cargas concentradas, para distancias entre apoyo de 610 mm y ambas condiciones de exposición. El 100% de los ensayos (10 de 10) presentaron cargas máximas mayores a 1.78 kN en ambas condición de exposición.

3.1.2. Resultados de ensayos de carga concentrada a paneles completos con borde apoyado

Se observa una relación lineal entre la carga aplicada y el desplazamiento para los rangos evaluados. Los ensayos de carga concentrada a paneles completos muestran un comportamiento similar al de los ensayos de carga concentrada en franjas de paneles, ya que nuevamente la rigidez de los tableros húmedos es cercano a la mitad de la de los paneles secos. De acuerdo a lo presentado en la Figura 8, para iguales magnitudes de las cargas puntuales, los tableros húmedos pueden alcanzar hasta desplazamientos de cerca del doble de los tableros secos.

Con relación al estado último característico de la falla (Figura 9), para los ensayos de carga concentrada en tablero completos, se observa que para todos los casos (húmedos y secos con espaciamiento a 610mm) la rotura del tablero representa una falla que se propaga radialmente desde el punto de aplicación de la carga hacia el cuerpo del tablero, por medio de una serie de grietas que se generan de forma lenta y progresiva a medida que la carga produce punzonamiento en el panel, típico de una falla dúctil en donde la resistencia se pierde gradualmente.



a) Probeta húmeda densidad 650 kg/m³ con apoyo a 610 mm

b) Probeta seca densidad 650 kg/m³ con apoyo a 610 mm

Figura 8: Curva fuerza-desplazamiento típica de los tableros sometidos a carga concentrada en el borde apoyado



a) Probeta húmeda antes del ensayo



b) Probeta húmeda en la falla



c) Probeta seca antes del ensayo



d) Probeta seca en la falla

Figura 9: Falla típica de los tableros sometidos a carga concentrada en el borde apoyado

No se ejecutó la evaluación para el tablero de 700 kg/m^3 de densidad para la condición de carga concentrada en borde apoyado, ya que en base a los resultados de los ensayos de tablero de 650 kg/m^3 se estimó que se cumpliría con los límites admisibles de la norma PS 2-10.

En las figuras Figura 10 y Figura 11 se muestran gráficos de cajas que resumen todos los resultados de ensayos de carga concentrada de paneles completos trabajando en su eje débil, tanto para el desempeño de desplazamiento como desempeño de carga máxima. Los gráficos incluyen 2 tipos de exposiciones (secas y húmedas), y un tipo de distancia entre apoyos (610 mm). La identificación de los tipos de probetas en el eje horizontal de cada gráfico es DDD-E, donde DDD es 650 dada la densidad del tablero, mientras que E representa la exposición (S: seco y H: húmedo).

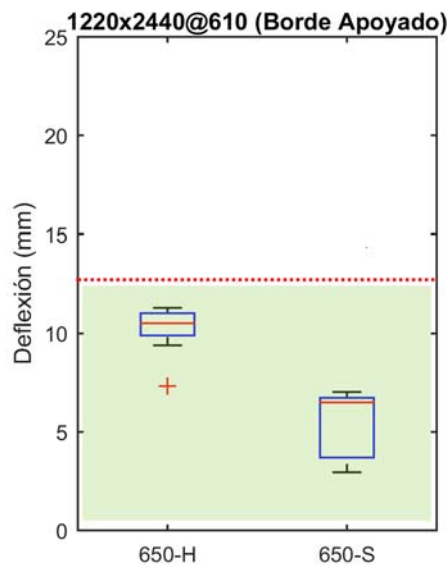


Figura 10: Resultados de los ensayos de carga concentrada para paneles completos con borde apoyado (desempeño de desplazamiento vertical en rango elástico)

De la Figura 10 se desprenden las siguientes conclusiones:

- Los paneles OLB de 12 mm de densidad 650 kg/m^3 presentan un buen desempeño estructural en términos de control de desplazamientos bajo cargas concentradas en el rango elástico, con condiciones de exposición tanto secas como húmedas para distancias entre apoyo de 610 mm. Lo anterior se debe a que el 100% de los ensayos (10 de 10) presentaron desplazamientos verticales menores a 12.7 mm para cargas de 0.89kN cumpliendo el desempeño exigido por la norma.

- Los resultados de desplazamientos para condiciones de exposición húmeda solo se mostraron de manera referencial, pues este desempeño no es exigible para este tipo de exposición.

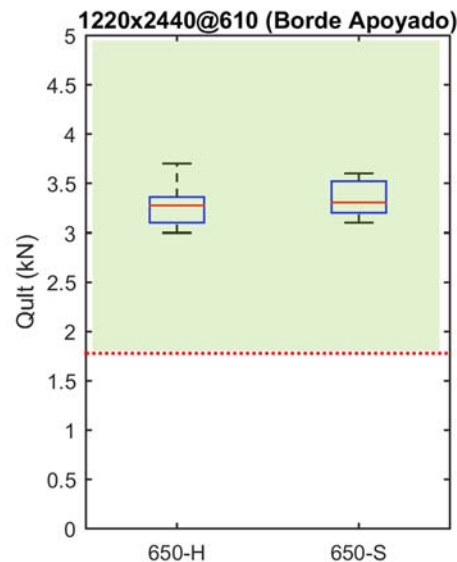


Figura 11: Resultados de los ensayos de carga concentrada para paneles completos con carga en borde apoyado (desempeño de carga máxima de rotura)

De la Figura 11 se desprenden las siguientes conclusiones:

- Los paneles OLB de 12 mm de densidad 650 kg/m³ presentan un buen desempeño estructural en términos de resistencia a la rotura bajo cargas concentradas en su borde apoyado, tanto para la exposición seca y húmeda con distancias entre apoyos de 610mm. Lo anterior se debe a que el 100% de los ensayos (10 de 10) presentaron cargas máximas mayores a 1.78 kN, cumpliendo el desempeño exigido por la norma.

3.2. Resultados de ensayo de carga horizontal en muros con tablero de OLB

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las tres probetas del ensayo de carga horizontal de los muros con placa de OLB. En las figuras Figura 12, Figura 13 y Figura 14 se muestran los principales modos de falla y comportamiento estructural para los tres ensayos realizados.

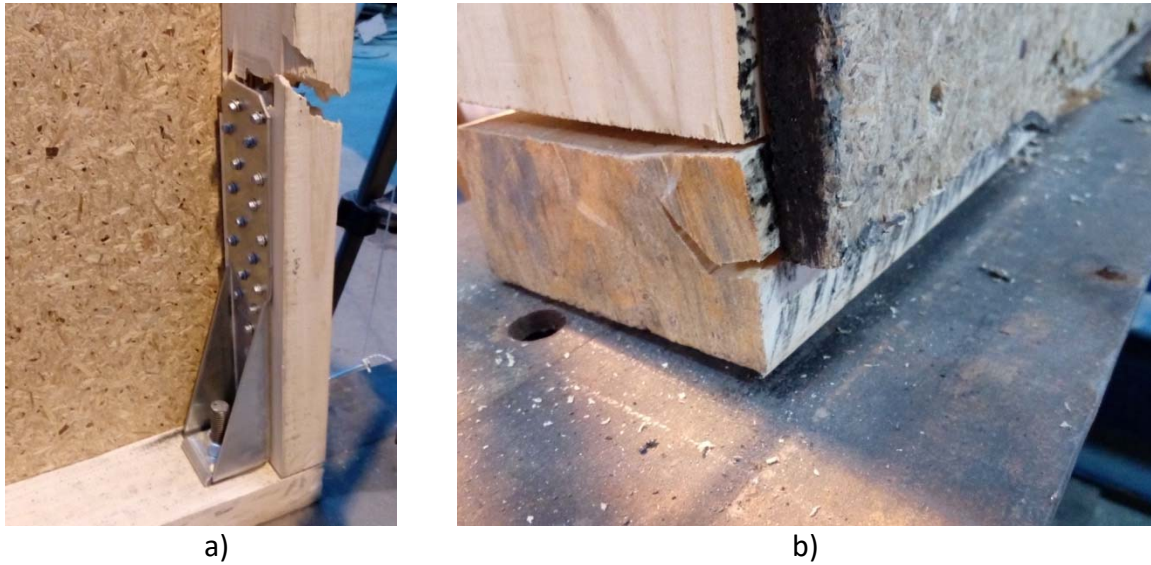


Figura 12: Comportamiento en la falla del ensayo número 1. a) Fractura en tracción de pieza de pie derecho de borde traccionado. b) Fractura de solera inferior en borde traccionado y desgarramiento de los elementos en borde del tablero.

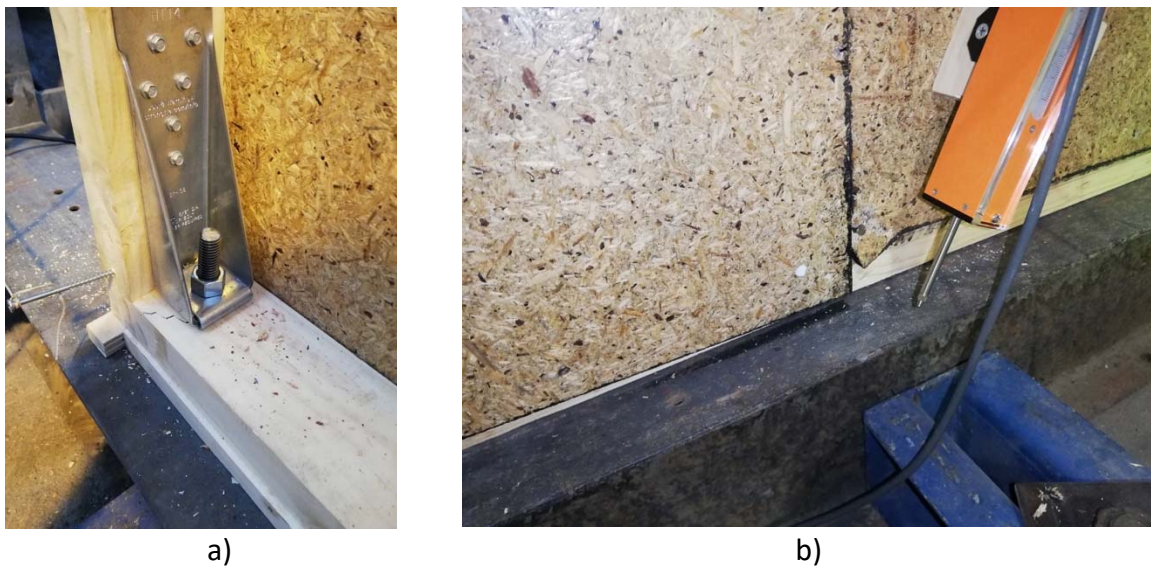


Figura 13: Comportamiento en la falla de los ensayos número 2 y 3. a) Fractura de la solera inferior bajo pie derecho de borde comprimido. b) Desgarramiento del tablero en los medios de unión de con el pie derecho central.



Figura 14: Giro de los tableros durante ensayo de carga horizontal

La forma de falla obtenida en cada repetición realizada fue diferente. El primer ensayo frente a carga horizontal presenta una ruptura abrupta en el pie derecho de borde traccionado a la altura del anclaje HTT4 (Figura 12a), además se produce una fractura parcial de la solera inferior (Figura 12b)

El segundo ensayo frente a cargas horizontales, presenta una falla en torno al pie derecho comprimido principalmente en la solera inferior. Debido a las grandes fuerzas de compresión perpendicular a la fibra de la madera en la solera inferior, ésta presenta una fractura relevante, además los clavos que unen los tableros de OLB y el marco de madera comienzan a desgarrar el panel debido a las grandes rotaciones que presenta el panel frente al marco de madera.

El tercer ensayo frente a cargas horizontales, presenta una falla principalmente en la unión OLB-Madera. Debido a los desplazamientos horizontales se produjeron rotaciones relevantes en los paneles OLB, esto se tradujo a que los conectores entre la placa OLB y el bastidor de madera comenzaran a desgarrar el panel y así perder progresivamente la carga resistente.

Los resultados de los tres ensayos realizados muestran que el comportamiento que predominó fue el giro de los tableros (Figura 14), es decir, el comportamiento de cuerpo

rígido del muro completo se perdió y los paneles en los tres ensayos comenzaron a rotar de forma independiente al marco de madera.

En la Figura 15 se muestran los resultados de carga horizontal v/s desplazamiento horizontal para las tres repeticiones de ensayos.

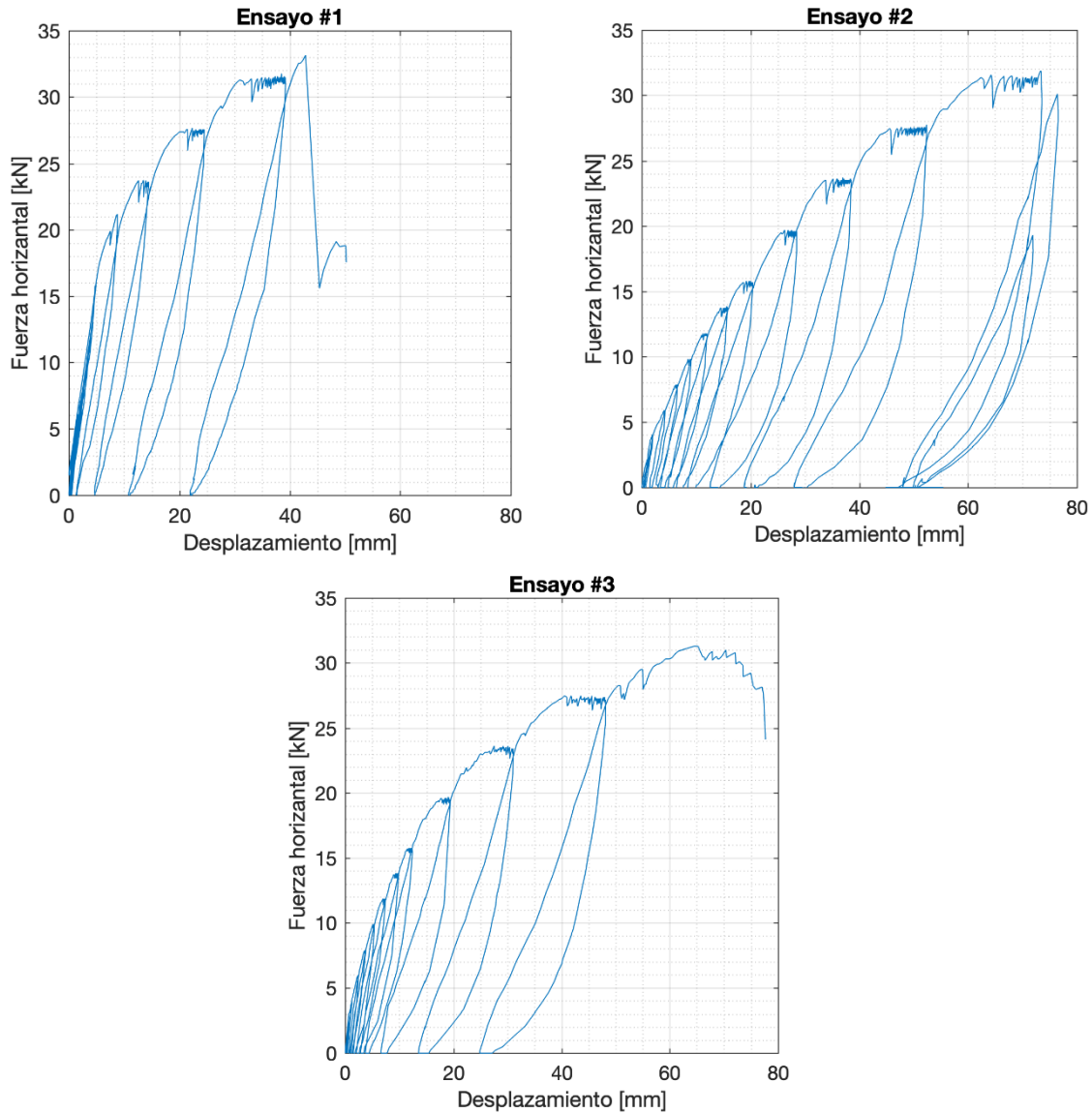


Figura 15: Curvas fuerza horizontal vs desplazamiento horizontal para cada repetición del ensayo según norma NCh 802:2017

De la Figura 15 se es posible observar lo siguiente:

De los tres ensayos realizados, la probeta número 1 es la que presenta mayor rigidez y una zona elástica bien definida, lo que se ve reflejado en su capacidad limitada de desplazamientos laterales para desplazamientos menores a 10 mm. El ensayo alcanzó una fuerza horizontal máxima de 33.15 kN con un desplazamiento de 42.84 mm. Es importante destacar que, si bien este ensayo muestra un muy buen comportamiento del muro, los resultados de desplazamiento no son 100% representativos, ya que están influenciados por un efecto no deseado de restricción de giro.

El segundo ensayo frente a cargas horizontales, presenta un buen desempeño estructural en cuanto a capacidad resistente y una gran capacidad de deformación. El ensayo alcanzó una fuerza horizontal máxima de 31.87 kN y un desplazamiento a esa magnitud de fuerza de 73.34 mm. El tercer ensayo entrega resultados muy similares, alcanzando una fuerza horizontal máxima de 33.15 kN con un desplazamiento fuerza de 65.25 mm.

Por otra parte, el desplazamiento horizontal en que el muro alcanza la fluencia es de aproximadamente 15 mm.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO CON ESTUDIOS PREVIOS

4.1. Ensayos de carga concentrada en tableros

Los resultados de los ensayos de carga concentrada realizados en el marco de este proyecto, a tableros OLB con densidad 650 kg/m³ y 700 kg/m³, pueden ser contrastados con los resultados de las pruebas a tableros OLB de 600 kg/m³ ejecutadas durante 2016. La comparativa de resultados se resume en la Tabla 2, donde se observa claramente el efecto del aumento de la densidad, y las mejoras en el proceso productivo, en la mejora de los promedios de las propiedades mecánicas medidas.

El efecto se observa de forma más notoria en los ensayos con apoyos a 410 mm, donde los valores medios de desplazamientos para el rango elástico (para carga concentrada de 0.89 kN) disminuyen un 42% para la densidad de 650 kg/m³ y un 50% para la densidad de 700 kg/m³, con respecto a la de 600 kg/m³. Para las cargas últimas, los valores promedio casi se llegan a duplicar.

En los ensayos con apoyo a 610 mm, el efecto es más importante en la carga última para los ensayos húmedos, aumentando a más del doble el promedio para el ensayo de borde sin apoyo del tablero de 700 kg/m³. Por su parte, los desplazamientos elásticos promedios se reducen de forma más notoria en los ensayos secos.

Tabla 2: Comparación de valores promedio de ensayos de carga concentrada en tableros de OLB de distintas densidades

Esp. Apoyos	Carga	Condición	Propiedad	OLB 600 kg/m ³	OLB 650 kg/m ³	OLB 700 kg/m ³
410 mm	Borde sin apoyo	Seco	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	6.44	3.72	3.22
			Qmax (kN)	1.81	2.80	3.16
		Húmedo	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	9.61	7.20	6.66
			Qmax (kN)	1.61	2.86	2.99
610 mm	Borde sin apoyo	Seco	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	13.47	12.94	10.08
			Qmax (kN)	1.49	1.57	2.38
		Húmedo	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	22.32	21.34	15.83
			Qmax (kN)	1.35	1.56	2.83
	Borde apoyado	Seco	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	7.15	5.69	-
			Qmax (kN)	3.20	3.33	-
		Húmedo	$\Delta @ Q=0.89$ kN (mm)	10.57	10.21	-
			Qmax (kN)	2.80	3.26	-

4.2. Ensayos de muros con carga lateral

En este capítulo se presenta a modo de referencia global, una comparación de los resultados de los ensayos de muros con tableros de OLB frente a carga lateral, con los resultados de muros equivalentes en geometría, estructuración y anclajes, pero con tableros de OSB. Los resultados de los muros con placas de OSB se obtienen del Informe Técnico Nro. 205 desarrollado por INFOR. La comparación de los resultados en términos de carga máxima y desplazamientos a ese nivel de carga se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Comparación ensayos de carga horizontal de muros con OLB y OSB

	Muros con OLB		Muro con OSB (INFOR, 2015)	
	Fmax (kN)	Desplazamiento (mm)	Fmax (kN)	Desplazamiento (mm)
Ensayo 1	33.1	42.8	21.9	70.9
Ensayo 2	31.9	73.3	21.5	64.6
Ensayo 3	31.3	65.3	20.7	67.9
Ensayo 4	-	-	21.7	75.9
Ensayo 5	-	-	21.5	66.1
Promedio	32.1	60.5	21.5	69.1
COV (%)	3%	26%	2%	6%

En términos de capacidad máxima los ensayos realizados con muros con OLB, tienen en promedio un 33% más resistencia que los ensayos realizados por INFOR en muros con OSB. Asimismo, los desplazamientos horizontales para la carga máxima son 14% menores para el muro de OLB.

Lo anterior permite indicar que, para las condiciones evaluadas en este trabajo y las reportadas por INFOR, los muros con tableros de OLB de densidad 700 kg/m^3 presentan mayor rigidez y resistencia que un muro equivalente pero con tablero de OSB.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos realizados en este estudio permiten generar las siguientes conclusiones:

De los ensayos de carga concentrada para Tableros con densidad de 650 kg/m³:

- Cumple holgadamente los requerimientos de la norma PS2-10 de carga última y deflexión para los casos de espaciamiento de apoyo a 610 mm (con borde apoyado) y 410 mm (con borde sin apoyo).
- En el caso de espaciamiento de apoyos a 610 mm con borde sin apoyo, no se cumple con los límites normativos de aceptación.

De los ensayos de carga concentrada para Tableros con densidad de 700 kg/m³:

- Se cumple de forma holgada los límites de aceptación de la norma PS2-10 para el espaciamiento de apoyos de 410 mm, pero para 610 mm sólo se cumple con límite de carga última.
- Con apoyos a 610 mm se logra cumplir con la deflexión para carga de 0.89 kN sólo en condición seca.
- Para el espaciamiento de 410 mm no se observan diferencias significativamente marcadas en la carga última y la deflexión respecto del tablero de densidad 650 kg/m³, tanto para las condiciones húmeda y seca. No obstante, la tendencia es a mejorar.
- Se observa una mejora significativa en las propiedades evaluadas para el tablero de 700 kg/m³ respecto del de 650 kg/m³ para el espaciamiento de apoyos de 610mm. La carga última aumenta casi un 75% (en condición húmeda) y la deflexión se reduce del orden de 25% en ambas condiciones.

De los ensayos de carga horizontal de muros con Tableros con densidad de 700 kg/m³:

- Dada la configuración de muro ensayada, se observa que un muro con bastidor de madera y placa arriostrante de OLB de 12 mm de espesor alcanza una carga máxima de 32.1 kN en promedio (aproximadamente 13.1 kN/m de largo del muro), logrando alcanzar un 33% más que un muro equivalente con placa de OSB, de acuerdo a los resultados de estudios desarrollados por INFOR.

Resumen:

- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidades 650 kg/m³ y 700 kg/m³ tienen un buen desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89kN) y

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental – Facultad de Ingeniería – Universidad del Bío-Bío

Contacto: acordova@ubiobio.cl – Teléfono: +56 41 3111645

resistencia ultima frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 410 mm, y condiciones de exposiciones tanto secas como húmedas. Por lo anterior, en su condición actual el tablero de OLB cumple los criterios de aceptación PS2-10 para ensayo de carga puntual (deflexión y carga última) para uso de techo en el caso de apoyos a 410 mm. Su validación definitiva para este uso debe también considerar ensayo de carga distribuida y ensayo de impacto. Por otro lado, el cumplimiento de los límites PS2-10 de carga concentrada para uso de piso no es logrado.

- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidad 650 kg/m^3 tiene un mal desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89kN) y resistencia ultima frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 610 mm, y condiciones de exposiciones tanto secas como húmedas. Para cumplir con los límites establecidos en la norma PS2-10, es necesario reducir los desplazamientos a los 0.89kN en un 91% y aumentar su resistencia a la rotura en un 33%, a partir de la condición más desfavorable (condición humedad).
- Los paneles OLB de 12 mm de espesor de densidad 700 kg/m^3 tiene un buen desempeño estructural asociado al desplazamiento elástico (a 0.89kN) y resistencia ultima frente a cargas concentradas, para distancias entre apoyos de 610mm, y condiciones de exposiciones tanto secas, sin embargo posee un mal desempeño en condición húmeda. Para cumplir con los límites establecidos en la norma PS2-10 en ambas condiciones exposición, es necesario reducir los desplazamientos a los 0.89kN .
- Se observa una mejora significativa del desempeño del tablero frente a carga concentrada respecto de la condición evaluada en el año 2016.
- Considerando un bajo número muestral, los muros sometidos a ensayos de carga horizontal muestran resultados positivos, que resultan ser mayores a muros equivalentes con tablero de OSB reportados en otros estudios.