Informe Técnico N° 276

Caracterización Mecánica de Tableros Contrachapados Fabricados en Chile

Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INSTITUTO FORESTAL
2024

INFOR

Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación

Informe Técnico N° 276

Caracterización Mecánica de Tableros Contrachapados Fabricados en Chile

Cristian Reyes Riquelme[1]; Luis Vásquez Valenzuela;
Pablo Mardones Díaz y Raúl Campos Pous

INSTITUTO FORESTAL
2024

[1] Investigadores Instituto Forestal, Sede Biobío. cristian.reyes@infor.cl

INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 56 2 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 287 - 3
Registro Propiedad Intelectual N° 2025 A 1749

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Reyes, Cristian; Vásquez, Luis; Mardones, Pablo y Campos, Raúl (2024). Caracterización mecánica de tableros contrachapados fabricados en Chile, Chile. Informe Técnico N° 276. P. 34. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32764

PRÓLOGO

En un contexto de déficit habitacional en Chile, que se estima en alrededor de 650.000 viviendas, se hace imperativo adoptar materiales de construcción que no solo sean sostenibles, sino que también ayuden a mitigar la crisis habitacional de forma eficiente. Actualmente, el sector de la construcción consume el 34% de la energía producida *(International Energy Agency*, 2023), a la vez que emite el 37% de los gases de efecto invernadero, donde el 28% del total de estas corresponde a operación y el 11% a los materiales y construcción (*United Nations Environment Programme*, 2022). Este impacto ambiental se debe en gran medida a la producción de materiales como el cemento y el acero, lo que contrasta con la alternativa sustentable que representa la construcción en madera. Su utilización, especialmente a través de métodos innovadores como la construcción en altura con madera aserrada estructural y productos de ingeniería a base de madera, ofrece la posibilidad de alcanzar una huella de carbono negativa (Dzhurko *et al*., 2024). Para ello se debe implementar un enfoque holístico que asegure y optimice la circularidad en los sistemas constructivos, donde se incluyan estrategias de manufactura, modelos de negocio, planes de montaje, desarmado, reutilización y reciclaje, desde el comienzo del diseño de los proyectos constructivos (Z. Li et al., 2024). En el contexto nacional, el estudio de Base de Datos e Indicadores para el seguimiento de la Construcción en Chile (2023) (CIM UC – MINVU, 2023) evidencia que solo el 27% de la superficie construida se encuentra materializada en madera, con base en un análisis de información provista por el SII.

La madera y los tableros derivados de ella (contrachapado, OSB) ofrecen múltiples beneficios que los posicionan favorablemente en comparación con otros materiales de construcción. La alta capacidad de resistencia y rigidez en ambas direcciones del tablero contrachapado, junto con un notable control dimensional, contribuyen a su versatilidad. Esto permite su utilización en la edificación de viviendas, incluyendo construcciones en altura.

Desde sus inicios, el Instituto Forestal (INFOR) ha investigado las propiedades físicas y mecánicas de las maderas provenientes de bosques nativos y plantaciones. Recientemente, ha puesto especial atención en los tableros contrachapados y su uso en la construcción de viviendas. En 2023 las exportaciones de contrachapado alcanzaron un total de US$404,2 millones FOB, aunque con una disminución del 26,7% respecto al año anterior. A pesar de esta caída, de acuerdo a las estadísticas de INFOR el contrachapado sigue siendo un producto clave en el mercado forestal chileno (Poblete y Álvarez, 2024).

Este estudio realiza una caracterización mecánica de algunos tableros contrachapados que se comercializan en Chile para determinar si poseen propiedades resistentes adecuadas para ser utilizados como elemento estructural en la construcción.

El financiamiento de este trabajo proviene del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y fue ejecutado por los profesionales del área de investigación de Tecnología y Productos de Madera de INFOR.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVO 1
3. MATERIALES Y MÉTODO 1
3.1. Material Experimental 1
3.2. Diseño Experimental 2
3.3. Determinación de la Categoría 2
3.3.1 Categoría por desempeño 2
3.3.2 Categoría por span 2
3.4. Ensayos Mecánicos 3
3.4.1. Ensayo de determinación del contenido de humedad 3
3.4.2. Ensayo de determinación del espesor 3
3.4.3. Ensayo de desempeño en flexión de tablero 3
3.4.4. Ensayo de cargas concentradas estáticas y cargas concentradas con impacto 5
3.4.5. Ensayo de desempeño bajo cargas uniformes 6
4. RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS A TABLEROS CONTRACHAPADOS 7
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 20
5.1. Estadística Descriptiva 20
5.2. Evaluación de Acuerdo a los Parámetros Normativos 25
6. CONCLUSIONES 27
7. REFERENCIAS 27
8. ANEXO. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS Y FALLAS TÍPICAS 29

1. INTRODUCCIÓN

Los tableros contrachapados son elaborados a partir de chapas de madera dispuestas en capas alternadas en su orientación. Están compuestos de un número impar de capas lo que les otorga regularmente un eje de mayor resistencia. Estas capas se unen mediante adhesivos resistentes a la humedad y un proceso de prensado bajo calor. La falta de normativas obligatorias en Chile para regular su producción ha llevado a una variabilidad en la calidad del producto final. En este contexto, la norma NCh 3617 (INN, 2022) se destaca como un estándar clave que permite determinar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros para uso estructural, estableciendo criterios claros para su evaluación.

El presente informe de caracterización mecánica de tableros contrachapados es un estudio fundamental para comprender las propiedades y el desempeño de los tableros disponibles en el mercado nacional, los que son utilizados con fines estructurales en la industria de la construcción. A lo largo de las últimas décadas, la producción de tableros contrachapados ha experimentado un notable crecimiento en Chile, convirtiéndose en uno de los principales productos dentro del sector forestal, representando un 7,3% del total las exportaciones forestales (Poblete *et al*., 2023). Este aumento en la producción está ligado a la evolución de las técnicas de fabricación y a la creciente demanda del mercado con Estados Unidos como uno de los principales destinos de exportación, que busca materiales que ofrezcan resistencia, durabilidad y versatilidad.

Este informe entrega algunas de las capacidades mecánicas más relevantes para la caracterización estructural de los tableros contrachapados, así como expone algunas de las brechas de fabricación que pueden dificultar la correcta utilización de estos elementos estructurales. Se espera contribuir al establecimiento de estándares que aseguren la calidad y el rendimiento de los tableros contrachapados en el mercado nacional e internacional guiando a los productores y consumidores hacia una elección informada, garantizando así la seguridad y eficacia del diseño estructural.

2. OBJETIVO

Caracterizar las capacidades mecánicas de los tableros contrachapados disponibles en el mercado de la construcción, bajo los lineamientos de la normativa chilena vigente a partir del año 2022, NCh 3617 – Madera contrachapada estructural.

3. MATERIALES Y MÉTODO

Se realizó un catastro de los fabricantes de tableros contrachapados listados en el Anuario Forestal 2023 del Instituto Forestal (Poblete *et al*., 2023), con disponibilidad de tableros en el mercado de la construcción. Se gestionaron muestras de tableros procedentes de 4 fabricantes, los que posteriormente fueron evaluados de acuerdos a las indicaciones de la NCh 3617 – Madera contrachapada estructural.

3.1. Material Experimental

El Cuadro N°1 registra las características y denominación comercial del material experimental utilizado en el estudio.

Cuadro N°1
Características de los tableros contrachapados evaluados

Fabricante	Muestra [unidades]	Espesor nominal [mm]	Altura nominal [mm]	Largo nominal [mm]	Cantidad de láminas	Denominación comercial
1	40	12	2.440	1.220	5	Estructural
2	40	12	2.440	1.220	5	Estructural
3 (12mm)	40	12	2.440	1.220	5	Estructural
3 (15mm)	40	15	2.440	1.220	5	Estructural
4	40	18	2.440	1.220	7	Estructural

Los tableros para los ensayos experimentales fueron seleccionados de forma aleatoria de la muestra general de 40 unidades de cada producto. Se destaca que los proveedores no indican características estructurales de los tableros, solo una categoría general de “Estructural”.

3.2. Diseño Experimental

El Cuadro N°2 registra el diseño experimental que considera la determinación del contenido de humedad, espesor y resistencia mecánica de los tableros.

Cuadro N°2
Diseño experimental

Ensayo	Repeticiones por fabricante	Total de repeticiones
Contenido de humedad	10	50
Espesor	20	100
Desempeño en flexión de tablero en probeta grande	40	200
Desempeño bajo cargas concentradas estáticas	20	100
Desempeño bajo cargas concentradas estáticas con impacto	20	100
Desempeño bajo cargas uniformes	20	100

3.3. Determinación de la Categoría

3.3.1 Categoría por desempeño

Se utilizaron el espesor, resistencia y rigidez para evaluar el cumplimiento de la categoría de desempeño de acuerdo a los límites establecidos en la norma.

3.3.2 Categoría por span

Se utilizaron las propiedades de resistencia y rigidez, para establecer de manera inicial la categoría de span a la que podría pertenecer el tablero evaluado. Posteriormente, con los ensayos de carga concentrada estática, carga concentrada estática con impacto y carga uniforme, se define el cumplimiento de las propiedades asociadas a cada categoría de span.

La categoría por span del tablero queda definida cuando se cumplen los requisitos de los 3 ensayos mencionados previamente.

3.4. Ensayos Mecánicos

Las mediciones y ensayos mecánicos del material experimental fueron ejecutados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), laboratorio de ensayos con acreditación NCh-ISO 17025, ubicado en la sede Biobío de INFOR en Concepción.

3.4.1. Ensayo de determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó de acuerdo a las indicaciones del método de secado en horno, considerando probetas de dimensiones 150 x 150 mm.

3.4.2. Ensayo de determinación del espesor

El espesor de los tableros se determinó considerando el promedio de 4 mediciones, cada una de ellas tomada a media longitud en los cantos del tablero. El espesor referencial se determina como el valor promedio menos, 1,932 veces la desviación estándar.

3.4.3. Ensayo de desempeño en flexión de tablero

Se aplicó el ensayo de flexión especificado en ASTM D3043 (ASTM,(2017), Método C, que permite determinar la rigidez (EI), carga máxima (F) y momento flector (M) del tablero contrachapado, ejes principal y secundario. La rigidez está representada por el producto “módulo de elasticidad multiplicado por el momento de inercia de la sección transversal”.

Para la propiedad de rigidez, el valor de referencia en cada eje resistente estará dado por el valor inferior de un intervalo de confianza del 90% establecido en la media. Para la resistencia última, se determina el mayor valor, entre el mínimo resultado y la media de la muestra, menos 1,8 veces la desviación estándar.

Las Figuras N°1 y N°2 señalan el esquema del ensayo a la flexión y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

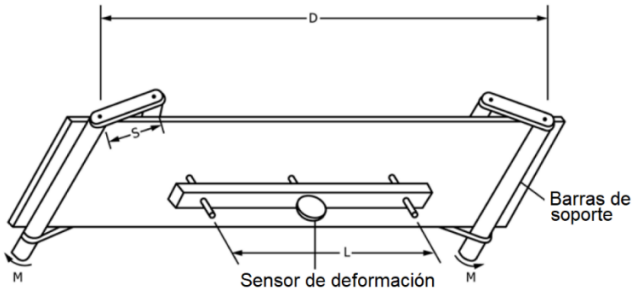

Figura N° 1. Esquema del ensayo en flexión

Figura N°2. Implementación del ensayo en flexión

La ecuación siguiente permite determinar la rigidez (EI) del tablero contrachapado, a partir del radio de curvatura (R) medido durante el ensayo.

$$R = \left(\frac{L^2}{8\Delta}\right) + \left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$E \cdot I = M \cdot R$$

Donde:

EI	Rigidez del tablero, en lb·in²;	M	Momento flector, en lbf·in;
L	Longitud entre apoyos, en in;	R	Radio de curvatura, en in;
Δ	Deflexión, en in.		

Para determinar el momento flector (M) bajo carga de rotura se utilizó la ecuación que se indica:

$$m = \sqrt{\left(\frac{c^2}{x^2}\right) - 1}$$

$$M = m \cdot U$$

Donde:

m	Brazo de momento, en m;
c	Distancia centro a centro entre los rodillos, en m;
x	Suma del radio de los rodillos y el espesor del panel, en m;
M	momento flector, en N·m²;
U	Carga última en flexión, en N;

3.4.4. Ensayo de cargas concentradas estáticas y cargas concentradas con impacto

Se ejecutaron los ensayos de carga estática concentrada y carga concentrada con impacto, especificados en ASTM E661 (ASTM, 2015), que permiten determinar las deformaciones que sufre el tablero contrachapado bajo esfuerzos de cargas estáticas concentradas y el deterioro en la resistencia mecánica del tablero cuando es sometido a impactos controlados.

Las Figuras N°3 y N°4 señalan los esquemas de los ensayos, carga estática concentrada y carga concentrada con impacto y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

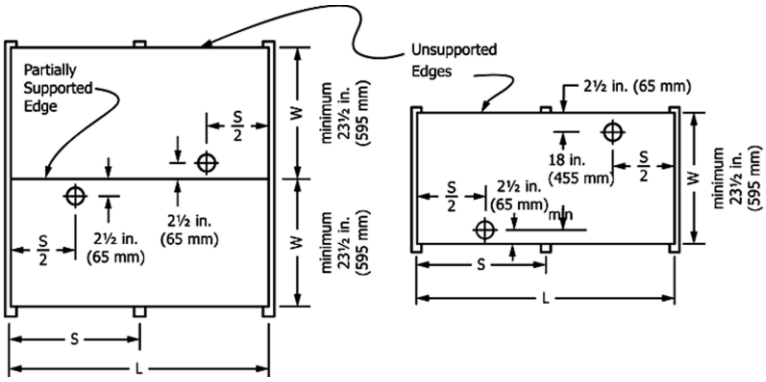

Figura N° 3
Esquema de los ensayos de carga estática concentrada y carga concentrada con impacto

Figura N°4
Implementación ensayos de carga estática concentrada y carga concentrada con impacto

3.4.5. Ensayo de desempeño bajo cargas uniformes

Se ejecutó el ensayo a carga uniforme, que permite determinar la deformación que sufre el tablero contrachapado cuando se somete a un esfuerzo aplicado mediante presión de vacío.

Las Figuras N°5 y N°6 señalan el esquema del ensayo a carga uniforme y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

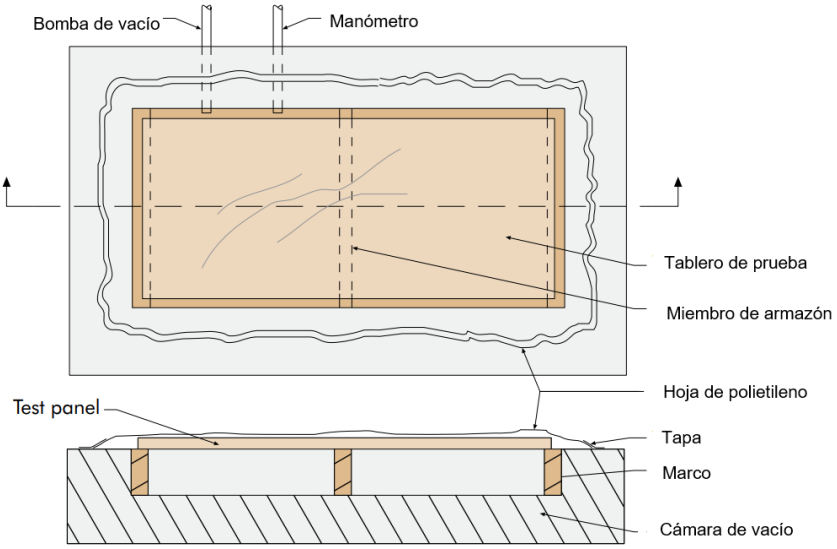

Figura N° 5. Esquema del ensayo a carga uniforme

Figura N°6. Implementación del ensayo a carga uniforme

4. RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS A TABLEROS CONTRACHAPADOS

Los Cuadros N°3 al N°11 registran los resultados obtenidos de los ensayos físicos y mecánicos realizados a los tableros contrachapados.

Cuadro N°3
Contenido de humedad del tablero

Fabricante	Probeta N°	Peso inicial (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso seco (g)	Humedad (%)
1	1	129,3	11,9	150	150	115,5	11,9
	2	147,6	11,9	150	150	132,4	11,4
	3	147,4	12,0	150	150	132,4	11,3
	4	141,8	12,0	150	150	126,8	11,8
	5	138,6	12,3	150	150	124,0	11,7
	6	140,0	12,4	150	150	125,2	11,8
	7	136,8	12,4	150	150	123,1	11,2
	8	133,2	12,0	150	150	118,8	12,2
	9	136,6	12,1	150	150	122,7	11,3
	10	132,8	11,9	150	150	119,0	11,6
2	1	124,5	12,7	150	150	111,5	11,7
	2	124,9	12,3	150	150	111,8	11,7
	3	135,5	12,0	150	150	120,4	12,5
	4	122,1	11,7	150	150	109,6	11,5
	5	134,5	12,0	150	150	120,0	12,1
	6	124,8	12,4	150	150	111,6	11,9
	7	121,0	11,9	150	150	107,5	12,6
	8	124,6	11,6	150	150	111,4	11,9
	9	131,7	12,3	150	150	118,4	11,3
	10	125,0	11,8	150	150	112,2	11,4

Fabricante	Probeta N°	Peso inicial (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso seco (g)	Humedad (%)
3	1	168,2	12,6	150	150	151,4	11,0
	2	131,9	12,1	150	150	120,2	9,7
	3	132,5	12,6	150	150	118,6	11,8
	4	137,4	12,3	150	150	125,0	9,9
	5	126,1	12,3	150	150	114,2	10,4
	6	159,8	12,4	150	150	145,5	9,9
	7	154,1	12,3	150	150	140,0	10,0
	8	144,6	12,2	150	150	134,6	7,4
	9	149,4	12,2	150	150	135,4	10,3
	10	142,9	12,2	150	150	129,0	10,8
3	1	168,0	15,4	150	150	152,2	10,3
	2	161,2	15,1	150	150	146,0	10,4
	3	161,6	15,2	150	150	146,1	10,7
	4	161,9	15,2	150	150	146,6	10,4
	5	168,6	15,2	150	150	153,4	9,9
	6	183,6	15,0	150	150	166,0	10,6
	7	183,2	15,4	150	150	165,6	10,6
	8	157,0	14,9	150	150	142,1	10,4
	9	186,9	14,9	150	150	167,9	11,3
	10	156,0	14,6	150	150	140,3	11,2
4	1	221,5	18,3	150	150	199,2	11,2
	2	240,1	18,6	150	150	217,6	10,3
	3	196,7	18,1	150	150	178,9	10,0
	4	192,6	18,1	150	150	174,7	10,2
	5	221,1	18,5	150	150	199,1	11,0
	6	209,3	18,4	150	150	191,6	9,2
	7	205,9	18,5	150	150	185,2	11,2
	8	208,8	18,4	150	150	188,4	10,9
	9	223,2	18,5	150	150	204,5	9,1
	10	220,6	18,4	150	150	201,4	9,5

Cuadro N°4
Espesor del tablero

Probeta N°	Espesor promedio de los tableros [mm]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
1	12,2	12,1	12,4	15,0	18,6
2	12,2	12,2	12,3	15,1	17,9
3	12,2	12,1	12,5	15,1	18,1
4	12,3	12,5	12,4	15,3	18,3
5	12,2	12,2	12,4	15,2	18,2
6	12,2	12,1	12,3	15,3	18,1
7	12,3	12,5	12,4	15,0	18,2
8	12,2	12,3	12,6	15,2	18,3
9	12,3	12,2	12,3	15,0	17,8
10	12,2	12,2	12,5	15,3	18,2
11	12,2	12,2	12,4	14,9	18,1
12	12,1	12,2	12,3	15,0	18,3
13	12,0	12,0	12,1	15,0	18,2
14	11,9	12,2	12,0	15,1	18,2
15	11,9	12,2	12,2	14,9	18,4
16	12,0	12,1	12,2	14,9	18,4
17	12,0	11,7	12,4	15,0	18,5
18	11,9	11,8	12,4	14,9	18,3
19	12,0	12,1	12,5	14,9	18,4
20	11,9	12,0	12,4	15,0	18,6

Cuadro N°5
Desempeño en flexión, rigidez, eje principal

Probeta N°	Rigidez de flexión [lb·in²·ft]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
1 - 1 P*	143.097	186.019	171.030	269.508	411.992
1 - 2 P	157.770	197.906	171.853	281.031	442.741
2 - 1 P	188.178	196.460	177.135	211.568	359.768
2 - 2 P	191.488	209.929	175.447	253.958	336.399
3 - 1 P	176.766	207.297	161.594	301.995	499.042
3 - 2 P	161.384	206.842	185.981	275.016	506.677
4 - 1 P	169.671	117.416	174.152	367.322	397.310
4 - 2 P	169.079	114.756	165.705	356.671	426.116
5 - 1 P	176.569	145.909	184.267	323.126	479.637
5 - 2 P	183.739	115.083	171.991	315.782	551.435
6 - 1 P	203.637	187.486	221.620	195.531	421.109
6 - 2 P	211.918	151.238	209.373	201.979	430.849
7 - 1 P	141.956	123.954	192.476	218.857	341.192
7 - 2 P	144.908	113.468	205.523	226.158	324.895
8 - 1 P	125.533	97.523	164.115	225.926	495.233
8 - 2 P	107.902	112.843	179.441	196.924	519.875
9 - 1 P	157.517	145.173	176.785	340.440	504.606
9 - 2 P	150.369	137.440	196.876	332.231	482.488
10 - 1 P	156.046	155.025	154.531	254.795	300.109
10 - 2 P	162.874	156.149	155.941	240.989	350.189

*P: Eje de resistencia principal

Cuadro N°6
Desempeño en flexión, rigidez, eje secundario

Probeta	Rigidez de flexión [lbf·in²·ft]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
1 - 1 S*	36.292	30.954	54.278	101.477	586.086
1 - 2 S	36.292	32.590	50.074	96.602	406.126
2 - 1 S	52.386	37.676	45.378	87.886	301.596
2 - 2 S	53.583	42.339	46.726	89.019	386.905
3 - 1 S	58.165	45.075	97.955	91.819	198.228
3 - 2 S	60.012	44.235	91.084	85.652	214.385
4 - 1 S	43.778	37.640	65.614	125.958	275.246
4 - 2 S	50.561	39.535	68.152	81.462	289.136
5 - 1 S	69.921	42.118	72.242	155.057	404.110
5 - 2 S	69.921	43.299	68.181	81.068	425.582
6 - 1 S	49.166	36.293	63.186	65.974	385.892
6 - 2 S	49.997	35.769	67.438	48.498	359.644
7 - 1 S	61.174	34.992	72.001	52.716	250.814
7 - 2 S	58.714	34.562	73.047	84.954	281.333
8 - 1 S	55.416	38.745	100.235	96.645	390.536
8 - 2 S	59.194	39.793	101.987	75.133	374.733
9 - 1 S	49.014	35.496	93.511	114.800	310.471
9 - 2 S	52.801	36.292	88.846	96.754	300.383
10 - 1 S	60.142	34.125	91.181	64.878	233.879
10 - 2 S	61.923	35.313	75.468	77.375	235.203

*S: Eje de resistencia secundario

Cuadro N°7
Desempeño en flexión, carga última, eje principal

Probeta	Carga máxima [lbf]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
1 - 1 P*	921	531	652	1.431	1.233
1 - 2 P	1.192	554	784	1.117	1.702
2 - 1 P	948	698	606	1.700	944
2 - 2 P	1.156	700	1.365	1.693	1.155
3 - 1 P	1.232	970	1.255	1.608	1.738
3 - 2 P	1.038	1.057	1.517	1.628	1.797
4 - 1 P	1.159	964	1.160	847	1.329
4 - 2 P	1.123	1.285	1.278	842	1.501
5 - 1 P	1.050	951	1.188	635	1.208
5 - 2 P	797	499	1.422	492	1.365
6 - 1 P	729	544	1.422	318	1.607
6 - 2 P	628	489	1.457	327	1.418
7 - 1 P	631	682	1.298	506	1.402
7 - 2 P	718	562	1.407	463	1.249
8 - 1 P	863	550	1.366	407	1.350
8 - 2 P	1.046	448	1.486	386	1.749
9 - 1 P	938	1.100	1.222	610	1.284
9 - 2 P	878	1.017	1.528	699	1.326
10 - 1 P	959	898	830	1.549	1.133
10 - 2 P	953	777	801	1.753	1.299

*P: Eje de resistencia principal

Cuadro N°8
Desempeño en flexión, carga última, eje secundario

Probeta	Carga máxima [lbf]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
1 - 1 S	337	451	749	548	2877
1 - 2 S	315	450	687	496	2064
2 - 1 S	708	570	324	895	1049
2 - 2 S	590	507	467	854	1463
3 - 1 S	741	587	1.156	376	895
3 - 2 S	738	460	1.064	521	1.030
4 - 1 S	389	451	558	1.159	707
4 - 2 S	429	471	542	695	734
5 - 1 S	712	414	802	985	1.835
5 - 2 S	712	501	729	820	1.879
6 - 1 S	546	356	522	456	1.710
6 - 2 S	742	409	554	438	2.323
7 - 1 S	679	369	727	744	1.023
7 - 2 S	550	395	642	857	1.044
8 - 1 S	740	492	1.044	774	1.034
8 - 2 S	652	405	901	693	811
9 - 1 S	502	374	873	747	1.097
9 - 2 S	519	492	840	582	1.407
10 - 1 S	771	442	821	911	827
10 - 2 S	621	434	904	1.196	740

*S: Eje de resistencia secundario

Cuadro N°9
Carga estática concentrada

Ensayo N°	Fabricante 1 Span Techo 24		Fabricante 2 Span Techo 24		Fabricante 3 Span Techo 24	
	Carga de prueba 400 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 400 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 400 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf
1	Cumple	0,35	Cumple	0,26	Cumple	0,25
2	Cumple	0,34	Cumple	0,34	Cumple	0,25
3	Cumple	0,30	Cumple	0,31	Cumple	0,26
4	Cumple	0,27	Cumple	0,28	Cumple	0,23
5	Cumple	0,26	Cumple	0,32	Cumple	0,28
6	Cumple	0,24	Cumple	0,34	Cumple	0,28
7	Cumple	0,21	Cumple	0,27	Cumple	0,29
8	Cumple	0,24	Cumple	0,28	Cumple	0,30
9	Cumple	0,32	Cumple	0,37	Cumple	0,28
10	Cumple	0,27	Cumple	0,42	Cumple	0,29
11	Cumple	0,32	Cumple	0,26	Cumple	0,26
12	Cumple	0,28	Cumple	0,31	Cumple	0,25
13	Cumple	0,22	Cumple	0,30	Cumple	0,30
14	Cumple	0,25	Cumple	0,32	Cumple	0,30
15	Cumple	0,21	Cumple	0,30	Cumple	0,27
16	Cumple	0,23	Cumple	0,30	Cumple	0,28
17	Cumple	0,21	Cumple	0,23	Cumple	0,22
18	Cumple	0,24	Cumple	0,27	Cumple	0,23
19	Cumple	0,23	Cumple	0,30	Cumple	0,26
20	Cumple	0,27	Cumple	0,27	Cumple	0,21

Ensayo N°	Fabricante 3 Span Techo 32		Fabricante 4 Span Techo 40	
	Carga de prueba 400 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 400 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf
1	Cumple	0,39	Cumple	0,35
2	Cumple	0,30	Cumple	0,39
3	Cumple	0,30	Cumple	0,35
4	Cumple	0,29	Cumple	0,41
5	Cumple	0,32	Cumple	0,51
6	Cumple	0,31	Cumple	0,55
7	Cumple	0,35	Cumple	0,45
8	Cumple	0,31	Cumple	0,40
9	Cumple	0,33	Cumple	0,43
10	Cumple	0,35	Cumple	0,45
11	Cumple	0,35	Cumple	0,40
12	Cumple	0,28	Cumple	0,39
13	Cumple	0,38	Cumple	0,34
14	Cumple	0,39	Cumple	0,35
15	Cumple	0,45	Cumple	0,34
16	Cumple	0,36	Cumple	0,31
17	Cumple	0,33	Cumple	0,43
18	Cumple	0,34	Cumple	0,51
19	Cumple	0,37	Cumple	0,40
20	Cumple	0,38	Cumple	0,39

Cuadro N°10
Carga estática concentrada, después de impacto

Ensayo N°	Fabricante 1 Span Techo 24		Fabricante 2 Span Techo 24		Fabricante 3 Span Techo 24	
	Carga de prueba 300 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 300 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 300 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf
1	Cumple	0,26	Cumple	0,32	Cumple	0,15
2	Cumple	0,25	Cumple	0,18	Cumple	0,18
3	Cumple	0,20	Cumple	0,21	Cumple	0,18
4	Cumple	0,22	Cumple	0,22	Cumple	0,16
5	Cumple	0,17	Cumple	0,41	Cumple	0,17
6	Cumple	0,17	Cumple	0,52	Cumple	0,20
7	Cumple	0,16	Cumple	0,20	Cumple	0,19
8	Cumple	0,15	Cumple	0,21	Cumple	0,19
9	Cumple	0,19	Cumple	0,39	Cumple	0,22
10	Cumple	0,18	Cumple	0,31	Cumple	0,19
11	Cumple	0,20	Cumple	0,20	Cumple	0,17
12	Cumple	0,19	Cumple	0,40	Cumple	0,18
13	Cumple	0,17	Cumple	0,21	Cumple	0,21
14	Cumple	0,14	Cumple	0,21	Cumple	0,20
15	Cumple	0,15	Cumple	0,38	Cumple	0,20
16	Cumple	0,15	Cumple	0,70	Cumple	0,19
17	Cumple	0,15	Cumple	0,69	Cumple	0,34
18	Cumple	0,17	Cumple	0,56	Cumple	0,39
19	Cumple	0,44	Cumple	0,38	Cumple	0,62
20	Cumple	0,44	Cumple	0,37	Cumple	0,34

Ensayo N°	Fabricante 3 Span Techo 32		Fabricante 4 Span Techo 40	
	Carga de prueba 300 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf	Carga de prueba 300 lbf	Deflexión [in] a 200 lbf
1	Cumple	0,27	Cumple	0,28
2	Cumple	0,21	Cumple	0,48
3	Cumple	0,22	Cumple	0,48
4	Cumple	0,21	Cumple	0,28
5	Cumple	0,24	Cumple	0,39
6	Cumple	0,22	Cumple	0,42
7	Cumple	0,22	Cumple	0,38
8	Cumple	0,20	Cumple	0,32
9	Cumple	0,23	Cumple	0,71
10	Cumple	0,26	Cumple	0,71
11	Cumple	0,26	Cumple	0,62
12	Cumple	0,19	Cumple	0,55
13	Cumple	0,25	Cumple	0,32
14	Cumple	0,32	Cumple	0,25
15	Cumple	0,48	Cumple	0,22
16	Cumple	0,27	Cumple	0,42
17	Cumple	0,36	Cumple	0,48
18	Cumple	0,25	Cumple	0,62
19	Cumple	0,26	Cumple	0,31
20	Cumple	0,25	Cumple	0,31

En el Apéndice de este informe están disponibles algunas imágenes representativas de los ensayos ejecutados, así como, fallas típicas ocurridas bajo las distintas solicitaciones.

Cuadro N°11
Desempeño bajo cargas uniformes

Ensayo N°	Fabricante 1 Span Techo 24		Fabricante 2 Span Techo 32		Fabricante 3 Span Techo 32	
	Carga de prueba 7,2 kpa	Deflexión a 1,68 kpa en [mm]	Carga de prueba 7,2 [kpa]	Deflexión a 1,68 kpa en [mm]	Carga de prueba 7,2 [kpa]	Deflexión a 1,68 kpa en [mm]
1	Cumple	0,83	Cumple	2,35	Cumple	4,85
2	Cumple	1,25	Cumple	2,21	Cumple	1,46
3	Cumple	1,40	Cumple	2,85	Cumple	3,83
4	Cumple	2,10	Cumple	2,90	Cumple	2,02
5	Cumple	2,17	Cumple	3,26	Cumple	3,85
6	Cumple	1,92	Cumple	2,84	Cumple	3,00
7	Cumple	1,29	Cumple	3,12	Cumple	3,22
8	Cumple	0,79	Cumple	2,40	Cumple	3,09
9	Cumple	4,60	Cumple	3,30	Cumple	4,79
10	Cumple	1,99	Cumple	2,81	Cumple	2,90
11	Cumple	2,50	Cumple	3,37	Cumple	3,03
12	Cumple	3,71	Cumple	4,20	Cumple	2,95
13	Cumple	9,13	Cumple	3,45	Cumple	3,60
14	Cumple	2,05	Cumple	4,34	Cumple	2,83
15	Cumple	1,06	Cumple	4,21	Cumple	2,75
16	Cumple	2,10	Cumple	4,61	Cumple	3,14
17	Cumple	2,43	Cumple	3,49	Cumple	4,02
18	Cumple	2,70	Cumple	3,60	Cumple	3,45
19	Cumple	2,05	Cumple	2,44	Cumple	3,38
20	Cumple	3,01	Cumple	4,04	Cumple	4,19

Ensayo N°	Fabricante 3 Span Techo 32		Fabricante 4 Span Techo 40	
	Carga de prueba 7,2 [kpa]	Deflexión a 1,68 kpa en [mm]	Carga de prueba 7,2 [kpa]	Deflexión a 1,68 kpa en [mm]
1	Cumple	2,56	Cumple	3,78
2	Cumple	3,38	Cumple	3,88
3	Cumple	6,43	Cumple	4,72
4	Cumple	7,24	Cumple	5,05
5	Cumple	5,71	Cumple	3,95
6	Cumple	5,68	Cumple	3,19
7	Cumple	7,41	Cumple	3,04
8	Cumple	1,32	Cumple	3,04
9	Cumple	5,18	Cumple	3,69
10	Cumple	1,67	Cumple	3,68
11	Cumple	1,06	Cumple	3,62
12	Cumple	1,29	Cumple	3,25
13	Cumple	1,38	Cumple	5,11
14	Cumple	2,48	Cumple	3,94
15	Cumple	1,99	Cumple	3,90
16	Cumple	1,29	Cumple	4,11
17	Cumple	3,22	Cumple	3,75
18	Cumple	2,28	Cumple	3,48
19	Cumple	3,68	Cumple	3,40
20	Cumple	1,22	Cumple	2,91

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Estadística Descriptiva

Los Cuadros N°12 y N°13 registran la estadística descriptiva asociada al contenido de humedad y espesor.

Cuadro N°12
Contenido de humedad de los tableros

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [%]	11,6	11,8	10,1	10,6	10,3
Valor mínimo [%]	11,2	11,3	7,4	9,9	9,1
Valor máximo [%]	12,2	12,6	11,8	11,3	11,2
Rango [%]	1,0	1,3	4,3	1,4	2,1
Desviación estándar [%]	0,3	0,4	1,1	0,4	0,8
Coeficiente de variación [%]	2,7	3,7	11,3	3,9	7,7
Tamaño muestra	10	10	10	10	10

Cuadro N°13
Espesor de los tableros

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [mm]	12,1	12,1	12,4	15,1	18,3
Valor mínimo [mm]	11,9	11,7	12	14,9	17,8
Valor máximo [mm]	12,3	12,5	12,6	15,3	18,6
Rango [mm]	0,4	0,8	0,6	0,4	0,8
Desviación estándar [mm]	0,14	0,19	0,14	0,14	0,20
Coeficiente de variación [%]	1,2	1,5	1,2	0,9	1,1
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

Los Cuadros N°14 al N°17 registran la estadística descriptiva asociada a la rigidez y resistencia última.

Cuadro N°14
Rigidez en flexión, eje principal

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [lbf-in2/ft]	164.020	154.316	179.792	269.490	429.083
Valor mínimo [lbf-in2/ft]	107.902	97.523	154.531	195.531	300.109
Valor máximo [lbf-in2/ft]	211.918	209.929	221.620	367.322	551.435
Rango [lbf-in2/ft]	104.016	112.406	67.089	171.791	251.326
Desviación estándar [lbf-in2/ft]	25.369	38.603	17.841	55.554	74.697
Coeficiente de variación [%]	15,5	25,0	9,9	20,6	17,4
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

Cuadro N°15
Rigidez en flexión, eje secundario

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [lbf-in2/ft]	54.423	38.015	74.329	88.846	330.514
Valor mínimo [lbf-in2/ft]	36.292	30.954	45.378	48.498	198.228
Valor máximo [lbf-in2/ft]	69.921	45.075	101.987	155.057	586.086
Rango [lbf-in2/ft]	33.629	14.121	56.609	106.559	387.858
Desviación estándar [lbf-in2/ft]	9.096	3.989	17.866	25.020	92.689
Coeficiente de variación [%]	16,7	10,5	24,0	28,2	28,0
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

Cuadro N°16
Resistencia última en flexión, eje principal

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [lbf]	948	764	1.202	951	1.389
Valor mínimo [lbf]	628	448	606	318	944
Valor máximo [lbf]	1.232	1.285	1.528	1.753	1.797
Rango [lbf]	604	837	922	1.434	853
Desviación estándar [lbf]	182	247	299	543	229
Coeficiente de variación [%]	19,2	32,4	24,9	57,2	16,5
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

Cuadro N°17
Resistencia última en flexión, eje secundario

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Promedio [lbf]	600	451	745	737	1.327
Valor mínimo [lbf]	315	356	324	376	707
Valor máximo [lbf]	771	587	1.156	1.196	2.877
Rango [lbf]	456	231	832	820	2.170
Desviación estándar [lbf]	145	62	215	230	604
Coeficiente de variación [%]	24,2	13,7	28,8	31,3	45,5
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

Los Cuadros N°18 y N°19 registran la estadística descriptiva asociada al desempeño bajo cargas concentradas estáticas y cargas concentradas estáticas con impacto.

Cuadro N°18
Desempeño bajo carga concentrada estática

Descripción	Deflexión bajo 200 lbf de carga concentrada estática en [in]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
	Span Techo 24	Span Techo 24	Span Techo 24	Span Techo 32	Span Techo 40
Promedio [in]	0,26	0,30	0,26	0,34	0,41
Valor mínimo [in]	0,21	0,23	0,21	0,28	0,31
Valor máximo [in]	0,35	0,42	0,30	0,45	0,55
Rango [in]	0,14	0,19	0,09	0,17	0,24
Desviación estándar [in]	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
Coeficiente de variación [%]	16,6	14,2	10,3	12,2	15,5
Tamaño muestra	20	21	22	23	24

Cuadro N°19
Desempeño bajo carga concentrada estática con impacto

Descripción	Deflexión bajo 200 lbf de carga concentrada estática después del último impacto				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
	Span Techo 24	Span Techo 24	Span Techo 24	Span Techo 32	Span Techo 40
Promedio [in]	0,21	0,35	0,23	0,26	0,43
Valor mínimo [in]	0,14	0,18	0,15	0,19	0,22
Valor máximo [in]	0,44	0,70	0,62	0,48	0,71
Rango [in]	0,30	0,52	0,47	0,29	0,49
Desviación estándar [in]	0,09	0,16	0,11	0,07	0,15
Coeficiente de variación [%]	41,4	45,5	47,9	25,4	35,2
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

El Cuadro N°20 registra la estadística descriptiva asociada al desempeño bajo cargas uniformes.

Cuadro N°20
Deformación bajo 1.68 kPa en carga uniforme

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
	Span Techo 24	Span Techo 32	Span Techo 32	Span Techo 32	Span Techo 40
Promedio [mm]	2,5	3,3	3,3	3,3	3.8
Valor mínimo [mm]	0,8	2,2	1,5	1,1	2.9
Valor máximo [mm]	9,1	4,6	4,9	7,4	5.1
Rango [mm]	8,3	2,4	3,4	6,4	2.2
Desviación estándar [mm]	1,9	0,7	0,8	2,2	0.6
Coeficiente de variación (%)	76,7	22,2	24,6	65,1	16.3
Tamaño muestra	20	20	20	20	20

A partir de las propiedades físicas de contenido de humedad y espesor, registradas en los Cuadros N°12 y N°13, se observa que los tableros tienen un control de humedad adecuado, manteniéndose en un rango inferior al 18% establecido como límite normativo. En particular, el mínimo valor promedio del contenido de humedad registrado fue 10,1% en el tablero de 12,1 mm del Fabricante 3, mientras que máximo valor promedio fue un 11,8% de contenido de humedad medido en el Fabricante 2. El máximo coeficiente de variación en esta medición es 11,3% y se registró en los tableros de 12 mm del Fabricante 3.

En lo referente al espesor, se observa que los fabricantes presentan un control dimensional adecuado, con un coeficiente de variación máximo del 1,5% registrado por en el Fabricante 2. De la misma forma, los valores de espesor promedio cumplen con el espesor nominal de ½” para los Fabricantes 1, 2 y 3 (12 mm), ⅝” para el Fabricante 3 (15 mm) y ¾” para el Fabricante 4. Respecto a las propiedades mecánicas, los Cuadros N°14 a N° 20 evidencian una clara diferencia entre los ejes resistentes principal y secundario, registrándose las mayores resistencias en el eje longitudinal del tablero.

En términos de rigidez en flexión, los tableros presentan un comportamiento relativamente homogéneo, alcanzando coeficientes de variación de hasta un 25% en el eje de resistencias principal y un 28% en el eje secundario. La propiedad de resistencia última en flexión por otra parte registro coeficientes de variación 57,2% y 45,5% para los ejes principal y secundario, respectivamente. En los ensayos de carga concentrada estática, carga concentrada estática con impacto y carga uniforme, los coeficientes de variación registrados son aún mayores, alcanzando valores de hasta 76,7% en el ensayo de deformación bajo carga uniforme.

Se destaca, que algunos fabricantes presentaron un desempeño altamente homogéneo ante solicitaciones específicas, como es el caso de la rigidez medida en el eje principal del Fabricante 3 (12 mm), con un 9,9% de coeficiente de variación y la resistencia última en el eje secundario de resistencia del Fabricante 2, con un coeficiente de variación del 13,7%.

5.2. Evaluación de Acuerdo a los Parámetros Normativos

El contenido de humedad de los tableros estructurales se registró considerablemente por debajo del límite normativo (18%) en todos los casos. En particular, el máximo valor registrado (12,6 %) en el Cuadro N°12 se encuentra más de 5 puntos porcentuales por debajo de dicho límite. El Cuadro N°21 registra la evaluación del espesor de acuerdo a los límites por categoría de desempeño.

Cuadro N°21
Límites de espesor por categoría de desempeño

Descripción	Espesor de los tableros contrachapados [mm]				
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Categoría de desempeño	½”	½”	½”	⅝”	¾”
Espesor referencial	11,8	11,8	12,1	14,8	17,9
Límite inferior (NCh 3617)	11,9			15,1	18,3
Límite superior (NCh 3617)	13,5			16,7	19,8

Por lo tanto, se observa que solo el Fabricante 3 (12 mm) cumple los criterios de espesor para clasificación por desempeño.

En el Cuadro N°22 se observa la evaluación de los resultados por categoría de desempeño para el eje de resistencia principal de los tableros, en términos de rigidez y resistencia.

Cuadro N°22
Resistencia y rigidez por categoría de desempeño

Descripción	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 3	Fabricante 4
Categoría de desempeño	½”	½”	½”	⅝”	¾”
Rigidez [lbf·in2·ft]	154.689	131.645	165.251	211.789	334.796
Grupo alcanzado en rigidez (NCh 3617)	1	2	1	2	2
Resistencia última [lbf*in/ft]	1.904	1.357	2.014	953	2.886
Grupo alcanzado en resistencia (NCh 3617)	1	1	1	4	1

El Cuadro N° 23 resume los requisitos normativos para los ensayos mecánicos ejecutados.

Cuadro N°23
Requisitos de carga y deformación de ensayo y categoría de span

Categoría	Requisito	Ensayo		
		Carga concentrada	Carga concentrada con impacto	Carga uniforme
Span Techo 24	Carga de prueba	400 lbf	300 lbf	7,2 kPa
	Deformación	12,7 mm	No aplica	2,5 mm
Span Techo 32	Carga de prueba	400 lbf	300 lbf	7,2 kPa
	Deformación	12,7 mm	No aplica	3,4 mm
Span Techo 40	Carga de prueba	400 lbf	300 lbf	7,2 kPa
	Deformación	12,7 mm	No aplica	4,2 mm

De acuerdo a los resultados registrados en los Cuadros N°9 a N°11 se determinó el cumplimiento de los límites normativos indicados en el Cuadro N°23, lo que permite asociar a cada Fabricante las siguientes categorías de span:

El Fabricante 1, cumple los requisitos de carga estática, carga estática concentrada y carga uniforme para el span Techo 24, por lo que puede ser asociado a la categoría Techo 24.

El Fabricante 2, cumple los requisitos de carga estática y carga estática concentrada para el span Techo 24, y cumple los requisitos de carga uniforme para el span Techo 32, por lo que puede ser asociado a la categoría Techo 24.

El Fabricante 3 (12 mm), cumple los requisitos de carga estática y carga estática concentrada para el span Techo 24, y cumple los requisitos de carga uniforme para el span Techo 32, por lo que puede ser asociado a la categoría Techo 24.

El Fabricante 3 (15 mm), cumple los requisitos de carga estática, carga estática concentrada y carga uniforme para el span Techo 32, por lo que puede ser asociado a la categoría Techo 32.

El Fabricante 4 (15 mm), cumple los requisitos de carga estática, carga estática concentrada y carga uniforme para el span Techo 40, por lo que puede ser asociado a la categoría Techo 40.

6. CONCLUSIONES

Se destaca que los coeficientes de variación en los resultados de ensayos de laboratorio de productos de ingeniería, usualmente se encuentran en torno al 12%, lo que se corrobora en las propiedades físicas medidas a los tableros. Sin embargo, tienen un comportamiento altamente heterogéneo en las propiedades mecánicas medidas, registrando un abanico de coeficientes de variación que va desde un 9,9% a un 76,6%.

El contenido de humedad de la muestra de tableros considerada en este estudio cumple con los requisitos normativos para tableros estructurales de acuerdo a NCh 3617.

Los tableros estructurales que fueron considerados en este estudio no presentan timbres o marcas en el tablero que indiquen su espesor nominal de comercialización. Sin embargo, el espesor registrado durante los ensayos solo cumple los límites normativos de espesor por categoría de desempeño, para el Fabricante 3 (12 mm) de ½", quedando por debajo de ellos los Fabricantes 1, 2, 3 (15 mm) y 4.

Respecto a la resistencia y rigidez bajo esfuerzos de flexión, los tableros cumplen con al menos uno de los grupos dentro de las categorías de desempeño ½", ⅝" y ¾". En particular, los Fabricantes 1 y 3 (12 mm) cumplen con los requisitos del grupo 1 dentro de su categoría de desempeño. Cabe destacar, que dada la gran dispersión de los resultados registrados por el Fabricante 4, este cumple solo para el grupo 4 dentro de la categoría de desempeño 5/8".

En lo referente a la clasificación de los tableros por span, con base en los resultados obtenidos de los ensayos de carga concentrada estática, carga concentrada estática con impacto y carga uniforme, todos los tableros cumplen al menos una categoría de span rating. Los tableros asociados a los Fabricantes 1, 2 y 3 (12 mm) cumplen la clasificación de span Techo 24, mientras que los tableros asociados a los Fabricantes 3 (15 mm) y 4 cumplen la clasificación de span Techo 32 y Techo 40, respectivamente.

Este informe utiliza los principales resultados de los ensayos mecánicos requeridos para clarificar los tableros de acuerdo a una categoría de span. Sin embargo, es necesario caracterizar otras propiedades, como el corte a través del espesor, la delaminación, calidad del adhesivo, desempeño térmico y considerar un proceso de timbrado adecuado desde fábrica, para dar un correcto uso a cada producto en el contexto de la construcción.

7. REFERENCIAS

ASTM (2015). ASTM E661:2003. Standard Test Methods for Performance of Wood and Wood-Based Floor and Roof Sheathing Under concentrated Static and Impact Loads. ASTM International, Estados Unidos. En: https://www.astm.org/e0661-03r15e01.html

ASTM (2017). ASTM D3043:2017. Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure. ASTM International, Estados Unidos. En: https://www.astm.org/d3043-17.html

CIM UC – MINVU (2023). Base de datos e Indicadores para el seguimiento de la Construcción en Chile. Centro Innovación en madera UC y Ministerio de Viveinda y Urbanismo, Chile.

Dzhurko, Daria; Haacke, Ben; Haberbosch, Asta; Köhne, Linde; König, Nora *et al.* (2024). Future buildings as carbon sinks: Comparative analysis of timber-based building typologies regarding their carbon emissions and storage. Frontiers in Built Environment, 10. En: https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1330105

Li, Z.; Tsavdaridis, K. D. and Katenbayeva, A. (2024). Reusable timber modular buildings, material circularity and automation: The role of inter-locking connections. Journal of Building Engineering, 98. En: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110965

INN (2022). NCh 3617/1:2022. Madera contrachapada estructural — Requisitos y ensayos. Structural Plywood: Requirement and tests. Instituto Nacional de Normalización, Chile. En: https://ecommerce.inn.cl/nch3617202280205

Poblete Hernández, P.; Gysling Caselli, J.; Alvarez González, V.; Bañados J.C; Kahler, C. *et al.* (2023). Anuario forestal 2023. Instituto Forestal, Chile. En: https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32652

Poblete Hernández, P y, Alvarez González, V. (2024). Exportaciones forestales. Enero-diciembre 2023. INFOR. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32694

United Nations Environment Programme (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi, Kenya. ISBN: 978-92-807-3984-8. En: https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction

8. ANEXO. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS Y FALLAS TÍPICAS

Las Figuras N°7 a N°11 muestran las probetas utilizadas para los ensayos de Flexión de tablero y los tipos de fallas paralelas y perpendiculares al eje de resistencia del tablero, encontradas durante los ensayos.

Figura N° 7
Probetas de 610x1220 mm, 200 unidades, para ensayo de flexión de tablero grande. LME INFOR.

Figura N° 8
Probeta longitudinal ensayada, falla perpendicular a la orientación del eje resistente. LME – INFOR.

Figura N° 9
Probeta ensayada, registro de espesor en zona de rotura. LME – INFOR.

Figura N° 10
Probeta longitudinal ensayada, falla perpendicular a la orientación del eje resistente. LME – INFOR.

Figura N° 11
Probeta longitudinal ensayada, falla paralela a la orientación del eje resistente.
LME – INFOR.

Las Figuras N°12 a N°18 muestran algunas de las probetas utilizadas para los ensayos de Carga concentrada estática y Carga uniforme, además de la implementación de los ensayos.

Figura N° 12
Carga de calibración de máquina de ensayos para Carga estática concentrada y Carga estática concentrada con impacto. LME – INFOR.

Figura N° 13
Ensayo de Carga estática concentrada. LME – INFOR.

Figura N° 14
Probeta ensayada en Carga estática concentrada con impacto, registro de espesor en zona de rotura. LME – INFOR.

Figura N° 15
Preparación de apoyos para ensayo y zona de medición para span 40. LME – INFOR

Figura N° 16
Preparación de apoyos para ensayo y zona de medición para span 40. LME – INFOR

Figura N° 17
Ensayo de Desempeño bajo cargas uniformes a span 24. LME – INFOR

Figura N° 18
Ensayo de Desempeño bajo cargas uniformes a span 32. LME – INFOR

INFOR

www.infor.cl