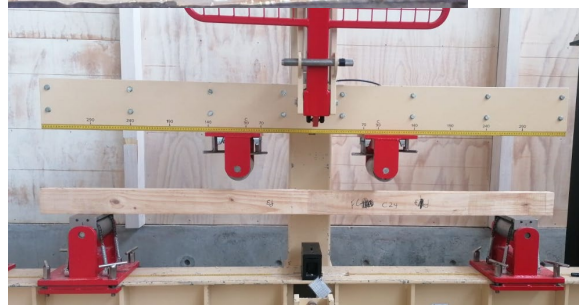




MADERA ESTRUCTURAL LATERAL DE PINO RADIATA CON UNIONES DENTADAS

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.

MADERA ESTRUCTURAL LATERAL DE PINO RADIATA CON UNIONES DENTADAS

Luis Vásquez Valenzuela¹ y Pablo Mardones Díaz.

**CONVENIO DE TRANSFERENCIA MINAGRI-INFOR 2025
TENSIONES ADMISIBLES DE ESPECIES MADERERAS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

**INSTITUTO FORESTAL
2025**

¹ Investigadores. Instituto Forestal. Sede Biobío luis.vasquez@infor.cl



INSTITUTO FORESTAL

Sucre 3397. Ñuñoa. Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-305-4

Registro de propiedad intelectual N° 2026-A-1815

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

Vásquez, Luis y Mardones, Pablo (2025). Madera Estructural Lateral de Pino Radiata con Uniones Dentadas. Instituto Forestal. Chile. Documento de Divulgación N° 81. P. 8.

PRÓLOGO

Según cifras del Anuario Forestal 2025 del Instituto Forestal, a diciembre 2023 Chile cuenta con 2,22 millones de hectáreas de plantaciones forestales, de las cuales 1,21 millones de hectáreas corresponden a pino radiata, representando el 54,5 % del total nacional.

El Boletín Estadístico N°202 del Instituto Forestal, La Industria del Aserrío 2024, señala que la producción de madera aserrada el año 2023 alcanzó los 6,87 millones de m³, donde el pino radiata participó con el 98,2 % del total, transformándose en la principal especie maderera del país. Respecto del número de aserraderos, el mismo año se contabilizaron 800 unidades trabajando, de los cuales 783 unidades producen menos de 100 mil m³/año.

La producción de madera aserrada se destina principalmente a la construcción, para lo cual debe cumplir una serie de requisitos técnicos, entre ellos el contenido de humedad (menor al 20 %), dimensiones uniformes, grado estructural (visual o mecánico) y preservación.

Considerando que no toda la madera aserrada que producen los aserraderos califica para fines estructurales, surge la necesidad de estudiar la recuperación de esta madera eliminando con el proceso de trozado las secciones que la desclasifican y uniendo los elementos remanentes con uniones dentadas.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
3.	ANTECEDENTES	1
4.	RESULTADOS	1
4.1.	Rendimientos	1
4.2.	Ensayos Mecánicos.....	3
4.2.1.	Ensayo de tracción.....	3
4.2.2.	Ensayo de flexión abatida.....	4
4.2.3.	Ensayo de flexión de canto	5
5.	ANÁLISIS DE DATOS	8
6.	CONCLUSIONES	8

1. INTRODUCCIÓN

La madera aserrada estructural es aquella que por sus características físicas y mecánicas resulta apta para ser empleada como elemento resistente en la construcción y cumple con las especificaciones de las normas técnicas y la normativa legal vigente (NCh 173: 2019).

La clasificación estructural es la técnica mediante la cual las piezas de madera aserrada se agrupan de acuerdo a su capacidad para resistir cargas o esfuerzos. Se identifican 2 métodos de clasificación estructural: visual, mecánico.

La clasificación visual considera la participación de una persona que evalúa las características de crecimiento de la madera y los defectos de procesamiento de la madera aserrada y le asigna un grado estructural. La clasificación mecánica, en tanto, demanda el uso de máquinas que utilizan rayos X, ondas de sonido, o que combinan dos o más tecnologías.

En el proceso de clasificación estructural se generan piezas que califican en algún grado estructural y piezas que se identifican como rechazo. Estas últimas son posibles de recuperar para un uso estructural eliminando los segmentos de madera que originaron el rechazo y pegando el material resultante con uniones dentadas y adhesivo.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Cuantificar el rendimiento de recuperación de un lote de madera lateral de pino radiata clasificada visualmente como rechazo.

Evaluar la calidad estructural de la madera aserrada lateral, generada a partir de los segmentos recuperados y conectados con uniones dentadas de tope.

3. ANTECEDENTES

En una actividad de terreno ejecutada en un aserradero de la región del Maule, se inspeccionó un total de 932 piezas de madera aserrada de pino radiata, provenientes de 5 paquetes de madera, corte lateral, seca (8 % contenido humedad promedio), escuadría 2x4" (46x100 mm), largo de 3,2m.

4. RESULTADOS

4.1. Rendimientos

Del volumen inspeccionado y clasificado según los criterios visuales de la norma NCh 1207 se obtuvo como resultado que 220 unidades no cumplieron con criterios normativos y se les catalogó como rechazo.

La Tabla N°1 registra la información desagregada de la cantidad de piezas rechazadas y la causa o defecto principal.

Tabla N°1: Piezas Rechazo por Tipo de Defecto

Defecto	Paquete N°1	Paquete N°2	Paquete N°3	Paquete N°4	Paquete N°5	Total
Canto muerto	26	8	13	30	33	110
Encorvadura	5		3	3	10	21
Arqueadura	2	2		3	2	9
Torcedura	4		2		37	43
Astillamiento	2	1	3	2		8
RANI > 50 %	6		3		4	13
RANT > 66 %				1	1	2
RANNA > 33 %					1	1
Desviación de fibra	2				1	3
Partidura en extremo			2	1	1	4
Pieza corta ($\leq 3,20$ m)			1			1
Snake			1			1
Bolsillo corteza			1			1
Pieza quebrada					3	3
Total						220

Las 220 piezas rechazadas, fueron llevadas al Laboratorio de Madera Estructural (LME-INFOR), donde se procedió a cortar segmentos de largos de 1.100 mm y 700 mm. Cada segmento fue elegido con el criterio del grado visual mínimo G2 dado por la norma NCh 1207.

La elección de los largos discretos de 700 mm y 1100 mm, se fundamentan en facilitar la operatividad del equipo de clasificación mecánica MTG y la capacidad de trabajo de las máquinas que elaboran las uniones dentadas. El total de bloques obtenidos corresponde a 230 unidades de 1.100 mm y 225 unidades de 700 mm.

La recuperación de madera con a lo menos un grado estructural G2 (410 m lineales), equivale a un 58 % de rendimiento. (Nota: 294 m de madera sin posibilidad de recuperación para uso estructural).

Cada bloque de madera fue clasificado con el equipo de MTG y separado en 2 grupos (C16 y C24 según valores objetivos tabulados en NCh 1198). Para verificar que la clasificación mecánica estuviera correcta, se ensayó cada bloque en flexión y se determinó su módulo de elasticidad. El rendimiento del conjunto fue de un 95 % (221 m C16 y 168 m C24).

Los 389 m lineales de bloques recuperados y clasificados en dos grados estructurales mecánicos C16 y C24 fueron cepillados a un espesor uniforme y posteriormente enviadas a una fábrica de elementos laminados (junio 2025). En ese lugar se confeccionaron lamelas, las cuales se componen de los bloques con uniones dentadas y adhesivo MUF.

Se fabricaron 63 lamelas de 6 m de largo (378 m), repartidas en 36 lamelas con grado C16 y 27 lamelas con C24, con un 97 % de rendimiento (perdidas asociadas al fresado de los dientes).

A partir de los rendimientos determinados en cada etapa, y para la muestra de madera lateral evaluada, es posible recuperar para fines estructurales el 53% de la madera aserrada que no calificó para la clasificación mecánica.

El largo del diente empleado en las uniones dentadas fue de 15 mm, hecho con una fresa del tipo cabezal finger. El adhesivo aplicado fue MUF, con componentes 1.242 adhesivo/2.542 endurecedor, mezcla 100:25. Se aplicó una presión de prensado de 1.500 a 2.000 [PSI].

4.2. Ensayos Mecánicos

De las lamelas disponibles, se cortaron probetas para evaluar la calidad de las uniones dentadas.

El diseño experimental considerado es el que se indica:

Grados estructurales: 2 (C16 y C24)

Ensayos mecánicos: 3 (tracción, flexión abatida, flexión de canto)

Repeticiones: 10 tracción, 20 flexión abatida y 20 flexión de canto

Total ensayos: 100

Los ensayos mecánicos se ejecutaron según indicaciones de la norma NCh 3028-1. Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural.

4.2.1. Ensayo de tracción

Las Tablas N°2 y N°3 registran los resultados de ensayo de rotura a tracción para las probetas con grado estructural C16 y C24, respectivamente.

Tabla N°2: Tensiones de Rotura en Tracción, Probetas C16

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]
1	102,3	43,5	102.901	23,1
2	101,5	43,7	133.260	30,1
3	103,0	43,6	133.811	29,8
4	100,4	43,6	102.211	23,3
5	102,0	43,3	140.552	31,8
6	101,2	43,4	97.520	22,2
7	102,0	43,6	133.130	30,0
8	102,9	43,7	172.291	38,4
9	100,9	43,5	120.704	27,5
10	103,1	43,5	130.222	29,1
Promedio			126.660	28,5

Tabla N°3: Tensiones de Rotura en Tracción, Probetas C24

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]
1	101,7	43,6	69.648	15,7
2	101,5	43,8	132.685	29,9
3	101,6	43,4	120.217	27,3
4	101,8	43,7	115.311	25,9
5	101,8	43,7	106.298	23,9
6	100,6	43,4	142.277	32,6
7	100,7	43,2	134.055	30,9
8	101,6	43,4	157.934	35,9
9	101,0	43,4	93.036	21,2
10	101,1	43,2	105.857	24,3
Promedio			117.732	26,8

4.2.2. Ensayo de flexión abatida

Las Tablas N°4 y N°5 registran los resultados de ensayo de rotura a flexión abatida para las probetas con grado estructural C16 y C24, respectivamente.

Tabla N°4: Tensiones de Rotura en Flexión Abatida, Probetas C16

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]	Pendiente	MOE [MPa]
1	101,8	43,4	8.911	36,0	719	8.536
2	101,6	43,2	9.459	38,6	741	8.933
3	102,2	43,5	6.919	27,8	627	7.385
4	101,3	43,5	7.076	28,6	654	7.749
5	102,0	43,6	7.049	28,1	561	6.553
6	102,3	43,3	8.922	36,1	672	8.022
7	101,8	43,6	6.927	27,7	647	7.576
8	100,1	43,6	9.692	39,5	830	9.913
9	101,2	43,5	11.329	45,9	893	10.628
10	100,9	43,2	10.279	42,4	648	7.897
11	102,0	43,2	9.733	39,6	772	9.270
12	101,5	43,3	7.399	30,1	714	8.556
13	102,5	43,2	9.854	39,9	940	11.233
14	101,1	43,7	7.740	31,0	578	6.765
15	101,9	43,4	11.946	48,2	795	9.424
16	102,5	43,1	10.512	42,7	801	9.638
17	101,7	43,7	9.087	36,2	682	7.935
18	100,4	43,3	12.865	52,9	1.000	12.115
19	101,0	43,7	11.081	44,5	826	9.677
20	100,8	43,4	10.264	41,8	861	10.318
Promedio						8.906

Tabla N°5: Tensiones de Rotura en Tensión Abatida, Probetas C24

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]	Pendiente	MOE [MPa]
1	100,9	43,4	6.270	25,6	801	9.623
2	100,4	43,5	8.428	34,3	797	9.523
3	100,1	43,4	9.536	39,3	957	11.595
4	102,5	43,6	15.104	60,2	923	10.771
5	100,7	43,4	14.135	57,7	1.044	12.524
6	101,4	43,4	10.225	41,5	847	10.125
7	100,0	43,6	9.278	37,9	941	11.256
8	100,5	43,6	11.198	45,4	1.071	12.703
9	102,6	43,8	12.883	50,8	920	10.579
10	101,1	43,4	12.135	49,5	1.010	12.116
11	100,7	43,6	11.875	48,0	942	11.145
12	100,3	43,4	10.114	41,4	791	9.526
13	100,4	43,7	8.282	33,4	922	10.866
14	101,3	43,4	13.655	55,4	1.032	12.306
15	100,6	43,3	10.448	42,9	1.026	12.405
16	101,6	43,6	10.326	41,4	939	11.011
17	99,9	43,5	12.960	53,1	958	11.504
18	100,8	43,9	12.191	48,6	886	10.259
19	100,4	43,6	8.953	36,3	817	9.695
20	100	43,3	9.284	38,3	917	11.154
Promedio						11.034

4.2.3. Ensayo de flexión de canto

Las Tablas N°6 y N°7 registran los resultados de ensayo de rotura a flexión de canto para las probetas con grado estructural C16 y C24, respectivamente.

Tabla N°6: Tensiones de Rotura en Flexión de Canto, Probetas C16

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]	Pendiente	MOE [MPa]
1	101,7	42,6	6.510	26,6	266	7.373
2	101,0	43,1	6.127	25,1	298	8.347
3	100,8	43,6	10.755	43,7	374	10.414
4	103,2	43,2	5.117	20,0	320	8.370
5	101,6	43,5	4.854	19,5	289	7.888
6	101,0	43,4	7.824	31,8	350	9.722
7	101,1	43,4	4.699	19,1	307	8.502
8	101,3	43,7	5.513	22,2	302	8.279
9	100,9	43,3	8.499	34,7	279	7.802
10	101,2	43,3	7.391	30,0	375	10.378
11	102,9	43,6	6.992	27,3	265	6.928
12	101,5	43,6	6.069	24,3	241	6.565
13	100,3	43,5	6.941	28,5	246	6.961
14	101,7	43,7	8.293	33,0	310	8.376
15	101,3	43,4	5.550	22,4	272	7.488
16	99,3	43,3	9.825	41,4	277	8.115
17	101,5	43,5	7.557	30,4	254	6.935
18	101,5	43,4	11.448	46,1	295	8.073
19	100,7	43,5	9.208	37,6	270	7.549
20	101,1	43,7	5.721	23,1	250	6.876
Promedio						8.047

Tabla N°7: Tensiones de Rotura en Flexión de Canto, Probetas C24

Probeta N°	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima [N]	Tensión [MPa]	Pendiente	MOE [MPa]
1	101,7	43,6	9.614	38,4	410	11.103
2	101,0	43,6	7.574	30,7	403	11.142
3	101,1	43,2	10.473	42,8	414	11.549
4	100,8	43,6	11.918	48,5	408	11.361
5	99,8	43,5	10.297	42,8	349	10.036
6	99,7	43,3	11.851	49,7	404	11.724
7	99,8	43,2	10.337	43,2	377	10.904
8	100,6	43,5	9.586	39,2	355	9.967
9	100,5	43,6	11.135	45,6	459	12.915
10	101,7	43,4	10.399	41,7	430	11.712
11	100,5	43,6	7.498	30,6	315	8.840
12	100,2	43,2	10.994	45,6	368	10.517
13	102,5	43,6	7.400	29,1	298	7.883
14	103,7	43,5	10.823	41,6	335	8.577
15	102,9	43,6	11.609	45,3	351	9.177
16	100,2	43,7	6.772	27,8	337	9.521
17	102,3	43,5	9.014	35,6	320	8.534
18	101,5	43,6	6.314	25,3	341	9.289
19	101,1	43,3	9.593	39,0	318	8.827
20	100,9	43,4	10.683	43,5	373	10.391
Promedio						10.198

5. ANÁLISIS DE DATOS

La Tabla N°1 registra que más del 50 % de la madera que califica como rechazo se asocia a la presencia de canto muerto y poco más del 7 % a nudos, lo que refleja que la muestra de madera fue extraída de las zonas más al borde del esquema de corte.

Las Tablas N°2 y N°3 registran que los valores mínimos obtenidos en el ensayo de tracción para los grados C16 y C24, equivalentes a 22,2 y 15,7 MPa, respectivamente.

Las Tablas N°4 y N°5 registran que los valores promedios de Módulo de Elasticidad medido de forma abatida para los grados C16 y C24, equivalentes a 8.906 y 11.034 MPa, respectivamente.

Las Tablas N°6 y N°7 registran que los valores promedios de Módulo de Elasticidad medido de canto para los grados C16 y C24, equivalentes a 8.047 y 10.198 MPa, respectivamente.

6. CONCLUSIONES

A partir de los rendimientos determinados en cada etapa para la muestra de madera lateral de pino radiata evaluada es posible recuperar para fines estructurales el 53 % de la madera aserrada que no calificó para la clasificación mecánica.

Los valores tabulados en NCh 1198 para las tensiones de tracción admisibles de los grados C16 y C24 son 3,5 y 4,7 MPa, respectivamente. Sus correspondientes valores característicos, que resultan al multiplicarlos por el factor 2,1 señalado en la norma NCh 3028/2, son 7,4 y 9,9 MPa. En atención a lo anterior, todos los resultados de los ensayos de tracción con madera dentada C16 y C24 están por sobre lo que se pide al grado estructural respectivo. Se destaca que la cantidad de ensayos ejecutados no es suficiente para una adecuada representación estadística.

Los valores tabulados en NCh 1198 para el Módulo de Elasticidad promedio de los grados C16 y C24 son 7.900 y 10.200 MPa, respectivamente. En atención a lo anterior, los resultados promedios obtenidos de forma abatida y de canto para la madera dentada C16 y C24 están dentro de lo esperado para los grados estructurales. Se destaca que la cantidad de ensayos ejecutados no es suficiente para una adecuada representación estadística.

Los resultados de este estudio son específicos para la muestra de madera analizada (lateral) y permiten establecer un punto de referencia. Se sugieren estudios complementarios con madera central, donde probablemente el rechazo por desclasificación sea mayor y la recuperación menor.



INFOR

www.infor.cl