

C. D. O.: 862.2

RESISTENCIAS MECANICAS DE TABLEROS DE PARTICULAS PRODUCIDOS CON MEZCLAS DE ESPECIES CHILENAS

H. Poblete

SUMMARY

Bending strength, MOR, and tensile strength, IB, were determined on particleboards. The panels were made up with the Chilean woods: *Saxegothea conspicua*, *Podocarpus saligna*, *Nothofagus dombeyi*, *Drimys winteri*, *Laurelia philippiana*, *Weinmania trichosperma*, *Eucryphia cordifolia*, a few *Myrtus* and mixtures of all these.

Panels density varied between 400 kg/m³ and 800 kg/m³.

Other processing parameters were:

Board thickness: 11mm; Adhesive contents: 7,9 percent urea—resin solids, based on oven-dry weight of particles; Proportion of face and core layers: 30 percent face layers and 70 percent core layer.

The recorded strengths of each species were weighted with the species participation on the particle mixtures, and a "weighted strength" was calculated. Comparisons of weighted strength and the actual strength of the particle mixture were made.

The mean differences, between actual and weighted strength, were 0,062 N/mm² for internal bond and 0,562 N/mm² for bending strength. The difference, as a percentage of the weighted strength, was 4% for bending strength and 10,3% for internal bond.

The statistical analysis shows no signifi-

cant differences between actual and weighted strength. The "F" value for tensile strength was 0,2021 with a probability of 0,6545.

The differences between the empirically determined bending strength and their actual values, were smaller than those of the internal bond tests. The "F" value for bending strength was 0,0508 and the probability value was 0,8224.

RESUMEN

Se determinaron las propiedades flexión estática y tracción perpendicular, en tableros de partículas producidos con las especies *Saxegothea conspicua*, *Podocarpus saligna*, *Nothofagus dombeyi*, *Drimys winteri*, *Laurelia philippiana*, *Weinmania trichosperma*, *Eucryphia cordifolia*; una mezcla de Mirtaceas; y mezclas de todas estas especies.

Los tableros fueron producidos con tres capas, dos externas y una media, y con densidades de 400 Kg/m³ a 800 Kg/m³. Como adhesivo se utilizó ureaformaldehído (7,9%).

A partir de los valores obtenidos para cada especie se calculó empíricamente la resistencia de los tableros confeccionados con las mezclas, ponderando la resistencia de cada especie por el porcentaje de su participación. Este resultado se comparó con los valores reales, obtenidos de los es-

sayos realizados con tableros de mezclas de especies.

La diferencia promedio entre los valores calculados por ponderación y los reales, obtenidos de los tableros confeccionados con mezclas, fue de $0,062 \text{ N/mm}^2$ en tracción y de $0,562 \text{ N/mm}^2$ en flexión.

Los resultados obtenidos prueban que conociendo las propiedades de las especies se puede determinar la resistencia de las mezclas con un error máximo de $2,83 \text{ N/mm}^2$ en flexión y de $0,156 \text{ N/mm}^2$ en tracción.

INTRODUCCION

Una posibilidad de utilizar el bosque nativo degradado, consiste en destinar el material leñoso a la producción de tableros de partículas. Dada la variabilidad de la composición de los bosques que son factibles de cosechar, la fabricación de tableros debe considerar distintas mezclas de especies, con la consecuente variación de las proporciones en que cada una de ellas participa en la mezcla, según se trate de una región u otra. Al variar la composición de la mezcla, se producen alteraciones en las características de los tableros, ya que se introducen cambios en propiedades tales como densidad de la madera, valor de pH y composición química, que como ya ha sido comprobado, afectan al proceso de fabricación y al producto final. (Vital, Kehman, Boone 1974; Kollmann, Kuenzi, Stamm 1975; Kelly 1977).

Esta variabilidad de la composición del bosque, y por lo tanto de las propiedades de los tableros, hacen interesante el determinar si es posible calcular la resistencia de un tablero producido con una mezcla de especies, conociendo las propiedades mecánicas de los tableros fabricados con cada una de las especies y ponderando su resistencia por el porcentaje con que ellas participan en la mezcla.

MATERIALES Y METODOS

El material utilizado en el estudio correspondió a virutas de madera producidas con especies que crecen entre los $41^{\circ}00'$ y $41^{\circ}50'$ de latitud Sur y los $72^{\circ}45'$ y $73^{\circ}45'$ de longitud Este. Vale decir, el llano central de la provincia de Llanquihue, donde se ubican los terrenos con asociaciones de suelos denominados "ÑADÍ" (Urzúa *et al.*, 1980).

Las especies incluidas en el estudio fueron seleccionadas de acuerdo con su volumen de participación en el bosque. Ellas fueron:

- Mañíos (*Saxegothea conspicua* y *Podocarpus saligna*)
- Coigüe (*Nothofagus dombeyi*)
- Canelo (*Drimys winteri*)
- Tepa (*Laurelia philippiana*)
- Tineo (*Weinmania trichosperma*)
- Ulmo (*Eucryphia cordifolia*)
- Otras (Este grupo comprende varias Mirtaceas)

Con estas especies se elaboraron partículas finas para las capas externas, y gruesas para las capas medias de los tableros. Las dimensiones promedio de las partículas finas fueron $0,28 \text{ mm}$ de espesor y $6,69 \text{ mm}$ de largo. En el caso de las partículas gruesas, su espesor fue de $0,38 \text{ mm}$ y $25,10 \text{ mm}$ de largo. Estas partículas fueron encoladas con ureaformaldehído y se fabricaron tableros de 11 mm de espesor. Un 30% del material incluido en el tablero correspondió a las capas externas con partículas finas.

Los tableros confeccionados comprendían una serie por cada especie con densidades de $400, 500, 600, 700$ y 800 Kg/m^3 de densidad. Se fabricaron además tableros con distintas mezclas de las especies cuyas proporciones representaron el porcentaje de volumen con que participaron en 7 zonas diferentes del área muestreada. La identificación de las zonas así como la estimación de los volúmenes por especie

fueron realizadas basándose en un inventario efectuado en el área.

La composición de estas mezclas, ex-

Cuadro 1. Proporción (en%) de las especies en las mezclas de partículas para la confección de los tableros.

Species participation as a % of particle mixture for board manufacture.

ESPECIE	PARTICIPACION DE LAS ESPECIES EN LAS MEZCLAS						
	1	2	3	4	5	6	7
MAÑIOS	4	0	5	7	12	0	5
COIGUE	55	35	28	39	51	32	40
CANELO	9	11	15	22	10	2	11
TEPA	12	15	10	7	9	3	9
TINEO	12	1	5	16	5	3	7
ULMO	6	37	29	8	13	15	18
OTRAS	2	1	8	1	0	45	10

En la fabricación de los tableros con mezclas de especies se controló la densidad, dejándola a niveles iguales a la de los fabricados con especies individuales.

El contenido de humedad de los tableros se normalizó, almacenándolos hasta peso constante en una cámara de clima, según los requisitos establecidos por la norma DIN 50014.

De cada tablero se obtuvieron 12 probetas para la determinación de la propiedad Flexión estática (DIN 52362) y 16

probetas para Tracción perpendicular (DIN 52365).

Esta cantidad de probetas y las repeticiones, 4 por cada tipo de tablero, dieron origen a un total de 672 observaciones de flexión y 896 de tracción.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados en los ensayos de flexión y tracción realizados con los tableros que incluyeron las especies por separado, se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro 2. Resistencias a la flexión (N/mm^2) y a la tracción (N/mm^2) por especie y densidad de tablero. Ensayos realizados según DIN 52362 y DIN 52365 respectivamente.

Bending strength, MOR (N/mm^2) and internal bond, IB (N/mm^2) for different species and board density. Tested in accordance to DIN 52362 (MOR) and DIN 52365 (IB) standards.

ESPECIE	DENSIDAD DEL TABLERO (Kg/m^3)									
	400		500		600		700		800	
	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T
MAÑIOS	5,927	0,204	12,234	0,562	19,931 *	0,924	29,024	1,234	39,532	1,643
COIGUE	5,904	0,202	12,329	0,511	18,749	0,823	25,173	1,134	31,601	1,432
CANELO	5,325	0,171	12,202	0,478	19,072	0,779	25,949	1,089	32,819	1,391
TEPA	3,989	0,089	8,483	0,282	13,989	0,469	20,488	0,653	27,989	0,841
TINEO	4,936	0,091	11,453	0,403	17,948	0,713	24,461	1,024	30,972	1,344
ULMO	3,947	0,129	8,447	0,471	13,952	0,804	20,453	1,141	27,947	1,468
OTRAS	4,032	0,130	8,529	0,441	14,031	0,761	20,534	1,081	28,031	1,392

F = Flexión estática en N/mm^2

T = Tracción perpendicular al plano en N/mm^2

Se constató una vez más que la resistencia del tablero depende tanto de la densidad del tablero como de la especie utilizada. Es así como a medida que la densidad del tablero aumenta, aumenta su resistencia. En cuanto a las especies los Mañíos presentaron las mejores propiedades, tanto en flexión como en tracción, alcanzando con 800 Kg/m^3 de densidad un valor máximo de $39,53 \text{ N/mm}^2$ en flexión y de $1,64 \text{ N/mm}^2$ en tracción. Los valores más bajos de flexión se obtuvieron con Ulmo y Tapa, esta última también fue la más débil en los ensayos de tracción.

Los valores obtenidos de los tableros de especies individuales fueron ponderados por los distintos porcentajes con que participaron en las mezclas. Este procedimiento permitió calcular las resistencias a la flexión y a la tracción, denominándose "resistencias ponderadas". Por otra parte, las resistencias medidas en los tableros producidos con mezclas de especies se denominaron "resistencias reales".

Resistencias de las mezclas a la flexión

Los resultados de las resistencias ponderadas se compararon con los valores de resistencias reales, obtenidas del ensayo de los tableros producidos con las mezclas y se presentan, para el caso de flexión, en el Cuadro N° 3.

La tendencia a aumentar la resistencia con la densidad también se observó en las mezclas. La mezcla de mejores propiedades fue la 5, donde sin duda, la mayor participación de MAÑÍOS, en desmedro de otras especies, tuvo una influencia importante. Este efecto se ve corroborado por los bajos niveles de resistencia alcanzados por la mezcla 6, donde estas especies no participaron.

En el Cuadro N° 3 se incluye, además de la flexión medida en el tablero y de la obtenida por ponderación, la diferencia entre ambas. Este parámetro alcanza su

nivel máximo en la mezcla 4 a una densidad de 800 Kg/m^3 , con una diferencia de $2,830 \text{ N/mm}^2$ a favor de la flexión ponderada. Esta diferencia significa que, en este caso, al determinar la flexión ponderada se obtiene un valor que es un $8,9\%$ mayor que el real.

La diferencia mínima fue de $0,008 \text{ N/mm}^2$ y se presentó en la Mezcla N° 3, con 600 Kg/m^3 de densidad.

Las diferencias entre los valores reales y los ponderados no siguen una tendencia definida. En general, los valores ponderados fueron superiores a los reales. El promedio de estas diferencias fue de $0,562 \text{ N/mm}^2$.

Al analizar las diferencias expresadas como porcentaje de la flexión ponderada, se constató que la diferencia porcentual máxima se produjo en la mezcla N° 3 con una densidad de 400 Kg/m^3 . En este caso la flexión ponderada fue $12,6\%$ superior a la real. Cabe agregar que de todos los tableros estudiados sólo cuatro casos, con densidad 400 Kg/m^3 , tuvieron diferencias superiores a un 10% . Esto ocurrió en las mezclas N° 1, N° 3, N° 5 y N° 6. Este comportamiento se explica por las bajas resistencias de los tableros a ese nivel de densidad, lo cual acentúa la expresión porcentual de la diferencia, pese a que estas fluctuaron entre $0,468 \text{ N/mm}^2$ y $0,742 \text{ N/mm}^2$. La diferencia porcentual promedio fue de $4,0\%$.

Al someter los valores de flexión a un análisis de varianza se pudo comprobar que no existen diferencias significativas entre las resistencias reales y las calculadas por ponderación. Con esta prueba estadística se determinó un valor "F" de $0,0508$ y u a probabilidad de $0,8224$.

Resistencia de las mezclas a la tracción

Las resistencias a la tracción medidas en los tableros con mezclas de especies y las calculadas por ponderación, se presentan

Cuadro 3. Comparación de los valores de Flexión de las mezclas con los obtenidos por ponderación de las especies. El signo (+) indica que la diferencia es a favor de la resistencia ponderada y el signo (—) que la diferencia es a favor de la flexión real.

Modulus of rupture comparisions of particle mixture with that of weighted species. The (+) sing stands for a difference favouring the weighted strength and the (-) sign favouring the actual bending strength.

MEZCLAS N°	DENSIDAD Kg/m ³	FLEXION REAL N/mm ²	FLEXION PONDERADA N/mm ²	DIFERENCIA N/mm ² (%)	
Mezcla 1	400	5,349	6,091	+ 0,742	(12,2)
	500	11,312	11,439	+ 0,131	(1,1)
	600	17,871	17,783	-0,092	(0,5)
	700	24,404	24,381	-0,023	(0,1)
	800	30,943	31,247	+ 0,310	(1,0)
Mezcla 2	400	4,674	4,807	+ 0,138	(2,9)
	500	9,971	10,246	+ 0,275	(2,7)
	600	16,442	16,241	-0,201	(1,2)
	700	22,918	22,768	-0,150	(0,7)
	800	29,389	29,803	+ 0,414	(1,4)
Mezcla 3	400	4,360	4,986	+ 0,626	(12,6)
	500	10,192	10,703	+ 0,511	(4,8)
	600	16,948	16,940	-0,008	(0,0)
	700	23,716	23,731	+ 0,015	(0,0)
	800	30,479	31,084	+0,605	(1,9)
Mezcla 4	400	5,011	5,321	+0,310	(5,8)
	500	11,073	11,540	+ 0,467	(4,1)
	600	17,019	18,007	+ 0,988	(5,5)
	700	24,231	24,742	+0,511	(2,1)
	800	28,920	31,750	+ 2,830	(8,9)
Mezcla 5	400	4,762	5,369	+0,607	(11,4)
	500	10,941	11,402	+0,461	(4,0)
	600	17,544	17,827	+0,283	(1,6)
	700	25,338	24,601	-0,747	(3,0)
	800	31,077	31,660	+0,583	(1,8)
Mezcla 6	400	4,200	4,668	+ 0,468	(10,1)
	500	9,294	9,890	+ 0,596	(6,1)
	600	14,788	15,746	+0,958	(6,1)
	700	21,293	22,227	+0,934	(4,2)
	800	28,791	29,341	+0,550	(1,9)
Mezcla 7	400	5,059	5,070	+0,011	(0,2)
	500	10,082	10,820	+ 0,738	(6,8)
	600	16,380	17,031	+ 0,651	(3,8)
	700	22,683	23,662	+0,981	(4,1)
	800	28,979	30,749	+ 1,770	(5,8)

en el Cuadro N° 4. De la misma forma que en el caso de flexión, los valores se entregan junto a la densidad del tablero in-

cluyéndose las diferencias existentes entre tracción ponderada y real.

Cuadro 4. Comparación de los valores de Tracción de las mezclas con los obtenidos por ponderación de las especies. El signo (+) indica que la diferencia es a favor de la resistencia ponderada y el signo (-) que es a favor de la tracción real.

Internal bond comparisons of particle mixture with that of weighted species. The (+) sign stands for a difference favouring the weighted strength and the (-) sign favouring the actual internal bond.

MEZCLAS N°	DENSIDAD Kg/m ³	TRACCION REAL N/mm ²	TRACCION PONDERADA N/mm ²	DIFERENCIA N/mm ² (%)	
Mezcla 1	400	0,157	0,165	+ 0,008	(4,8)
	500	0,385	0,465	+0,080	(17,2)
	600	0,681	0,763	+ 0,082	(10,7)
	700	0,980	1,059	+0,079	(7,5)
	800	1,273	1,356	+ 0,083	(6,1)
Mezcla 2	400	0,096	0,153	+0,057	(37,2)
	500	0,300	0,456	+ 0,156	(34,2)
	600	0,640	0,754	+0,114	(15,1)
	700	0,980	1,056	+ 0,076	(7,2)
	800	1,319	1,351	+ 0,032	(2,4)
Mezcla 3	400	0,131	0,153	+ 0,022	(14,4)
	500	0,360	0,462	+ 0,102	(22,1)
	600	0,720	0,768	+ 0,048	(6,3)
	700	1,079	1,074	-0,005	(0,5)
	800	1,439	1,379	-0,060	(4,4)
Mezcla 4	400	0,158	0,162	+ 0,004	(2,5)
	500	0,412	0,469	+0,057	(12,2)
	600	0,714	0,774	+0,060	(7,8)
	700	1,020	1,077	+0,057	(5,3)
	800	1,318	1,383	+0,065	(4,7)
Mezcla 5	400	0,170	0,173	+ 0,003	(1,7)
	500	0,420	0,482	+0,062	(12,9)
	600	0,769	0,695	-0,074	(10,6)
	700	1,123	1,091	-0,032	(2,9)
	800	1,477	1,399	-0,078	(5,6)
Mezcla 6	400	0,166	0,151	-0,015	(9,9)
	500	0,387	0,461	+ 0,074	(16,1)
	600	0,685	0,775	+0,090	(11,6)
	700	0,983	1,090	+0,107	(9,8)
	800	1,281	1,398	+0,117	(8,3)
Mezcla 7	400	0,141	0,159	+ 0,018	(11,3)
	500	0,380	0,466	+ 0,086	(18,5)
	600	0,698	0,771	+0,073	(9,4)
	700	1,016	1,076	+0,060	(5,6)
	800	1,334	1,379	+ 0,045	(3,3)

Como era de esperar se observó que la resistencia a la tracción aumenta junto

con la densidad del tablero. Nuevamente la Mezcla 5 fue la de mejores propiedades.

Este hecho confirma el efecto positivo de incluir a las especies MAÑIOS en una mayor proporción (12%), las cuales en los ensayos por especie registraron las resistencias más altas en tracción.

La diferencia mayor entre tracción ponderada y tracción real, medida en los tableros producidos con mezclas de especies, se produjo en la Mezcla 2, y fue de $0,156 \text{ N/mm}^2$ con una densidad de tablero de 500 Kg/m^3 . Esta diferencia significó incurrir en un error de 34,2%, calculado en base a la tracción ponderada. La menor diferencia se produjo en la Mezcla 5, con 400 Kg/m^3 de densidad y fue de $0,003 \text{ N/mm}^2$.

El análisis de las diferencias entre los valores ponderados y reales permite aseverar que no existe una relación con la densidad del tablero. Sin embargo, la gran mayoría, 83% de los casos, arroja diferencias en favor de los valores de tracción obtenidos por ponderación. En general, sin considerar si la diferencia fue positiva o negativa con respecto a la tracción ponderada, el promedio de estas diferencias fue de $0,062 \text{ N/mm}^2$.

Al expresar las diferencias como porcentaje de la tracción ponderada, se comprobó que son mayores a los observados para flexión. Las diferencias porcentuales máximas se dan en la mezcla 2 con densidades de tablero de 400 y 500 Kg/m^3 . Estos porcentajes fueron 37,2% y 34,2% respectivamente. La diferencia porcentual menor se dio en la mezcla 3 con 700 Kg/m^3 de densidad. En este caso la tracción ponderada fue 0,5% menor que la tracción real.

Las cifras en el Cuadro N° 4 permiten constatar la ausencia de alguna relación con la densidad del tablero o con el tipo de mezcla. Las mezclas con menores porcentajes promedio de diferencia fueron las 4 y 5 con 6,5% y 6,7% respectivamente. El promedio general fue de 10,3%, vale decir, 6,3% superior al caso de fle-

xión.

La posibilidad de predecir la resistencia a la tracción con un error de 10,3%, puede ser un aspecto negativo al aplicar este procedimiento. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en la práctica esta propiedad mecánica es menos requerida que la flexión.

El análisis estadístico reveló que no existen diferencias significativas entre la resistencia a la tracción ponderada y la real. El valor "F" calculado fue de 0,2021 con una probabilidad de 0,6545. La comparación de estos parámetros con los obtenidos para flexión, permiten comprobar la mayor exactitud del cálculo por ponderación con esta última propiedad mecánica.

Los análisis estadísticos demuestran, tanto en flexión como en tracción, que los valores reales y los ponderados no presentan diferencias significativas. Esto significa que en áreas donde la composición del bosque es muy variable, como el caso en estudio, no es necesario efectuar ensayos para cada sector, ya que basta con determinar las propiedades de las especies que lo componen.

De esta forma, la posibilidad de predecir la resistencia de una mezcla, facilita el aprovechamiento del bosque nativo y permite efectuar los ajustes necesarios al proceso de producción, para cumplir con los requisitos exigidos al producto elaborado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que es posible calcular la resistencia de una mezcla de especies, por medio de una ponderación de las propiedades de cada especie.

El análisis estadístico de los valores ponderados y los reales permitió verificar que no existen diferencias significativas entre ellos.

Sin embargo, el resultado del cálculo de

flexión es más exacto que el de tracción. Las diferencias porcentuales promedio entre las resistencias reales y ponderadas fueron de 4,0% en flexión y 10,3% en tracción. Así mismo el análisis de varianza

dio un valor de probabilidad de 0,8224 en flexión y 0,6545 en tracción.

El promedio de las diferencias fue de 0,562 N/mm² en flexión y de 0,062 N/mm² en tracción.

REFERENCIAS

- KELLY, M. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameter and physical properties of particleboard. For. Prod. Lab. FPL-10 Madison, Wiss 64 p.
- KOLLMANN, F.; KUENZI, E.; STAMM, A. 1975. Principles of Wood Science. II Wood Based Materials. Springer—Verlag. Berlin. 703 p.
- URZUA, D.; COX, F.; REAL, P.; CUEVAS, R. 1980. Utilización silvoagropecuaria de los terrenos de Ñadi. Informe N° 1. Inventario forestal zona de Ñadi. Facultad de Ing. Forestal, Univ. Austral de Chile. Informe N° 22. 275 p.
- VITAL, B.; KEHMANN, W.; BOONE, R. 1977. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. Forest Products Journal 24(12): 37-45.

Recibido en Mayo 1986

El autor

HERNAN POBLETE W. Dr. Ingeniero Forestal, Profesor Instituto de Tecnología de Productos Forestales UACH. Casilla 567 - Valdivia - Chile.