

## Tableros de desechos del debobinado de especies chilenas \*

Particleboards from peeling wastes of Chilean woods

CD.O.: 862.2

HERNAN POBLETE W. y MIGUEL PEREDO L.

Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales,  
Universidad Austral de Chile, Casilla 853,  
Valdivia, Chile.

### SUMMARY

The feasibility of using peeling wood wastes, from different Chilean native woods, in the production of particleboard was studied.

The characteristics of the raw material and its influence on board properties was determined.

The processing parameters for board production, which reached the German DIN standards, were also given.

### RESUMEN

El estudio intenta determinar la factibilidad de producir tableros de partículas utilizando como materia prima desechos obtenidos de la producción de chapas y tableros contrachapados.

Con el objeto de determinar las condiciones de fabricación se determinaron las características de los desechos, la influencia que este material tiene sobre los tableros y la forma de producir un tablero que cumpla con las exigencias establecidas en las normas correspondientes.

La conclusión general es que con los desechos de la producción de láminas de madera se pueden fabricar tableros de partículas que cumplen con todos los requisitos estipulados por la norma alemana DIN.

### INTRODUCCION

La industria de tableros de partículas ofrece la posibilidad de utilizar maderas tradicionalmente no comerciales o desechos de otras instalaciones.

La revisión de la literatura relacionada con la inclusión de desechos de contrachapados indica que ya en la década de los 40 existía interés por dar un mejor uso a estos subproductos. Elmendorf (1949) describe un tipo de maquinaria que permitía obtener partículas semejantes a la lana de madera a partir de restos de chapas, e informa sobre algunos tableros confeccionados con este material. En 1962 Kehr estudia las propiedades de tableros producidos con diferentes tipos de desechos, incluyéndose a los contrachapados (cuadro 1).

Dada la importancia que tiene la geometría del

material sobre las propiedades, Gillwald (1965) y Zenker (1966) estudian la influencia de las dimensiones de los desechos sobre las propiedades de los tableros. Los resultados de estas investigaciones se exponen en el cuadro 1

Torres (1989) ocupa una mezcla de residuos de especies nativas chilenas, sin determinar la proporción exacta en que las especies participan. Parte de los resultados de este autor se presentan también en el cuadro 1.

Las propiedades que presentan los tableros de partículas producidos con residuos de la industria de chapas y contrachapados demuestran que son adecuados para la fabricación de tableros de partículas. A lo anterior debe agregarse que este tipo de residuos no presenta corteza, la que es desfavorable para las propiedades mecánicas (Poblete y Sánchez, 1991) y ha sido sometido a una extracción en agua caliente, lo que normalmente hace más homogéneo el material.

\* Trabajo financiado por: Fondo de Desarrollo Productivo de CORFO e INFODEMA S.A.

La utilización de estos residuos es común en instalaciones industriales que emplean estos subproductos en Europa y Estados Unidos, encontrándose numerosas

CUADRO 1

Propiedades de tableros fabricados con desechos de la fabricación de chapas y contrachapados según diferentes autores.

Properties of boards produced with wastes from veneer and plywood production

Autor	Año	Propiedad				
		Densid. (Kg/m <sup>3</sup> )	Hincham. (%)		Flexión (N / mm <sup>2</sup> )	Tracción (N / mm <sup>2</sup> )
			2hr	24hr		
Kehr	1962	590	—	9.7	25.5	0.78
Gillwald	1965	≈680	12.0	19.0	≈17.0	—
Zenker	1966	656	20.8	—	10.9	0.48
Torres	1989	≈700	8.8	15.8	28.4	0.79

METODOLOGIA

*Determinación de especies y mezclas.* Para elegir las especies y mezclas de especies que se incluyeron en el estudio se tuvieron en cuenta las existencias en cancha, las proporciones de abastecimiento históricas y las existencias de madera en pie.

El análisis anterior permitió determinar que las especies más importantes son: Tapa (*Laurelia philippiana*), Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), Olivillo (*Aextoxicom punctatum*) y Roble (*Nothofagus oblicua*).

Las especies mencionadas fueron mezcladas de acuerdo con las proporciones que se presentan en el cuadro 2. En el cuadro, la mezcla 1 representa la composición del abastecimiento de INFODEMA S.A. en Valdivia.

CUADRO 2

Proporciones en que participan las especies en las mezclas (%)

Wood species ratio in the mixtures (%)

Especie	Mezcla (N°)		
	1*	2	3
Tapa	46	25	60
Coigüe	10	25	15
Ulmo	26	5	0
Olivillo	6	15	20
Roble	12	30	5

\* Mezcla equivalente a la situación actual de INFODEMA.

Se fabricaron además tableros con partículas de *Pinus radiata* a modo de patrón de comparación.

*Determinación de características básicas.*

a) pH: el valor pH de la madera fue determinado por medio de pH - metros en soluciones al 10% de partículas de madera en agua destilada. Las partículas se agitaron a 200 rpm durante 4 horas y se midió el valor de pH en los extractos con las partículas en suspensión.

b) Densidad: la densidad de la madera se determinó de acuerdo con la Norma DIN 52182, habiéndose medido el volumen de las muestras mediante un volumenómetro.

*Fabricación de los tableros.* Las características generales de los tableros fueron las siguientes:

- Espesor: 16 mm
- Número de capas: 1
- Adhesivo: 8% (peso resina sólida/peso madera seca)
- Densidad: 625 Kg/m<sup>3</sup> y 675 Kg/m<sup>3</sup>

El estudio de estas variables y las repeticiones necesarias dieron origen a la confección de 144 tableros.

a) *Preparación de astillas.* Como materia prima se utilizaron astillas producidas con desechos del debobinado de trozas. Los desechos utilizados contenían restos de láminas de diferentes espesores, predomi-

nando la dimensión 2.1 mm. Este material provenía de trozas que habían sido sometidas a un tratamiento de cocción, y fue seleccionado antes del secado.

Para la fabricación de las astillas se utilizó un astillador y con las astillas seleccionadas se prepararon las partículas en un molino Pallman. Las partículas fueron secadas en horno hasta un contenido de humedad de 4,5 %.

Con el objeto de determinar los tamaños de partícula producidos, se tomaron muestras que se tamizaron, midiéndose la forma de las diferentes clases de tamaño clasificadas. Para la separación de cada clase de tamaño se empleó un set de cinco tamices (4.0 - 2.0 - 1.4 - 1.0 - 0.7 mm). Además se determinó el peso y la proporción con que cada clase de tamaño participa en la muestra. Ponderando las dimensiones de cada clase, por la participación en la muestra, se determinaron las dimensiones promedio de las partículas producidas por las especies.

b) *Preparación del adhesivo y encolado.* Como adhesivo se aplicó ureaformaldehído con cloruro de amonio como catalizador. La concentración del adhesivo al momento de encolar se fijó en un 50%. Como hidrófobo se utilizó una emulsión de parafina. El catalizador y el hidrófobo se aplicaron en cantidades equivalentes a un 1 % del peso de la resina sólida.

Se utilizó ureaformaldehído producida por la industria Oxiquim S.A. bajo nombre comercial de Adelite UT 60. Las especificaciones de la resina antes de ser diluida al 50% fueron las siguientes:

Sólidos	: 60.05 %
Valor eje pH	: 8.17
Densidad	: 1.264 g/cm <sup>3</sup>
Formaldehído libre	: 0.42%
Viscosidad Gardner	: E - F
Curado	: 75.0 seg.

El proceso de encolado de las astillas se llevó a cabo en un equipo con toberas para la inyección del adhesivo. Se determinó la cantidad de adhesivo disponible según el método de Klauwitz (Ginzel y Peraza, 1966)

c) *Prensado:* Se aplicó una presión máxima de 2.5 N/mm<sup>2</sup> y una presión media de 1.2 N/mm<sup>2</sup>. El tiempo de prensado se fijó en 6 minutos y la temperatura del proceso fue de 160° C.

*Propiedades controladas.* A cada uno de los tableros de ensayo se les realizó un control de las propiedades mecánicas y físicas, teniendo en consideración las especificaciones de la Norma DIN 68 763.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

Ensayo de flexión	: norma DIN 52 362.
Ensayo de tracción	: norma DIN 52 365.
Densidad del tablero	: norma DIN 52 361.
Humedad del tablero	: norma DIN 52 361.
Hinchamiento	: norma DIN 52 364.
Absorción de agua	: norma ASTM 1037.

## RESULTADOS

### *Características básicas*

a) *Análisis del tamaño de las partículas.* Para caracterizar la geometría y tamaño de las partículas se procedió a determinar las dimensiones de éstas luego del secado.

Las dimensiones y coeficientes de esbeltez (CE) de las partículas de cada especie por clase de tamaño, y sus promedios ponderados, se presentan en el cuadro 3. Se observó que en las partículas de mayor tamaño el espesor corresponde al de la chapa empleada, la que no se redujo durante el proceso de viruteado. En general la distribución de los tamaños de partículas mostró una concentración mayor en las clases de tamaño centrales o superiores (cuadro 3).

En el caso del testigo, Pino Insigne, el espesor promedio de partícula fue 0.34 mm y el largo promedio de 25 mm. Con estos valores se obtuvo un coeficiente de esbeltez de 73.53.

b) *Densidad de las especies y mezclas.* Se efectuaron mediciones en las astillas de cada tipo de granulometría.

Las determinaciones consideraron densidad anhidra y básica. Los resultados de densidad de cada tipo de granulometría fueron ponderados por el porcentaje de participación en la mezcla (ver cuadro 2) para obtener el valor promedio de densidad que se presenta en el cuadro 4.

Con los valores de densidad de cada una de las especies, y conociendo el porcentaje de participación de ellas en las mezclas (ver cuadro 2), se pudo calcular la densidad ponderada de cada mezcla. Estas cifras se presentan en el cuadro 5.

Esta propiedad tiene especial importancia para la fabricación de los tableros, ya que determina la "razón de compresión" (dens. tablero/dens. madera). En este sentido la especie Tapa es la más desfavorable, ya que su madera deberá ser sometida a compresiones significativamente más altas para poder alcanzar las densidades y espesores de tableros prefijados. Lo anterior se traduce en problemas durante el prensado, requiriéndose presiones más altas y obteniéndose una menor disponibilidad de adhesivo por unidad de superficie.

CUADRO 3

Clases de tamaño y coeficiente de esbeltez de las partículas luego del secado

Dimensions and slenderness ratio of particles after drying

Espece	Rango de tamaño (mm)	Proporción en peso (%)	Largo (mm)	Espesor (mm)	CE
Tepa	>4.0	2.4	29.6	1.20	24.67
	< 4.0 > 2.0	30.7	22.4	1.00	22.40
	<2.0> 1.4	24.2	24.9	0.87	28.62
	<1.4> 1.0	17.6	20.4	0.70	29.14
	< 1.0 > 0.71	10.8	12.0	0.56	21.43
	<0.71	14.3	7.7	0.36	21.40
	<i>Promedio ponderado</i>		<i>19.6</i>	<i>0.78</i>	<i>24.90</i>
Coigüe	>4.0	2.4	32.7	1.40	23.40
	< 4.0 > 2.0	24.3	27.0	1.42	19.01
	<2.0> 1.4	31.4	22.2	0.82	27.07
	<1.4> 1.0	16.4	20.5	0.41	50.00
	< 1.0 > 0.71	11.7	15.9	0.29	54.83
	<0.71	13.8	10.1	0.25	40.40
	<i>Promedio ponderado</i>		<i>20.9</i>	<i>0.77</i>	<i>33.90</i>
Ulmo	>4.0	2.9	27.8	1.37	20.30
	< 4.0 > 2.0	38.0	23.4	0.93	25.16
	<2.0> 1.4	20.8	18.1	0.49	36.94
	<1.4> 1.0	14.6	18.5	0.44	42.05
	< 1.0 > 0.71	11.2	16.2	0.40	40.50
	<0.71	12.5	13.9	0.33	42.12
	<i>Promedio ponderado</i>		<i>19.7</i>	<i>0.64</i>	<i>33.78</i>
Olivillo	>4.0	2.4	32.0	1.45	22.07
	< 4.0 > 2.0	27.3	25.8	1.28	20.16
	<2.0>1.4	25.5	16.8	0.88	19.09
	< 1.4 > 1.0	20.6	17.6	0.39	45.13
	< 1.0 > 0.71	12.0	17.9	0.36	49.72
	<0.71	12.2	9.2	0.22	41.82
	<i>Promedio ponderado</i>		<i>19.0</i>	<i>0.76</i>	<i>31.27</i>
Roble	>4.0	2.3	31.8	1.97	16.14
	< 4.0 > 2.0	35.7	23.9	1.00	23.90
	<2.0> 1.4	29.1	19.5	0.74	26.35
	< 1.4 > 1.0	15.0	19.5	0.37	52.70
	< 1.0 > 0.71	7.4	15.1	0.36	41.94
	<0.71	10.5	10.7	0.28	38.21
	<i>Promedio ponderado</i>		<i>20.1</i>	<i>0.73</i>	<i>23.80</i>

c) *Adhesivo disponible por especie.* El resultado de este cálculo se presenta en el cuadro 6, expresado como gramos de resina por metro cuadrado de madera.

Las cifras revelan que existen diferencias entre las especies de madera. La especie Roble, debido a su mayor densidad, tiene una cantidad de adhesivo

CUADRO 4

Densidad anhidra y básica, promedio ponderado de los diferentes tamaños de astilla.

Ovendry and specific gravity of wood species.

Especie	Densidad Anhidra (g/cm <sup>3</sup> )			Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )		
	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
Tepa	0.459	0.568	0.384	0.397	0.487	0.307
Coigüe	0.530	0.713	0.448	0.427	0.559	0.339
Ulmo	0.559	0.745	0.496	0.497	0.590	0.423
Olivillo	0.517	0.761	0.409	0.401	0.530	0.307
Roble	0.591	0.699	0.474	0.482	0.566	0.373

disponible que supera en casi 3 g a la de Tepa y Ulmo. Estas últimas especies deben su desventaja a la baja densidad de la especie (Tepa) y a un espesor de partícula menor (Ulmo). Entre las mezclas no se observan diferencias importantes y sus valores son semejantes a los de Olivillo y Coigüe.

CUADRO 5

Densidad ponderada de las mezclas de especies

Density of wood mixtures.

Mezcla N°	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
	Anhidra	Básica
1	0.511	0.436
2	0.530	0.436
3	0.488	0.406

Debe tenerse presente que una densidad más alta puede favorecer la cantidad de adhesivo disponible, pero también puede ser negativa para la adecuada compactación de la madera. Sin embargo, la cantidad de adhesivo disponible es un parámetro que explica algunas de las diferencias que se producen entre las propiedades de los tableros.

d) *Análisis de la acidez de las especies.* El valor de pH se determinó en partículas con agua destilada y en el extracto filtrado. Ambos valores se presentan en el cuadro 7.

Los resultados obtenidos permiten indicar que las especies Coigüe, Roble y Olivillo serían las más aptas para la producción de tableros con adhesivos de fraguado ácido (ureaformaldehído). Por el contrario, la especie Tepa presenta un valor de pH desfavorable.

Por encontrarse los valores de pH sobre el pH requerido por el adhesivo (3.5) y con el objeto de acelerar el fraguado, la adición de un catalizador resulta indispensable.

#### *Observaciones realizadas durante la fabricación*

Al finalizar el ciclo de prensado se pudo comprobar que los tableros confeccionados con la especie Tepa presentaban una separación de las capas centrales (soplado). Este defecto puede atribuirse a un fraguado inadecuado del adhesivo, provocado por un exceso de humedad en la mezcla de partículas o por alguna característica de las materias primas empleadas. Tal como se mencionara en la metodología, las partículas se secaron a un contenido de humedad de 4,5 %, por lo que el efecto de la humedad debió descartarse. Los resultados obtenidos demuestran que la Tepa presenta el valor de pH más alcalino y una menor cantidad de adhesivo disponible.

## CUADRO 6

## Adhesivo disponible por especie

## Adhesive availability of species

Especie	Densidad g/m <sup>3</sup>	Espesor de partícula mm	Adhesivo disponible g/m <sup>2</sup>
Tepa	0.459	0.78	14.32
Coigüe	0.530	0.77	16.32
Ulmo	0.559	0.64	14.31
Olivillo	0.517	0.76	15.72
Roble	0.591	0.73	17.26
Mezcla 1	0.511	0.74	15.13
Mezcla 2	0.530	0.75	15.90
Mezcla 3	0.488	0.77	15.03

El valor de pH de Tepa provocó la neutralización del ambiente en que debe fraguar el adhesivo, por lo que se procedió a corregir el defecto en primera oportunidad, alterando el ciclo de prensado. Para ello se alargó el ciclo de 6 min. a 9 min.

La adición de una mayor cantidad de catalizador y el empleo de un ciclo de prensado más largo tuvieron un resultado positivo.

Las diferencias que presentó la especie Tepa, durante el prensado, obligaron a estudiar esta especie por separado. Para ello se fabricaron series de tableros con diferentes cantidades de catalizador y un tiempo de prensado más largo.

Por este motivo no se presentan resultados de Tepa en varios de los análisis realizados. El resto de las especies y mezclas de especies no presentaron dificultades durante su fabricación.

## CUADRO 7

## Determinación del valor del pH de las especies

## pH- value of wood species

Especie	Valor de pH	
	HOH + Madera	Extracto
Tepa	6.13	5.94
Coigüe	4.45	4.48
Ulmo	5.23	5.25
Roble	4.73	4.74
Olivillo	4.65	4.72

Posteriormente se procedió a ver la posibilidad de evitar del soplado mediante un aumento de la cantidad de catalizador de 1% a 1.5 y 2%, sin alterar el ciclo de prensado.

*Propiedades físicas de los tableros*

a) *Contenido de humedad.* El contenido de humedad es una propiedad que se determina a modo de control. Los valores de humedad que presentaban las probetas, luego del climatizado, corresponden a la humedad de equilibrio de los tableros en las condiciones estipuladas por la norma (20° C y 65% humedad relativa). Los valores de humedad varían entre 9,5% y 10.00%, lo cual corresponde a los rangos normales, sin que existan diferencias significativas entre los contenidos de humedad de los diferentes tableros. Lo anterior significa que las diferencias que se dan entre las propiedades no son causadas por disparidades en los contenidos de humedad.

b) *Densidad real obtenida.* La determinación de la densidad del tablero es de gran importancia. Esta

propiedad afecta a prácticamente todas las propiedades del tablero.

La densidad presenta dentro de un mismo tablero fluctuaciones de  $\pm 30 \text{ kg/m}^3$ , lo que sumado a las variaciones por pérdidas de material da una densidad final que rara vez coincide con la densidad teórica considerada para los cálculos de materiales

Además la densidad fue variada en dos niveles, por lo que resulta importante determinarla en todas las probetas ensayadas. De esta forma puede correlacionarse esta característica con otras propiedades. Los valores de densidad por especie se presentan en el cuadro 8.

Es necesario hacer presente que en el caso de los tableros de la especie Tapa, con el 1 % de catalizador,

por haberse producido un soplado, los valores de densidad son significativamente más bajos que el resto. Las densidades de los tableros de todas las especies y mezclas de especies varían dentro de los rangos normales esperados.

Al realizar un análisis de varianza se pudieron determinar las siguientes relaciones: Coigüe es diferente de Olivillo; Pino es diferente a todas las especies y mezclas, salvo con Olivillo; Olivillo es diferente a la mezcla 3.

Lo anterior significa que la densidad de los tableros confeccionados con Pino Insigne es significativamente mayor a las del resto de especies (salvo Olivillo) y por lo tanto las propiedades del testigo están favorecidas por esta diferencia.

### CUADRO 8

Densidad real de los tableros. Promedios, máximos, mínimos y desviación estándar

Final board density. Mean, maximal, minimal and standard deviation values

Especie	D e n s i d a d				
	Registros Nº	Promedio kg/m <sup>3</sup>	Máximo kg/m <sup>3</sup>	Mínimo kg/m <sup>3</sup>	Desv. Est.
Tapa (1.0%)*	14	544.45	574.40	510.53	18.77
Tapa (1.5%)*	55	583.30	663.90	493.20	29.90
Tapa (2.0%)*	37	604.54	673.46	548.71	29.03
Tapa (c.l. )**	28	579.71	651.86	528.37	30.45
Coigüe	91	604.05	689.52	512.98	36.03
Olivillo	91	613.99	721.97	500.37	45.19
Ulmo	95	602.45	734.21	496.23	46.02
Roble	95	604.32	719.85	480.23	51.48
Pino Insigne	44	628.51	713.90	572.50	38.93
Mezcla 1	83	605.28	716.71	519.26	39.28
Mezcla 2	96	603.20	690.42	526.94	31.11
Mezcla 3	96	595.58	689.41	504.76	39.75

\* Cantidad de Catalizador (NH<sub>4</sub>Cl) en el Adhesivo

\*\* Ciclo de Prensado más largo

c) *Hinchamiento*. Esta propiedad fue determinada luego de 2 y de 24 horas en agua a 20°C y se presenta en el cuadro 9.

En general es destacable el bajo nivel de hinchamiento que, salvo Tapa, presentan las especies estudiadas. En esta propiedad las especies nativas superan al Pino Insigne, aun cuando no se detectaron diferencias significativas entre Coigüe, Olivillo, Ulmo, Roble y Pino Insigne.

Al respecto es necesario mencionar que la norma DIN 68 761 establece como requisito un hinchamiento no mayor a 8% a las 2 horas. Esto significa que con las condiciones aplicadas, todas las especies, salvo Tapa, aprobarían la norma. Las mezclas que presentan altos porcentajes de Tapa también presentan dificultades. En el caso de Tapa deberá recurrirse a un porcentaje mayor de hidrófobo y mejorar la forma de las partículas para reducir el hinchamiento.

No se debe descartar una relación entre la densidad de la madera y el hinchamiento del tablero. Al prensar madera menos densa para obtener una densidad de tablero predeterminada se provoca una compactación mayor de la madera, razón de com-

presión. En este caso la madera tiende a recuperar su estructura normal al aumentar su contenido de humedad.

En este aspecto se ve más desfavorecida la madera de Tapa.

CUADRO 9

Hinchamiento a 2 y 24 horas. Promedios, máximos, mínimos y desviación estándar

Thick ness swelling after 2 and 24 hours in cold water, mean, maximal, minimal and standard deviation values

Horas	Especie	H i n c h a m i e n t o			Desv. Estd.
		Promedio %	Máximo %	Mínimo %	
2	Tapa (1.0%)*	15.82	17.17	14.81	0.98
	Tapa (1.5%)*	14.02	18.18	10.97	1.67
	Tapa (2.0%)*	13.44	17.18	11.76	1.27
	Tapa (c. 1. )**	12.05	14.72	8.53	1.79
	Coigüe	4.70	8.17	1.81	1.35
	Olivillo	4.12	7.50	0.61	1.30
	Ulmo	3.71	8.70	1.20	1.13
	Roble	4.58	7.45	1.84	1.02
	Pino Insigne	7.35	8.91	5.70	0.92
	Mezcla 1	10.01	15.00	5.49	1.63
	Mezcla 2	6.04	9.38	3.61	1.21
	Mezcla 3	13.08	19.65	7.38	2.49
	24	Tapa (1.0%)*	20.86	22.22	18.51
Tapa (1.5%)*		16.41	21.21	12.80	1.80
Tapa (2.0%)*		18.37	20.86	15.88	1.42
Tapa (c. 1. )**		15.91	19.63	11.18	2.63
Coigüe		10.82	13.75	6.67	1.62
Olivillo		12.02	73.62	7.31	6.70
Ulmo		10.82	13.93	7.36	1.27
Roble		11.11	15.72	7.98	1.36
Pino Insigne		11.89	13.92	9.49	1.32
Mezcla 1		15.78	53.99	9.52	4.67
Mezcla 2		12.54	16.25	10.62	1.11
Mezcla 3		17.76	52.09	11.79	4.26

\* Cantidad de Catalizador (NH<sub>4</sub>Cl) en el Adhesivo

\*\* Ciclo de Prensado más largo



Con respecto al hinchamiento, la madera de *Laurelia philippiana* tiene un efecto negativo sobre mezclas de especies. El aumento del hinchamiento es proporcional a la participación de la especie Tapa en la mezcla.

En Tapa también es posible apreciar un efecto del catalizador sobre la propiedad. Es este sentido aparece como más favorable la aplicación de 1.5% de este reactivo. Los tableros de Tapa con un prensado más largo presentan los hinchamientos más bajos; sin embargo, este efecto es menos intere-

sante, ya que con estos ciclos se veía reducida la capacidad de producción de la planta.

En los análisis de regresión para determinar la relación entre hinchamiento y densidad de tablero no se encontraron coeficientes adecuados.

d) *Absorción de agua.* Los resultados de las determinaciones se presentan en el cuadro 10. Como no existe un requisito normalizado para la absorción, estos ensayos sirven sólo como un control para verificar la tasa de ingreso de agua al tablero.

CUADRO 10

Absorción de agua a las 2 y 24 horas. Promedios, máximos, mínimos y desviación estándar

Water absorption after 2 and 24 hours in cold water. Mean, maximal, minimal and standar deviation values

Horas	Especie	A b s o r c i ó n d e A g u a			
		Promedio %	Máximo %	Mínimo %	Desv. Estd.
2	Tapa (1.0%)*	67.36	74.32	57.59	7.47
	Tapa (1.5%)*	84.80	107.71	59.43	8.74
	Tapa (2.0%)*	74.80	86.08	61.36	7.24
	Tapa (c. 1. )**	75.52	92.96	60.84	8.61
	Coigüe	14.99	20.26	9.47	2.58
	Olivillo	21.45	29.33	12.17	4.20
	Ulmo	18.36	29.96	8.29	4.36
	Roble	18.44	44.30	3.07	7.03
	Pino Insigne	29.59	35.75	22.84	2.94
	Mezcla 1	37.61	50.82	26.31	4.99
Mezcla 2	24.51	34.72	17.79	3.48	
Mezcla 3	65.39	83.62	47.07	7.80	
24	Tapa (1.0%)*	93.01	99.84	83.97	6.79
	Tapa (1.5%)*	97.31	120.30	82.68	7.57
	Tapa (2.0%)*	103.32	122.09	91.69	9.68
	Tapa (c. 1. )**	102.08	118.70	82.83	8.77
	Coigüe	43.33	53.58	33.33	4.84
	Olivillo	56.55	85.98	42.13	7.22
	Ulmo	50.38	92.29	21.99	11.30
	Roble	65.89	97.03	49.01	9.62
	Pino Insigne	70.37	79.23	53.06	7.31
	Mezcla 1	80.62	99.62	64.82	8.29
Mezcla 2	71.83	99.28	53.65	10.07	
Mezcla 3	93.29	113.97	75.34	9.46	

\* Cantidad de Catalizador (NH<sub>4</sub>Cl) en el Adhesivo

\*\* Ciclo de Prensado más largo

La especie Tapa constituye nuevamente un material que aporta cualidades negativas a las mezclas de especies. El haber evitado el soplado de los tableros de Tapa, mediante la adición de una mayor cantidad de catalizador, no evita la penetración del agua, aunque permite mantener los niveles de hinchamiento un poco más bajos.

Tal como en el hinchamiento, las especies Coigüe, Olivillo, Ulmo y Roble dan mejores resultados

que el Pino Insigne. Pese a lo anterior, los análisis de varianza indican que no existen diferencias significativas entre P. Insigne y las nativas mencionadas.

Debido a que en el estudio la densidad del tablero es considerada como una variable, se han determinado las ecuaciones de regresión para la relación densidad/absorción. Este análisis determinó las ecuaciones del cuadro 11, que siguen el modelo: Absorción (%) = a + b \* Densidad (Kg/m<sup>3</sup>).

CUADRO 11

Ecuaciones de absorción / densidad

Water absorption /Density regressions

Horas	Especie	a	b	r <sup>2</sup>
2	Coigüe	48.2624	-0.0551	-0.7680
	Olivillo	65.3077	-0.0714	-0.7674
	Ulmo	66.5765	-0.0800	-0.8443
	Roble	72.8799	-0.0901	-0.6589
	Pino Insigne	71.5453	-0.0668	-0.8825
	Mezcla 1	99.7896	-0.1027	-0.8074
	Mezcla 2	80.4381	-0.0927	-0.8284
24	Mezcla 3	171.9101	-0.1789	-0.9112
	Coigüe	101.0416	-0.0955	-0.7106
	Olivillo	132.9356	-0.1244	-0.7780
	Ulmo	164.3089	-0.1891	0.5120
	Roble	165.2211	-0.1644	-0.8793
	Pino Insigne	177.7925	-0.1709	-0.9090
	Mezcla 1	180.7608	-0.1654	-0.7842
Mezcla 2	212.8200	-0.2337	-0.7214	
Mezcla 3	226.0941	-0.2230	-0.9373	

Como lo indican las ecuaciones, las especies nativas presentan un comportamiento más favorable que el testigo (Pino Insigne), luego de dos horas en agua a 20 °C. La participación de la especie Tapa en las mezclas 1 y 3 provoca un aumento de la absorción a niveles que sobrepasan los del testigo. Las tendencias observadas son similares a las encontradas con especies nativas chilenas por Urzúa y Poblete (1980).

#### *Propiedades mecánicas de los tableros*

a) *Resistencia a la flexión.* Los resultados de esta propiedad mecánica se presentan en el cuadro 12, incluyéndose los promedios, valores máximo y mínimo, y la desviación estándar.

Se destaca la diferencia que existe entre el promedio del testigo con las flexiones registradas por el

CUADRO 12

Propiedad mecánica flexión. Promedios, máximos, mínimos y desviación estándar

Bending strength (mor). Maximal, minimal and standard deviation values

Especie	Resistencia a la flexión				Desv. Estd.
	Registros N°	Promedios N/mm <sup>2</sup>	Máximo N/mm <sup>2</sup>	Mínimo N/mm <sup>2</sup>	
Tepa (1.0%)*	14	8.99	20.55	1.00	1.53
Tepa (1.5%)*	46	14.55	18.84	9.36	2.25
Tepa (2.0%)*	23	15.36	19.45	8.82	3.10
Tepa (c. 1.)**	36	14.80	17.84	8.87	2.83
Coigüe	91	18.76	26.98	12.31	2.50
Olivillo	91	15.55	24.23	10.41	3.06
Ulmo	95	12.79	22.58	7.79	2.40
Roble	95	15.89	22.27	9.94	2.62
Pino Insigne	44	23.28	29.58	18.27	3.17
Mezcla 1	83	14.38	20.11	9.71	2.26
Mezcla 2	96	14.95	20.90	10.18	2.01
Mezcla 3	96	14.49	22.42	9.68	2.39

\* Cantidad de Catalizador (NH<sub>4</sub>Cl) en el Adhesivo

\*\* Ciclo de Prensado más largo

resto de las especies nativas y sus mezclas. Esta diferencia ha sido provocada por el efecto de las distintas dimensiones de las partículas. Las partículas del testigo poseen un coeficiente de esbeltez que es notoriamente superior, lo que favorece a esta propiedad mecánica (Poblete, 1985). Para corregir este defecto de las especies nativas debe estudiarse la posición más adecuada de los cuchillos durante el corte de las partículas.

También debe tenerse en cuenta que los tableros de Pino Insigne presentan una densidad promedio superior, lo que afecta positivamente a la flexión.

El requisito de la norma para este tipo de tableros es de 16 N/mm<sup>2</sup> (DIN 68 761 p.1). Con este límite sólo la especie Coigüe y el testigo aprobarían la norma. Aparte de cambiar el tamaño de las partículas, una alternativa para salvar esta dificultad es el aumentar la densidad de los tableros. Este efecto se analiza más adelante.

Los análisis de varianza revelaron que no existen diferencias significativas entre: Olivillo y Roble, Olivillo y mezcla 2, mezcla 1 con mezcla 2 y mezcla 3.

De la misma forma que en el caso de las propie-

dades físicas, se ha calculado, por un análisis de regresión, la relación existente entre flexión y densidad del tablero. Este cálculo no se pudo realizar para la especie Tepa por no contar con suficientes observaciones. Sin embargo, resulta interesante constatar que con Tepa al aumentar la cantidad de catalizador mejora la resistencia, lo que se debe a un fraguado más rápido del adhesivo en las capas externas del tablero durante el prensado.

En el cuadro 13 se presentan los parámetros de las ecuaciones resultantes de los análisis de regresión. El modelo de las ecuaciones fue  $flexión (N/mm^2) = a + b * Densidad (Kg/m^3)$ .

Las tendencias determinadas son similares a las encontradas para otras especies nativas chilenas (Poblete, 1986).

Las ecuaciones obtenidas permiten calcular la densidad de tablero con que se logra cumplir con la exigencia de la norma. Para el caso de los tableros del estudio, las densidades de tablero que se requieren (Kg/m<sup>3</sup>) son las siguiente: Coigüe = 627.6, Olivillo = 623.9, Ulmo = 768.9, Roble 609.3, Mezcla 1 = 652.4, Mezcla 2 = 639.4, Mezcla 3 = 653.2.

CUADRO 13

Ecuaciones de flexión / densidad

Bending strength / density regressions

Especie	a	b	r <sup>2</sup>
Coigüe	-3.8938	0.0317	0.6566
Olivillo	-12.3242	0.0454	0.6717
Ulmo	1.2366	0.0192	0.6676
Roble	0.0984	0.0261	0.7120
Pino Insigne	10.8586	0.0198	0.6425
Mezcla 1	-6.7046	0.0348	0.6047
Mezcla 2	-2.0298	0.0282	0.6356
Mezcla 3	-1.5711	0.0269	0.6465

Estos resultados indican que la madera de Ulmo es la única especie que requiere de una densidad alta para cumplir con la norma. El resto de las especies cumplen con la norma con densidades de tablero de uso normal en la industria nacional.

tracción se pudo verificar que los diferentes tipos de tableros ensayados poseen resistencias muy altas. Esto se debió a la densidad de los tableros ya las características de las partículas utilizadas, de bajo coeficiente de esbeltez. Las resistencias promedio de tracción por especie y mezcla se presentan en el cuadro 14.

b) *Resistencia a la tracción.* Durante el ensayo de

CUADRO 14

Propiedad mecánica tracción. Promedios, máximos, mínimos y desviación estándar

Tensile strength. Maximal, minimal and standard deviation values

Especie	Resistencia a la tracción				
	Registros Nº	Promedio N / mm <sup>2</sup>	Máximo N / mm <sup>2</sup>	Mínimo N / mm <sup>2</sup>	Desv. Estd.
Tepa (1.0%)*	14	0.2188	0.2865	0.1727	0.0340
Tepa (1.5%)*	55	0.9759	1.3030	0.4932	0.0299
Tepa (2.0%)*	37	0.8951	1.2450	0.6509	0.1561
Tepa (c. 1.)**	28	0.5418	0.7833	0.3993	0.0863
Coigüe	111	0.8277	1.1858	0.5176	0.1276
Olivillo	112	0.9822	1.2747	0.6677	0.1461
Ulmo	112	0.9102	1.2576	0.6958	0.1071
Roble	112	0.8559	1.1671	0.5799	0.1238
Pino Insigne	64	0.9450	1.1480	0.7480	0.0963
Mezcla 1	98	0.7365	1.1609	0.4920	0.1389
Mezcla 2	112	0.7450	1.0488	0.5153	0.0892
Mezcla 3	111	0.9105	1.3567	0.6731	0.1165

\* Cantidad de Catalizador (NH<sub>4</sub>Cl) en el Adhesivo

\*\* Ciclo de Prensado más largo

En general no se aprecian las diferencias entre el testigo y las especies nativas que se dan en la resistencia a la flexión.

La exigencia de la norma DIN 68 761 p.1 para esta propiedad es  $0.35 \text{ N/mm}^2$ . Salvo el caso de Tapa con 1% de catalizador, todos los tableros superan con largueza el requisito normalizado.

Los tableros confeccionados con la especie Tapa alcanzan un valor máximo con 1.5% de catalizador. El efecto de este reactivo sobre la propiedad es significativo y debe tenerse en cuenta en aplicaciones industriales.

Cuando se elaboraron tableros con mezclas de especies no se agregaron cantidades superiores a 1% de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Por la razón anterior debiera haberse notado el efecto de la mayor inclusión de Tapa en las mezclas, lo que no ocurre. La explicación de este hecho está en la forma en que se produjo la rotura en el ensayo. Lo elevado de las resistencias obtenidas provocó que las probetas se fracturaran en la zona más externa de la cara inferior, donde se encuentran las partículas que entraron antes en contacto con el plato de la prensa. El efecto de la temperatura en esta zona es el de un fraguado del adhesivo antes de lograr una compactación adecuada del material, por lo que la falla se produce en esta zona del tablero. Esta forma de fractura hace que los valores de

resistencia dependan del mayor o menor grado de deterioro que haya sufrido la zona externa inferior del tablero, y no de la parte central de la probeta. Esto también impidió que se encontraran correlaciones adecuadas al realizar los análisis de regresión.

Dada la imposibilidad de determinar ecuaciones de regresión densidad v/s tracción, se determinaron los promedios de esta propiedad por rangos de densidad de tablero. Estos valores se presentan en el cuadro 15. Debido al reducido número de probetas, en razón del estudio de diferentes niveles de catalizador, no se calcularon los promedios para el caso de Tapa.

Los análisis estadísticos de varianza permitieron determinar que no existen diferencias entre Coigüe con Roble, Pino con Olivillo, Pino con Ulmo y mezcla 3, mezcla 1 con mezcla 2.

Estos resultados son importantes ya que prueban que los tableros de Olivillo, Ulmo y mezcla 3 dan tracciones iguales al testigo. Especial importancia tiene el caso de la mezcla 3, ya que en ella se encuentra incluida una proporción importante (60%) de madera de Tapa. Esto quiere decir que el efecto negativo de la especie desaparece al estar combinada con otras maderas de carácter más ácido. Cabe destacar que los tableros de Tapa con 1.5 y 2.0 % de catalizador también dan resultados adecuados.

CUADRO 15

Promedios de tracción para diferentes densidades de tablero

Tensile strength: Mean values for different board densities

Especie	Rango de Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )		
	550-600	600-650	650-700
Coigüe	0.8110	0.8216	0.8972
Olivillo	0.9891	0.9787	0.9764
Ulmo	0.8362	0.9374	0.9722
Roble	0.8111	0.8829	0.8565
Pino Insigne	0.8830	0.9587	0.9921
Mezcla 1	0.6912	0.7617	0.8174
Mezcla 2	0.7044	0.7741	—
Mezcla 3	0.8504	0.9326	0.9986

## CONCLUSIONES

Las partículas elaboradas con una viruteadora de anillos tipo Pallmann tuvieron coeficientes de esbeltez menores que las producidas con el testigo (Pino

Insigne) en la industria. Esto desfavoreció a los desechos de nativas en los resultados de flexión y en el rendimiento del adhesivo.

Al analizar la cantidad de adhesivo disponible para cada especie, se determinó que la especie Roble

tuvo una cantidad mayor de adhesivo por unidad de superficie ( $17.26 \text{ g/m}^2$ ). La especie Tapa fue la menos favorecida con  $14.32 \text{ g/m}^2$ . Las mezclas de especies dispusieron de cantidades prácticamente idénticas, que variaron entre  $15.03$  y  $15.90 \text{ g/m}^2$ .

La determinación de la acidez de las especies reveló que Tapa presenta valores cercanos a pH 7, lo que perjudica el fraguado de la ureaformaldehído.

Al prensar los tableros fabricados con Tapa se produjo un "soplado". Esto se debe a las desventajas que presenta esta especie en sus características básicas, especialmente en cuanto a su valor de pH y densidad (poca disponibilidad de adhesivo). Ello obligó a trabajar con cantidades mayores de catalizador y tiempos de prensado más largos.

Las densidades de tablero favorecieron principalmente al testigo, el que tiene densidades promedio superiores a las nativas y es significativamente diferente a todas, salvo Olivillo.

Los hinchamientos de las especies nativas fueron adecuados y cumplen con la norma. Estas especies superaron en calidad al testigo. La excepción la constituyó Tapa. En cuanto a las mezclas, la N° 2, con menor porcentaje de Tapa, resulta ser la más estable. Los hinchamientos a 24 horas arrojaron resultados similares.

No se encontraron correlaciones adecuadas entre hinchamiento y densidad de tablero. En el caso de Tapa, esta propiedad no mejoró de manera importante al variar el contenido de catalizador en mezcla. La inclusión de 1.5 % de catalizador fue levemente más favorable.

Las tendencias en absorción fueron idénticas a las de hinchamiento. En este caso se encontraron correlaciones entre densidad y absorción, que determinaron que la madera del testigo (Pino Insigne) es de inferior calidad que las nativas, salvo Tapa y las mezclas donde participó con mayores proporciones la especie Tapa.

En flexión la especie testigo dio resultados significativamente superiores a las nativas y sus mezclas. Esto se debió principalmente a la forma de sus partículas, cuyo coeficiente de esbeltez era dos o tres veces mayor que el del resto de las especies.

Las regresiones de flexión-densidad de tablero indican que todas las especies y mezclas cumplen con el requisito de la norma ( $16 \text{ N/mm}^2$ ), al producirse tableros con densidad  $650 \text{ Kg/m}^3$ , lo que es normal en la industria nacional. Este nivel de densidad podrá ser disminuido al mejorar la calidad de las partículas. La única excepción la constituye la

madera de Ulmo, que requiere de densidades de tablero superiores a  $700 \text{ kg/m}^3$ .

Los valores de tracción obtenidos superan ampliamente los requisitos de la norma. La alta resistencia de los tableros provocó fracturas anormales de las probetas, en las zonas más externas, y no fue posible encontrar correlaciones entre esta propiedad y la densidad.

La especie Tapa registró su mayor valor de tracción con la inclusión de 1.5 % de catalizador ( $0,9759 \text{ N/mm}^2$ ). La mezcla de mejor resistencia fue la N° 3, con un promedio de  $0,9105 \text{ N/mm}^2$ , pese a que contuvo la mayor proporción de Tapa (60%).

Para comparar mejor las especies se realizó una determinación de la tracción a diferentes niveles de densidad y se realizó un análisis de varianza. Los resultados prueban que Olivillo, Ulmo y la mezcla 3 dan tracciones iguales a las del testigo.

## BIBLIOGRAFIA

- ELMENDORF, A. 1949. Wood fibers from Veneer waste. Forest Products Research Society 52,4 pp.
- GILLWALD, W. 1965. "Zur Problematik der Herstellung von Spanplatten aus abfallspenen", *Holztechnologie* 6 (1): 27-32.
- GINZEL, W., PERAZA, C. 1966. *Tecnología de tableros de partículas. Instituto de investigaciones y experiencias*. Ministerio de Agricultura. Madrid, 185 pp.
- KEHR, E. 1962. "Beitrag zur Verwertung von Abfallspenen aus holzverarbeitenden Betrieben für Spanplatten", *Holztechnologie* 3(1): 29-35.
- POBLETE, H. 1985. "Influencia del tamaño de partícula sobre las propiedades mecánicas flexión y tracción en tableros de partículas aglomeradas con ureaformaldehído", Univ. Austral de Chile", Fac. Ciencias Forestales, en *Pinus radiata. Investigación en Chile*: 241-256.
- . 1986. "Resistencias mecánicas de tableros de partículas producidas con mezclas de especies chilenas", *Bosque* 7 (1): 38-45.
- POBLETE, H., SANCHEZ, J.P. 1991. *Corteza de Pinus radiata en tableros de partículas*. Actas de la VII Reunión sobre investigación y desarrollo en productos forestales: 498-515.
- TORRES, E. 1989. *Fabricación de tableros de partículas utilizando desechos de industrias de aserrío, chapas y contrachapados*. U. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Tesis Ing. Forestal, 58 pp.
- URZUA, D., POBLETE, H. 1980. *Utilización silvoagropecuaria de los terrenos de Ñadi. Inf. N°2: Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos de Ñadi. Informe de Convenio 22*, U. Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales - SERPLAC X Región, 140 pp.
- ZENKER, R. 1966. "Zur Qualität der in Spanplatten-Kleinanlagen zu verarbeitenden Schalspane (I)" *Holztechnologie* 7 (2): 81 - 88.