

Tableros con corteza de *Pinus radiata*

Particleboards with *Pinus radiata* Bark

C.D.O.: 862.2

HERNAN POBLETE W.¹ y JUAN P. SANCHEZ A.²

¹Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia, Chile.

²Instituto Forestal, Casilla 3085, Santiago, Chile.

SUMMARY

Mixtures of *Pinus radiata* D. Don bark and wood particles for the production of particleboards were studied. Single layer boards with the following processing parameters were manufactured: Board thickness: 11 mm; Board density: 650 kg/m³; Adhesive content: 8% urea-resin solids, based on oven-dry weight of particles; Bark content (%): 0; 10; 25; 40; 55; 70; 85 and 100%. A high correlation between mechanical and physical properties and board bark content was found. The observed trend shows that bark inclusion has a negative effect on mechanical properties, while the physical properties improve.

RESUMEN

Se analiza la inclusión de corteza de *Pinus radiata* D. Don en la elaboración de tableros de partículas, en combinación con maderas de la misma especie. Los tableros se confeccionaron de una capa, con un espesor de 11 mm y una densidad de 650 kg/m³. Se elaboraron ocho tipos de tableros, variando el contenido de corteza desde 0 a 100% en base al peso de material leñoso en el tablero, e incluyendo los niveles 10, 25, 40, 55, 70 y 85%. Como adhesivo se empleó ureaformaldehído, en una cantidad equivalente al 8% del peso seco de las partículas. En general, se presenta una alta correlación entre las propiedades evaluadas y el nivel de corteza incorporado a los tableros. Las tendencias observadas demuestran que la inclusión de corteza de *Pinus radiata* D. Don tiene un efecto negativo sobre las propiedades mecánicas, pero las propiedades físicas se ven mejoradas.

INTRODUCCION

Actualmente la industria forestal chilena se abastece casi exclusivamente con madera de Pino Insigne, dejando como residuo un gran volumen de corteza, lo que hace interesante la evaluación de sus posibilidades de utilización.

En la elaboración de tableros de partículas puede utilizarse cualquier material lignocelulósico. Los residuos de la explotación forestal, desechos industriales y urbanos, restos agrícolas y la corteza de especies leñosas pueden transformarse en materias primas que reemplacen a la madera (Maloney, 1977).

Las alteraciones más importantes que se producen al incorporar corteza, reemplazando a la madera, están relacionadas con la estructura anatómica y la composición química de este material. La corteza es un material heterogéneo de alta

complejidad. Se compone de dos capas: una capa interna fisiológicamente activa y una capa externa inerte de protección, usualmente de color oscuro, formada por células floemáticas muertas (Esau, 1959; Moslemi, 1974). La cantidad de corteza en la madera rolliza varía apreciablemente con el tamaño de los trozos. En general, al aumentar el diámetro la proporción de corteza se reduce, y se ha determinado para Pino Insigne que corresponde en promedio al 10% del volumen (Martínez, 1984).

Las propiedades de la corteza presentan amplias variaciones entre árboles y entre especies. En general, las cortezas de pino son de densidad baja a intermedia (Martin y Crist, 1968; Martin, 1969; Cassens, 1974). El peso específico de la corteza de tres especies del género *Pinus* (*P. ponderosa*, *P. lambertiana* y *P. jeffreyi*) varía entre 0,27 y 0,36. La corteza interna tiene una densidad mayor que la corteza externa, lo cual puede deberse a que está

formada por células vivas y a la presencia de sustancias alimenticias (Cassens, 1974). Estos valores de densidad indican que la corteza sería un material adecuado para la fabricación de tableros de partículas. Respecto al uso de corteza como materia prima en la fabricación de tableros existen trabajos de varios autores.

Hall *et al.* (1960) estudiaron la inclusión de corteza de *Pinus radiata*, indicando que es factible incluirla hasta en un 25% en tableros de una capa. Los resultados de un estudio con madera y corteza de *Sequoia sempervirens* demuestran que al aumentar el contenido de corteza se provoca una reducción de las propiedades mecánicas y de la estabilidad dimensional de los tableros (Dost, 1971).

Se ha evaluado también la fabricación de tableros de tres capas con madera de *Pinus sylvestris* y corteza de *Picea abies*, variando el contenido de corteza en las capas externas y media. El estudio permitió observar una disminución de las propiedades del tablero al elevar el contenido de corteza (Deppe y Hoffman, 1972). Muszynski y McNatt en 1984 elaboraron tableros de una capa, variando la cantidad de corteza. Los resultados indican que es posible obtener propiedades adecuadas con una proporción de corteza igual o inferior a 30%. Geimer y Crist (1980) encontraron propiedades mecánicas aceptables al incluir hasta un 29% de corteza. Con el mismo nivel, Calvé *et al.* (1986) determinaron que la única propiedad no afectada significativamente es la flexión. Otros autores indican que la flexión disminuye proporcionalmente con el aumento de la corteza en el tablero. Cuando se incluye corteza en la capa media del tablero las mayores pérdidas de resistencia se dan en la tracción (Maloney, 1973; Lehmann y Geimer, 1974; Calvé *et al.*, 1986).

En cuanto al efecto de la inclusión de corteza sobre las propiedades físicas, las conclusiones de los diferentes trabajos no son coincidentes. Maloney (1973) y Muszynski y McNatt (1984) señalan que al aumentar el contenido de corteza se provoca un aumento en los valores de estas propiedades. Lehmann y Geimer (1974), y Calvé *et al.* (1986) destacan que la estabilidad dimensional se ve disminuida cuando el nivel de corteza supera el 12%. Place y Maloney (1977) sostienen que el hinchamiento en tableros con corteza es igual o inferior a aquellos confeccionados sólo con partículas de madera. Moslemi (1974), plantea que el alto contenido de extraíbles hidrófobos de la corteza puede reducir la absorción y el hinchamiento.

MATERIAL Y METODO

Como materia prima para la elaboración de los tableros se utilizó corteza de árboles adultos, recién cortados, de pino insigne creciendo en Valdivia. Además, se emplearon partículas de madera de la misma especie, correspondiendo sus dimensiones a las utilizadas para capa media. Como adhesivo se utilizó ureaformaldehído, aplicado con una concentración del 50% de sólidos. El adhesivo registró un pH de 7.84. Como catalizador se agregó cloruro de amonio (NH_4Cl), en solución al 20% y en una cantidad equivalente al 1.5% del peso de resina sólida. El factor de encolado fue 8% de resina seca en relación al peso anhidro de las partículas.

La fabricación de las partículas de madera se efectuó en un viruteador industrial de tambor. Para reducir la corteza se empleó una viruteadora de anillos. Las partículas de corteza y madera fueron tratadas en un horno secador, a 75° C, durante aproximadamente 30 horas. En estas condiciones se redujo la humedad de las partículas a un rango entre 4 y 8%. Para caracterizar el material leñoso (corteza y madera) se determinaron su tamaño, densidad, pH y contenido de humedad.

Por tratarse de una mezcla de materiales leñosos fue necesario determinar la densidad de cada uno de ellos y luego ponderar por su respectivo porcentaje de participación para determinar la densidad promedio del material a utilizar. Esta determinación se realizó en partículas en estado anhidro, midiendo el volumen con un volumómetro.

La determinación del valor pH se realizó en soluciones de 10 g de material en 100 ml de agua destilada. Las mediciones se efectuaron después de 4 h de agitación a 250 rpm, determinándose el valor pH mediante un pH-metro. Los tableros se confeccionaron con un espesor de 11 mm, formados por una capa, y con una densidad de 650 kg/m³. El ciclo de prensado se realizó con una temperatura constante de 150° C. La presión máxima fue 2.5 N/mm² y la presión media 1.25 N/mm², con un tiempo total de prensado de 5.5 minutos.

Los porcentajes de inclusión de corteza abarcaron un rango desde 0 a 100%, expresado en relación al peso total de material leñoso en el tablero. En esta variación se incluyeron los niveles 10, 25, 40, 55, 70 y 85%. La variación de estos porcentajes se planteó considerando lo citado por diferentes autores, en cuanto a que la cantidad

de los tableros producidos. El largo de partícula, el espesor y el coeficiente de esbeltez, influyen sobre prácticamente todas las propiedades (Brumbauch, 1960; Gatchel *et al.*, 1966; Shuler y Kelly, 1976; Poblete, 1985).

La obtención de partículas de corteza con el sistema de reducción usado presentó problemas. Al procesar la corteza se convirtió principalmente en polvo y partículas de dimensiones demasiado pequeñas. Lo anterior significa que aumenta la superficie específica y se reduce el aprovechamiento del adhesivo. La producción de esta mayor proporción de partículas pequeñas y de polvo es atribuible a la estructura de la corteza.

Para obtener partículas, cuya forma y geometría resultaran similares a las de madera, se procesó el material con las aspas del molino, de tal forma que las partículas se produjeron por impacto contra las placas percutoras. Este procedimiento equivaldría al efecto conseguido al procesar la corteza en un molino industrial de marillos.

El producto con que finalmente se contó para la fabricación de los tableros se describe, en cuanto a su tamaño, en el cuadro 2.

En el cuadro 2 se observa que casi el 70% de las partículas de corteza tienen un tamaño superior

a 2.0 mm, mientras que en la madera este rango de tamaño alcanza aproximadamente al 40% de las partículas. El material fino, inferior a 1.0 mm, llega al 7.7% en la corteza y al 20.4% en la madera. La diferencia entre las partículas finas de ambos materiales está en sus dimensiones, principalmente en el largo, que en las partículas de madera es, en promedio, superior a 12 mm, mientras que en la corteza es cercano a 4 mm.

El coeficiente de esbeltez de las partículas de madera no corresponde a los señalados como óptimos por la literatura, sin embargo es un tamaño de uso normal en la industria. Por su parte la corteza registró un valor de coeficiente de esbeltez muy inferior al de la madera, lo cual puede explicarse por la forma en que se obtuvieron estas partículas, pues al no utilizar el sistema de cuchillos el espesor de las partículas de este material resulta excesivo.

Al elevar la participación de corteza en el tablero el coeficiente de esbeltez ponderado del material se reduce. De acuerdo con los resultados de otros autores, en cuanto a la influencia del tamaño de partícula, el aumento del contenido de corteza provocaría una reducción de la resistencia a la flexión y una mayor resistencia a la tracción, aumentando también el hinchamiento.

CUADRO 2

Dimensiones y coeficiente de esbeltez (CE) de las partículas de corteza y madera

Dimension and Slenderness ratio of Wood and Bark Particles

Material	Rango tamaño (mm)	Proporción (%)	Largo (mm)	Espesor (mm)	CE
Corteza	>4.0	43.9	15.63	1.51	10.35
	>2.0 <4.0	25.3	11.93	0.89	13.40
	> 1.4 <2.0	18.0	8.27	0.72	11.49
	> 1.0 < 1.4	5.1	5.27	0.48	10.98
	>0.71 < 1.0	3.1	4.02	0.23	17.48
	<0.71	4.6	3.22	0.14	23.00
	Promedio ponderado			11.91	1.06
Madera	>4.0	15.0	20.60	0.47	43.83
	> 2.0 < 4.0	21.7	19.40	0.44	44.09
	> 1.4 <2.0	30.9	17.63	0.45	39.18
	> 1.0 < 1.4	12.0	15.27	0.42	36.36
	>0.71 < 1.0	8.9	14.03	0.37	37.92
	<0.71	11.5	9.00	0.27	33.33
	Promedio ponderado			16.85	0.42

Fabricación de los tableros. El uso de corteza en la elaboración de tableros de partículas no presentó dificultades en cuanto a las diferentes etapas del proceso de fabricación. El encolado de las partículas, de corteza y madera, se realizó según las especificaciones descritas en la metodología, sin que se produjeran problemas en la aplicación del adhesivo.

La formación de la estera no permite obtener una distribución adecuada del tamaño de partículas, con lo cual el aspecto superficial de los paneles se hace muy irregular. Se observó que al aumentar la cantidad de corteza los tableros adquieren coloraciones oscuras y, en general, presentan una alta proporción de material fino en la cara inferior. Esto incidió posteriormente en que esa cara se dañó con facilidad durante la manipulación de los paneles. La compactación del material se logró siguiendo los tiempos, presiones y temperatura contemplados en el ciclo de prensado propuesto. No se presentaron casos de soplado u otros defectos en los tableros.

Propiedades físicas de los tableros. En los tableros elaborados se determinaron las propiedades físicas, densidad, hinchamiento y absorción de agua. Tanto el hinchamiento como la absorción de agua se evaluaron luego de 2 y 24 horas de inmersión en agua a 20° C.

Densidad. Los valores medios de esta propiedad se presentan en el cuadro 3, identificándose cada tipo de tablero con su respectivo contenido de corteza.

CUADRO 3

Densidad de tablero. Valores promedios, mínimos, máximos y desviación estándar (DE). Se ensayaron 48 probetas por tipo de tablero

Board denseness: Mean, Maximal, minimal and Standard deviation. Values (48 tests per board class)

Tipo de tablero Corteza (%)	Densidad (g/cm ³)			
	Prom.	Min.	Máx.	DE
0	0.636	0.541	0.727	0.039
10	0.635	0.480	0.780	0.056
25	0.639	0.545	0.730	0.036
40	0.642	0.516	0.774	0.059
55	0.629	0.525	0.735	0.043
70	0.638	0.529	0.796	0.048
85	0.648	0.373	0.882	0.082
100	0.657	0.383	0.848	0.091

En un análisis de normalidad se pudo determinar que, en cada tipo de tablero, la densidad varió dentro del rango establecido para un nivel de confianza del 95%. Con un análisis de homogeneidad de varianza se determinó que las diferencias entre las medias de los diversos tratamientos no son significativas. En base a esto puede establecerse que esta propiedad no afectó los resultados obtenidos para las demás propiedades fisicomecánicas ensayadas.

Hinchamiento. Los valores promedios de hinchamiento, después de 2 y 24 horas de inmersión, se presentan en el cuadro 4, identificándose el tipo de tablero con su porcentaje de corteza. El análisis de homogeneidad de varianza indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con contenido de corteza de 100, 85 y 70%; 85, 70 y 55%; 70, 55 y 40%; 40, 25, 10 y 0%.

Las normas DIN 68 761 y 68 763 establecen un hinchamiento límite de 8% para las dos horas y de 16% a 24 horas de inmersión. Este requisito se cumple en los tableros con contenidos de corteza de 70, 85 y 100%. Los paneles con menor contenido de corteza no cumplen con el requisito de la norma.

Aunque en algunos estudios se ha determinado que la incorporación de corteza en los tableros tiene un efecto negativo sobre las propiedades físicas, el análisis de regresión efectuado permite concluir que el contenido de corteza tiene una relación favorable con esta propiedad. Esta prueba estadística permitió obtener las siguientes ecuaciones:

$$H2 = 18.4683 - 0.1579 C$$

$$r = -0.9421; r^2 = 0.8876; ES = 0.0029$$

$$H24 = 22.2643 - 0.1242 C$$

$$r = -0.8366; r^2 = 0.6999; ES = 0.0042$$

- Donde: H2 = Hinchamiento a las 2 horas (%)
 H24 = Hinchamiento a las 24 horas (%)
 C = Contenido de corteza, expresado como porcentaje del peso de la madera en el tablero
 r = Coeficiente de correlación
 r² = Coeficiente de determinación
 ES = Error estándar de la estimación

La reducción del hinchamiento observada al elevar el contenido de corteza coincide con los

CUADRO 4

Hinchamiento en agua a 20° C. Valores promedios, mínimos, máximos y desviación estándar (DE).
Se ensayaron 48 probetas por tipo de tablero

Thickness swelling in water at 20° C: Mean, Maximal, minimal and Standard deviation Values (48 tests per Board class)

Horas	Tablero Corteza (%)	Prom.	Hinchamiento (%)		DE
			Min.	Máx.	
2	0	17.79	14.50	22.70	2.00
	10	16.97	12.80	24.80	2.92
	25	14.35	11.90	20.40	1.59
	40	12.79	10.00	16.50	1.74
	55	11.27	9.20	16.70	1.61
	70	6.83	2.80	11.90	1.42
	85	4.17	2.80	6.50	0.89
	100	2.82	0.90	4.60	0.83
24	0	21.25	16.70	27.30	2.52
	10	20.78	14.70	29.70	3.40
	25	18.40	14.70	25.00	2.02
	40	18.29	13.80	24.80	2.65
	55	16.97	13.00	21.30	2.07
	70	14.72	10.10	21.10	2.19
	85	12.77	8.30	17.40	2.09
	100	6.98	4.60	10.20	1.24

planteamientos de Moslemi (1974) y de Poblete y Zárate (1986). Estos autores indican que en la corteza se encuentra un alto contenido de extraíbles con carácter de hidrófobos, los que pueden afectar el hinchamiento y la absorción de agua. Además, durante el prensado pueden producirse reacciones entre el formaldehído y grupos fenólicos de la corteza, formándose un compuesto que actúa como agente hidrófobo (Hall *et al.*, 1960).

Los elevados valores de hinchamiento que registran los tableros con cantidades menores de corteza pueden explicarse por el tamaño de las partículas empleadas. Se ha comprobado que esta propiedad tiene directa relación con el espesor de las partículas, aumentando con partículas más cortas y gruesas (Lehmann, 1974; Shuler y Kelly, 1976). Pese a que al elevar el contenido de corteza aumenta el espesor ponderado del material, se redujo el hinchamiento, lo que confirma las características hidrófobas de la corteza. Debe tenerse en cuenta que en el estudio no se consideró la aplicación de un agente hidrófobo.

Absorción de agua. En el cuadro 5 se presentan los valores promedios registrados para esta propiedad luego de 2 y 24 horas de inmersión en agua a 20° C.

Las diferencias de varianza entre las medias de los tratamientos no son significativas entre los grupos cuyo contenido de corteza es 100 y 85%; 85 y 70%; 70, 55 y 40%; 55,40,25,10 y 0%. Las normas utilizadas, DIN y ASTM, no establecen niveles máximos exigidos para esta propiedad, efectuándose este ensayo sólo a modo de control.

Al igual que el hinchamiento, la absorción de agua se reduce al aumentar el contenido de corteza en los tableros. En el análisis de correlación se encontró una estrecha relación entre esta propiedad y el nivel de corteza. Las ecuaciones de regresión obtenidas para las 2 y 24 horas se presentan junto a sus parámetros estadísticos a continuación:

$$A_2 = 79.9198 - 0.7304 C$$

$$r = -0.9770; r^2 = 0.9546; ES = 0.0082$$

$$A_{24} = 100.5007 - 0.6275 C$$

$$r = -0.8848; r^2 = 0.7828; ES = 0.0170$$

Donde: A₂ = Absorción de agua a las 2 horas (%)
A₂₄ = Absorción de agua a las 24 horas (%)
C = Contenido de corteza (%)
r = Coeficiente de correlación
r² = Coeficiente de determinación
ES = Error estándar de la estimación

CUADRO 5

Absorción de agua. Valores promedios, mínimos, máximos y desviación estándar (DE).
Se ensayaron 48 probetas por tipo de tablero

Water absorption: Mean, Maximal, minimal and Standard deviation Values (48 tests per Board class)

Horas	Tablero Corteza (%)	Prom.	Absorción (%)		
			Min.	Máx.	DE
2	0	75.81	66.70	92.30	5.63
	10	73.48	57.10	91.70	7.96
	25	62.94	54.20	73.20	4.06
	40	54.61	42.10	69.80	4.84
	55	42.44	27.10	51.20	4.45
	70	26.55	20.00	31.70	2.40
	85	14.83	10.30	20.00	2.32
	100	7.75	5.00	11.50	1.69
24	0	91.14	78.80	107.70	7.11
	10	90.43	69.60	123.50	11.25
	25	85.73	73.10	97.60	5.75
	40	83.89	63.20	102.30	9.10
	55	76.54	60.40	90.50	7.59
	70	64.90	48.30	78.90	5.47
	85	45.70	33.80	59.30	5.01
	100	23.67	15.00	38.50	4.38

Tal como ocurre en el caso del hinchamiento, los tableros más desfavorecidos son aquellos que presentan los contenidos de corteza menores. La reducción de la absorción de agua al elevar el nivel de corteza puede atribuirse, de la misma forma que en el hinchamiento, al alto contenido de extraíbles de ese material y su capacidad de repeler el agua.

Como se demuestra en varios estudios, esta propiedad puede reducirse aún más al incluir algún agente que retarde la absorción de agua. También se mejora esta propiedad al elevar el coeficiente de esbeltez del material, ya que se ha determinado que al utilizar virutas más largas y delgadas puede esperarse una reducción de la absorción.

55%. El aumento del nivel de corteza incorporado a los tableros se traduce en una reducción de esta resistencia. Al comparar los resultados obtenidos con la exigencia establecida en la norma DIN 68 763 se puede establecer que los tableros que contienen hasta un 40% de corteza sobrepasan el valor mínimo exigido (0.4 N/mm²).

CUADRO 6

Resistencia a la tracción. Valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar (DE).

Se ensayaron 64 probetas por tipo de tablero

Tensile strength: Mean, Maximal, minimal and Standard deviation. Values (64 tests per Board class)

Tablero Corteza (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)			
	Prom.	Mín.	Máx.	DE
0	1.05	0.78	1.38	0.13
10	0.86	0.50	1.14	0.13
25	0.74	0.56	0.93	0.09
40	0.58	0.30	0.80	0.11
55	0.34	0.22	0.53	0.08
70	0.30	0.18	0.52	0.07
85	0.21	0.09	0.43	0.07
100	0.21	0.04	0.42	0.08

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS TABLEROS

Resistencia a la tracción. Los valores promedios para esta propiedad se presentan en el cuadro 6.

El análisis de varianza reveló que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos ensayados, excepto entre los grupos con 85 y 100% de corteza; y entre los tableros con niveles de 70 y

Para cuantificar la influencia de la corteza sobre esta propiedad se efectuó un análisis de regresión, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$T = 0.9530 - 0.0087 C$$

$$r = -0.9230; r^2 = 0.8519; ES = 0.0002$$

Donde:

- T = Resistencia a la tracción (N/mm²)
- C = Contenido de corteza
- r = Coeficiente de correlación
- r² = Coeficiente de determinación
- ES = Error estándar de la estimación

La resistencia a la tracción es afectada por el coeficiente de esbeltez, aumentando cuando esta relación se reduce (Brumbaugh, 1960; Gatchel *et al.*, 1966; Poblete, 1985). Sin embargo, a pesar de que el aumento del contenido de corteza hace disminuir el coeficiente de esbeltez, las características estructurales de la corteza son más preponderantes y determinan una reducción de esta propiedad. El efecto negativo de la corteza sobre la resistencia a la tracción es coincidente con los resultados obtenidos en tableros fabricados con desechos de aserrío de Pino Insigne con corteza (Torres, 1989) y en tableros elaborados con material de raleo de Pino Insigne con corteza (Poblete y Peredo, 1985).

Ya que la resistencia a la tracción es un indicador de la unión entre las partículas de la parte central del tablero y que las virutas empleadas en este estudio corresponden a las usadas comúnmente como capa media, no se debe esperar una mejoría de esta propiedad si se agregaran capas externas.

Resistencia a la flexión. Los valores promedios obtenidos para esta propiedad se presentan en el cuadro 7.

El análisis de significancia de la varianza indicó que no presentan diferencias significativas los niveles 100 y 85%, además de 10 y 0% de corteza. El requerimiento normalizado para flexión estática, según la norma DIN 68 761 es 18 N/mm², valor que fue superado sólo por los tableros cuyo contenido de corteza es igual o inferior a 10%.

Para determinar la relación existente entre esta propiedad y el nivel de corteza incorporado a los tableros se realizó un análisis de regresión lineal, el cual entregó la siguiente ecuación:

$$F = 20.1915 - 0.1930 C$$

$$r = -0.9192; r^2 = 0.8449; ES = 0.0042$$

Donde:

- F = Resistencia a la flexión (N/mm²)
- C = Contenido de corteza (%)
- r = Coeficiente de correlación
- r² = Coeficiente de determinación
- ES = Error estándar de la estimación

El efecto de la corteza sobre esta propiedad presenta la misma tendencia que los resultados entregados por Torres (1989) para tableros elaborados con desechos de aserrío con corteza de Pino Insigne, y por Poblete y Peredo (1985) para tableros fabricados con material con corteza proveniente de raleo de esa especie.

La disminución de la resistencia a la flexión registrada al elevar la participación de corteza en el tablero es atribuible a las características de la estructura anatómica de este material. Esta difiere notablemente con la de la madera, encontrándose una ausencia de elementos fibrosos longitudinales, los que aportan gran parte de la resistencia a la flexión. Debe tenerse presente el efecto de las características dimensionales de las partículas. Las dimensiones de las partículas de corteza tienen un coeficiente de esbeltez muy bajo, de modo que producen tableros con resistencias a la flexión inferiores a lo normal (Shuler y Kelly, 1976; Poblete, 1985). Los resultados del análisis de tamaño del

CUADRO 7

Resistencia a la flexión. Valores promedios máximos, mínimos y desviación estándar (DE). Se ensayaron 48 probetas por tipo de tablero

Bending strength: Mean, Maximal, minimal and Standard deviation values (48 tests per board class)

Tablero Corteza (%)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)			
	Prom.	Mín.	Max.	DE
0	21.15	13.39	32.48	3.26
10	19.21	9.17	30.25	4.35
25	14.49	10.66	20.83	2.18
40	12.07	7.19	18.84	3.09
55	8.06	4.71	11.40	1.57
70	5.92	2.98	9.92	1.38
85	3.75	0.74	7.19	1.53
100	2.65	0.25	6.94	1.57

material revelaron que las partículas de madera podrían ser mejoradas aumentando el largo y disminuyendo el espesor. Con estos cambios se lograría un mejoramiento del coeficiente de esbeltez y de la flexión.

Como el tipo de partículas utilizadas corresponde a las empleadas usualmente en la industria de tableros para capas internas podría esperarse una mejoría en esta propiedad, al estratificar los tableros, incluyendo material más fino en las capas externas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que:

- La inclusión de corteza de *Pinus radiata* D. Don en elaboración de tableros de partículas, en combinación con madera de esta especie, es posible hasta ciertas proporciones.
- Para la producción de partículas de corteza con características adecuadas para la elaboración de tableros fue necesario retirar el sistema de cuchillos y procesar el material de forma de obtener partículas similares a las de madera empleadas como capa media. Este proceso es semejante al de tratar la corteza en un molino de martillos.
- Al agregar corteza desmejoran el aspecto y las características superficiales de los tableros.
- La inclusión de corteza tiene un efecto positivo sobre las propiedades físicas. Los tableros con menos de 55% de corteza no cumplen los requisitos de la norma DIN. Estos últimos pueden ser mejorados agregando un aditivo hidrófobo.
- Las características anatómicas de la corteza provocan una reducción de las propiedades mecánicas. La ausencia de elementos fibrosos longitudinales tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción. Al evaluar las resistencias según la norma DIN, la más restrictiva resulta ser la flexión estática, según la cual el nivel de corteza no debe superar el 10% del peso del tablero. En el caso de considerar el límite de la norma para tracción podría incluirse hasta un 40% de corteza en los tableros.
- Es recomendable estudiar la elaboración de tableros que incluyan dos capas externas de par-

tículas finas de madera. De esta forma se mejoraría el aspecto superficial de los paneles y, a la vez, podría mejorarse considerablemente la resistencia a la flexión.

BIBLIOGRAFIA

- BRUMBAUGH, J. 1960. "Effect of flake dimension on properties of particleboards". *For. Prod. J.* 10(5): 243-246.
- CALVE, L., SHIELS, J., GRAVEL, M. 1986. "Maximizing aspen poplar residues utilization for waferboard production", *For. Prod. J.* 36(5): 39-45.
- CASSENS, D. 1974. "Bark properties of eight western softwoods", *For. Prod. J.* 24 (4): 40-45.
- DEPPE, H., HOFFMAN, A. 1972. "Particleboard experiments, utilize softwood bark waste", *World Wood* 13(7): 8-10.
- DOST, W. 1971. "Redwood bark fiber in particleboard", *For. Prod. J.* 21 (10): 38-43.
- ESAU, K. 1959. *Anatomía vegetal*. Ediciones Omega, Barcelona, 729 pp.
- GATCHEL, C., HEEBINK, B., HEFTY, F. 1966. "Influence of components variables on properties of particleboard for exterior use", *For. Prod. J.* 16(4): 46-59.
- GEIMER, R., CRIST, J. 1980. "Structural flakeboard from short-rotation intensively cultivated hybrid *Populus* clones", *For. Prod. J.* 30 (6): 42-48.
- HALL, R., LEONARD, J., NICHOLLS, G. 1960. "Bonding particleboard with bark extracts", *For. Prod. J.* 10 (5): 263-272.
- LARMORE, F. 1959. "Influence of specific gravity and resin content on properties of particleboard", *For. Prod. J.* 9 (4): 131-134.
- LEHMANN, W. 1974. "Properties of structural particleboard", *For. Prod. J.* 24 (1): 19-26.
- LEHMANN, M., GEIMER, R. 1974. "Properties of structural particleboard from Douglas-fir residues", *For. Prod. J.* 24 (10): 17-25.
- MALONEY, T. 1973. "Bark board from four west coast softwood species", *For. Prod. J.* 23 (8): 30-38.
- . 1977. *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*. Miller Freeman Publications. San Francisco, California, 672 pp.
- MARTIN, R. 1969. "Characterization of southern pine barks", *For. Prod. J.* 19 (8): 23-30.
- MARTIN, R., CRIST, J. 1968. "Selected physical-mechanical properties of eastern tree barks". *For. Prod. J.* 18(11): 54-60.
- MARTINEZ, O. 1984. *Análisis de la variación del espesor de corteza a lo largo del fuste en un rodal maduro de Pinus radiata D. Don*. Tesis Ing. Forestal, Univ. de Chile, 80 pp.
- MOSLEMI, A. 1974. *Particleboard. I Materials*. Southern Illinois University Press, 239 pp.
- MUSZYNSKI, Z., MCNATT, J. 1984. "Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland", *For. Prod. J.* 34 (1): 28-35.
- PLACE, T., MALONEY, T. 1975. "Thermal properties of drywood-bark multilayer boards", *For. Prod. J.* 25 (1): 33-39.
- POBLETE, H. 1978. *Uniones de madera con adhesivos*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Publicación Técnica N° 1, 43 pp.
- . 1985. *Influencia del tamaño de partículas sobre las propiedades mecánicas, flexión y tracción en tableros de partículas aglomerados con Ureaformaldehído*. Simposio *Pinus radiata* Investigación en Chile. Tomo II. Univ. Austral de Chile, Fac. Ciencias Forestales, pp. 241-256.

- POBLETE, H., PEREDO, M. 1985. *Utilización de material proveniente del manejo silvopastoral en la fabricación de tableros de partículas*. Simposio *Pinus radiata* Investigación en Chile. Tomo II. Univ. Austral de Chile, Fac. Ciencias Forestales, pp. 220-240.
- POBLETE, H., ZARATE, M. 1986. *Influencia de los extraíbles sobre las propiedades de la madera y su utilización como materia prima*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Publicación Docente N° 20, 55 pp.
- SHULER, C., KELLY, R. 1976. "Effect of flake geometry on mechanical properties of eastern spruce flake type particleboard", *For. Prod. J.* 26 (6): 24-28.
- TORRES, E. 1989. *Fabricación de tableros de partículas utilizando desechos de industrias de aserrío, chapas y contrachapados*. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 58 pp.
- VITAL, B., LEHMANN, W., BOONE, R. 1974. "How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard", *For. Prod. J.* 24 (12): 37-45.