

INCORPORACION DE ASTILLAS DE DESPUNTES EN TABLEROS DE PARTICULAS

Hernán Poblete Wilson (*)

RESUMEN

En este trabajo se analizan las características de las astillas producidas a partir de despuntes de tableros, y el efecto producido al incorporar este material en la capa media de tableros de partículas.

Para caracterizar las astillas se determinaron la densidad, capacidad de absorción, forma y tamaño, superficie específica, valor pH y capacidad tampón del nuevo material. Con el objeto de evaluar la factibilidad de incluir los despuntes en los tableros, se fabricaron paneles de 19 mm de espesor, 608 kg/m³ de densidad y con proporciones de 14% y 40% de astillas de despuntes. Como adhesivo se utilizó Ureaformaldehído, en cantidades equivalentes a 7%, 6,4% y 5,3%. A estos tableros se les determinó; densidad, flexión (Módulo de rotura), tracción, hinchamiento, y absorción de agua.

ABSTRACT

*The characteristics of particles produced with board wastes from *Pinus radiata* (D. Don) were analyzed. The effect of these particles, on physical and mechanical properties of the produced panels, was also studied.*

Specific weight, water absorption, particle geometry and specific area, ph-value, and buffer capacity of particles were determined.

Particle boards containing 14% and 40% of board waste-particles in the middle layer were manufactured. Other process parameters were density at 608 Kg/m³, board thickness of 19 mm, adhesive content of 7,0%, 6,4% and 5,3% of Ureaformaldehyde.

Internal bond, bending strength (MOR), thickness swelling and water absorption of the panels were also tested.

(*) Dr. Ingeniero Forestal. Inst. Tec. Prod. Forestales, Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia-Chile.

INTRODUCCION

El permanente aumento de la exportación de productos forestales ha provocado un incremento en el valor de la madera. Este hecho sumado a la necesidad de disminuir los costos de producción para lograr una mayor competitividad de las industrias nacionales, hacen cada día más interesante el estudio de alternativas que aumenten el grado de aprovechamiento de las materias primas.

Este estudio tuvo por objetivo reciclar los despuntes de tableros de partículas de 19 mm de espesor, incorporándolos en la capa media de los tableros. Esto se traduce en disminuir el consumo de madera en porcentajes que variarán entre 2% y 10%.

El incluir este nuevo tipo de astillas involucra una serie de cambios, los que se analizan a continuación.

En primer término cabe mencionar que debido a que las partículas producidas a partir de despuntes de tableros, provienen de un material que ha sido encolado y prensado la densidad normal de la madera se encuentra alterada, ya que se ha impregnado con adhesivo y comprimido durante el prensado. Este cambio en la densidad afecta la razón de compresión (densidad del tablero/densidad de la madera) y por consiguiente a las propiedades del tablero (VITAL, LEHMANN y BOONE, 1974; URZUA y POBLETE, 1980).

La impregnación de las partículas y su densificación durante el prensado pueden provocar una disminución de la capacidad de absorción. Este cambio tiene un efecto negativo sobre la penetración del adhesivo en la madera, produciéndose una pérdida en la resistencia de la unión por adhesión mecánica, lo cual se traduce en una disminución de las resistencias del producto final (POBLETE, 1978).

El proceso de desintegración de los despuntes, llevado a cabo con un chipeador, da origen a partículas de forma y tamaño diferentes a las que normalmente se utilizan en la capa media de los tableros. Este cambio en la geometría de las partículas puede favorecer a algunas propiedades y empeorar otras (POST, 1958; POBLETE, 1985). Por esta razón se deberá determinar exactamente las dimensiones del nuevo material, y calcular su superficie específica, para poder corregir la dosificación de adhesivo y lograr una distribución adecuada de éste.

Aparte de los cambios físicos mencionados anteriormente, es posible que en el material de despuntes se presenten algunos cambios químicos por la presencia de Ureaformaldehído. De ellos es necesario estudiar, por su efecto sobre el proceso de fraguado del adhesivo, el valor de pH y la capacidad tampón, ya que bajo condiciones adversas pueden acelerar o detener el proceso de fraguado reduciendo las resistencias de las uniones (SANDERMANN y ROTHKAMM, 1959; ROFFAEL, RAUCK, y von BISMARCK, 1975).

MATERIAL Y METODO

Para cumplir con los objetivos planteados se seleccionó una muestra de despuntes de tableros de 19 mm de espesor y con una densidad promedio de 620 Kg/m³.

La muestra de despuntes fue procesada en un chipeador marca Klöckner provisto de una criba de selección con perforaciones de 15 mm de arista.

El material obtenido de este equipo fue posteriormente tamizado con una malla con orificios de 5 mm para separar el material más grueso y determinar el rendimiento en partículas utilizables.

Las partículas normales, testigos, y las originadas por el chipeado de los despuntes, fueron estudiados para determinar los parámetros que se describen en seguida.

Una vez caracterizado los materiales a utilizar se procedió a fabricar tableros en los cuales se incluyeron las partículas producidas de despuntes en la capa media.

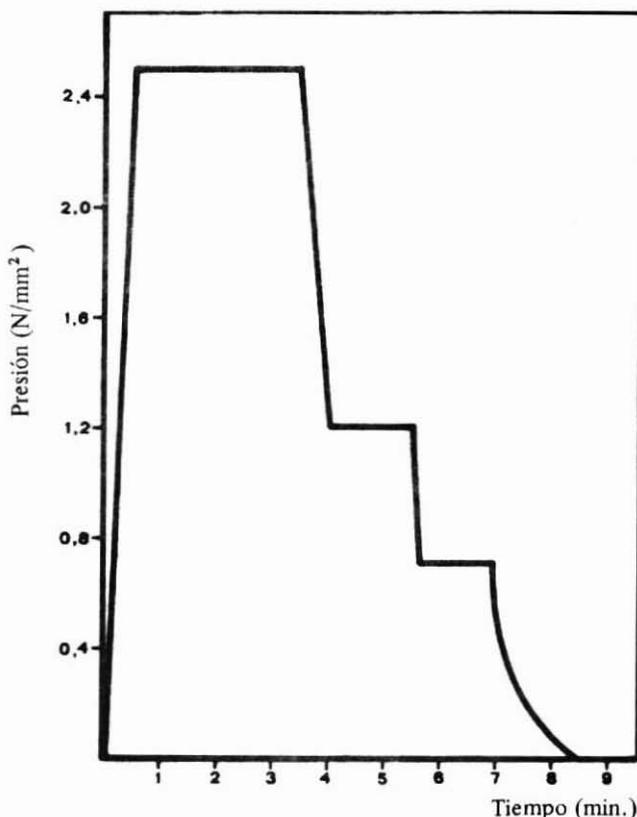
Las proporciones en que se incluyó este nuevo tipo de partículas fueron 14% y 40% calculado en base al peso de las virutas normales para capa media.

A estas variables se agregó el contenido de adhesivo el cual se cambió considerando la diferencia en superficie específica de los materiales utilizados. Teniendo en cuenta lo anterior se trabajó con cantidades de adhesivo equivalentes a las industriales, 7% resina sólida en capa media, y con un porcentaje calculado para lograr una cantidad de adhesivo disponible por superficie (g/m^2) igual a la de los tableros normales.

El ciclo de prensado utilizado para fabricar los tableros consideró tres niveles de presión (2,5; 1,2 y 0,7 N/mm^2) y un tiempo total de 8,5 minutos. La temperatura de prensado se mantuvo constante en 150°C . La forma en que varían los factores presión y temperatura se encuentra graficada en la Figura 1.

FIGURA 1

**CICLO DE Prensado EMPLEADO PARA LA
FABRICACION DE LOS TABLEROS**
(Temperatura de los platos: 150°C)



Con estas variables y los correspondientes testigos se llegó a una cantidad total de 20 tableros los que fueron ensayados de acuerdo con las normas DIN en sus propiedades Flexión, Tracción, Hinchamiento (2 y 24 horas) y Absorción de agua.

Densidad

La densidad de las partículas fue determinada a humedad de ensayo (3,72%) midiéndose el volumen en un volumenómetro y el peso en una balanza digital con una precisión de 0,001 g.

Capacidad de absorción

Para medir este parámetro se sometió una cantidad dada de partículas (en peso) a un baño de agua a 20°C. Posteriormente se centrifugaron a 4.000 rpm para finalizar con una medición del agua absorbida por diferencia de peso en estufa a 103°C.

Análisis de la composición de tamaños

La medición de la composición por tipo de tamaño, del largo, espesor y coeficiente de esbeltez, se efectuó de acuerdo con la metodología propuesta por POBLETE (1979) tomando muestras de 100 g, tamizándolas y midiendo largo y espesor de cada clase de tamaño. Con el promedio de estos valores se calculó el coeficiente de esbeltez de cada tipo de partículas y ponderando por el porcentaje de participación en la muestra, se determinaron las dimensiones promedio de las virutas.

Superficie específica

El cálculo de superficie específica se realizó utilizando la fórmula de KLAUDITZ (1956).

$$S. \text{ esp (m}^2 \text{ /100 g madera seca)} = \frac{0,2}{d \times e}$$

Donde:

- d = Peso específico
- e = Espesor de partículas

Valor de pH

El pH de las muestras se determinó en una solución de astillas en agua destilada en una proporción de 1:10 con un pH-metro digital Knick a una temperatura de 20°C. Las mediciones se llevaron a cabo luego de 4 horas de agitación a 200 rpm.

Capacidad tampón

Para la determinación de la capacidad tampón se procedió de acuerdo con la metodología recomendada por SANDERMANN y ROTHKAM (1959), agitando harina del material en estudio, en una solución de Hidróxido de Sodio (n/1000) en proporción 1:10 durante 2 horas a 150 rpm.

La fórmula aplicada para el cálculo fue la siguiente:

$$C.T. = \frac{(\text{mol (g/l)} \times \text{Peso atro (\%)} \times 2000)}{\text{NaOH (ml)} (1000 + \text{humedad (\%)}) \text{ph} \times \text{Peso astillas (g)}}$$

En forma paralela a la determinación de la capacidad tampón con hidróxido de sodio, se realizó una medición de esta propiedad con ácido clorhídrico.

Para ello, se tomaron 15 g de astillas y se introdujeron en un matraz con 200 ml de agua destilada. Posteriormente se calentaron bajo unidades de refrigeración hasta su ebullición. Luego de enfriar la muestra se tomaron 100 ml del extracto, se midió el pH inicial, y se agregó ácido (0,1 N) por medio de micropipetas hasta lograr un valor de pH 3. La cantidad de ácido consumido equivale a la capacidad tampón. Este procedimiento, aparte de permitir la comparación de los métodos con NaOH y HCl, tiene la ventaja de medir pH y capacidad tampón luego de tratar las muestras a 100°C. Vale decir, mide las propiedades de las partículas en las condiciones a las que se encontrarán durante el prensado.

RESULTADOS Y DISCUSION

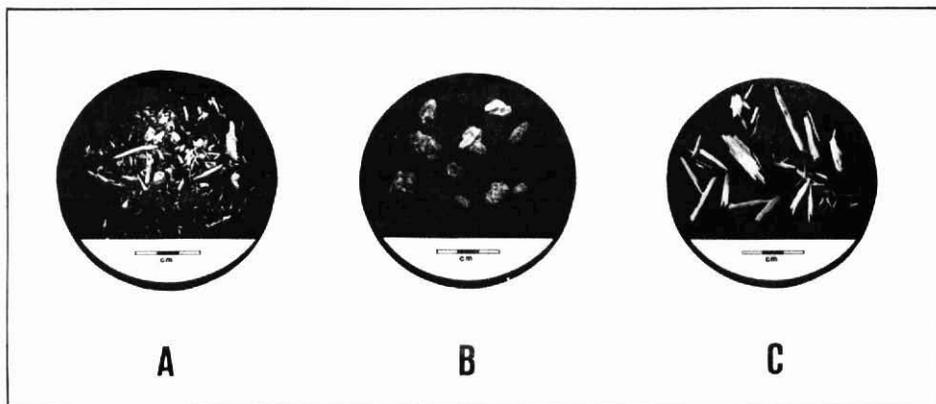
Rendimiento del despunte luego del chipeado

La primera etapa del proceso de clasificación del material obtenido del chipeado de los despunte, consistió en un tamizado para eliminar las fracciones más gruesas, menos trituradas. De un total de 41,45 Kg tamizados se clasificaron como rechazo 13,85 Kg lo cual equivale a un 33,4% del total.

El aspecto de ambas fracciones y de las partículas normales se presenta en la Figura 2.

FIGURA 2

ASPECTOS DE LAS PARTICULAS DE DESPUNTE UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE LOS TABLEROS (A); DEL MATERIAL RECHAZADO LUEGO DEL TAMIZADO (B) Y DE LAS VIRUTAS NORMALES (C)



Determinación de la densidad de las partículas

La medición de este parámetro se llevó a cabo tanto en las virutas normales como en las fracciones clasificadas como rechazo y utilizables de las partículas de despuntes. Los resultados del análisis de diez muestras de cada tipo, determinaron que el material de rechazo tenía una densidad de $600,4 \text{ Kg/m}^3$, mientras que en las astillas utilizables y las partículas normales se registraron densidades de $509,9 \text{ Kg/m}^3$ y 338 Kg/m^3 respectivamente.

Los resultados de densidad permiten constatar que el material de rechazo conserva una densidad similar a la de los tableros originales (620 Kg/m^3). Las partículas más desmenuzadas y clasificadas como utilizables presentan una densidad promedio más baja, producto de la descompactación de los despuntes. La densidad de las virutas normales es notablemente más baja y corresponde a los valores registrados normalmente en madera juvenil de *Pinus radiata* D. Don.

Estos valores de densidad dan razones de compresión de 1,8 con virutas normales y 1,2 con partículas de despunte al fabricar tableros con una densidad de 620 Kg/m^3 , lo cual significa que las virutas normales serán comprimidas en una proporción muy superior a las de despunte durante el prensado.

Al respecto cabe mencionar que en general al aumentar la densidad de las maderas utilizadas disminuyen las propiedades mecánicas (STEGMANN y DURST, 1964). Esto se debe a que al existir una mayor compactación del material se produce un mayor contacto entre las partículas y una mejor unión entre ellas. Dado que la razón de compresión es un parámetro que debiera registrar como mínimo un valor de 1,2 se puede aseverar que las partículas de despuntes pueden ser incluidas en combinación con virutas normales.

Pese a lo anterior, la mayor densidad que poseen las partículas de despuntes se traduce en que la cantidad de partículas por cada 100 g será menor que en el caso de las virutas normales. Esto influirá notablemente sobre valores de superficies específica permitiendo una mayor disponibilidad de adhesivo por superficie en el caso de las partículas de despunte.

Capacidad de absorción

Las muestras para determinar la capacidad de absorción fueron tratadas con agua destilada durante tiempos que variaron entre 1 y 10 min. Luego de una centrifugación durante 30 segundos se midió la cantidad de agua retenida, sin que se observara una influencia del tiempo de permanencia en el agua.

Los resultados del ensayo dieron valores de 98,3% en el caso de las virutas normales, y 80,5% en las astillas de despuntes.

Los resultados obtenidos permiten concluir que las partículas de despunte presentan una capacidad de absorción notablemente inferior a la de las virutas normales. Esto se debe a que las células de la madera de despuntes se encuentran comprimidas por el prensado y parcialmente obstruidas por el adhesivo. Esta disminución en la absorción tiene un efecto sobre la penetración del adhesivo y la formación de los denominados dedos de cola, todo lo cual se traducirá en una reducción de la adhesión mecánica (POBLETE, 1979). Cabe agregar que la menor capacidad de absorción de las partículas de despunte permitirá que una mayor parte del adhesivo permanezca en la superficie de éstos, lo que podría afectar favorablemente a la unión entre virutas, siempre que se logre una adhesión mecánica adecuada.

Análisis de la composición de tamaños

Para realizar este análisis se tomaron varias muestras de 100 g y se tamizaron. A cada una de las clases de tamaño clasificadas se les determinó el largo, espesor y coeficiente de esbeltez promedio. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1

PARTICIPACION DE LOS DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTICULAS
EN LAS MUESTRAS Y DIMENSIONES PROMEDIO DE ESTAS

Tamiz		Virutas normales				Partículas de despunte			
Mueles mm		%	L	E	CE	%	L	E	CE
5	4,0	24	25,72	0,84	30,6	7	11,10	1,99	5,6
7	3,0	12	24,95	0,72	34,7	34	11,40	1,40	8,1
9	2,0	15	19,30	0,53	36,4	0	0,00	0,00	0,0
12	1,5	15	16,00	0,49	32,7	15	7,80	0,70	11,1
16	1,0	12	15,30	0,52	29,4	14	6,30	0,54	11,7
base	0,0	22	8,95	0,23	38,9	30	5,10	0,35	14,6

Nota: L = Largo; E = Espesor; CE = Coeficiente de esbeltez.

Al comparar los dos tipos de partículas se pudo apreciar que en el caso de las virutas normales una mayor cantidad de partículas se concentró en los tamaños más grandes. Los largos de partículas normales fueron notoriamente superiores, en todos los niveles, a los de las partículas de despunte. Esta relación es inversa cuando se comparan los espesores medidos.

Con los valores de largo y espesor se calculó el coeficiente de esbeltez de cada clase de tamaño. Los resultados de esta operación demuestran que las partículas de despunte son de forma relativamente cúbica en las clases de tamaño superiores, y alargadas cuando el desmenuzamiento en el chispeador ha sido más completo. Al ponderar las dimensiones de cada clase de tamaño por su participación en las muestras, se obtuvieron los promedios ponderados que se entregan en el Cuadro 2.

CUADRO 2

DIMENSIONES PROMEDIO DE LAS PARTICULAS DE DESPUNTE
Y DE VIRUTAS NORMALES

Tipo partícula	Largo mm	Espesor mm	Coeficiente esbeltez L/E
Partículas de despunte	8,24	0,90	9,2
Virutas normales	18,27	0,55	33,2

El reemplazo de las virutas normales por partículas de despuntes, se traduce en una disminución del largo, del coeficiente de esbeltez y un aumento del espesor promedio. Este cambio en las partículas significaría, si se tratara de madera normal, que la resistencia a la flexión de los tableros disminuye y que la resistencia a la tracción aumenta. Sin embargo este efecto no es aislado ya que se encuentra ligado a otros cambios de la materia prima que se analizan en este capítulo.

Superficie específica y adhesivo disponible

Con los valores obtenidos en el análisis del tamaño de partícula y de la densidad de la madera se pudo calcular la superficie específica de las virutas normales y de las partículas de despuntes.

En el caso de las virutas normales se determinó una superficie específica de $1,079 \text{ m}^2/100 \text{ g}$ mientras que las partículas de despunte, por su mayor densidad, sólo registraron $0,436 \text{ m}^2/100 \text{ g}$. Al encolar la capa media con un 7% de adhesivo se tiene que las virutas normales dispondrán de una cantidad de adhesivo de $6,49 \text{ g/m}^2$, en tanto que las partículas de despunte alcanzarán a $16,06 \text{ g/m}^2$. Esto significaría que las partículas de despuntes presentan una notable ventaja sobre las virutas normales.

Las superficies específicas medidas en cada tipo de partícula, ponderadas por el porcentaje con que participan en la mezcla a incorporar en la capa media, dan como resultado la superficie interna de la mezcla. Estos nuevos valores fueron $0,822 \text{ m}^2/100 \text{ g}$ en la mezcla que contempla el reemplazo de un 40% de la viruta normal y $0,989 \text{ m}^2/100 \text{ g}$ para la mezcla con el reemplazo de un 14%. De esta forma, para mantener la cantidad de adhesivo disponible en $6,49 \text{ g/m}^2$ se tiene que para el reemplazo de un 40% se debe encolar con 5,3% de adhesivo. En el caso de incluir sólo un 14%, la cantidad de adhesivo será 6,4%.

Valor del pH

El pH de la madera, o del material que se incluya en el tablero, influye sobre el fraguado del adhesivo. Este parámetro normalmente se determina midiéndolo en una solución de harina de madera en agua destilada. En este caso, y debido a que la forma de las partículas determina la capacidad de intercambio de iones durante la reacción del adhesivo, se midió el valor de pH en las partículas y virutas sin que se alterara su tamaño.

Los promedios de pH obtenidos fueron 4,62 en el caso de las partículas de despunte y 4,56 en las virutas normales.

Los valores de pH de ambos tipos de partículas pueden considerarse iguales. La diferencia existente no debiera influir en el fraguado del adhesivo. Los resultados indican que el adhesivo que se encuentra en las partículas de despunte ha fraguado completamente y luego de 4 horas de agitación en agua destilada no cambia su composición química. Pese a lo anterior existe la posibilidad que al encontrarse bajo temperatura en la prensa pudiera reaccionar, interfiriendo de alguna manera el proceso de fraguado.

Capacidad tampón

Como se menciona en el punto respectivo de MATERIAL Y METODO, la medición de la capacidad tampón se realizó de acuerdo con dos metodologías diferentes.

El primer análisis efectuado se llevó a cabo determinando el cambio del valor de pH al mezclar una solución de hidróxido de sodio (N/1000) con las partículas. Los valores obtenidos con este método fueron 0,038 para las partículas normales y 0,035 con las astillas de despunte.

Al analizar estos resultados se verifica que la capacidad tampón, a temperatura ambiente, de las virutas normales es ligeramente superior a la de las astillas de despunte.

Pese a que los valores de pH discutidos en el punto anterior revelan que no existen diferencias entre los materiales, las cifras obtenidas para capacidad tampón indican que las partículas de despunte poseen extraíbles que consumen una cantidad de base levemente superior. La diferencia existente entre ambos tipos de partículas se debe a que al introducirlos en la solución, se produce una hidrólisis básica, la cual permite que en el caso de los despuntes, parte de los constituyentes del adhesivo sean liberados.

El efecto que tiene la diferencia en capacidad de tamponaje será poco notorio mientras se mantenga el material a temperatura ambiente. En todo caso, al encolar las partículas, el adhesivo (Ureaformaldehído) encontrará condiciones más favorables para comenzar a solidificarse en las partículas de despunte.

El estudio de la capacidad tampón con ácido clorhídrico luego de una cocción de las virutas permitió determinar diferencias más notorias entre los dos tipos de partículas.

En efecto, la cantidad promedio de ácido consumido fue de 2,40 ml en el caso de las virutas normales y de 2,82 ml con las astillas de despunte.

Los valores de capacidad tampón obtenidos por este método corresponden a las condiciones que se producirán durante el prensado, al subir la temperatura en el centro del tablero a 100°C. Con esta temperatura la cantidad y tipo de extraíbles liberados por la madera son diferentes a los obtenidos por extracción en agua a 20°C. De la misma forma, el adhesivo que se encuentra en las partículas de despunte impedirá la salida de parte de estos extraíbles y liberará otros compuestos químicos ajenos a la madera.

Los tipos de partículas presentan una diferencia de 0,4 ml (HCl 0,1 N), lo que no provocará diferencias significativas en el fraguado del adhesivo. Pese a lo anterior se debe tener presente que al subir la temperatura, el adhesivo fraguará más fácilmente cuando la proporción de despuntes sea menor.

Encolado y prensado de los tableros

Las astillas de despuntes y las virutas de madera fueron encoladas de acuerdo con lo establecido en la metodología y en los resultados del análisis de adhesivo disponible por superficie específica. Con esta variación en el contenido de adhesivo y considerando la cantidad de astillas de despunte incluidas en la capa media se definieron los tipos de tableros que se presentan en el Cuadro 3.

CUADRO 3

TIPOS DE TABLEROS CONFECCIONADOS PARA LOS ENSAYOS

Tipo de tablero	Materiales en la capa media		
	Virutas normales (%)	Astillas de despunte (%)	Adhesivos (%)
T (testigos)	100	—	7
A	86	14	7
B	60	40	7
C	86	14	6,4
D	60	40	5,3

El prensado se llevó a cabo según lo establecido en Material y Método, pudiendo observarse que al prensar los tableros tipo B y D, con 40% de despuntes, el tiempo de cierre de la prensa se redujo en un 50%. Esto se debió a que las partículas de despuntes poseen una densidad mayor y forman una estera más compacta y más fácil de comprimir. El tiempo necesario para el cierre total de la prensa disminuyó aproximadamente de 1 minuto a 30 segundos.

La densidad promedio de los tableros producidos fue de 608,8 Kg/m³ con una desviación estándar de 0,043. El análisis de varianza efectuado para verificar si algún tablero era diferente al resto, con respecto a su densidad, permitió verificar que no existieron diferencias significativas entre los tableros.

Resistencia a la flexión

Las cifras obtenidas del análisis estadístico de 235 probetas se presentan en el Cuadro 4.

CUADRO 4

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION, MODULO DE ROTURA,
SEGUN DIN 52362

Tablero Tipo	Flexión promed. N/mm ²	Desviación estándar	Error estándar %	Máxima N/mm ²	Mínima N/mm ²
T (testigos)	27,178	1,999	1,07	31,246	23,600
A	25,756	2,327	1,32	30,465	20,276
B	25,486	2,510	1,44	34,403	20,443
C	25,219	2,876	1,66	32,575	17,152
S	26,926	1,960	1,06	31,412	22,886

Los resultados de esta propiedad mecánica superan en todos los tratamientos la exigencia de la norma DIN 68761 (16 N/mm²) para este espesor de tablero (19 mm).

Los valores de desviación estándar indican la diferencia promedio existente entre los valores reales medidos, y la flexión media calculada. En este análisis la situación más desfavorable se presenta en el tipo C con una desviación de 2,876, lo que equivale a afirmar que los valores de flexión medidos podrán variar en un 11,4%. Esta situación se comprueba al observar que los valores máximos y mínimos del tipo C abarcan un rango de resistencia más amplio que el resto de los tratamientos.

Pese a lo anterior puede aseverarse que las desviaciones estándar medidas son pequeñas, lo cual demuestra que las muestras de resistencias de cada tipo de tableros son homogéneas.

El parámetro error estándar indica la posibilidad de variación que tiene el valor promedio de cada tratamiento. Se observa en el Cuadro 4, que estas cifras no superan a un 1,66% (tipo C), lo cual significa que la media representa a la muestra con un 98,34% de seguridad.

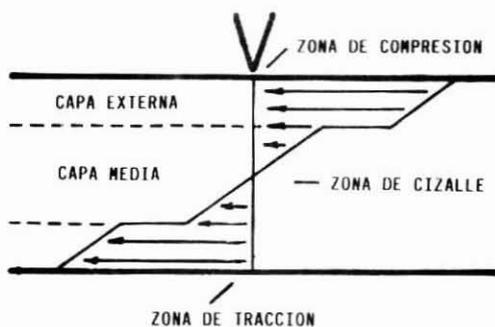
El análisis de varianza realizado para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos reveló que son diferentes los tableros tipo T con respecto a los tipos B y C. Esta situación es similar al comparar los tableros C con los D.

FIGURA 3

PROBETAS DE FLEXION CON FRACTURAS DE ENSAYO ANORMALES



Probeta de flexión con fractura anormal



Esquema de distribución de las tensiones



Grupo de probetas anormales en flexión

Todo lo anterior revela que el mantener el contenido de adhesivo y agregar material de despuntes se produce una disminución de la flexión que sólo es significativa al incluir un 40% de este material en la capa media. Dado que las propiedades químicas estudiadas no presentan variaciones importantes (pH y capacidad tampón), esta leve reducción de la flexión puede atribuirse a la disminución en el coeficiente de esbeltez de las partículas. Al reducirse el contenido de adhesivo, manteniéndose la cantidad de adhesivo disponible por superficie específica, también se pudo determinar una ligera disminución en la resistencia. De acuerdo con el diseño experimental planteado y con las tendencias observadas al mantener el contenido de adhesivo en 7%, se podría haber esperado que los tableros tipo D presentaran los valores de flexión más bajos. Sin embargo al examinar los resultados expuestos en el Cuadro 4 se observa que los tableros tipo D registran una resistencia a la flexión más alta, semejante a la de los testigos. Este aumento de la flexión al incorporar 40% de despuntes con una disponibilidad de adhesivo constante ($6,49 \text{ g/m}^2$) puede atribuirse a la mayor rapidez con que se comprimieron las virutas de las capas externas durante el prensado. En el caso de la flexión, debe tenerse en cuenta que las diferencias entre los tratamientos son pequeñas, inferiores a un 10%, por lo que el aumento de la flexión en los tableros tipo D podría corresponder a variaciones normales dadas por el método de fabricación de los aglomerados.

Cabe destacar que durante el ensayo de flexión de los tableros tipo D se observó una fractura anormal en algunas probetas. Este fenómeno se observa en la Figura 3 y se produce por la presencia de una capa media débil. En efecto, al estudiar la distribución de las fuerzas durante el ensayo de flexión (Figura 3) se observa que en la capa central se provoca un cizalle al encontrarse las tensiones de comprensión (cara superior de la carga) y tracción (cara inferior de la carga). Al presentarse este tipo de fractura se puede predecir que la resistencia a la tracción de estos tableros no será adecuada.

En general pudo comprobarse que los valores de flexión no presentan diferencias importantes entre sí. La incorporación de astillas de despuntes en la capa central del tablero y los cambios en el contenido de adhesivo no afectan mayormente esta propiedad. Las resistencias promedio de todos los tratamientos superan los requisitos establecidos por la norma DIN 68761.

Resistencia a la tracción perpendicular

Los resultados obtenidos de los análisis estadísticos de 313 ensayos de esta propiedad mecánica se presentan en el Cuadro 5.

CUADRO 5

**ENSAYOS DE TRACCION PERPENDICULAR AL PLANO,
REALIZADOS SEGUN DIN 52365**

Tablero Tipo	Tracción prom. N/mm ²	Desviación estándar	Error standar %	Máximo N/mm ²	Mínimo N/mm ²
T (testigos)	0,611	0,057	1,20	0,716	0,440
A	0,631	0,066	1,35	0,752	0,476
B	0,762	0,075	1,25	0,964	0,588
C	0,561	0,052	1,18	0,658	0,400
D	0,478	0,050	1,32	0,588	0,340

Los valores promedios de tracción superan en todos los tratamientos a la exigencia mínima impuesta por DIN 68761 ($0,35 \text{ N/mm}^2$) para tableros de 19 mm de espesor.

Las desviaciones estándares calculadas para cada tratamiento se encuentran dentro de los rangos normales y no superan a un 10,5%, valor alcanzado en los tableros tipo D. En este sentido la dispersión de las resistencias es menor que en el caso de flexión. Algo similar ocurrió con el error estándar. Este parámetro tiene un valor máximo de 1,35% (tableros tipo A) lo cual indica que la resistencia promedio calculada representa con un alto grado de fidelidad (> 98%) a los tratamientos muestreados. Se agregan en el Cuadro 5 las resistencias máximas y mínimas medidas, con el objeto de proporcionar una idea clara respecto a los niveles en que fluctuaron las resistencias de las probetas.

Al someter los resultados a un análisis de varianza se constató que los tableros testigos y aquellos que contenían en la capa media un 14% de despuntes y 7% de adhesivo no presentan diferencias significativas. Todas las comparaciones que se efectuaron con otros tableros indicaron que los tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre la tracción.

Los valores expuestos en el Cuadro 5 indican que al mantener constante la cantidad de adhesivo (7%) e incluir astillas de despuntes se produce un aumento gradual de la resistencia analizada. Como no existen diferencias notables en las características químicas de los materiales (pH y capacidad tampón), el aumento de la tracción se puede deber a la reducción del coeficiente de esbeltez y al mejoramiento de la razón de compresión en la zona central de los tableros. También debe tenerse en cuenta que las astillas de despunte poseen una capacidad de absorción inferior a las virutas normales, lo cual permite que una cantidad superior de adhesivo permanezca en la superficie de las partículas. Este último se traduce en la obtención de uniones más resistentes al producirse una adhesión mecánica adecuada.

Al reducir la cantidad de adhesivo, para mantener constante la disponibilidad de este reactivo por unidad de superficie ($6,49 \text{ g/m}^2$), se produjo una notable pérdida en la resistencia a la tracción. Este desmejoramiento es gradual y se ve asociado a la disminución del adhesivo junto a un aumento en el contenido de despuntes. Desde el punto de vista teórico la inclusión de partículas más cortas, de mayor densidad y de menor capacidad de absorción debiera haber producido un aumento de la tracción. Sin embargo en estos casos (tipos C y D) se introduce una reducción de la cantidad de adhesivo de 7% a 6,4 y 5,3%. Esta disminución de la cantidad de adhesivo sería la causante de la pérdida en resistencia. La explicación a este hecho podría estar asociada a los bajos contenidos de humedad que poseían las astillas al realizar el encolado (< 3,0%). El efecto podría explicarse como sigue: Las virutas y astillas secas absorben una cierta cantidad de adhesivo dejando otra fracción de Ureaformaldehído en las superficies. Esta capacidad de absorción se disminuye al incluir astillas de despunte, pero permanece a un nivel, en que al reducir la cantidad de adhesivo no permite que una proporción adecuada de éste permanezca en la superficie de las virutas.

La conclusión general respecto a esta propiedad mecánica es que es factible incluir astillas de despunte al mantener constante la proporción de encolado (7%). Al realizar este cambio en la capa media de los tableros se provoca un aumento de la resistencia a la tracción con lo que se posibilita el disminuir el contenido de adhesivo si se aumenta el contenido de humedad de las partículas.

Hinchamiento a dos y 24 horas

El ensayo de hinchamiento, realizado de acuerdo con DIN 52364, se llevó a cabo con 453 probetas. Los promedios por tipo de tablero, la desviación estándar, error estándar, hinchamiento máximo y mínimo, se presentan en los Cuadros 6 y 7.

CUADRO 6

HINCHAMIENTO A DOS HORAS Y PARAMETROS ESTADISTICOS DE ESTE ENSAYO

Tablero Tipo	Hincham. prom. (%)	Desviación estándar	Error estándar (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
T (testigos)	12,795	1,104	1,258	15,632	10,310
A	13,287	1,792	1,988	16,818	10,197
B	10,929	0,694	0,936	12,272	9,593
C	10,958	2,026	2,696	14,894	4,692
D	11,105	1,341	1,886	13,636	7,973

La norma DIN 68761 en su parte 1 plantea los requisitos mínimos que deben cumplir los tableros de partículas para interiores, encolados con Ureaformaldehído. Entre estas exigencias se estipula valor de hinchamiento máximo de 8,0% a las dos horas de inmersión en agua. Como se aprecia en el Cuadro 6 los valores obtenidos sobrepasan los límites de la norma. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el adhesivo no contenía ningún compuesto hidrófobo por lo que los niveles alcanzados pueden ser considerados como normales.

La desviación estándar de las muestras estudiadas es levemente superior a las determinadas por flexión y tracción, siendo más desfavorable en los tableros tipo C, con un valor de 2,026. Esto equivale a afirmar que la posibilidad de variación de la dispersión de los datos es de un 18,4%. Más importante que este parámetro es el error estándar de la media. Este valor, que indica en qué porcentaje puede variar el promedio calculado, fluctuó entre 2,696% (tipo C) y 0,936% (tipo B).

El análisis de varianza, al cual se sometieron todos los valores de hinchamiento a dos horas, demostró que los diferentes tipos de tableros se dividen en dos grupos. Los del tipo A y testigos no presentan diferencias significativas y son diferentes a los tipos B, C y D. Estos últimos son, a su vez, iguales entre sí.

Lo anterior indica que al agregar un 14% de despuntes sin cambiar el contenido de adhesivo, no se produce una alteración del hinchamiento a dos horas. Al aumentar el contenido de astillas de despunte a 40% el hinchamiento disminuye de 13% a 11%. Este efecto podría explicarse por la menor capacidad de absorción del nuevo material incluido. Sin embargo esta afirmación no coincide con los resultados obtenidos con los tableros tipo C. En este tipo se tiene una cantidad de astillas idéntica al tipo A (14%) y contiene menos adhesivo (6,4%) por lo que su hinchamiento debió ser a lo menos similar a los tableros tipo A. El hinchamiento registrado en los tableros C (10,96%) sólo puede explicarse por la menor homogeneidad de la muestra, demostrada por sus desviaciones estándar y error estándar más altos que el resto. En el caso de los tableros tipo D, se vuelve a confirmar el hecho de que el material con menor capacidad de absorción influye positivamente sobre el hinchamiento.

La determinación del hinchamiento a las 24 horas es un ensayo que normalmente no se realiza con tableros encolados con Ureaformaldehído. La norma DIN 68761 no considera un valor máximo para estas condiciones. Sin embargo, a modo de control resulta interesante conocer el comportamiento de los tableros luego de 24 horas en agua a 20°C. Estos resultados se presentan en el Cuadro 7.

CUADRO 7

HINCHAMIENTO A LAS 14 HORAS Y PARAMETROS ESTADISTICOS DE ESTE ENSAYO

Tablero Tipo	Hincham. prom. (%)	Desviación estándar	Error estándar	Máximo (%)	Mínimo (%)
T (testigos)	16,756	1,073	0,034	19,379	14,316
A	16,754	1,713	1,508	20,809	13,975
B	14,052	0,932	0,978	15,896	12,000
C	14,850	1,717	1,687	18,617	9,485
D	15,472	1,412	1,425	18,158	12,196

Los hinchamientos medidos luego de 24 horas tienen características similares a los de los medidos luego de 2 horas en agua. La inclusión de astillas de despuntes se traduce en una disminución del hinchamiento. Nuevamente los tableros del tipo C presentan un comportamiento diferente a la tendencia general. Tal como se verificara en el caso del hinchamiento a 2 horas, el tipo C presenta las desviaciones y errores estándar más altos, lo cual podría explicar los valores registrados en esta propiedad. Esta anomalía de los tableros que contienen un 14% de despuntes y un 6,4% de adhesivo, se ve corroborada por la dispersión de las mediciones, representada por la diferencia existente entre el hinchamiento máximo y mínimo.

Absorción de agua a dos y 24 horas

Para determinar esta propiedad se utilizaron probetas acordes con DIN 52364 y se efectuó el ensayo según lo estipulado por ASTM 1037. La medición de absorción de agua se realizó en 454 probetas y sus resultados promedios, así como los diferentes parámetros estadísticos determinados, se presentan en los Cuadros 8 y 9.

CUADRO 8

ABSORCION LUEGO DE DOS HORAS EN AGUA A 20°C
(Determinada en probetas según DIN y de acuerdo con la metodología planteada por ASTM 1037)

Tablero Tipo	Absorc. prom. (%)	Desviación estándar	Error estándar (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
T (testigos)	77,535	6,806	1,280	93,452	64,675
A	78,782	6,168	1,154	90,630	63,273
B	76,686	7,254	1,395	105,392	63,496
C	75,799	6,328	1,218	88,286	58,646
D	73,296	5,938	1,265	88,423	61,579

CUADRO 9

ABSORCION LUEGO DE 24 HORAS EN AGUA A 20°C
 (Determinada en probetas según DIN y de acuerdo con la metodología planteada por ASTM 1037)

Tablero Tipo	Absorc. prom. (%)	Desviación estándar	Error estándar (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
T (testigos)	89,480	5,720	0,932	102,381	78,182
A	90,445	5,388	0,878	101,318	76,804
B	89,008	6,854	1,135	112,745	75,836
C	90,590	6,179	0,995	103,720	74,002
D	89,395	5,358	0,936	103,763	80,000

El análisis de varianza al que se sometieron los ensayos de absorción, reveló que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Vale decir, la incorporación de astillas de despunte y la variación del contenido de adhesivo no afectó a esta propiedad.

En ambos casos, a 2 y 24 horas, se pudo apreciar una leve disminución de la absorción de agua al aumentar el contenido de despunte de 14% a 40%. En el ensayo a dos horas se pudo verificar que la reducción del contenido de adhesivo también tuvo una leve influencia sobre esta propiedad física. Este efecto de la disminución de adhesivo no es detectable luego de 24 horas, cuando las probetas se encuentran saturadas.

Los parámetros estadísticos estudiados permanecen homogéneos y no se aprecian diferencias destacables entre los diferentes tratamientos.

CONCLUSIONES

Algunas de las conclusiones más interesantes del estudio, son:

1. Se debe estudiar la posibilidad de reastillar el material clasificado como rechazo, aumentando el rendimiento en astillas de despunte utilizables.
2. La densidad de las astillas de despunte ($509,9 \text{ Kg/m}^3$) es superior a la de la madera normal.
3. La capacidad de absorción de las astillas es inferior (80,5%) a la de las virutas normales (98,3%).
4. Las virutas normales son notablemente más delgadas y largas que las astillas de despunte. El coeficiente de esbeltez de las astillas (9,2) es 3,6 veces inferior al de las virutas normales.
5. Las características de densidad y tamaño determinan que la superficie específica de las astillas de despunte ($0,436 \text{ m}^2/100 \text{ g}$) es inferior a la de virutas normales. Esto indica que existe la posibilidad de ir reduciendo el contenido de adhesivo a medida que se aumente la participación de despunte.
6. Los dos tipos de partículas no presentan diferencias significativas en cuanto a las características químicas estudiadas (pH y capacidad tampón).
7. Al incorporar en la estera partículas de despunte se observó una reducción del tiempo de cierre de la prensa.

8. La resistencia a la flexión (módulo de rotura) no se vio significativamente afectada por la incorporación de despuntes en la capa media.
9. La resistencia a la tracción perpendicular mejora al incluir astillas más pequeñas y de mayor densidad al mantener el contenido de adhesivo de los testigos. Al reducir la cantidad de adhesivo a los niveles estudiados se provoca una pérdida significativa en esta resistencia.
10. El hinchamiento a 2 y 24 horas se reduce al incluir astillas de despunte. En esta propiedad la reducción del contenido de adhesivo también tiene un efecto el cual es menos notorio en los tableros tipo C (con 14% de despuntes y 6,4% de adhesivo).
11. La inclusión de despuntes y la reducción del contenido de adhesivo, en las cantidades estudiadas, no tienen un efecto significativo sobre la absorción de agua.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización del estudio se contó con el patrocinio de la Industria Maderas y Sintético S.A. (MASISA). En la identificación de las variables a estudiar participó el Ing. Civil Químico Sr. Alex Ruff. En la fabricación de los tableros y en los ensayos colaboraron los Técnicos Srta. Alicia Fernández y los Sres. Luis Inzunza y Marco Torres.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DIN. 1982. Normen für Holzfaserplatten, Spanplatten Sperrholz. Taschenbuch 60. Beuth Verlag GmbH. Berlín. 228 p.
2. KLAUDITZ, W. 1956. Zehn Jahre Tätigkeit und Fotschung. 1946-1956. Institut für Holzforschung an der Technischen Hochschule, Braunschweig.
3. POBLETE, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. BOSQUE 3(1): 39-46.
4. POBLETE, H. 1978. Uniones de madera con adhesivos. Universidad Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales. Publicación Técnica N° 1. 43 p.
5. POBLETE, H. 1985. Influencia del tamaño de partícula sobre las propiedades mecánicas Flexión y Tracción en tableros de partículas aglomerados con Ureaformaldehído. Simposio: *Pinus radiata* Investigación en Chile. U.A.CH. Fac. Cs. Forestales. pp.: 241-256.
6. POST, P. 1958. Effect of particle geometry and resin content on Bending Strength of Oak Flake Board. Forest Products Journal 8(10): 317-322.
7. ROFFAEL, E.; RAUCH, W. y von BISMARCK. C. 1975. Formaldehyd abgabe und Festigkeitsausbildung bei der Verleimung von Eichenspänen mit Harnst offormaldehydharzen. Holz als Rohund Werkstoff 33(7): 271-275.
8. SANDERMANN, W.; ROTHKAMM, M. 1959. Über die Bestimmung der pH-Werte von Handelshölzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz als Roh-und Werkstoff 17(11);433-440.
9. STEGMANN, G.; DURST, J. 1964. Spanplatten aus Buchenholz. Suplemento de Holz-Zentralblatt 90(153). 19 p.
10. URZUA, D.; POBLETE, H. 1980. Utilización silvoagropecuaria de los terrenos de Ñadi. Informe N° 2. Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos de Ñadi. Universidad Austral de Chile, Fac. Cs. Forestales. Informe de Convenio N° 29. 140 p.
11. VITAL, B.; LEHMANN, W.; BOONE, S. 1974. How Species and board Densities affect Properties of exotic Hardwood Particleboards. Forest Products Journal 24(12): 37-45.