

PROPIEDADES MECANICAS DE TABLEROS DE PARTICULAS HOMOGENEOS

Hernán Poblete W.*

RESUMEN

Se estudia la posibilidad de producir tableros de partículas con un perfil de densidad homogéneo, sin aumentar el tiempo de prensado.

Las variables consideradas fueron el contenido de adhesivo y la humedad de las partículas

Los resultados demuestran que al aumentar el contenido de adhesivo mejoran las propiedades Flexión (módulo de rotura) y Tracción perpendicular.

El análisis del perfil de densidad demostró que los perfiles más homogéneos se logran con tableros de una sola capa y con contenidos de adhesivo de 14% y 16%.

ABSTRACT

This study evaluates the possibility of producing particleboards with an homogeneous density profile.

Different levels of adhesive and wood moisture content were tested.

Bending strength (MOR) and Internal Bond increased with higher levels of adhesive content.

The most homogeneous density profiles were produced with single layer particleboards and resin content of 14% and 16%.

Palabras Claves: Tableros de partículas, Perfil de densidad, Propiedades Mecánicas.

(*) Ing. Forestal, Dr. Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia-Chile.

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

El desarrollo de las diferentes tecnologías en la producción de tableros de partículas ha determinado que uno de los usos más frecuentes de este producto sea la fabricación de muebles.

La utilización de tableros de partículas en este campo requiere de una alta calidad, tanto en las propiedades físico-mecánicas como en las terminaciones que es posible dar al producto.

En la actualidad los tableros que se fabrican en Chile se caracterizan por poseer tres capas, dos externas con material fino y una capa media constituida por virutas o astillas más gruesas. Esta composición se traduce en la obtención de un perfil de densidad que es variable, disminuyendo la densidad en dirección al centro del tablero (TEICHGRABER, 1966). Por este motivo al fresar los cantos, para dar una mejor terminación al tablero, se obtienen perfiles con una zona central excesivamente porosa e inadecuada. Una posibilidad de mejorar los tableros en este aspecto la constituye el producir un tablero con un perfil de densidad homogéneo.

Sobre el estudio del perfil de densidad existen numerosos trabajos. PLATH (1971, 1972) describe la forma como el perfil de densidad influye sobre la resistencia a la flexión.

GILLWALD (1966) determinó la relación existente entre las densidades de las diferentes capas del tablero y el módulo de elasticidad de éstos. La influencia de este perfil sobre las propiedades físicas también fue estudiada, determinándose la estabilidad dimensional ante cambios climáticos (NEUSER, 1971).

El perfil de densidad también puede ser utilizado como indicador de la calidad de los tableros (PLATH y SCHNITZLER, 1974).

Sin duda alguna la línea de investigaciones más profunda realizada respecto al perfil de densidad, corresponde a una serie de trabajos realizados en Alemania (RANTA y MAY, 1978; MAY y KESERU, 1982; MAY, 1977, 1979, 1982; 1983 a, b, c).

Las determinaciones realizadas por MAY (1979) revelan que la densidad en las capas externas pueden alcanzar valores superiores a 1.000 Kg/m^3 mientras que en el centro de la capa media la densidad desciende a menos de 590 Kg/m^3 .

El perfil de densidad o gradiente de densidad depende principalmente de la configuración de las partículas, la distribución de la humedad en la estera, la velocidad de cierre de la prensa, temperatura de la prensa, reactividad del adhesivo y la resistencia a la compresión de la madera de las partículas (STRICKLER, 1959; HEEBINK *et al*, 1972; GEIMER *et al* 1975).

El efecto combinado de la temperatura y la humedad reduce la resistencia a la compresión de las partículas y debido a que durante la fabricación no se distribuyen homogéneamente en la estera de partículas, provocan un gradiente de densidad. Por este motivo, si se logra una distribución homogénea de la humedad y una aplicación homogénea de la temperatura, el perfil de densidad sería parejo y no existirían diferencias entre las capas del tablero (SUCHSLAND, 1962).

El contenido de humedad de las partículas tiene una influencia importante sobre el perfil de densidad. El agua presente en la estera es el medio por el cual se reduce la resistencia a la

compresión de las partículas, y debido a que el vapor fluye desde las capas externas hacia el interior, transporta energía calórica hacia el centro del tablero. De esta forma el contenido de humedad determina la plastificación de la madera y el fraguado del adhesivo. HEEBINK *et al* (1972) estudiaron el efecto de diferentes variables sobre el perfil de densidad y determinaron que el contenido de humedad es el factor de mayor influencia. Los resultados obtenidos por HEEBINK *et al* (1972) demuestran que esteras con contenidos de humedad homogéneos, dan como resultado perfiles de densidad menos pronunciados.

Otra variable importante a considerar es el contenido de adhesivo. MALONEY (1970) determinó que al incluir capas externas con una mayor cantidad de adhesivo se incrementa la diferencia de densidad con respecto a la capa media. Se trata en este caso de un efecto combinado del contenido de resina sólida y, debido a que esta se encuentra disuelta en agua, en un aporte de humedad que no se incluye en la capa media. Considerando lo anterior, la gradiente de densidad se vería reducida al producir una estera con un contenido de adhesivo homogéneo en sus diferentes capas.

También debe tenerse en cuenta que prensados con diferentes velocidades de cierre, dan como resultado gradientes de densidad diferentes. El tiempo de cierre depende fundamentalmente de la presión aplicada, y por lo tanto, con mayores presiones se alcanza el espesor deseado antes de que una temperatura adecuada haya sido transferida desde los platos a las zonas internas del tablero. En este caso las capas externas se calientan; reduciéndose su resistencia a la compresión y provocándose una diferencia en la densidad de las capas. Si la prensa cierra antes de que las capas internas reduzcan su resistencia a la compresión, la diferencia entre las densidades de las capas será mayor. SUCHSLAND (1962) recomienda el uso de presiones menores y tiempos de cerrado más largos para reducir la gradiente de densidad, lo cual se traduce en una disminución de la capacidad de producción de la prensa y provoca un fraguado del adhesivo antes de que exista un contacto completo entre las partículas.

MATERIALES Y METODO

Considerando los resultados obtenidos por diferentes autores y con el objeto de producir un tablero homogéneo en cuanto a la densidad de las capas, se optó por producir tableros sólo con astillas finas, sin que existieran diferencias en el contenido de humedad de las virutas de ambas capas.

La variable a estudiar fue el contenido de adhesivo de las capas y, por consiguiente el contenido de humedad de éstas. En el trabajo se incluyeron tableros de tres capas, diferenciadas sólo por el contenido de adhesivo, y tableros de una capa, homogéneos en cuanto al contenido de adhesivo.

Materiales

Las astillas utilizadas fueron del tipo capa externa (finas) y provenientes de trozas de *Pinus radiata*. El contenido de humedad inicial de las partículas varió entre 2 y 3%.

Como adhesivo se utilizó Ureaformaldehído producido por MAPAL S.A., y preparado según las siguientes formulaciones:

a) Tableros de tres capas:

Adhesivos para capa externa: Ureaformaldehído diluido al 46% con catalizador 0,4% NH_4Cl .

Adhesivo para capa media: Ureaformaldehído diluido al 58,38% con catalizador 3% NH_4Cl .

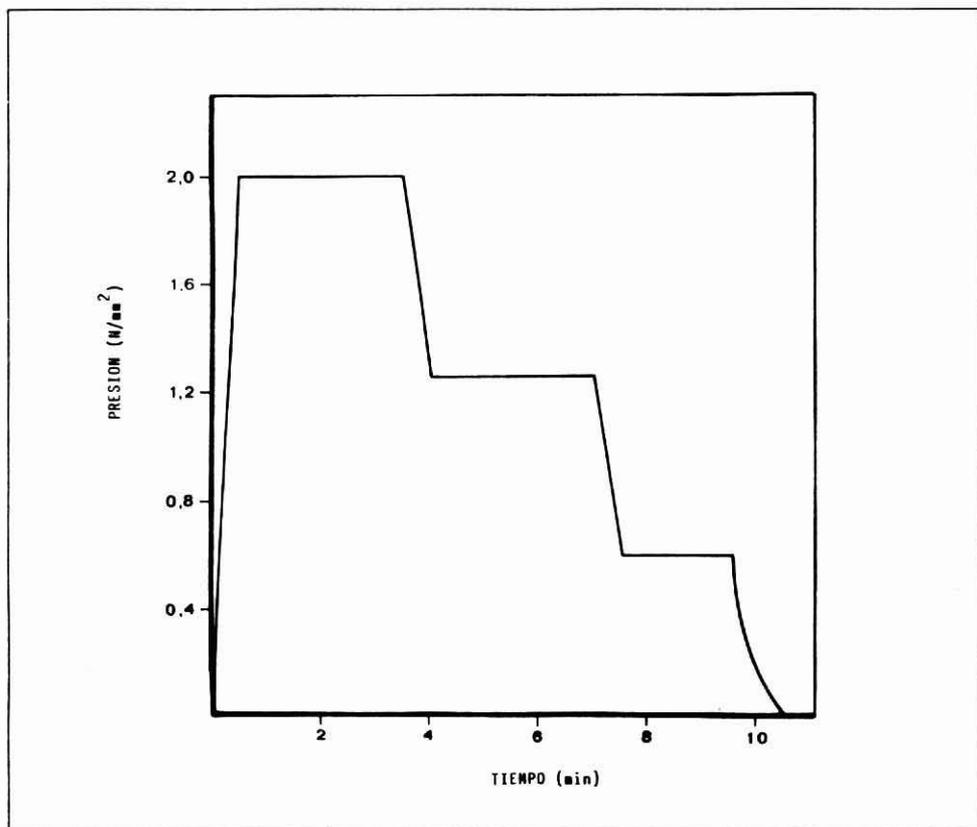
- b) Tableros de una capa
Adhesivo homogéneo: Ureaformaldehido diluido al 50% sin catalizador.

Método

Los tableros se fabricaron con una densidad calculada de 750 Kg/m^3 . El espesor final, sin lijar, fue 16 mm. En el caso de los tableros de tres capas se consideraron dos capas externas con un 25% del material cada una, y una capa media con 50% del material.

El ciclo de prensado fue de 10 minutos con una presión máxima de $2,0 \text{ N/mm}^2$ y con dos descansos, en $1,26 \text{ N/mm}^2$ y $0,6 \text{ N/mm}^2$ (Figura 10). La temperatura de prensado fue $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

FIGURA 1
CICLO DE PRENSADO



En total se fabricaron seis series de tableros diferenciados por el contenido de adhesivo y humedad de las capas. Estas diferencias se presentan en el Cuadro N° 1.

CUADRO 1
CARACTERISTICAS DE LAS SERIES DE TABLEROS

| Serie N° | ADHESIVO | | HUMEDAD | |
|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | C. Externa (%) | C. Media (%) | C. Externa (%) | C. Media (%) |
| 1 | 19 | 8 | 3 | 3 |
| 2 | 19 | 13 | 3 | 3 |
| 3 | 19 | 13 | 3 | 6 |
| 4 | | 12 | | 3 |
| 5 | | 14 | | 3 |
| 6 | | 16 | | 3 |

A estos tableros se les determinaron las propiedades mecánicas flexión (Módulo de rotura) y tracción, ambas de acuerdo con las normas DIN. Aparte de estos ensayos se tomaron muestras al centro y a lo largo del tablero para efectuar un fresado y evaluar cualitativamente la calidad de los cantos. Para corroborar el efecto de las variables sobre el cambio de perfil de densidad se determinó la gradiente de densidad por el método gravimétrico, vale decir, eliminando mediante un cepillado porciones del tablero y determinando la densidad por diferencia de peso.

RESULTADOS Y DISCUSION

Encolado, formación y prensado de los tableros

Después de realizar el encolado de las partículas se controló el contenido de humedad de ellas antes de entrar a la prensa, los resultados de esta medición se presentan en el Cuadro N° 2.

CUADRO 2

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PARTICULAS
LUEGO DEL ENCOLADO

| Serie Nº | Capa | Humedad inicial % | Adhesivo % | Humedad encolada % |
|-------------|-----------|-------------------------|---------------|--------------------------|
| 1 | Externa | 3,0 | 19,0 | 23,8 |
| | Media | 3,0 | 8,0 | 8,0 |
| 2 | Externa | 3,0 | 19,0 | 23,5 |
| | Media | 3,0 | 13,0 | 10,3 |
| 3 | Externa | 3,0 | 19,0 | 23,8 |
| | Media | 6,0 | 13,0 | 13,0 |
| 4 | Homogéneo | 3,0 | 12,0 | 14,5 |
| 5 | Homogéneo | 3,0 | 14,0 | 16,3 |
| 6 | Homogéneo | 3,0 | 16,0 | 17,5 |

Al comparar el contenido de humedad de las capas medias de las series 2 y 3, se observa que pese a haber aumentado el contenido de humedad de las partículas de 3% a 6% y estar encoladas con un 13% de adhesivo, su contenido de humedad es inferior al de las partículas de la serie 4, la que ha sido encolada con una cantidad inferior de adhesivo. Esto se debe a que el adhesivo empleado en las series 4; 5 y 6 estaba más diluido (50%) que el empleado en las capas medias de las series 1; 2 y 3 (58,3%). El contenido de humedad más bajo de las partículas de las series 1; 2 y 3, causado por la concentración de adhesivo, tiene un efecto negativo sobre la compactación del material. A esta desventaja se suma la gran superficie interna de las partículas, lo cual hace que la cantidad de solución de adhesivo por unidad de superficie sea menor. Esta diferencia era notoria al tacto.

En general se puso a comprobar que tanto el aumento en la cantidad de adhesivo, como un aumento en el contenido inicial de humedad de las partículas se traduce en un aumento gradual del contenido de humedad de las partículas.

Resistencia a la flexión (Módulo de rotura) de los tableros

Los valores obtenidos de este ensayo se presentan en el Cuadro N° 3.

CUADRO 3

**RESISTENCIA A LA FLEXION (MODULO DE ROTURA),
VALORES PROMEDIO, MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR.
RESISTENCIA DETERMINADA DE ACUERDO CON DIN 52362.**

| Serie N ^o | FLEXION (Módulo de rotura) | | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Media N/mm ² | Máxima N/mm ² | Mínima N/mm ² | Desv. estándar |
| 1 | 17,075 | 22,20 | 10,60 | 2,7167 |
| 2 | 29,339 | 37,32 | 19,66 | 3,5302 |
| 3 | 30,775 | 41,89 | 18,01 | 5,3968 |
| 4 | 20,906 | 28,31 | 12,87 | 3,7151 |
| 5 | 25,312 | 37,09 | 19,89 | 4,6889 |
| 6 | 28,906 | 37,60 | 20,60 | 3,7912 |

Las resistencias a la flexión registradas demuestran que al aumentar el contenido de adhesivo mejora esta propiedad.

En el caso de las series 1; 2 y 3 el incremento del adhesivo se efectuó sólo en la capa media aumentando de 8% a 13%. En efecto, al comparar las series 1 y 2 se verifica un mejoramiento de la resistencia promedio de 17,08 N/mm² a 29,34 N/mm². Este cambio se debe al incremento de la proporción de adhesivo en un 5%. En el caso de la serie 3 se trata de partículas de capa media que poseen un contenido de humedad (6%) superior a la serie 2 (3%) lo cual permite una mejor compactación del material, una menor absorción del adhesivo y provoca un ligero aumento de la resistencia, de 29,34 N/mm² a 30,78 n/mm².

En las series 4; 5 y 6 no se contempló una diferencia en capas. El adhesivo empleado se encontraba más diluido que el utilizado para las capas medias de las series anteriores.

Al analizar las resistencias promedio de las series 4; 5 y 6 se observó un aumento gradual de la propiedad a medida que aumentaba el contenido de adhesivo y, consecuentemente, el contenido de humedad de las partículas encoladas.

Los resultados de los tableros homogéneos (series 4; 5 y 6) se observó un aumento gradual de la propiedad a medida que aumentaba el contenido de adhesivo y, consecuentemente, el contenido de humedad de las partículas encoladas.

Los resultados de los tableros homogéneos (series 4; 5 y 6) son en general más bajos que aquellos de los tableros de tres capas. Esta diferencia se debe a que en las series 1; 2 y 3 el contenido de adhesivo de las capas externas (19%) es significativamente mayor a las de los tableros homogéneos. Esta cantidad más elevada de adhesivo y del contenido de humedad de las capas externas, produce una compactación más eficiente de las zonas superficiales del tablero. Teniendo en cuenta que en la resistencia a la flexión las tensiones más altas se registran en esta zona del panel, es lógico esperar que la producción de tableros de tres capas, con más adhesivo en la superficie, de mejores valores de flexión.

Considerando que el objetivo del estudio es lograr un tablero con un alto grado de compactación en la zona central, o bien una gradiente de densidad menor, resultan especialmente interesantes los tableros de las series 5 y 6 (14% y 16% de adhesivo respectivamente).

En ambos casos se logró obtener resistencias a la flexión que superan los requisitos exigidos por la norma DIN 68761 y una capa central que, visualmente, se encontraba notablemente más compactada que en las series de tableros con tres capas.

El análisis de varianza al que se sometieron los valores de flexión reveló que no existen diferencias significativas entre las series 2; 3 y 6. Estos tres tipos de tableros presentan una cantidad de adhesivo promedio de 16% y registran las resistencias más altas de flexión. Es importante tener presente que las series 2 y 3 tienen una mayor concentración del adhesivo en las capas externas (19%). Esta ventaja no se traduce en la obtención de resistencias que sean significativamente superiores, lo cual indica que la capa media con un encolado deficiente (series 2 y 3) influye sobre esta propiedad mecánica.

El mismo test estadístico reveló que los tableros del tipo 1; 4 y 5 son diferentes entre sí y diferentes al grupo analizado anteriormente.

Los valores de desviación estándar indican la diferencia promedio existentes entre los valores reales medios, y la flexión media calculada. La situación más desfavorable, de acuerdo con este parámetro estadístico se registra en la serie 3 con un valor de 5,39. Las cifras de resistencia máxima y mínima indican el rango de dispersión que tuvieron las probetas ensayadas.

Al seleccionar el tipo de tablero que reúne como características el mejor valor de flexión y mayor grado de compactación de la capa media, se determinó que los tableros de la serie 6 cumplen con estos requisitos. Por este motivo, y considerando que las probetas analizadas presentaron una variación de la densidad de tablero entre 720 Kg/m³ y 780 Kg/m³, se calculó la ecuación que representa la relación existente entre la densidad y la resistencia a la flexión. Esta función registró un coeficiente de correlación de 0,82 y es la siguiente:

$$F_{(MR)} = -50,7085 + 0,1058 D$$

Donde $F_{(MR)}$ = Resistencia a la flexión, módulo de rotura (N/mm²)

D = Densidad del tablero (Kg/m³)

Es necesario recalcar que esta ecuación sólo es válida para el rango de densidad estudiado, entre 720 Kg/m³ y 780 Kg/m³).

Resistencia a la tracción perpendicular al plano

Los valores promedio de este ensayo, realizado según las condiciones determinadas por DIN 52365, se presentan junto a la resistencia máximas, mínimas y las desviaciones estándar, en el Cuadro N^o 4.

CUADRO 4

**RESISTENCIA A LA TRACCION, VALORES PROMEDIO,
MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR.
RESISTENCIA DETERMINADA DE ACUERDO CON DIN 52365**

| Serie N ^o | TRACCION (perpendicular al plano) | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Media N/mm ² | Máxima N/mm ² | Mínima N/mm ² | Desv. estándar |
| 1 | 0,150 | 0,300 | 0,030 | 0,0118 |
| 2 | 0,497 | 0,688 | 0,368 | 0,0088 |
| 3 | 0,579 | 0,786 | 0,405 | 0,0101 |
| 4 | 0,693 | 1,100 | 0,368 | 0,0192 |
| 5 | 1,030 | 1,432 | 0,604 | 0,0313 |
| 6 | 1,347 | 1,764 | 0,866 | 0,0251 |

Esta propiedad mecánica es el parámetro que mejor representa la calidad de las uniones entre las partículas de la zona central del tablero. Durante en ensayo de tracción se aplican fuerzas iguales y contrarias, por lo que las máximas tensiones se verifican en el centro del tablero. Dado que esta propiedad mecánica depende de la densidad del tablero, especialmente de la densidad de la zona central, al producir un panel con una gradiente de densidad menos pronunciada, se obtiene un incremento de la resistencia (MAY, 1982 b).

Concordando con lo expuesto, los resultados presentados en el Cuadro N^o 4 demuestran que una mejor compactación de la capa media provoca aumento de la tracción.

En el caso de los tableros con tres capas se incluyó una menor cantidad de adhesivo (8% y 13%) el cual se encontraba más concentrado (58,3%) por este motivo las resistencias son insuficientes en el caso de la serie 1. El aumento de la tracción en las series 2 y 3 se debe al incremento en la proporción de adhesivo (13%) y la pequeña diferencia que existe entre estas series se debe al aumento en el contenido de humedad, de 3% a 6% en la capa media. Los resultados obtenidos con estas tres series demuestran que tanto la humedad como el contenido de adhesivo tienen un efecto sobre la densificación de la capa central.

En el caso de las series 4; 5 y 6, tableros homogéneos con 12%; 14% y 16% de adhesivo, se aprecia claramente un aumento de la resistencia directamente proporcional al incremento en el contenido de adhesivo. De la misma forma que en el caso de la flexión, las series 5 y 6 resultan ser las de mayor interés ya que sus resistencia mínimas a la tracción superan los requisitos de la norma DIN 68761. Durante el ensayo de estas series, 5 y 6, se observó que todas las probetas se fracturaron en las zonas más externas del tablero, vale decir que las resistencias medidas representan a las zonas de menor densidad. Lo anterior significa que la resistencia de las capas centrales son mayores que las registradas.

Al comparar los tableros de tres capas, series 1; 2 y 3, con los tableros de una capa, series 4; 5 y 6, se comprobó que el aumento gradual del contenido de humedad de las partículas de la capa media está directamente relacionado con el aumento de tracción. Este efecto es más notorio en el caso de las series 3 y 5 donde ha disminuido el contenido de adhesivo, de 13% a

12% y ha aumentado el contenido de humedad, de 13% a 14,5%, produciéndose un incremento en la tracción de 0,579 N/mm² a 0,693 N/mm².

El análisis de varianza indicó que todas las series son significativamente diferentes, salvo las series 2 y 3, en las cuales la única diferencia es el contenido de humedad de las capas medias, 3% y 6% respectivamente.

El parámetro desviación estándar es más desfavorable en el caso de la serie 5, pese a ello el valor mínimo de esta serie (0,604 N/mm²) supera la exigencia de la norma, por lo que la desviación estándar registrada no debiera ser una limitante para su fabricación.

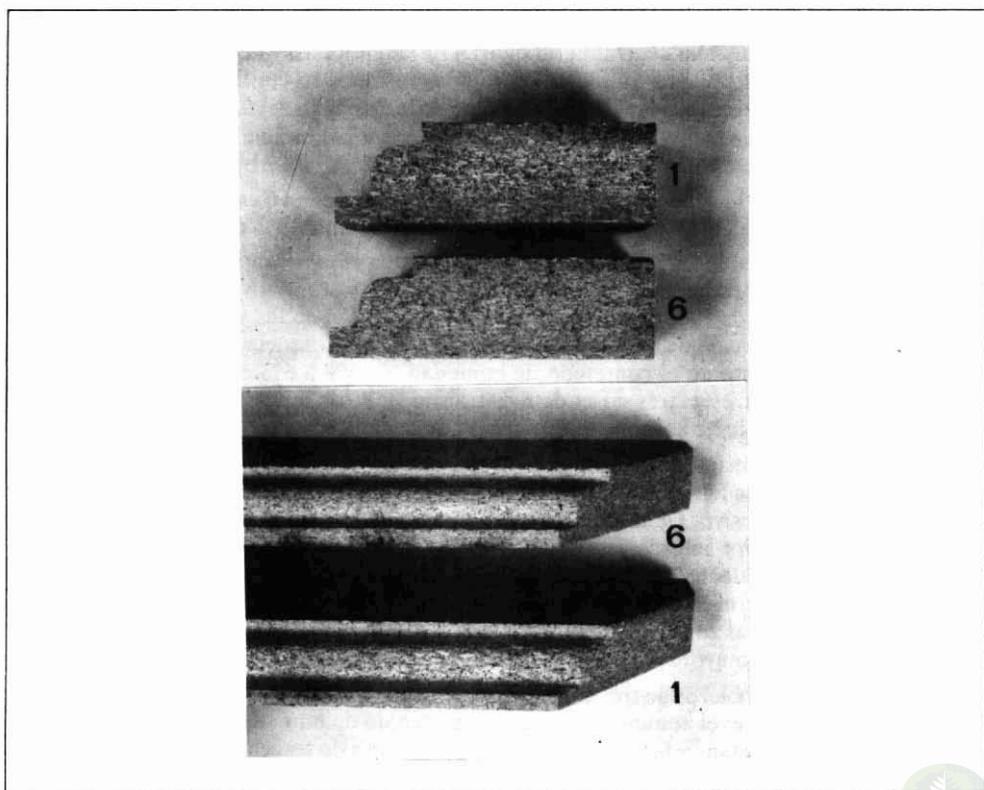
Estado de los cantos luego del fresado

La evaluación de la calidad de los cantos se basó en una inspección visual de la porosidad luego de un fresado.

El aspecto de los perfiles producidos se observa en las fotografías que se presentan en la Figura 2.

FIGURA 2

Perfiles de las series 1 y 6 luego de un fresado.



La inspección visual de los perfiles permitió comprobar que la calidad de los cortes mejoró a medida que se aumentaba la cantidad de adhesivo o el contenido de humedad de la zona central del tablero. Este resultado coincide con los antecedentes recopilados de la literatura existente y se vio corroborado por el estudio del perfil de densidad efectuado en dos de las series de tableros producidos.

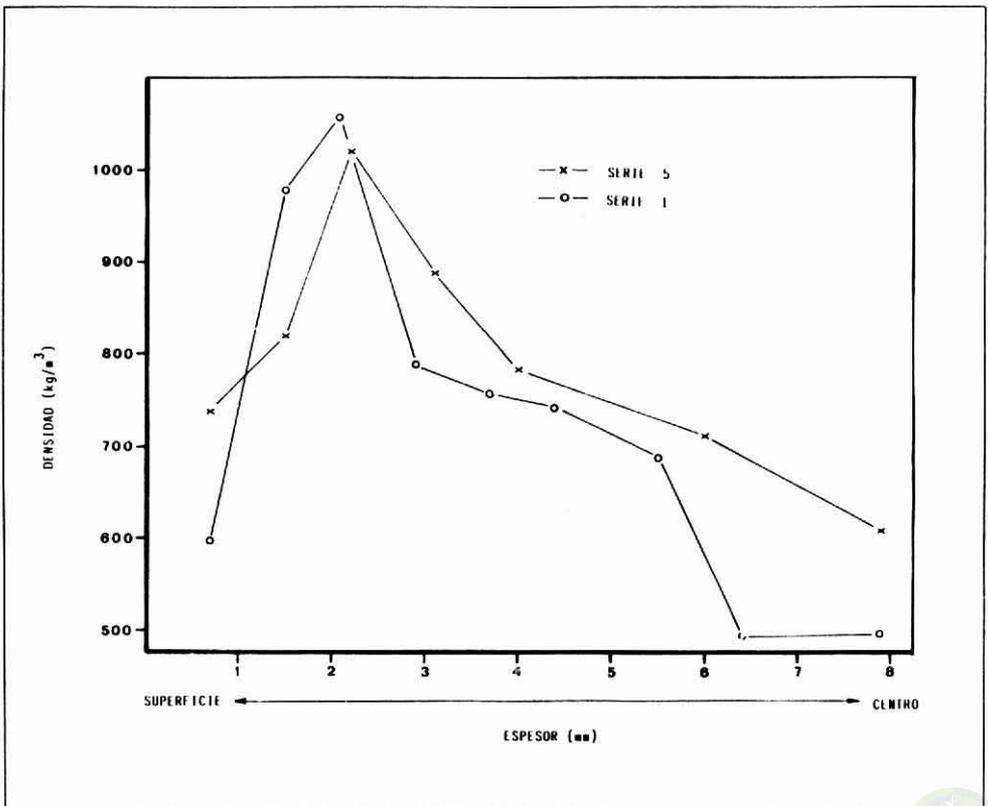
Perfil de densidad

Tal como se mencionara en el método, la determinación de la densidad en diferentes zonas del espesor del tablero se llevó a cabo por gravimetría, utilizando para ello una cepilladora industrial.

Esta medición se efectuó en tableros de las series 1 y 5 con una repetición en cada caso. El resultado de estas determinaciones se presenta graficado en la Figura 3.

FIGURA 3

VARIACIÓN DE LA DENSIDAD EN EL PERFIL DE LOS TABLEROS DE LAS SERIES 1 Y 5.



Las poligonales presentadas en la Figura 3 representan la variación de la densidad en el espesor del tablero. Se observó que las zonas de mayor densidad corresponden a la superficie del tablero, posteriormente se produce una reducción de este valor hasta llegar al centro del plantel.

La tendencia que siguen las poligonales es clara, observándose una zona externa de baja densidad, la cual en el proceso industrial es eliminada mediante un lijado. La densidad alcanza su nivel máximo a dos milímetros de la superficie y comienza a descender en forma similar en ambos tipos de tableros. A partir de una distancia aproximada de 3,5 mm del centro, comienza a presentarse una marcada diferencia entre los dos tipos de tablero. En ambos tableros la densidad continúa disminuyendo pero la tasa de decrecimiento es mayor en el caso de los tableros de tres capas, (serie 1). En los tableros de la serie 1 hay una división clara entre la capa externa y la capa media, donde la capa superficial, más compactada, ocupa una porción del espesor equivalente a aproximadamente 3 mm., para luego cambiar bruscamente a una zona menos densificada. La serie 5 por el contrario, registra una disminución del grado de compactación más gradual.

Lo anterior, permitió comprobar que los tableros homogéneos tienen una compactación menos irregular, lo que se tradujo en la obtención de un perfil de mayor calidad luego del fresado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos permiten enunciar las siguientes conclusiones:

Al encolar las partículas de madera sin diferenciar el tablero en capas, se obtiene un tablero con un perfil de densidad más homogéneo.

El adhesivo, Ureaformaldehído, debe aportar una cantidad importante de humedad, por lo que es necesario diluirlo, en este caso a un 50%.

La resistencia a la flexión de los tableros homogéneos es adecuada cuando se encolan las partículas con cantidades de adhesivo superiores a un 14%.

La resistencia a la flexión se ve mejorada a medida que aumenta el contenido de adhesivo.

La resistencia a la tracción cumple con los requisitos exigidos por la norma DIN cuando la capa media es encolada con cantidades superiores a un 8%. Con proporciones menores de adhesivos no se cumple la norma debido a que las partículas utilizadas son finas y poseen una superficie interna mayor que las normales en la capa media.

Ninguna de las series de tableros que contemplan una diferenciación en tres capas dio origen a una terminación adecuada luego de un fresado de los cantos.

Los tableros homogéneos, de una sola capa, permitieron obtener un fresado menos poroso. La calidad del fresado mejoró a medida que se aumentó el contenido de adhesivo en los tableros.

AGRADECIMIENTOS

Los ensayos se llevaron a cabo gracias a la contribución de la Industria Maderas y Sintéticos S. A. (MASISA).

En el planteamiento de las variables a estudiar participó el Ing. Civil Químico, Sr. Alex Ruff, y en los ensayos de laboratorio colaboró el Técnico Forestal, Sr. Luis Inzunza.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- GEIMER, R.; MONTREY, H.; LEHMANN, W. 1975. Effects of Layer Characteristic on the properties of three-layer Particleboards. *Forest Prod. Journal*. 25(3): 19-29.
- GILLWALD, W. 1966. Untersuchungen über die Dauerfestigkeit von mehrschichtigen Spanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 24(10): 495-499.
- HEEBINK, B. G.; LEHMANN, W. F.; HEFTY, F. 1972. Reducing particleboard perssing time: Exploratory study. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 180 For. Prod. Lab. Madison, Wis.
- MALONEY, T. M. 1970. Resin distribution in layered particleboard. *Forest Prod. Journal*. 20(1): 43-52.
- MAY, H-A. 1977. Zur Mechanik der Holzspanplatten unter besonderer Berücksichtigung der Rohdichte-Differenzierung und Rohstoffzusammensetzung. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 35(1977): 385-387.
- MAY, H-A. 1979. Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Verbesserung der Eigenschaften von Spanplatten durch Bestimmung und Veränderung ihres Dichteprofiles. Fraunhofer Institut für Holzforschung. WKI-Bericht Nr. 11. 70 p.
1982. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 2: Möglichkeiten der Anwendung industrieeüblicher Sortierverfahren zur Beurteilung von Spangemischen. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 40(1982): 303-306.
- 1983 a. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 3: Auswertung von Dichteprofilen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten zur Abschleißüberwachung. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 41(1983): 189-192.
- 1983 b. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 4: Einflüsse der Dichteunterschiede und Rohstoffe auf die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene und die Scherfestigkeit. *Holz als Roh-und Werkstoff* 41(1983): 271-275.
- 1983 c. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 5: Einflüsse der Dichteprofile und Rohstoffe auf Biege-E-Modul und Biegefestigkeit. *Holz als Roh-und Werkstoff* 41(1983): 369-374.
- MAY, H-A.; KESERU, G. 1982. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und den Dichteprofil von Spanplatten. Teil 1: Sichtung von Spangemischen und Methoden zur Beurteilung ihrer Eignung für die Herstellung von Spanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 40(1982): 105-110.
- NEUSSER, H. 1971. Die Bedeutung der genormten und der nicht genormten Eigenschaften von Holzwerkstoffen vor allem für ihre Anwendung im Bauwesen. *Holzforschung und Holzverwertung* 23(6): 119-126.
- PLATH, E. 1971. Beitrag zur Mechanik der Holzspanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 29(11): 377-382.
- PLATH, E. 1972. Berechnung von Holzverbundwerkstoffen. *Holz als Roh-und Werkstoff* 30(2): 57-61.
- PLATH, E.; SCHNITZLER, E. 1974. Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 32(11): 443-449.
- RANTA, L.; MAY, H-A. 1978. Zur Messung von Rohdichteprofilen an Spanplatten mittels

- Gammastrahlen. Holz als Roh-und Werkstoff. 36(1978): 467-474.
- SUCHSLAND, O. 1962. The density distribution in flakeboard. Q. Bull., Mich. Agr. Exp. Sta. Mich. State Univ. 45(1): 104-121.
- STRICKLER, M. D. 1959. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard. Forest Prod. Journal. 9(7): 203-205.
- TEICHGRAEBER, R. 1966. Eigenschaften und Eigenschaftprüfung. In KOLLMAN, F. 1966. Holzspanwerkstoffe. Springer Verlag, Berlin. pp: 530-577.