

Elaboración de tableros OSB con residuos de la industria del laminado y dos tipos de adhesivos

Elaboration of OSB boards with residues from the laminate industry and two types of adhesives

Carlos M. Flores Martínez¹ y Julio C. Canchucaya Rojas²

Resumen

En el presente trabajo de investigación se evaluaron tableros de virutas orientadas (OSB) de densidad media elaborados con dos tipos de adhesivos (melamina formaldehído y urea formaldehído) y dos espesores (12 mm y 19 mm), utilizando como materia prima residuos de la industria del laminado de chapas decorativas de la especie cedro (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz). Los resultados demuestran que los tableros OSB elaborados con virutas provenientes de chapas decorativas con melamina formaldehído presentan mejores propiedades que los elaborados en base a urea formaldehído. Además se demostró que los tableros OSB no cumplen con las exigencias mínimas de la norma UNE para el ensayo de resistencia a la tracción, por lo que se requiere disminuir el largo de las virutas utilizadas.

Palabras clave: *Cedrela montana*; tableros OSB; chapas decorativas; cedro, adhesivos.

Abstract

The present study evaluates Oriented Strand Board (OSB) with medium density, produced with two different types of adhesives (melamine formaldehyde and urea formaldehyde) and two thicknesses (12 mm and 19 mm) using as raw material discarded veneer residuals of the species "cedro" (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz). The results show that the OSB panels built with melamine formaldehyde resin have better properties. Additionally, it is documented that no panels fulfill the minimum requirements of the UNE norm related to resistance to traction; for this reason, the length of the strand should be reduced.

Key words: *Cedrela montana*; OSB boards; decorative veneers; cedar; adhesives.

¹ Empresa ARAUCO, Chile. E-mail: cmfloma@gmail.com

² Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. E-mail: jccr@lamolina.edu.pe

Introducción

El tablero de virutas orientadas (OSB) es un producto que actualmente se está produciendo para dar un uso alternativo a los árboles de pequeño diámetro, así como para utilizar residuos de industrias, en este caso, del laminado. El tablero de virutas orientadas reconvierte la madera o residuos industriales de madera en un tablero relativamente homogéneo que se puede derivar a múltiples usos.

En nuestro país actualmente no existen fábricas de tableros tipo OSB, debido principalmente a la heterogeneidad del bosque, falta de abastecimiento de materia prima y la obtención de residuos de la transformación de diferentes especies y tamaños. En este contexto, la industria de chapas decorativas, en las etapas de laminado y guillotinado pierde entre un 10% a 20% del volumen total de chapas elaboradas. Estos residuos, que se caracterizan por su espesor uniforme, no son aprovechados eficientemente y se los utiliza, en el mejor de los casos, para la generación de energía calorífica en los calderos de las fábricas.

La especie "cedro" (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz) presenta grano recto, textura media y brillo medio; a simple vista se observa un ve-teado en arcos superpuestos en el corte tangencial. En cuanto a las propiedades físicas, muestra una densidad básica de 0,42 y una relación T/R de 1,88; con respecto a sus propiedades mecánicas, presenta un módulo de elasticidad en flexión estática de 89,7 kg/cm² y un módulo de ruptura de 436 kg/cm² (Larco 2000).

La viruta se define como una hojuela de madera cuyo largo es relativamente mayor que el ancho (ASTM 1978). Las virutas utilizadas para fabricar tableros tipo OSB presentan, en condiciones ideales, una relación largo-ancho de 10:1. Las virutas de dimensiones pre-determinadas son producidas en un equipo, cuya acción de corte se efectúa especialmente en dirección del grano, pareciendo pequeñas piezas de chapas (CORFO-INFOR 1987). Así, en cuanto a las dimensiones de las virutas empleadas para la elaboración de tableros OSB se

tiene un largo que fluctúa de 30 mm a 150 mm, anchos de 5 mm a 50 mm y espesores de 0,26 mm a 0,7 mm (Moeltner 1981).

El tablero OSB se define como un tablero de varias capas conformado por virutas de madera de forma y espesor determinado con la adición de un aglomerante. Las virutas de las capas exteriores están alineadas y dispuestas paralelamente a la longitud o anchura del tablero (UNE-EN 300 1997).

Diversos estudios han demostrado que es posible fabricar tableros OSB de buenas propiedades utilizando especies de coníferas y latifoliadas, tanto solas como en mezclas, teniéndose la ventaja económica de poder emplear una gran cantidad de residuos leñosos; sin embargo, al cambiar de materia prima se provocan cambios en el proceso y en las propiedades del tablero (Poblete 2001). Para la elaboración de tableros OSB se consideran las siguientes etapas:

Viruteado, para el cual existen básicamente tres tipos de máquinas viruteadoras: de anillo, de tambor y de disco, siendo el método de disco el más común. Actualmente las fábricas cuentan con dos máquinas viruteadoras: una produce virutas destinadas a las capas exteriores y otra para las interiores del tablero (CORFO-INFOR 1987).

Secado, el tipo rotatorio es el método más común en la industria del tablero OSB, inmediatamente después se tamiza para eliminar partículas finas, pasando luego a los silos secos (García *et al.* 2002). Para lograr un correcto encolado y prensado, el contenido de humedad debe ser notablemente más bajo que el inicial, debiendo secarse el material de capa externa hasta un contenido de humedad aproximado de 8% y las de capa media a un 4% (Poblete 2001).

Encolado, cuyo objetivo principal es obtener una distribución pareja y uniforme de las resinas, ceras y otros aditivos sobre las hojuelas (CORFO-INFOR 1987). En la actualidad la generalidad de las técnicas de encolado utilizan

adhesivos líquidos (urea, fenol formaldehído, etc.) con contenidos de 30% a 60% de agua u otros solventes, permitiendo que las soluciones sean capaces de adaptarse a la superficie, introduciéndose en las fisuras, porosidades o accidentes de las partes a unir (Poblete 1978).

Formación de la manta, que se efectúa a través de la proyección de las virutas sobre una cinta transportadora, con una orientación sensiblemente igual en cada capa. Para lograr esta alineación se utilizan tres tipos de formadoras: de banda peinadora, de rodillos de proyección o de orientación electrostática (García *et al.* 2002).

Pre-prensado; es una de las etapas más importantes, ya que determina la capacidad de producción de la planta, acorta el tiempo de prensado y evita que las virutas más finas se desplacen hacia abajo. Esta operación se efectúa a temperatura ambiente con presiones de 1,0 y 2,5 N/mm² en periodos de 6 a 20 segundos (Poblete 2001).

Prensado; que se efectúa en caliente, tiene como objetivo densificar los materiales para llegar a las dimensiones finales del tablero, permitiendo el fraguado de la resina mediante la transferencia de calor y remoción de la humedad. Este proceso se puede efectuar mediante prensas multiplatos o continuas (CORFO-INFOR 1987).

Acabado; se realiza el dimensionado del tablero a las medidas comerciales, el enfriamiento, apilado para alcanzar un contenido de humedad y temperatura ambiente y finalmente el lijado para mejorar la superficie (Poblete 2001). Si los tableros no son enfriados antes del apilado, por efecto de la temperatura puede producirse una hidrólisis que daña las uniones, reduciendo la calidad del producto (Ginzel 1966).

En lo que respecta a los adhesivos, se sabe que toda materia está constituida por átomos y moléculas que están unidas entre sí por valencias o fuerzas de naturaleza eléctrica. El encolado se basa en este principio y utiliza estas fuerzas para crear una unión entre dos cuerpos

sólidos (Poblete 1978). La tensión superficial representa un papel importante en los adhesivos, a mayor tensión menos superficie de pegado y viceversa (Coons 1951). Luego del fraguado, y habiéndose eliminado el medio portador de la resina, se tiene como resultado una unión tipo “dedos de cola” en la que se distinguen tres zonas: madera intacta, madera impregnada por el adhesivo y una línea de cola o película donde solo se haya el adhesivo (Poblete 2001).

En cuanto a las fuerzas desarrolladas y según los conceptos actuales de la teoría de la adhesión, se pueden distinguir entre adhesión específica y mecánica, de esta manera, la primera se refiere a las fuerzas eléctricas de atracción molecular entre el adhesivo y la superficie del adherendo cuando el adhesivo está fraguado, y la segunda, corresponde a un anclaje mecánico del adhesivo en la madera, debido a la penetración (Poblete 1978).

La resinosidad se define como el porcentaje de resina sólida por peso de viruta seca que contiene el tablero, sin embargo, dada la gran superficie específica de las virutas, la cantidad de adhesivo que queda sobre la superficie es relativamente pequeña (Poblete 2001). Todas las propiedades del tablero mejoran proporcionalmente al aumentar el contenido de resina, especialmente la adherencia interna, pero esto conlleva a elevar los costos de producción (CORFO-INFOR 1987).

Un adhesivo es una sustancia que se usa para unir dos piezas entre sí, generalmente son solubles en agua, en forma coloide, y producen soluciones viscosas (Coons 1951). Todos los adhesivos empleados actualmente en la fabricación de tableros son termoendurecibles, cuando se calientan aumentan su viscosidad y se solidifican (AITIM 179 1996).

La urea y el formaldehído son los insumos más importantes para la fabricación de resinas y plásticos. La urea, también llamada carbamida, por ser la amida del ácido carbónico, se puede preparar por reacción del amoníaco con el fosgeno, también se reduce la estructura de

urea por su formación a expensas del cianato de amonio (Nutsch 2000).

La reacción entre la urea y formaldehído para producir el adhesivo es bastante compleja. Los factores más importantes en esta reacción son la proporción molar entre la urea y formaldehído, la temperatura a la que se lleva la reacción y los valores de pH del proceso, los cuales influyen en el incremento del peso molecular de la resina y sus características (Dekker 1983). Estas resinas son muy susceptibles a la degradación cuando están expuestas al agua, especialmente a temperaturas de 40 a 60°C, donde la unión se deteriora muy rápidamente (AITIM 1996).

La melamina se obtiene de la cianamida cálcica, la cual se polimeriza fácilmente y se convierte en dicianoamida, con la que se fabrican materiales plásticos, por condensación con el formaldehído (Kirk y Othmer 1961).

La reacción de condensación entre la melamina y el formaldehído es similar al de la urea y el formaldehído; el formaldehído ataca a los grupos amino, formando compuestos metilol. Debido a la poca solubilidad de la melamina en agua, esta reacción se realiza a 80-100°C. Esta resina tiene propiedades parecidas al de la urea formaldehído pero es más resistente al agua, por lo que algunas veces se mezcla con ésta para mejorar su resistencia (Kirk y Othmer 1961).

El cloruro de amonio es el catalizador mayormente recomendado para este tipo de resinas, el cual genera ácido clorhídrico, disminuyendo el valor del pH del ambiente en que se fragua el adhesivo. En relación con el efecto del catalizador sobre las propiedades de los tableros depende tanto de la especie como del proceso en sí (Poblete 2001).

En el presente estudio se evaluaron tableros de partículas orientadas (OSB) utilizando como materia prima residuos de chapas decorativas de la especie cedro (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz) elaborados con dos tipos de adhesivos (urea formaldehído y melamina formaldehído) y dos espesores (12 mm y 19 mm).

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la empresa General Products S.A.C. y en los Laboratorios de Paneles y de Ensayos Tecnológicos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú).

Se utilizaron residuos de chapas decorativas de cedro (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz), procedentes del distrito y provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali, cuya identificación se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la UNALM.

Los insumos utilizados fueron resina de urea formaldehído (UF), resina de melamina formaldehído (MF), cloruro de amonio, agua, cera, entre otros. Asimismo, para la manufactura de los tableros se usaron la prensa de platos calientes ORMA MACHINE, estufa eléctrica, micrómetro digital, prensa de ensayos mecánicos TINIUS OLSEN, potenciómetro, entre otros.

Como pasos previos, para la determinación de la densidad básica, se tomaron 20 muestras de chapas de 20 cm x 10 cm y se realizó de acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica Peruana 251.011. Método de la determinación de la densidad (INDECOPI 2004).

Asimismo, para la determinación del pH, se tomaron cuatro muestras de astillas obtenidas de chapas decorativas de cedro, el cual fue molido en un molino de martillos hasta la obtención de partículas en forma de harina. El procedimiento consistió en tomar 25 g de harina que pasó por un tamiz de 40 mesh y quedó retenido en un tamiz de 60 mesh; a esto se añadió 250 ml de agua destilada en un balón de 500 ml y se colocó en un aparato para el reflujo por 20 minutos de ebullición, luego se filtró la mezcla y se obtuvo el extracto para la determinación del pH, previa estandarización del medidor de pH con un búfer a un pH de 7.

Para la preparación de las virutas utilizadas para la conformación de los tableros, se dimensionaron los residuos de las chapas de cedro en función a la ubicación de las virutas en el tablero (capa exterior o capa media), así como

también el contenido de humedad al cual se tiene que secar. El cálculo del coeficiente de esbeltez de las virutas obtenidas se efectuó tomando 400 muestras de virutas, para medir sus dimensiones (largo, ancho y espesor), y determinando finalmente su coeficiente de esbeltez.

Para el secado de las virutas, según las dimensiones de las virutas se determinaron las posiciones de éstas en el tablero, teniendo así que las virutas largas son destinadas a las capas externas y las cortas a la capa interna. Seguidamente, las virutas se secan en estufa a una temperatura de 80°C, hasta obtener un contenido de humedad promedio de 4% para la capa interna y 8% para las externas.

El encolado de las virutas se realizó utilizando el método de pulverización, empleando dos tipos de adhesivos: melamina formaldehído (MF) y urea formaldehído (UF). La formulación de la cola se preparó en base a la dimensión del tablero, peso de las virutas, contenido de humedad final del tablero, densidad deseada, porcentaje de resinosidad, contenido de sólidos del adhesivo y porcentaje de catalizador, obteniéndose así los valores mostrados en el Cuadro 1.

A la formulación de la cola calculada se aumentó un 10%, para contrarrestar las pérdidas causadas por el mismo proceso de encolado y la manipulación del adhesivo. El total de la cola por tablero se distribuyó en tres partes iguales para cada capa, tal como se indica en el Cuadro 1.

Los tableros OSB se elaboraron, para los dos tipos de cola utilizados, con una presión manométrica de 23,7 kg/cm², que es el comúnmente utilizado para este tipo de tablero, tiempo de prensado de 10 minutos para tableros de 12 mm de espesor y 15 minutos para tableros de 19 mm de espesor. La temperatura de prensado fue de 140°C. Luego del prensado se procedió a enfriar el tablero, se codificó y es cuadró.

Los tableros fueron elaborados de tres capas perpendiculares entre sí, con una densidad de 0,6 g/cm³, de dos dimensiones (40 cm x 40 cm x 12 mm y 40 cm x 40 cm x 19 mm), utilizando una resinosidad de 8% y 8% de catalizador.

En los tableros fabricados, se evaluaron las propiedades físicas de hinchamiento, contenido de humedad y densidad; asimismo, la preparación de las probetas se realizó según lo indicado en las siguientes normas técnicas:

Material	Tipo de tablero OSB			
	UF – 12 mm	MF – 12 mm	UF – 19 mm	MF – 19 mm
Resina (g) (%)	167,62 84,9	88,22 44,7	265,41 84,9	139,69 44,7
Agua (g) (%)	23,06 11,7	102,45 51,9	36,48 11,7	162,20 51,9
Cloruro de amonio (g) (%)	6,70 3,4	6,71 3,4	10,62 3,4	10,62 3,4
Peso total de la cola (g) (%)	197,38 100	197,38 100	312,51 100	312,51 100
Peso de la cola por capa (g) (%)	65,79 33,3	65,79 33,3	104,17 33,3	104,17 33,3
Peso de virutas por tablero (g) (%)	1182,86 100	1182,86 100	1872,86 100	1872,86 100
Peso de virutas por capa (g) (%)	394,29 33,3	394,29 33,3	624,29 33,3	624,29 33,3

Cuadro 1. Formulación de la cola para la elaboración de los tableros OSB.

Hinchamiento 24 horas (%): UNE – EN 317: 1994
 Contenido de humedad (%): UNE – EN 322: 1992

Densidad: UNE – EN 323: 1993

Además se evaluaron las propiedades mecánicas, mediante la determinación de la resistencia máxima a la flexión (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y tracción perpendicular. La preparación de las probetas para estos ensayos se efectuó según lo señalado en las siguientes normas técnicas:

Resistencia a la flexión (MOR):UNE-EN 310: 1994

Resistencia a la flexión (MOE):UNE-EN 310: 1994

Tracción perpendicular: UNE – EN 319: 1994

Los resultados se evaluaron estadísticamente mediante un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), en los cuales los tratamientos eran los dos espesores (12 mm y 19 mm) y en los bloques los dos tipos de adhesivos (urea formaldehído y melamina formaldehído). El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$\chi_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

χ_{ij} = Observación correspondiente a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

μ = Media de todas las observaciones del experimento.

τ_i = Parámetro que mide el efecto del i-ésimo tratamiento (espesores).

β_j = Parámetro que mide el efecto del j-ésimo

bloque (adhesivos: melamina formaldehído y urea formaldehído).

ε_{ij} = Término aleatorio denominado error que mide el efecto que no puede ser explicado con la variabilidad entre tratamientos.

Asimismo, los valores medios de los ensayos físico mecánicos se compararon con las exigencias mínimas de las normas UNE – EN 300: 1997. Además, la expresión de los resultados de los ensayos se mostraron tal como indica la norma UNE - EN 325: 1993.

Resultados

Determinaciones previas de las virutas

Se determinó una densidad básica promedio de las virutas de 0,41 g/cm³, y los extractos de las virutas secas de cedro tuvieron un pH promedio de 5,63, que es relativamente ácido. Con respecto al coeficiente de esbeltez, en el Cuadro 2 se muestran los valores promedio obtenidos. Se obtuvo un coeficiente de esbeltez promedio de 122, con un rango que oscila entre 27 y 264.

Propiedades físicas de los tableros

- Hinchamiento a las 24 horas

El Cuadro 3 muestra los valores promedio del ensayo de hinchamiento del espesor a las 24 horas de los tableros elaborados con urea formaldehído (UF) y melamina formaldehído (MF). En los tableros de 12 mm encolados con UF se obtuvo un valor promedio de 25,9%, mientras que para los tableros a base de MF se tuvo un valor promedio de 18,6%. Asimismo, para los tableros de 19 mm a base de UF se

Recipiente	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	C.E. máximo	C.E. mínimo	C.E. prom.	Capa
1	78,37	26,33	0,67	215	52	118	Externa
2	72,53	23,96	0,72	239	27	109	Interna
3	54,89	38,93	0,67	161	33	83	Interna
4	117,62	25,20	0,67	264	52	177	Externa
Promedio						122	

Cuadro 2. Valores promedio de las dimensiones de las virutas y el coeficiente de esbeltez.

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Hinchamiento a las 24 horas (%)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4
12	Urea formaldehído (UF)	20,7	25,6	31,4	25,9
12	Melamina formaldehído (MF)	19,4	20,0	16,4	18,6
19	Urea formaldehído (UF)	14,8	23,0	18,0	18,6
19	Melamina formaldehído (MF)	14,9	20,0	16,4	17,1

Cuadro 3. Valores promedio de hinchamiento a las 24 horas (%) de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y de dos espesores.

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Contenido de humedad (%)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4
12	Urea formaldehído	10,5	10,5	11,2	10,7
12	Melamina formaldehído	18,3	10,1	11,4	13,3
19	Urea formaldehído	13,4	11,9	10,8	12,0
19	Melamina formaldehído	13,3	12,9	11,4	12,5

Cuadro 4. Valores promedio del contenido de humedad (%) de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y de dos espesores.

tiene un valor promedio de 18,6% y para los MF de 17,1%.

- Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio para los tableros de 12 mm con UF es de 10,7% y para MF de 13,3%, tal como se presenta en el Cuadro 4. Para el caso de los tableros de 19 mm se tuvo un contenido de humedad de 12% para la UF y 12,5% para MF.

- Densidad del tablero

En el Cuadro 5 se muestran los valores promedio de densidad de los tableros producidos a base de UF y de MF. En el se observa que para los tableros con UF de 12 mm se tiene un valor promedio de 0,68 g/cm³ y para los de MF del mismo espesor de 0,67 g/cm³. Asimismo, para los tableros con UF de 19 mm se tiene un valor promedio de 0,64 g/cm³ y de 0,67 g/cm³ para los de MF.

Propiedades mecánicas

- Módulo de ruptura en flexión estática (MOR)

El Cuadro 6 muestra los valores promedio del módulo de ruptura (MOR) en flexión es-

tática de los tableros manufacturados de dos espesores y con dos tipos de adhesivos. Para el caso de los tableros con UF de 12 mm y 19 mm se tuvo un valor promedio de 12,5 N/mm² y 12,7 N/mm², respectivamente. Asimismo, para los tableros elaborados a base de MF de 12 mm y 19 mm se encontraron valores de 12,6 N/mm² y 14,8 N/mm² respectivamente.

- Módulo de elasticidad en flexión estática (MOE)

El Cuadro 7 muestra los valores promedio del módulo de elasticidad de los tableros fabricados con dos espesores y dos tipos de adhesivos. En el se aprecia que para los tableros con UF de 12 mm y 19 mm se encontraron valores de 6225,6 N/mm² y 5134 N/mm² respectivamente. Asimismo, para los tableros elaborados con MF de 12 mm y 19 mm se obtuvieron valores de 9390,2 N/mm² y 5375 N/mm² respectivamente.

- Tracción perpendicular

Los valores promedios de resistencia a la tracción perpendicular de los tableros OSB, se muestran en el Cuadro 8. Para los tableros elaborados a base de UF de 12 mm y 19 mm,

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Densidad (g/cm ³)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Tablero 4
12	Urea formaldehído	0,71	0,69	0,66	0,68
12	Melamina formaldehído	0,68	0,71	0,61	0,67
19	Urea formaldehído	0,60	0,66	0,66	0,64
19	Melamina formaldehído	0,63	0,68	0,68	0,67

Cuadro 5. Valores promedio de la densidad de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y de dos espesores.

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Módulo de ruptura a la flexión estática (N/mm ²)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Promedio
12	Urea formaldehído	11,1	13,1	13,2	12,5
12	Melamina formaldehído	11,5	13,0	13,3	12,6
19	Urea formaldehído	16,0	10,9	11,1	12,7
19	Melamina formaldehído	16,9	14,9	12,6	14,8

Cuadro 6. Valores promedio del módulo de ruptura en flexión estática (MOR) de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y de dos espesores.

se tienen los valores de 0,10 N/mm² y 0,09 N/mm². En cuanto a los valores promedio de los tableros a base de MF de 12 mm y 19 mm, fueron de 0,13 N/mm² y 0,10 N/mm² respectivamente.

Discusión

Determinaciones previas de las virutas

La densidad básica promedio de las virutas de la especie *Cedrela montana* Moritz ex Turcz (de 0,41 g/cm³), al compararlo con lo señalado por Larco (2000), que es de 0,42 g/cm³, se encontró que está dentro de la variabilidad estadística. Con respecto al pH promedio obtenido (de 5,63) se tiene que es ligeramente ácido, y tal como señala Poblete (1978) que maderas con poca acidez retardan el proceso de fraguado, se requirió la adición de un catalizador (cloruro de amonio) para facilitar el fraguado de los adhesivos urea formaldehído y melamina formaldehído, que reaccionan en medio ácido.

Los valores de coeficiente de esbeltez obtenidos (122 de promedio) fueron inferiores a los obtenidos por Geimer y Price citados

por CORFO-INFOR (1987), quienes encontraron valores de hasta 300, que afectan favorablemente a la resistencia a la flexión, pero disminuye el de tracción. Asimismo, Arola y Vadja, citados por CORFO-INFOR (1987), proponen largos de 30 mm a 150 mm y espesores de 0,26 mm a 0,70 mm, dimensiones que son similares a las virutas empleadas para este estudio, ya que cuentan con espesores uniformes de 0,70 mm, que era el espesor promedio de las chapas decorativas utilizadas.

Propiedades físicas de los tableros

- Hinchamiento a las 24 horas

De los resultados mostrados en el Cuadro 3 se pueden apreciar que los tableros OSB elaborados con chapas de cedro presentan valores de hinchamiento menores a los permitidos en la norma UNE – EN 300: 1997, excepto los tableros de UF de 12 mm. En consecuencia, los tableros de MF de ambos espesores podrían ser usados en ambientes húmedos, mas no así los de UF de 19 mm. Los resultados obtenidos coinciden con los estudios realizados por Pizzi citado por Poblete (2001), que señala que la

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Módulo de elasticidad a la flexión estática (N/mm ²)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Promedio
12	Urea formaldehído	6443,5	6236,0	5997,4	6225,6
12	Melamina formaldehído	8503,1	8731,0	10936,5	9390,2
19	Urea formaldehído	6094,3	4960,1	4347,9	5134,1
19	Melamina formaldehído	6331,5	5447,1	4347,9	5375,5

Cuadro 7. Valores promedio del módulo de elasticidad en flexión estática (MOE) de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y dos espesores.

Tratamiento (mm)	Adhesivo	Tracción perpendicular (N/mm ²)			
		Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	Promedio
12	Urea formaldehído	0,07	0,11	0,10	0,10
12	Melamina formaldehído	0,14	0,13	0,14	0,13
19	Urea formaldehído	0,11	0,07	0,10	0,09
19	Melamina formaldehído	0,06	0,14	0,08	0,10

Cuadro 8. Valores promedio de tracción perpendicular de los tableros OSB, elaborados con dos tipos de adhesivos y dos espesores.

MF produce uniones de mayor resistencia a la humedad que las de UF. Asimismo, de acuerdo al resultado del análisis estadístico del hinchamiento se observó que hay diferencias significativas entre los espesores para los tableros de 12 mm con UF y MF, y para los tableros de 19 mm con los mismos adhesivos. Además se encontraron diferencias significativas entre adhesivos. Finalmente, la prueba de Tukey indicó que existen diferencias significativas al comparar los valores de hinchamiento entre espesores y adhesivos.

- Contenido de humedad

Los resultados del análisis estadístico obtenido en base a los resultados presentados en el Cuadro 4 muestran que no hay diferencias significativas entre los dos espesores para ambos adhesivos; en cuanto a los adhesivos sí se tienen diferencias significativas. Finalmente se realizó la prueba de Tukey para comparar los valores de contenido de humedad entre espesores y adhesivos, encontrándose diferencias significativas entre los espesores, mas no así para los dos tipos de adhesivos. Estas diferencias en la humedad puede deberse a la forma en

que se dispersó la cola en las partículas, que fue realizada en forma manual, lo cual no asegura una óptima regulación de la cola en todas las partículas que conforman el tablero.

- Densidad del tablero

Los resultados mostrados en el Cuadro 5 indican que la densidad de los tableros OSB obtenidos son ligeramente mayores que la densidad teórica planteada, el cual se debe probablemente a las limitaciones en cuanto a los equipos utilizados para su elaboración, ya que la distribución y orientación se realizó manualmente. Asimismo, la norma UNE – EN 300: 1997 no establecen valores máximos para la densidad; sin embargo, comercialmente se encuentran tableros OSB con un rango que fluctúa de 0,58 g/cm³ a 0,63 g/cm³, los cuales son determinados por el fabricante. Del mismo modo, los resultados del análisis de varianza del ensayo de densidad de los tableros, indican que no hay diferencias significativas con respecto al espesor entre ambos adhesivos. Además, los resultados de la prueba de Tukey demuestran que también no hay diferencias significativas con respecto a los espesores y adhesivos.

Propiedades mecánicas

- Módulo de ruptura en flexión estática (MOR)

Los valores obtenidos en este ensayo y presentados en el Cuadro 6 están por debajo de lo indicado en la norma UNE - EN 300: 1997. Asimismo, estudios realizados por Heebink y Hann, citados por Poblete (2001) señalan que para el módulo de ruptura, un aumento en el largo de la viruta conlleva a un aumento de los valores de este ensayo hasta cierto límite. Se puede inferir entonces que existe un largo o un espesor máximo a partir del cual no se logran mayores valores para esta propiedad. Asimismo, los resultados del análisis de varianza del MOR en flexión estática para los tableros OSB elaborados con MF y UF no muestran diferencias significativas. Los resultados obtenidos de la prueba de Tukey confirman que no hay diferencias significativas con respecto a los espesores y bloques (adhesivos) para este ensayo.

- Módulo de elasticidad en flexión estática (MOE)

Los valores obtenidos en este ensayo para los tableros OSB, mostrados en el Cuadro 7, están por encima de lo señalado en la norma UNE - EN 300: 1997. Además, estudios desarrollados por Natus y Scholer citados por Poblete (2001) mencionan valores en un rango que fluctúa de 5600 N/mm² a 7500 N/mm², lo cual coincide con los valores obtenidos en este estudio, utilizándose en ambos casos virutas con largos similares. Además, los datos obtenidos por Guillward citado por FONDEP (1991), coinciden en que los tableros producidos con residuos de la industria del laminado tienen un mejor comportamiento en la resistencia a este ensayo. Los resultados del análisis de varianza del MOE en flexión estática para los tableros OSB elaborados con MF y UF muestran diferencias significativas, tanto para los adhesivos como para los espesores de los tableros. Además, los resultados de la prueba de Tukey indican que hay diferencias significativas para los espesores y adhesivos en este ensayo.

- Tracción perpendicular

Los valores encontrados en esta prueba, que se presentan en el Cuadro 8, están por debajo

de los valores mínimos exigidos por la Norma UNE - EN 300: 1997, y coinciden con los estudios hechos por CORFO-INFOR (1987), que señalan que la adhesión interna entre las virutas decrece cuando aumenta su longitud. Asimismo, en estudios realizados por Poblete (2001) se encontró que el tamaño de la gota de adhesivo influye inversamente en las propiedades de tracción y, comparándolo con el proceso de pulverizado del adhesivo empleado, que fue irregular, se puede deducir que con un largo mínimo apropiado y mejorando la calidad del encolado se tendrá una mejor resistencia a la tracción.

Finalmente, los resultados de análisis de varianza del ensayo de tracción para los tableros OSB indican que no existen diferencias significativas, tanto para los adhesivos como para los espesores. Asimismo, se encontró un valor promedio para los tableros de UF de 0,09 N/mm² y de 0,11 N/mm² para los elaborados con MF. En el caso de los promedios por espesor, se hallaron valores de 0,11 N/mm² y 0,09 N/mm² para los tableros de 12 mm y 19 mm respectivamente. Además, los resultados de la prueba de Tukey mostraron que no hay diferencias significativas con respecto a los distintos espesores y adhesivos.

Conclusiones

Los tableros OSB a base de melamina formaldehído presentan mayor resistencia al hinchamiento que los elaborados con urea formaldehído.

El módulo de elasticidad en flexión estática y tracción de los tableros OSB elaborados a base de melamina formaldehído tienen valores mayores a los tableros a base de urea formaldehído.

Existen otros factores ajenos a los adhesivos empleados que afectan considerablemente las propiedades mecánicas de los tableros OSB, estos podrían ser largo de las virutas, orientación de las capas y el pulverizado del adhesivo, por lo que se recomienda efectuar estudios posteriores tomando en cuenta estos parámetros.

Bibliografía

- AITIM. 1996. "Nuevas Tendencias en las Adhesivos empleados en Tableros". AITIM N° 179 enero-febrero. ES. 82 p.
- ASTM – ASMI/ASTM D 1554–78.1978. "Standard Definitions of Terms Relating to Wood Base Fiber and Particle Panel Materials" ASTM. US. 28 p.
- Coons, KW. 1951. Agentes tensoactivos. Aspectos teóricos y aplicaciones industriales. Ed. Aguilar S.A. Madrid. ES. 298 p.
- CORFO-INFOR (Corporación de Fomento de la Producción - Instituto Forestal). 1987. Tecnologías y perspectivas de tableros de partículas tipo waferboards, flakeboards y OSB". Informe Técnico N° 109. Santiago. CL. 74 p.
- Dekker, M. 1983. Wood adhesives – chemistry and technology. Ed. by A. Pizzi. New York. US. 364 p.
- FONDEP (FONDO DE DESARROLLO PRODUCTIVO). 1991. Tableros a base de desechos de contrachapados. Universidad Austral de Chile. Valdivia. CL. 81 p.
- García, L; Guindeo, A; Peraza, C; Palacios, P. 2002. La madera y su tecnología. Ed. Mundi-Prensa. ES. 322 p.
- Ginzel, P. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Madrid. ES. 187 p
- Kirk, P; Othmer, D. 1961. Enciclopedia de tecnología química. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. Tomo XIII. MX. 961 p.
- Larco, I. 2000. Estudio dendrológico, anatómico y físico-mecánico de "cedro virgen" (*Cedrela montana*) de la provincia de Satipo. Tesis de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima. PE. 80 p.
- Moeltner, HG. 1981. An Integrated plywood/waferboard plant utilizing poplar as raw material. In: Proceedings of de Canadian Waferboards Symposium, Forintek Canada Corp., Vancouver, British Columbia. CA. 144p.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 2004. Maderas. Métodos de determinación de densidad. Norma 251.011. Lima, PE. 9 p.
- Nutsch, W. 2000. Tecnología de la madera y el mueble. Ed. Reverte S.A. Barcelona. ES. 509 p.
- Poblete, H. 1978. Uniones de madera con adhesivos. Publicación técnica N° 1. Universidad Austral de Chile. Valdivia. CL 43 p.
- Poblete, H. 2001. Tablero de partículas. Universidad Austral de Chile. Ed. El Kultrún. Valdivia, CL. 177 p.
- UNE-EN 300:1997. "Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones" Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 310:1994. "Tableros derivados de la madera. Determinación del modulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 317:1994. "Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de la inmersión en agua". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 319:1994. "Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras el tablero". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 322:1992. "Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido de humedad". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 323:1993. "Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 325:1993. "Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de las probetas". Norma Técnica Europea.
- UNE-EN 326:1994. "Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte I: muestreo y despiece de probetas y expresión de resultados de ensayo". Norma Técnica Europea.