

TRANSFERENCIA DE CALOR Y SU EFECTO EN EL PROCESO DE PENSADO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

D. Zavala-Zavala¹; R. Valdivia-Acevedo²

¹Profesor Investigador de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

²Gerente de Planta de Seleindustrias Emiliano Zapata, A. R. de I.C. Complejo Industrial S/N. Col. Aelmira, Santiago Papasquiaro, Durango.

RESUMEN

El proceso de prensado determina la calidad de los contrachapados (triplay) a través de la interrelación de las propiedades tecnológicas de la madera, de las características de los adhesivos y de la interacción de la temperatura y presión que se generan en la prensa. Este trabajo se realizó con la finalidad de analizar el efecto de la transferencia de calor en la polimerización de adhesivos preparados con urea y fenol formaldehído, para determinar la secuela óptima de prensado de triplay de 6, 9, 12, 15, 18 y 34 mm de espesor; y para evaluar la compactación de los tableros por efecto de la temperatura y presión durante el prensado. Se utilizó chapa de *Pinus herrerae* Martínez, *P. michoacana* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl., a un contenido de humedad de 6 a 8 %, una prensa calentada con vapor, adhesivo de urea formaldehído para tableros para interiores de 6, 9, 12, 15 y 18 mm y fenol formaldehído para triplay para exteriores de 34 mm de espesor. Se utilizaron ciclos de prensado aplicando temperaturas de 115, 130 y 140 °C y presiones de 10.62 kg·cm⁻² (151 psi) y 8.51 kg·cm⁻² (121 psi) en triplay para interiores, y para los tableros tipo exterior de 140, 150 y 160 °C de temperatura y 12.23, 13.29 y 14.34 kg·cm⁻² (174, 189 y 204 psi) de presión. La temperatura de las líneas de pegamento más externas aumenta rápidamente al cerrarse la prensa y manifiesta una diferencia en relación a las más internas, que tiende a reducirse conforme transcurre el tiempo de prensado, igualándose aproximadamente al 73 % del tiempo para cada tipo de tablero. A través de la evaluación de adhesión de los pegamentos de los tableros para interiores con la norma PS1-95, se determinó que todos pasan las especificaciones requeridas para ese uso. En los tableros de 34 mm de espesor, con un incremento de la temperatura de 140 a 160 °C, una presión de 12.23 a 14.34 kg·cm⁻² (174 a 204 psi) y un contenido de sólidos del fenol formaldehído de 29.9 a 32.1 %, se logró una reducción de un 28.6 % del tiempo de prensado (de 35 a 25 min), y de un 1.8 % en la compactación, además se eliminó el problema de delaminación de este tipo de tableros.

PALABRAS CLAVE: triplay, compactación, línea de pegamento, fraguado.

HEAT TRANSFER AND ITS EFFECT ON THE PRESSING SCHEDULES OF PLYWOOD

SUMMARY

The pressing process defines the quality of plywood through the interrelation of the technological properties of wood, the adhesive characteristics, and the interaction of temperature and pressure generated in the hot press. This study was carried out in order to analyze the effect of heat transfer on the polymerization of adhesives formulated with urea and phenol formaldehyde and to optimize the pressing schedules of 6, 9, 12, 15, 18 and 34 mm plywood thickness, as well as to evaluate the compaction of boards as a result of temperature and pressure during the hot pressing cycle. Veneer of *Pinus herrerae* Martínez, *P. michoacana* Martínez, and *P. pseudostrobus* Lindl. at a moisture content of 6 to 8 % was used as well as a press heated with steam and urea formaldehyde, to produce boards 6, 9, 12, 15 and 18 mm thick, and phenol formaldehyde for the 34 mm plywood. Pressing cycles with temperature of 115, 130 and 140 °C and pressures of 10.62 kg·cm⁻² (151 psi) and 8.51 kg·cm⁻² (121 psi) were analyzed for interior use, and for exterior type boards temperatures of 140, 150 and 160 °C and pressures of 12.23, 13.29 y 14.34 kg·cm⁻² (174, 189 y 204 psi) were also evaluated. The temperature of the outermost glue lines increases rapidly with the closing of the press, maintaining a difference with the innermost glue line, which tends to disappear with the pressing time, becoming similar at 73 % of pressing time for each type of board. It was determined, through the evaluation of the adhesive characteristics of the interior type glue with the PS1-95 standard, that all boards fulfill the specifications for that type of application. In the 34 mm thickness boards, the temperature was raised from 140 to 160 °C, the pressure from 12.23 to 14.34 kg·cm⁻² (174 a 204 psi) and the phenol formaldehyde solid content from 29.9 to 32 %, as a result, a reduction on pressing time by 28.6 % (35 to 25 min) and 1.8 % in compaction were achieved; furthermore the delamination problems of these type of boards were eliminated.

KEY WORDS: plywood, compaction, heat transfer, glue line, polymerization.

INTRODUCCIÓN

En la producción de contrachapados, el prensado es importante por su efecto en la calidad de los mismos. En esta fase del proceso, si interrelacionan las propiedades tecnológicas de la madera, específicamente la textura, la densidad, el contenido de humedad, la energía de la superficie, y el pH, con las características de los pegamentos (peso molecular, contenido de sólidos, viscosidad, pH y la temperatura de fraguado), a través de los parámetros del proceso de prensado, específicamente la temperatura y la presión que se aplican en un tiempo determinado por medio de los platos de la prensa para formar el tablero. La función de la temperatura es acelerar la polimerización del adhesivo y a través de la presión de los platos, facilitar el contacto entre las chapas y el pegamento (Terry *et al*, 1990; Ellis y Steiner 1992; Baldwin, 1995; Zavala, 1995; FPL, 1999).

Las resinas para triplay (urea y fenol formaldehído) polimerizan a temperaturas elevadas (110 a 120 °C) y la humedad de la chapa y del adhesivo, además de retardar el fraguado del pegamento, genera vapor cuya presión se concentra en el centro del tablero y tiende a vencer la resistencia de adhesión, ocasionando delaminaciones (Marra, 1992; Zavala, 1994; FPL, 1999).

La presión de los platos para contrachapados de pino varía de 10.545 a 14.06 kg·cm⁻² (150 a 200 psi) con un promedio de 12.30 kg·cm⁻² (175 psi) (Zavala, 1995 y Baldwin, 1995). La finalidad de aplicar esta carga durante la conformación del tablero es para forzar a las chapas a establecer un buen contacto con el adhesivo; facilitando así que fluya y humedezca las áreas en las líneas del pegamento y para mantener unidas las chapas durante el fraguado del adhesivo, especialmente cuando la presión del vapor aumenta y tiende a separar las chapas del conglomerado; esta presión de vapor se contrarresta por la presión ejercida por los platos (Zavala, 1995).

La transferencia de calor durante la compactación del conglomerado para la formación del triplay depende de la temperatura y la presión aplicada a través de los platos de la prensa, y del calor específico y conductividad de la madera.

Este trabajo se realizó con la finalidad de determinar y analizar la transferencia de calor durante el prensado, evaluar el efecto de la temperatura, de la presión y del tiempo de prensado en las secuelas de prensado y en la compactación de los tableros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades realizadas en el presente estudio se enfocaron en la preparación de la chapa, en la formulación y aplicación de los adhesivos a las chapas, en la integración

de los contrachapados, en la preparación y colocación de los termopares para medir la transferencia de calor, en el prensado de los tableros, en la cuantificación de la compactación de los tableros y en la captura y análisis de la información.

Características de las chapas y tipos de tableros estudiados

Para la integración de los tableros se utilizó chapa torneada de *Pinus herrerae* Martínez, *Pinus michoacana* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl., de 1.8 y 3.1 mm de espesor, en secciones de 1.32 x 2.55 m, que se acondicionaron a un contenido de humedad de 6 a 8 %. Los tableros analizados se integraron con chapas para vistas, travistas, centros e interiores en espesores de 1.8 a 3.1 mm en función del tipo de tablero programado (Cuadro 1).

CUADRO 1. Conformación de los tableros.

| Espesor (mm) | Resina | Características, espesor (mm) y número de chapas | | | | | | | |
|--------------|--------|--|-----|----------|-----|--------|-----|----------|-----|
| | | Vista | | Trascara | | Centro | | Interior | |
| | | 1.8 | 3.1 | 1.8 | 3.1 | 1.8 | 3.1 | 1.8 | 3.1 |
| 6 | U F | 1 | | 1 | | 1 | | | |
| 9 | U F | 1 | | 1 | | 1 | | 2 | |
| 12 | U F | 1 | | 1 | | | 1 | | 2 |
| 15 | U F | | 1 | | 1 | | 1 | | 2 |
| 18 | U F | 1 | | 1 | | | 1 | | 4 |
| 34 | F F | 1 | | 1 | | 1 | | | 16 |

Preparación y cantidad de adhesivo aplicado a los contrachapados

Para la elaboración de los tableros de 6, 9, 12, 15 y 18 mm de espesor se utilizó resina de urea formaldehído. La formulación del adhesivo se preparó de acuerdo a las especificaciones de la empresa donde se realizó el estudio, reduciendo el porcentaje original de sólidos de la resina de 62.3 a 29.3 % al preparar la mezcla del adhesivo, que quedo integrada con 55.3 kg de sólidos totales (23.9 kg de harina, 0.9 kg de harina de cáscara de nuez, 1.3 kg de catalizador y 23.9 kg de sólidos de la resina, este último equivalente a 62.3 % de los 47 kg de urea formaldehído) y 44.7 kg de agua, (27 kg de agua libre, 17.7 kg de agua de la resina de urea formaldehído), (Cuadro 2).

En el caso de los tableros de 34 mm de espesor se utilizó resina de fenol formaldehído, para preparar dos formulaciones del adhesivo; la primera de acuerdo a las especificaciones de la empresa y la segunda como propuesta del presente estudio. La primera mezcla del adhesivo se preparó reduciendo el porcentaje original de sólidos de la resina de 44.5 a 29.9 %, para obtener una mezcla del adhesivo con 48.74 kg de sólidos totales y 51.26

kg de agua. La segunda mezcla se preparó con un contenido de sólidos de 32.1 %, para generar un adhesivo con 46.24 kg de sólidos totales y 53.76 kg de agua, ambas formulaciones con un pH de 12.8 y una viscosidad brookfield a 25 °C de 2600 cp, (Cuadro 3).

CUADRO 2. Componentes y tiempos de mezclado para el adhesivo a base de urea formaldehído.

| Componente | Cantidad (kg) | Tiempo de mezclado (min) |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|
| Agua a 30 °C | 27.0 | |
| Harina de trigo | 23.9 | 5 |
| Harina de cáscara de nuez | 0.8 | |
| Catalizador (U-247) | 1.3 | 3 |
| Resina (Urea -formaldehído) | 47.0 | 5 |
| Total | 100.0 | |

CUADRO 3. Componentes y tiempos de mezclado para dos formulaciones de adhesivo a base de fenol formaldehído.

| Componente | Cantidad (kg) | | Tiempo de Mezclado (min) | |
|------------------------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | Adhesivo (1) | Adhesivo (2) | Adhesivo (1) | Adhesivo (2) |
| Agua a 30 °C | 13.9 | 13.3 | 5 | 5 |
| Resina (fenol formaldehído) | 13.9 | 7.5 | | |
| Harina de trigo | 7.0 | 6.3 | | |
| Harina de cáscara de nuez | 9.2 | 5.0 | | |
| Resina (fenol formaldehído) | — | 15.1 | | 3 |
| Sosa cáustica (hidróxido de sodio) | 1.9 | 2.5 | 15 | 10 |
| Carbonato de sodio | 0.7 | — | 3 | |
| Resina (fenol formaldehído) | 53.4 | 50.3 | 5 | 10 |
| Total | 100.0 | 100.0 | | |

La cantidad de adhesivo aplicada a los tableros tipo interior fue de 412 g·m⁻² en doble línea de pegamento (DLP) para centros de 3.1 mm de espesor y de 334 g·m⁻² en DLP en centros de 1.8 mm para tableros tipo exterior.

Integración de los contrachapados y colocación de los termopares

Conjuntamente con el engomado de los centros se fue integrando el contrachapado y colocando los termopares en cada línea de pegamento (LP1...LP6), para medir la transferencia de calor durante el proceso de prensado (Figura 1). Al momento de cargar los tableros en la prensa se colocaron los termopares correspondientes al plato superior e inferior (PS y PI).

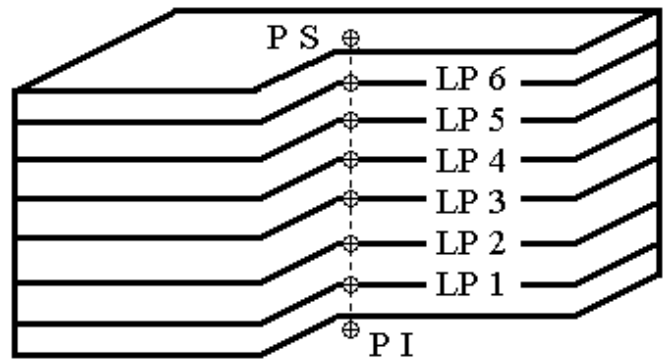


FIGURA 1. Diagrama de ubicación de los termopares en las líneas de pegamento (LP1... LP6) y en los platos superior e inferior (PS..PI).

Después de la conformación de los contrachapados y la colocación de los termopares, los tableros se trasladaron a la pre-prensa, para someterlos a 3.66 kg·cm⁻² (52 psi) de presión por un tiempo de 5 a 7 minutos.

Proceso de prensado

El prensado de los tableros se realizó en una prensa de 30 platos, con calentamiento a base de vapor y sistema de aplicación de la presión de los platos en dos fases, aplicando una presión mayor al inicio del prensado y posteriormente se redujo la intensidad de la presión.

En el Cuadro 4 se observa que a mayor espesor del triplay el tiempo de prensado se prolonga, debido a que la madera conduce lentamente la temperatura, por esta razón, al aumentar el espesor del tablero se requiere más tiempo para que la temperatura interna se incremente.

Cuando la temperatura y la presión de los platos se incrementa, la conductividad térmica también aumenta, lo que favorece el ascenso de la temperatura en el centro del triplay.

CUADRO 4. Parámetros utilizados durante el prensado.

| Espesor | Tiempo (min) | | Temperatura (°C) | Presión kg·cm ² (psi) | |
|-----------------|--------------|------|------------------|----------------------------------|------------|
| | Alta | Baja | | Alta | Baja |
| 6 | 3.0 | 0.0 | 115 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 9 | 4.0 | 2.0 | 130 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 12 | 5.5 | 2.0 | 140 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 15 | 6.5 | 2.0 | 130 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 18 | 9.0 | 2.0 | 140 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 34 ¹ | 20.0 | 15.0 | 165 | 10.62 (151) | 8.51 (121) |
| 34 ² | 20.0 | 15.0 | 140 | 12.23 (174) | 8.51 (121) |
| 34 ³ | 20.0 | 10.0 | 150 | 13.29 (189) | 8.51 (121) |
| 34 ⁴ | 15.0 | 10.0 | 160 | 14.34 (204) | 8.51 (121) |

Nota: ¹Mezcla de adhesivo 1; ²Mezcla de adhesivo 2 opción 1; ³Mezcla de adhesivo 2 opción 2 y ⁴Mezcla de adhesivo 2 opción 3.

Transferencia de calor en el tablero durante el prensado

Para determinar la variación de la temperatura en las líneas de pegamento de los tableros durante el prensado, se utilizaron 200 termopares tipo K calibre 24 con recubrimiento de fibra de vidrio de 90 cm de longitud. Un extremo de los alambres de los termopares se unió con soldadura de estaño/plomo (60/40), en el extremo opuesto se les colocó conectores tipo plugs macho para unirlos a un selector universal con capacidad de 11 canales mediante el cual se seleccionó la línea de pegamento para determinarle la temperatura a través del termómetro digital para termopares, (Figura 2).

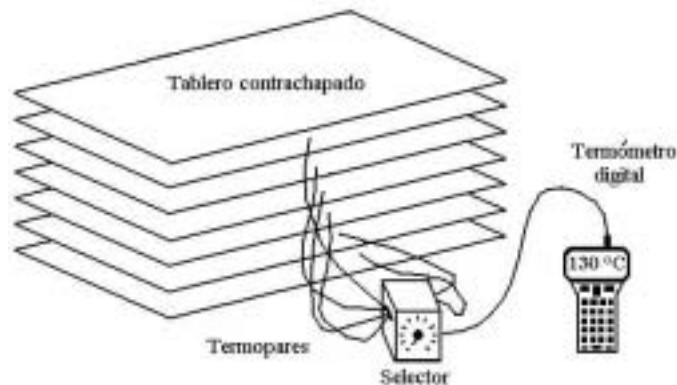


FIGURA 2. Determinación de la temperatura en los tableros durante el prensado.

Las lecturas se realizaron de manera directa en el termómetro digital y se registraron en formatos prediseñados durante el lapso del prensado.

Determinación de la compactación

La compactación del tablero durante el prensado se asocia con el comportamiento viscoelástico de la madera, que depende de la temperatura, del CH de la chapa y de la presión de los platos de la prensa (Zavala, 1994; Seborg y Stamm 1941). El porcentaje de compactación total (C) en los tableros de 34 mm de espesor se determinó directamente a través de la suma de los espesores de las chapas que integran el tableros antes del prensado (E_n) y del grosor del tablero después del prensado (E_p), a través de la siguiente expresión.

$$C = 100 - \left(\frac{E_f * 100}{E_n} \right)$$

Calidad de adhesión de los tableros

Al finalizar el prensado, los tableros se examinaron minuciosamente para determinar posibles defectos de

adhesión, como ponchaduras y/o delaminaciones, que son indicadores de la calidad de adhesión del triplay.

A los tableros elaborados con urea formaldehído se les determinó la resistencia de adhesión de acuerdo a las especificaciones de la norma PS1-95 de la American Plywood Association. Específicamente, de cada tablero muestreado se obtuvieron cinco especímenes de prueba de 50 mm de ancho por 125 mm de longitud en la dirección del grano de los tableros, los cuales se colocaron en una cámara de vacío y se sumergieron completamente en agua a 43 °C, aplicándoles un vacío de 15 pulgadas de mercurio durante 30 minutos, y después de liberar la presión se sumergieron en agua por 4.5 horas sin aplicar calor; posteriormente se secaron en un horno durante 15 horas a 66 °C. Los especímenes se evaluaron por delaminación como indica la norma, el tablero evaluado se considera que pasa la prueba de aceptación de adhesión si tres o más de los especímenes no presentan delaminaciones continuas visibles de 6.4 mm o más en profundidad y 50 mm en longitud a lo largo de los cantos de los especímenes de 50 mm por 125 mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Formulación y cantidad de adhesivo aplicada

La mezcla de adhesivo a base de urea formaldehído se aplicó a tableros para interiores en un exceso de 3.1%, base 400 g/m² en DLP, el cual además de prolongar el tiempo de curado y el tiempo de prensado, incrementó el costo del adhesivo por tablero.

En la elaboración de los tableros de 34 mm de espesor, se emplearon dos formulaciones de adhesivo, con 29.9 y 32.1 % de contenido de sólidos, aplicando 335 g/m² en DLP. La segunda formulación fue muy reactiva, y se preparó con la finalidad de reducir el tiempo de prensado sin generar delaminaciones.

Tiempos de armado y prensado

En promedio un conglomerado de chapas para un tablero de 15 mm de espesor de siete capas, se integra en 1.6 minutos, variando de 1.41 y 1.92 minutos utilizando dos engomadoras; esta variación se debe a la calidad de las chapas empleadas, la habilidad y sincronización de los trabajadores para acomodar las chapas e integrar el tablero.

Una carga de 20 tableros de 15 mm de espesor con siete capas armados en dos engomadoras, tarda aproximadamente 41.7 min, desde que se inicia la integración del primer tablero hasta el último.

Análisis de la transferencia de calor y su efecto en la secuela de prensado

La transferencia de calor sigue el mismo comportamiento en todos los tableros estudiados, el incremento de la temperatura es mayor en las líneas de pegamento más externas (LP 1 y 6), y gradualmente continúa con las líneas de pegamento adyacentes (LP 2 y 5), y así sucesivamente hasta llegar a las línea más internas (LP 3 y LP 4). Este comportamiento es lógico, debido a que las líneas más externas están más cercanas de la fuente de calor. Incluso al inicio del prensado se observa un decremento de la temperatura de los platos, posteriormente se va recuperando debido a que la demanda de calor es menor y se establece un equilibrio con la tasa de suministro de calor por los platos de la prensa (Figura 3 y 4).

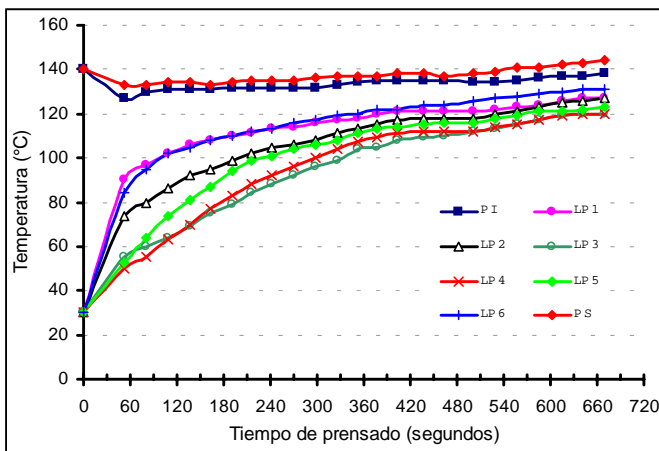


FIGURA 3. Transferencia de calor en las líneas de pegamento para tableros de 18 mm de espesor.

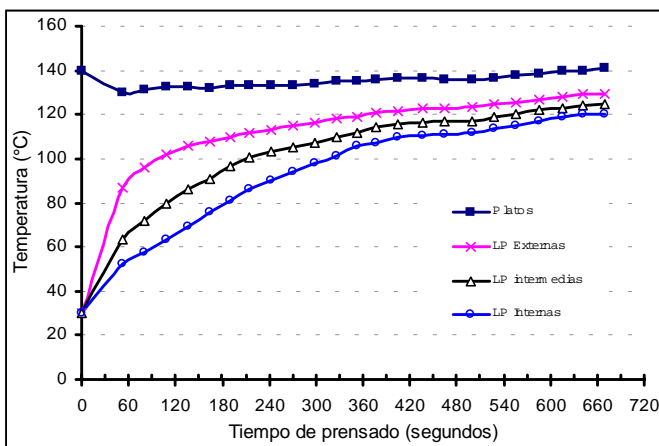


FIGURA 4. Temperaturas promedio para tableros de 18 mm de espesor (derivada de la Figura 3).

La tasa de incremento de temperatura en el centro (LP internas) de los tableros de 6, 9, 12, 15 y 18 mm de espesor es de 42, 32, 21, 12 y 11 °C/min, respectivamente

en un rango de 30 a 110 °C, para las secuelas de prensado indicadas en el Cuadro 4 para los tableros tipo interior.

Cuando se incrementa la temperatura y la presión de la prensa, se refleja un ligero incremento en la transferencia de calor de 4.79, 5.85 y 5.93 °C por minuto para los tableros de 34², 34³ y 34⁴ mm de espesor, (Figura 5). Esta tasa de incremento está comprendida en el rango de 30 a 120 °C, bajo las condiciones de prensado que se especifican en el Cuadro 1.

El ajuste en tiempo realizado a la secuela de prensado de los tableros de 34 mm de espesor se generó por ensayo y error. Al adhesivo se le incrementó el contenido de sólidos de 29.9 a 32.1 %, la temperatura se modificó de 140 a 160 °C y la presión de los platos de la prensa de 12.23 a 14.34 kg·cm⁻² (174 a 204 psi). Además de lograrse reducir el tiempo de prensado en un 28.6 %, la compactación de los tableros también disminuyó en un 1.8 % y se eliminó por completo el problema de delaminaciones.

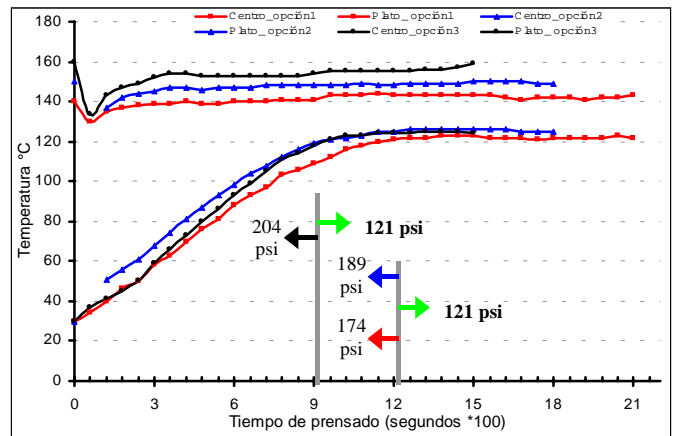


FIGURA 5. Temperatura interna de los tableros de 34 mm de espesor bajo diferentes condiciones de prensado.

Con el comportamiento observado de la transferencia de calor en las Figuras 3, 4 y 5, es posible reducir los tiempos de prensado especialmente en los tableros más gruesos, para lo cual se requiere que aumente la temperatura y la presión de los platos de la prensa y se incremente la reactividad del adhesivo.

Calidad de los tableros analizados

Todos los tableros tipo interior (con urea formaldehído) no presentaron problemas de delaminación al finalizar el proceso de prensado, y todos cumplen con las especificaciones que establece la norma PS1-95 de la American Plywood Association (1995), aun cuando una probeta del tablero de 9 mm y otra del de 18 mm, no pasaron las especificaciones de la norma por rebasar las dimensiones de la delaminación en la línea de pegamento;

en el caso del tablero de 9 mm en la línea más externa debido a que el conglomerado de chapas estuvo expuesto más de dos minutos sobre la prensa antes de cerrarse, ocasionando un pre-curado que se reflejó en una mala calidad de adhesión. En el tablero de 18 mm la falla se presentó en la línea de pegamento más interna, lo que indica que el adhesivo no se polimerizó al 100 % debido a que la temperatura no fue lo suficientemente alta para reducir la presión de vapor y permitir un fraguado total (Cuadro 5).

CUADRO 5. Características de adhesión en los tableros tipo interior de acuerdo a la norma PS1-95.

| Espesor | Fecha de (mm) | Núm. de probetas elaboración | | Pasa la norma PS1-95 |
|---------|---------------|------------------------------|-------------|----------------------|
| | | Ensayadas | Delaminadas | |
| 6 | 31-05-2002 | 5 | 0 | Si |
| 9 | 30-05-2002 | 5 | 1 | Si |
| 12 | 27-05-2002 | 5 | 0 | Si |
| 15 | 28-05-2002 | 5 | 0 | Si |
| 18 | 28-05-2002 | 5 | 1 | Si |

Respecto a los tableros de 34 mm de espesor que se elaboraron con la primera mezcla de adhesivo (29.9 % de contenido de sólidos), dos de tres tableros presentaron delaminaciones al finalizar el prensado. En los que se utilizó la segunda mezcla de adhesivo (contenido de sólidos de 32.1%) no se presentó dicho problema, debido al incremento de la reactividad del adhesivo.

Efecto de la temperatura y presión sobre la compactación de los tableros

Las temperaturas y las presiones a las que se someten los contrachapados tienen un efecto directo en la compactación de los tableros, siendo más severa al inicio del prensado (Seborg, *et al.* 1941; Zavala, 1994). Como se puede observar en el Cuadro 6, la última secuela de prensado es más severa en temperatura y presión, sin embargo el contrachapado sólo permanece 15 minutos a 14.34 kg·cm⁻² (204 psi) de presión; reduciéndola después de ese lapso a 8.51 kg·cm⁻² (121 psi), durante 10 minutos,

por lo que se deduce que la duración del periodo en el que se aplica la temperatura y la presión más alta, tienen un efecto directo en la compactación de los tableros. Por otro lado, la presión baja que se aplica en una segunda fase del prensado favorece la recuperación del espesor del triplay, debido a que no se ha rebasado el límite viscoelástico de la madera.

Para lograr un equilibrio entre la transferencia de calor y la compactación, la nueva tecnología del prensado de triplay se ha enfocado al desarrollo de prensas que permitan aplicar altas presiones (12.30 kg·cm⁻² ...175 psi o más) al inicio del prensado para forzar el contacto entre chapas e incrementar la tasa de transferencia de calor, liberando paulatinamente esa presión conforme avanza el prensado (10.55- 8.79 kg·cm⁻²150-125 psi), con la finalidad de recuperar parte del espesor comprimido (Zavala, 1994). La recuperación del espesor del triplay se debe a la propiedad de elasticidad de la madera.

CONCLUSIONES

La tasa de incremento de la temperatura en el centro del triplay depende del espesor del tablero, de la temperatura y de la presión que se aplique a través de los platos de la prensa.

A mayor reactividad del adhesivo se reduce el tiempo de curado y se incrementa la resistencia de adhesión, evitando que se presenten delaminaciones.

Las secuelas o programas de prensado para triplay, definidas por la interrelación de la temperatura, la presión y el tiempo de prensado, se deben determinar de acuerdo al espesor del tablero y al número de líneas de pegamento.

La secuela óptima de prensado para el tablero de 34 mm de espesor con 19 capas tipo exterior, se logró aplicando 160 °C de temperatura y 14.34 kg·cm⁻² (204 psi) de presión por 15 minutos en la primera fase y 8.51 kg·cm⁻² (121 psi) por 10 minutos en la segunda fase del proceso de prensado, utilizando un adhesivo con un 32.1 % de contenido de sólidos y un pH de 12.8.

Los tableros tipo interior elaborados con una mezcla

CUADRO 6. Compactación en los tableros de 34 mm de espesor bajo tres condiciones de prensado.

| Espesor | Presión kg·cm ² (psi) | | Temperatura (°C) | PrensadoTiempo (min) | | Compactación (%) |
|-----------------|----------------------------------|------------|------------------|----------------------|------|------------------|
| | Alta | Baja | | Alta | Baja | |
| 34 ^b | 12.23 (174) | 8.51 (121) | 140 | 20 | 15 | 7.5 |
| 34 ^c | 13.29 (189) | 8.51 (121) | 150 | 20 | 10 | 9.1 |
| 34 ^d | 14.34 (204) | 8.51 (121) | 160 | 15 | 10 | 5.7 |

de adhesivo de urea formaldehído con un 30 % de contenido de sólidos, cumplen las especificaciones de calidad de la adhesión establecidas por la norma PS1-95.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION. 1995. Product Standard PS1-95: Construction and industrial plywood with typical APA trademarks. Washington. National Institute of Standards and Technology. 40 p.
- BALDWIN, R. F. 1995. Plywood and veneer-based products: manufacturing practices. Miller Freeman, USA. 388 p.
- ELLIS, S. Y STEINER, P. 1992. Some effects of the chemicals and physical characteristics of powdered phenol-formaldehyde resins on their adhesives performance. Forest Product Journal. 42(1):8-14.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. General Technical Report. FPL-GTR-113. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- MARRA, A. L. 1992. Technology of wood bonding: principles in practice. Van Nostrand Reinhold. USA. 454 p.
- SEBORG, R. M y A. J., STAMM. 1941. The compression of wood. Report R1258. Madison, Wi. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9 p.
- TERRY S., JR; G. D. MILLER Y W. LI-SHIH NIEH. 1990. Evaluation of three fillers in PF adhesives used to bond intermediate moisture content plywood: glueline durability and knife wear. Forest Product Journal. 40(10):23-28.
- ZAVALA Z., D. 1994. Análisis de los factores que intervienen en el proceso de prensado del triplay. Ciencia Forestal en México. 19(76): 103-131.
- ZAVALA Z, D. 1995. Efecto de los ciclos de prensado en la productividad y calidad de los tableros contrachapados. Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (7): 3-19.