



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**TRANSFERENCIA DE CALOR Y SU EFECTO EN LAS SECUELAS DE
PRENSADO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS //**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

REYMUNDO VALDIVIA ACEVEDO

Diciembre de 2002

Chapingo, Texcoco, Edo. de México.



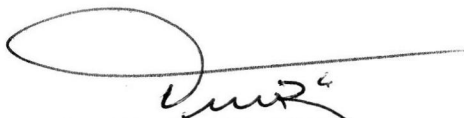
Bib. 98491

**TRANSFERENCIA DE CALOR Y SU EFECTO EN LAS SECUELAS DE
PRENSADO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS.**

Tesis realizada por **Reymundo Valdivia Acevedo** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

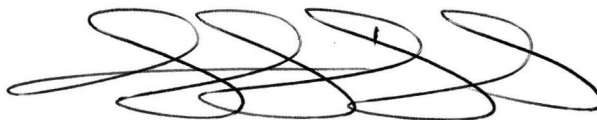
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



Ph. D. DAVID ZAVALA ZAVALA

ASESOR:



Ph. D. LEONARDO SÁNCHEZ ROJAS

ASESOR:



DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

A.40673

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de tener una formación profesional y continuar con mis estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme el apoyo económico.

A la empresa Tableros y Chapas de Guerrero S. A. de C. V. (TACHAGUSA), por su valiosa colaboración y facilidades brindadas en la realización del presente trabajo.

Al Ph. D. David Zavala Zavala, por el gran apoyo en mi preparación profesional y por la acertada dirección del presente trabajo.

Al Ph. D. Leonardo Sánchez Rojas, por sus valiosos consejos y facilidades brindadas durante mis estudios de maestría.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por el apoyo incondicional y sugerencias en la realización de la presente tesis.

A todas aquellas personas que de alguna manera participaron durante la realización del presente trabajo.

A mis compañeros y amigos durante mi estancia en la maestría: David, Gil, Ivón, Abel, Javier, Andrés, Chucho, Vero, Caty, Alicia, Erika, Roberto, Jaime Mario, Melchor, Argelia.

A Chela, Doña Lulú y Don Pancho por sus valiosos ánimos y apoyos durante mi preparación profesional.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis:

A mis padres Juan Valdivia Graciano y Narcisa Acevedo Ramos. Por darme la mejor herencia que se le puede dar a un hijo: una vida llena de satisfacciones gracias al cariño y consejos que siempre he tenido de ellos.

A mis hermanos(as) Esperanza, Alfonso, Baudelia, Enedina, Francisca, Yesenia, Verónica, Domitila, Jorge, Joel, Juan, Elvia y Reina. Por el afecto y apoyo que ha reinado entre nosotros.

A mi esposa: Silvia Sánchez Becerril. Por todo el apoyo y amor que siempre me ha brindado.

A mis amigos de siempre: Luis, Cirilo, Elizabeth, Diana y Rocío.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 28 de septiembre de 1975, en Santa María del Oro, Nayarit donde realizó los estudios de primaria y secundaria. En 1991 ingreso a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y en 1994 comenzó sus estudios de licenciatura en la División de Ciencias Forestales de la Universidad, egresando 1998 como Ingeniero Forestal con Orientación en Industrias Forestales. Su tesis de licenciatura se titula “Diagnóstico de la industria de aserrío en el estado de Michoacán, México”.

En 1999 se integra a un despacho de Servicios Técnicos Forestales en el Estado de Nayarit por un periodo de seis meses, elaborando programas de manejo en vegetación de zona templada y selva baja. Posteriormente presto sus servicios en la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Puebla como Coordinador Forestal en la Región de Tehuacan, por un periodo año y medio, promoviendo y supervisando proyectos de los programas PRONARE, PRODEFOR, PRODEPLAN y Protección Forestal.

En enero de 2001 ingreso a la División de Ciencias Forestales donde cursó la maestría en Ciencias en Ciencias Forestales. Participo como ponente en el IV Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales, además ha apoyado en cursos de producción de carbón vegetal.

RESUMEN

TRANSFERENCIA DE CALOR Y SU EFECTO EN LAS SECUELAS DE PRENSADO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS.

Reymundo Valdivia Acevedo

Diciembre de 2002

(bajo la dirección del Ph. D. David Zavala Zavala)

El proceso de prensado determina la calidad del 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 con 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 de 6, 9, 12, 15 y 18 mm y fenol formaldehído para triplay de 34 mm de espesor. Se utilizaron ciclos de prensado aplicando temperaturas de 115, 130 y 140 °C y presiones de 151 y 121 psi en triplay para interiores, y los tableros tipo exterior de 140, 150 y 160 °C de temperatura y 174, 189 y 204 psi de presión.

A través de la evaluación de la resistencia de adhesión de los tableros para interiores con la norma PS1-95, se determinó que todos pasan las especificaciones requeridas para ese uso. 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. Con la finalidad de mejorar la productividad de los tableros de 34 mm de espesor, se incrementó la temperatura de 140 a 160 °C, la presión de 174 a 204 psi y el contenido de sólidos del fenol formaldehído de 29.9 a 32.1%, logrando 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, prensado, compactación, línea de pegamento, fraguado.

ABSTRACT

HEAT TRANSFER AND ITS EFFECT ON THE PRESSING SCHEDULES OF PLYWOOD.

Reymundo Valdivia Acevedo

December 2002

(Under the direction of the Ph. D. David Zavala Zavala)

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 151 and 121 psi were analyzed for interior use, and for exterior type boards temperatures of 140, 150 and 160 °C and pressures of 174, 189 and 204 psi were also evaluated.

It was determined, through the evaluation of adhesive strength of interior type boards with the PS1-95 standard, that all boards fulfill the specifications. 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. In order to improve the productivity of the 34 mm thick board, the temperature was raised from 140 to 160°C, the pressure from 174 to 204 psi and the phenol formaldehyde solid content from 29.9 to 32%, achieving a reduction of the pressing time by 28.6% (35 to 25 min) and the compaction by 1.8%; furthermore the delamination problems of these type of boards were eliminated.

Key words: Plywood, hot pressing, compaction, glue line, polymerization.

ÍNDICE

Aprobación de la Tesis de Grado.	ii
Agradecimientos.	iii
Dedicatorias.	iv
Datos biográficos.	v
Resumen.	vi
Abstract.	vii
Índice.	viii
Lista de cuadros.	xi
Lista de figuras.	xii
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Objetivos.	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	4
2.1 Termopares.	4
2.2. Adhesivos.	6
2.2.1. Resina de urea formaldehído.	6
2.2.1. Resina de fenol formaldehído.	7
2.3. Efecto de la presión, temperatura y tiempo de prensado.	8
2.4 Transferencia de calor durante el prensado.	11
2.5 Evaluación de la adhesión.	17
3. MATERIALES Y METODOS.	19
3.1. Materiales.	19
3.1.1. Materiales utilizados para la elaboración de los tableros.	19
3.1.2. Equipo utilizado en la elaboración de los tableros.	20
3.1.3. Equipo utilizado para medir la transferencia de calor.	20
3.1.4. Equipo utilizado para medir la viscosidad y pH de la resina a base de fenol formaldehído.	21
3.1.5. Equipo utilizado para realizar pruebas de resistencia de adhesión en tableros tipo interior.	21
3.2 Metodología.	22
3.2.1. Características y preparación de las chapas.	22
3.2.2. Características de las resinas.	23
3.2.2.1. Características de la resina de urea formaldehído.	23
3.2.2.2. Características de la resina de fenol formaldehído.	24
3.2.3. Formulaciones de los adhesivos.	24
3.2.3.1. Adhesivo a base de UF.	25
3.2.3.2. Adhesivo a base de FF.	25
3.2.4. Preparación de los termopares y determinación de la temperatura de los tableros en las líneas de pegamento durante el prensado de los tableros.	26

3.2.5. Formación del conglomerado y prensado del tablero.	27
3.2.5.1. Proceso de engomado de los centros y determinación de la cantidad de adhesivo.	28
3.2.5.2. Integración del conglomerado y colocación de los termopares.	29
3.2.5.3. Tiempos de formación del contrachapado.	31
3.2.5.4. Prensado en frío (pre-prensado).	32
3.2.5.5. Proceso de prensado.	32
3.2.5.5.1. Parámetros del proceso de prensado.	34
3.2.5.5.2. Transferencia de calor durante el proceso de prensado.	34
3.2.6. Captura de datos sobre transferencia de calor.	35
3.2.7. Evaluación de la calidad de los tableros.	36
3.2.8. Resistencia de adhesión.	36
3.2.9. Ajuste de la secuela de prensado del tablero de 34 mm para exterior.	38
3.2.9.1. Formulación de adhesivo propuesta.	38
3.2.9.2. Contenido de humedad de la chapa.	39
3.2.9.3. Parámetros de la prensa.	40
3.2.9.4. Evaluación de la calidad de los tableros.	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	42
4.1. Datos obtenidos.	42
4.2. Formulación de los adhesivos.	42
4.2.1. Adhesivos a base de UF para tableros tipo interior.	42
4.2.2. Adhesivos a base de FF para tableros tipo exterior.	43
4.3. Cantidad de adhesivo aplicado.	44
4.3.1. Cantidad de adhesivo en triplay para interiores.	44
4.3.2. Cantidad de adhesivo en triplay para exteriores.	46
4.4. Formación del contrachapado.	47
4.5. Fase de pre-prensado y prensado.	48
4.6. Análisis de la transferencia de calor durante el prensado de los tableros.	50
4.6.1. Variación de temperaturas en los platos de la prensa.	50
4.6.2. Transferencia de calor en los tableros de 6 mm de espesor.	51
4.6.3. Transferencia de calor en los tableros de 9 mm de espesor.	52
4.6.4. Transferencia de calor en los tableros de 12 mm de espesor.	54
4.6.5. Transferencia de calor en los tableros de 15 mm de espesor.	56
4.6.6. Transferencia de calor en los tableros de 18 mm de espesor.	58
4.6.7. Transferencia de calor en los tableros de 34 mm de espesor.	60
4.6.8. Temperatura promedio en el centro de cada tablero.	62
4.7. Calidad de los tableros estudiados.	63
4.7.1. Calidad de los tableros tipo interior.	63
4.7.2. Calidad de los tableros tipo exterior.	65
4.8. Ajuste de secuela de prensado para el tablero de 34 mm de espesor tipo exterior.	66

4.8.1. Contenido de humedad de la chapa.	67
4.8.2. Formulación de adhesivo propuesta.	67
4.8.3. Parámetros de la prensa.	68
4.8.4. Temperatura interna en el tablero de 34 mm de espesor.	69
4.8.4.1. Primer secuela de prensado (propuesta por la empresa).	69
4.8.4.2. Segunda secuela de prensado.	71
4.8.4.3. Tercer secuela de prensado.	72
4.8.4.4. Comportamiento de la temperatura interna del tablero bajo tres condiciones diferentes de prensado.	74
4.8.5. Calidad de los tableros contrachapados de 34 mm tipo exterior.	75
4.8.6. Compactación en el tablero de 34 mm.	75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	79
6. LITERATURA CITADA.	82
7. ANEXO 1	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Tipos de termopares y rango útil de temperatura.	5
2	Características de los tableros analizados.	22
3	Certificado de análisis de la resina de urea formaldehído del 11-03-2002.	23
4	Certificado de análisis de la resina de fenol formaldehído del 06-05-2002.	24
5	Certificado de análisis de la resina de fenol formaldehído del 19-09-2002.	24
6	Componentes y tiempos de mezclado para el adhesivo a base de urea formaldehído.	25
7	Componentes y tiempos de mezclado para dos mezclas de adhesivo a base de fenol formaldehído para los tableros de 34 mm de espesor.	26
8	Condiciones de prensado para los tableros analizados.	34
9	Condiciones de prensado para tableros de 34 mm.	40
10	Componentes y características de la mezcla de adhesivo empleada en la elaboración de los contrachapados tipo interior.	43
11	Componentes y características de la mezcla de adhesivo empleada en la elaboración de los contrachapados tipo exterior.	44
12	Cantidad de adhesivo aplicada en centros de 3.1 mm de espesor para tableros de uso en interiores.	45
13	Cantidad de adhesivo aplicada en tres diferentes posiciones de los rodillos.	46
14	Cantidad de adhesivo aplicada en centros de 1.8 mm de espesor para tableros tipo exterior.	46
15	Duración en minutos de cada fase del proceso de pre-prensado y prensado de triplay de 15 mm de espesor.	48
16	Tiempos en alcanzar diferentes niveles de temperatura en las LP más internas de los tableros estudiados.	63
17	Calidad de los tableros para interiores elaborados en el presente estudio.	64
18	Resistencia de la adhesión en tableros tipo interior de acuerdo a la norma PS1-95.	64
19	Calidad de los tableros para exteriores elaborados en el presente estudio.	66
20	Componentes y características de la mezcla del adhesivo a base de fenol formaldehído para los tableros de 34 mm de espesor.	67
21	Condiciones de prensado de los tableros de 34 mm de espesor tipo exterior.	68
22	Compactación en los tableros de 34 mm de espesor bajo tres condiciones diferentes de prensado.	78

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág
1 Transferencia de calor y comportamiento de la presión de vapor durante el prensado de triplay; a) inicio del prensado y b) final del prensado.	10
2 Transferencia de calor y comportamiento de la presión de vapor durante el proceso de prensado de triplay; a) Transferencia de calor y b) Presión de vapor (Zavala, 1986).	12
3 Detalles de elaboración de los termopares.	27
4 Engomado de las chapas empleadas en la integración de los tableros.	28
5 Forma de determinación de la cantidad de adhesivo aplicada en cada línea de pegamento.	29
6 Diagrama de ubicación de los termopares y la nomenclatura empleada.	30
7 Detalles de la colocación de los termopares en los contrachapados.	31
8 Proceso de pre-prensado (prensado en frío).	32
9 Proceso de prensado de los tableros.	33
10 Proceso de toma de temperatura de los platos de la prensa y en el interior del contrachapado.	36
11 Equipo empleado en la prueba de evaluación de la calidad de la adhesión.	37
12 Medición del espesor en los tableros de 34 mm de espesor.	41
13 Tiempos de armado de contrachapados de 15 mm de espesor con 7 capas tipo interior.	47
14 Variación de la temperatura a diferentes alturas de la prensa.	50
15 Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 6 mm de espesor.	51
16 Curvas de transferencia de calor en las cuatro líneas de pegamento para el tablero de 9 mm de espesor.	53
17 Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 9 mm de espesor, (derivada de la Figura 16).	53
18 Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 12 mm de espesor.	55
19 Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 12 mm de espesor, (derivada de la Figura 18).	55
20 Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 15 mm de espesor.	57
21 Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 15 mm de espesor, (derivada de la Figura 20).	57
22 Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 18 mm de espesor.	58

TRANSFERENCIA DE CALOR Y SU EFECTO EN LAS SECUELAS DE PRENSADO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS.

1.- INTRODUCCIÓN

En la producción de contrachapados, la fase de prensado es importante por su efecto en la calidad de los mismos. En esta fase del proceso, se interrelacionan las propiedades tecnológicas de la madera (textura, densidad, contenido de humedad, energía de la superficie, etc), con las características de los pegamentos (peso molecular, contenido de sólidos, viscosidad, pH), 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 (Zavala, 1995).

Para determinar los tiempos óptimos de prensado, es necesario cuantificar la transferencia de calor y el comportamiento de la presión del vapor en el centro del tablero durante el prensado. Estos parámetros influyen en el grado de polimerización del adhesivo y en la resistencia de la adhesión, la presión de vapor tiende a separar las chapas (vencer la resistencia de la adhesión), para contrarrestar se requiere seguir aplicando calor y presión por la prensa después de alcanzar la temperatura de fraguado del adhesivo, con la finalidad de eliminar el exceso de vapor y evitar defectos de delaminación del triplay.

En la presente investigación se determinó la transferencia de calor con la finalidad de optimizar las secuelas de prensado en contrachapados a base de urea y fenol formaldehído a través de la interrelación del tiempo de prensado y la calidad de los tableros en cuanto a la polimerización del adhesivo. En los tableros a base de fenol formaldehído también se estudió la influencia de la temperatura de los platos y el efecto de la reactividad del adhesivo en la calidad del pegamento.

1.1. Objetivos

Evaluar el efecto del tiempo de cargado, de prensado y de descarga de la prensa en la productividad y en la calidad de los tableros a través de posibles delaminaciones y “ponchaduras” del triplay por efecto del presecado de la resina, sobretodo antes de que se cierre la prensa para uniformizar el contacto entre las chapas y el adhesivo.

Medir la transferencia de calor en los diferentes espesores de contrachapados que se producen para el mercado tradicional (6, 9, 12, 15 y 18 mm de espesor) y tableros de 34 mm para un uso específico.

Determinar las secuelas de prensado óptimas para cada tipo de tablero con base en la transferencia de calor, en el efecto de la presión del vapor y tiempos de prensado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La revisión de la literatura se enfocó sobre los sistemas y equipos usados para medir la transferencia de calor con énfasis en las características de los termopares, de las resinas empleadas en este trabajo (urea y fenol formaldehído), sobre transferencia de calor durante el proceso de prensado del triplay y de aglomerados de madera.

2.1. Termopares

Un termopar es sensor que se utiliza para medir la temperatura, esta constituido por dos metales distintos unidos en un extremo, que producen una pequeña tensión única (fem) a una temperatura dada. Dependiendo del tipo de metales que lo integran, pueden medirse diferentes rangos de temperatura (Cuadro 1). El cambio en la tensión se mide y es interpretada por un termómetro de termopar ^{1,2,3,4}; Trujillo, 1993 y Zavala *et al*, 1993.

El termopar tipo K, se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 150°C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que este cubierto.

¹ www.monografias.com/trabajos3/transductores/transductores.shtml (08/04/2002).

² www.djhmfg.com/datos/webs/producto/proceso/intrterm.htm (15/04/2002).

³ <http://galeon.hispavista.com/temperatura/> (20/04/2002).

⁴ http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec_10.htm (03/05/2002).

Cuadro 1. Tipo de termopares y rango útil de temperatura.

Tipo de termopar	Metales que lo integran	Rango útil de aplicación °C (°F)	mV
B	Platino 30% Rodio (+)	100 a 3270	0.007 a
	Platino 6% Rodio (-)	(38 a 1800)	13.499
C	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+)	3000 a 4200	----
	W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)	(1650 a 2315)	
E	Cromel (+)	32 a 1800	0 a 75.12
	Constantano (-)	(0 a 982)	
J	Acero (+)	-300 a 1600	-7.52 a
	Constantano (-)	(-184 a 871)	50.05
K	Cromel (+) *	-300 a 2300	-5.51 a
	Alumel (-) **	(-184 a 1260)	51.05
N	Nicrosil (+)	1200 a 2300	----
	Nisil (-)	(649 a 1260)	
R	Platino 13% Rodio (+)	32 a 2900	0 a 18.636
	Platino (-)	(0 a 1593)	
S	Platino 10% Rodio (+)	32 a 2800	0 a 15.979
	Platino (-)	(0 a 1538)	
T	Cobre (+)	-300 a 750	-5.28 a
	Constantano (-)	(-184 a 399)	20.80

Nota: *90% de níquel y 10% de cromo; **94% de níquel, 2% de Aluminio, 3% de manganeso y 1% de Silicio.⁵

Fuente: ¹ WWW. Monografias.com/trabajos3/transductores/transductores.shtml (08/04/2002) y <http://galeon.hispavista.com/temperatura/> (20/04/2002).

⁵ WWW. Monografias.com/trabajos3/transductores/transductores.shtml (08/04/2002).

2.2. Adhesivos

En la actualidad existe una gran variedad de adhesivos sintéticos que se utilizan para ensamblar productos a base de madera, tipo de resina a emplear determina la resistencia de la unión del producto a elaborar, entre los más usados sobretodo para tableros de madera predomina la urea y el fenol formaldehído.

2.2.1. Resina de urea formaldehído

La urea formaldehído (UF) es un polímetro que se obtiene a través de la reacción de la urea con el formaldehído. En la industria de la madera, la UF se utiliza como una solución acuosa coloidal, con un contenido de sólidos de 60 a 65%, es incolora, ligeramente opaca e inflamable. Su estado semicondensado le ocasiona una vida útil limitada a días. La urea tiene una proporción molar de 1:1.1 a 1:2, y requiere de un pH ácido y calor para fraguar “polimerizar” (Marra, 1992; Pizzi, 1994; Baldwin, 1995;⁶).

Esta resina se usa ampliamente para la elaboración de tableros de maderas de coníferas y hojosas y en otros productos a base de chapas (Baldwin, 1995 y Conner, 1996).

Los paneles elaborados con UF no resisten ciclos continuos de humedad y secado (intemperismo), comienzan a delaminarse cerca de los 60 °C y 60% de humedad relativa (Baldwin, 1995 y FPL, 1999). Debido a estas características, se utiliza para la elaboración de tableros para uso en interior.

⁶ [www. Goldboard.com/products/](http://www.Goldboard.com/products/) (12/05/2002).

Otra desventaja de la UF es que se degrada con la exposición a temperaturas elevadas, por esta razón se recomienda que los tableros se enfríen inmediatamente después del prensado.

2.2.2. Resina de fenol formaldehído

Las resinas fenólicas son producto de la reacción del fenol con formaldehído. La reacción se realiza en varias fases, la primera consiste en la adición de formaldehído al fenol para formar metilol fenol. En la segunda fase reacciona entre si el metilol fenol (reacción de condensación), formando varias moléculas grandes, lo anterior ocurre en condiciones adecuadas de temperatura y pH. La fase final se realiza en las líneas de pegamento durante el proceso de prensado (Marra, 1992; Pizzi, 1994).

La proporción molar de esta resina varía de 1:1.6 a 1:2.5 fenol formaldehído. El exceso de formaldehído facilita la formación de enlaces cruzados que le confieren a la resina una excelente resistencia a la humedad, baja inflamabilidad, alta resistencia a la tensión y buena estabilidad dimensional (Marra, 1992 y Baldwin, 1995).

La resina empleada en la industria de la madera se caracteriza por comercializarse como una solución acuosa coloidal, con un contenido de sólidos de 40 a 45%, es inodora, de color rojo oscuro e inflamable. Se utiliza para la elaboración de triplay estructural y marino, también para ensamblar maderas de latifoliadas de alta densidad (Marra, 1992; Pizzi, 1994; FPL; 1999; Chow, 1998 y ⁷)

⁷ www.Goldboard.com/products/ (12/05/2002).

Existen dos tipos de resinas fenólicas con base en la proporción de fenol y formaldehído y del pH utilizado durante su elaboración que se clasifican en: “resoles” cuando la proporción es menor de 1 (menos fenol que formaldehído) y tienen un pH básico, que permite el desarrollo de enlaces cruzados y la formación de cadenas tridimensionales termofijas. Los “novolac” son producto de una proporción molar mayor de 1 y de un pH ácido, las cadenas que se forman no tienen enlaces cruzados y la unión es soluble y fundible. (Marra, 1992; Pizzi, 1994).

Las propiedades más importantes de las resinas fenólicas son su dureza, rigidez y su resistencia a los ácidos después del fraguado. Tienen excelentes propiedades aislantes y se pueden usar en ambientes con temperaturas hasta de 150 °C (Pizzi, 1994 y FPL, 1999).

2.3. Efecto de la presión, temperatura y tiempo de prensado

Los parámetros del proceso de prensado (temperatura, presión y tiempo de prensado) se determinan en función de las características de la madera y del adhesivo empleado en la integración del contrachapado. Respecto a la madera es importante considerar las siguientes variables: especie, densidad, contenido de humedad, pH, textura, inactivación de la superficie o sobresecado. En lo referente al adhesivo, se debe tomar en cuenta el tipo de resina, el contenido de sólidos, el pH, la viscosidad y la temperatura de fraguado (Terry et al, 1990; Ellis, 1992; Zavala, 1995; Baldwin, 1995; FPL, 1999; ⁸).

⁸ <http://sres.anu.edu.au/associated/flt/plywood/pressing.html> (08/06/2002).

Debido a que la madera es un conductor de calor relativamente pobre, se requiere aplicar altas temperaturas (110 – 130 °C) para que en poco tiempo se alcance la temperatura de fraguado de los adhesivos termostables (urea y fenol formaldehído) en la línea de pegamento más interna. El tiempo mínimo de prensado que asegure la polimerización del adhesivo, depende del efecto combinado de los factores que controlan la integración del tablero, como la reactividad del adhesivo; la capacidad de recuperación de temperatura de los platos; la presión ejercida por los platos sobre el contrachapado; la difusión térmica y de masas en el tablero que se está calentando (madera, adhesivo, agua), y la distancia de los platos a la línea de pegamento más interna (Zavala, 1995; Steinhagen, 1997; ⁹).

Baldwin (1995) indica que para el fraguado de resinas fenólicas usadas en la elaboración de triplay para exterior se recomienda una temperatura de 105 °C (220 °F) en la línea de pegamento más interna por un periodo de dos a cuatro minutos.

La presión de los platos para contrachapados de pino varía de 150 a 200 psi, con un promedio de 175 psi (Zavala, 1995; Baldwin, 1995; ⁹). 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 pegamento, especialmente cuando la presión del vapor aumenta y tiende a separar las chapas del conglomerado; la cual se contrarresta por la presión ejercida por los platos. (Zavala, 1995).

La transferencia de calor y el movimiento del vapor durante el prensado ha sido estudiado por Zavala (1987) midiendo el comportamiento de la temperatura y de la presión de vapor en el interior del contrachapado durante el prensado. Wolcott (1995) y Torrey (2001) determinaron la transferencia de calor en tableros aglomerados. En la Figura 1 se ilustran los fenómenos de transferencia de calor y masas (vapor y aire) al inicio del prensado (Figura 1a) indicando que el calentamiento ocurre de las capas exteriores hacia el centro del tablero, provocando el movimiento del vapor hacia el exterior y centro; debido a que el centro tiene una temperatura inferior ocurre la condensación de cierta cantidad de vapor, a través de proceso incrementa en contenido de humedad en la zona más interna, que origina una zona de alta presión de vapor que tiende a vencer la resistencia de la adhesión y a separar las chapas (ponchaduras) en la fase final del prensado (Figura 1b).

En la actualidad existen equipos de prensado (prensas) que permiten aplicar dos o tres fases de presión, Baldwin, 1995 y Zavala, 1995 indican que al inicio del prensado de tableros contrachapados se recomienda aplicar presiones de 200 psi o más y de 100 a 130 psi al final del proceso de prensado.

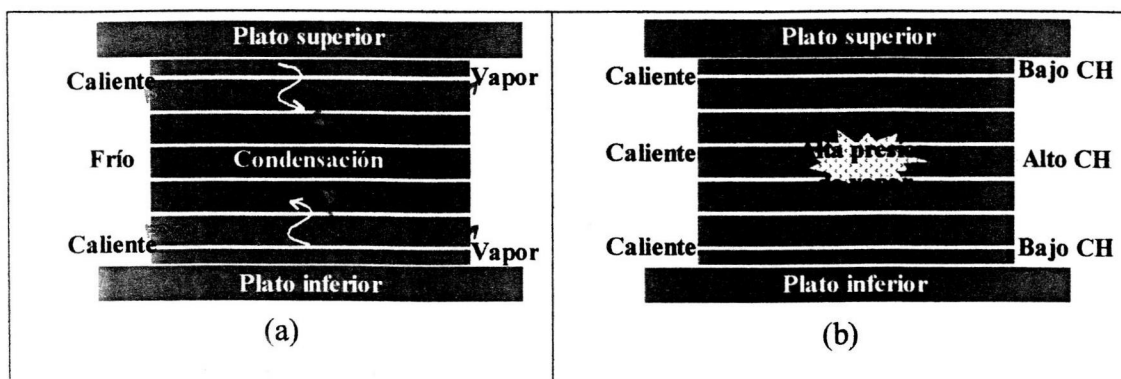


Figura 1. Transferencia de calor y comportamiento de la presión de vapor durante el prensado de triplay; a) inicio del prensado y b) final del prensado.

2.4. Transferencia de calor durante el prensado

El campo de aplicación de los termopares en la elaboración de productos a base de madera (tableros aglomerados y contrachapados), esta básicamente enfocado a determinar la transferencia de calor durante el proceso de calentamiento de trocería (Trujillo, 1993) o bien durante el proceso de prensado de los distintos tipos de tableros (Zavala, 1986 y Torrey, 2001). Marra (1992) también señala que para medir la temperatura en las líneas de pegamento es recomendable utilizar termopares.

Maku et al. (1959) investigaron la distribución de la humedad y la temperatura en tableros aglomerados a cinco diferentes contenidos de humedad (1, 11, 14, 22 y 30%). Para monitorear el comportamiento de la temperatura durante el prensado, colocaron termopares en puntos estratégicos dentro del tablero. No utilizaron adhesivo en la integración de los aglomerados, con la finalidad de poder extraer muestras de astillas y determinar su contenido de humedad (CH) a diferentes intervalos de tiempo durante el proceso de prensado. Concluyeron que a mayor CH el tiempo de prensado es mayor debido a que se tiene que evaporar la humedad del centro. Así mismo, encontraron que cuando el CH inicial de las astillas de las capas superficiales es alto, se acelera el incremento en la temperatura interna (centro), debido al rápido movimiento del vapor caliente. Al incrementar de 115 a 180 °C la temperatura de los platos, se acelera la evaporación de la humedad del centro del tablero y se reduce el tiempo de prensado.

Zavala (1986) determinó y analizó la transferencia de calor, el comportamiento de la presión de vapor en sentido vertical y horizontal, así como la compactación durante el

proceso de prensado de tableros contrachapados de *Pseudotsuga menziesii* a 6, 12 y 16% de contenido de humedad. Determinó que la temperatura en las líneas de pegamento externas aumenta rápidamente al cerrarse la prensa, manteniendo una diferencia con respecto a las líneas más internas, misma que disminuye al avanzar el prensado (Figura 2a). Respecto a la presión de vapor, esta muestra un comportamiento ascendente hasta alcanzar un máximo al final del prensado (Figura 2b). La compactación del triplay es más drástica en los primeros 6 minutos del prensado y en tableros con contenido de humedad superior al 6%.

Para determinar la transferencia de calor, el autor arriba citado utilizó termopares tipo T en las líneas de pegamento, y para medir la presión de vapor empleó tubos hipodérmicos en el centro de las chapas para conducir el vapor a un transductor de presión, que realizó la conversión de analógica a digital. Ambos sensores se conectaron a una interfase que permitió registrar la temperatura y la presión del vapor mediante una computadora.

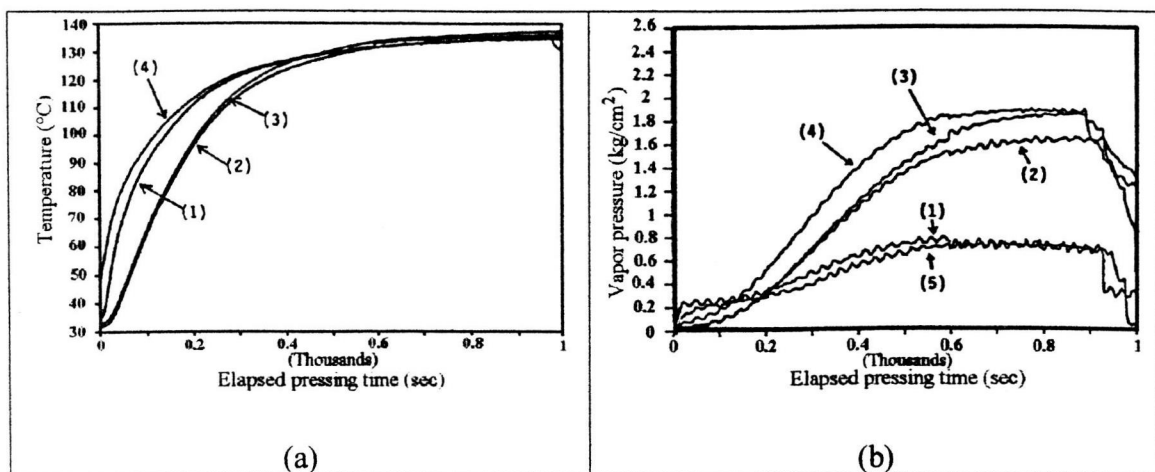


Figura 2. Transferencia de calor y comportamiento de la presión de vapor durante el proceso de prensado de triplay; a) Transferencia de calor y b) Presión de vapor (Zavala, 1986).

Terry *et al* (1990)⁹ evaluaron el metil glucósido como relleno en formulaciones de adhesivo de fenol formaldehído para elaborar triplay estructural. Para probar su eficiencias prepararon una mezcla en la cual sustituyeron el 15% de resina fenólica por metil glucósido. Para ensamblar los contrachapados aplicaron 175 g/m² por línea de pegamento de la mezcla adhesiva, pre-prensaron los tableros por 5 min y posteriormente los prensaron por 15 min a 160 psi de presión y 160 °C. Además, incrementaron la presión a 200 psi por 4.0, 3.5, 3.0 y 2.5 min, a la misma temperatura. Encontrando que es factible el uso del metil glucósido como relleno en la manufactura de triplay estructural, se disminuyó el tiempo de prensado a 3 minutos.

Terry *et al* (1990)¹⁰ experimentaron tres tipos de rellenos para adhesivos a base de fenol formaldehído; los rellenos son harina de cáscara de nuez, harina de olote y una mezcla de harina de cáscara de nuez y de olote. Manufacturaron tableros de 61 x 61 cm con chapa de pino del sur de 12.7 mm de espesor con un contenido de humedad del 8 al 10%, aplicaron 195 g/m² de adhesivo por línea de pegamento, 4 minutos de preprensado a 150 psi y 4 minutos de prensado a 157°C y 175 psi de presión. La mayor resistencia de adhesión fue en la mezcla de harina de cáscara de nuez con olote, luego por la harina de olote y finalmente la harina de cáscara de nuez.

Ellis *et al* (1992) evaluaron el efecto de características físicas y químicas de las resina fenol formaldehído en forma de polvo sobre la resistencia de adhesión en tableros contrachapados de *Populus tremuloides* y *Picea glauca*, emplearon 8 mezclas de

⁹ TERRY S., JR Y W. A., BOMBAY.

¹⁰ TERRY S., JR; MILLER, G. D. Y WORLD, L. N.

adhesivos; 4 preparadas en laboratorios y 4 con resinas fenólicas en polvo comerciales, aplicando 230 g/m^2 por línea de pegamento, los contenidos de humedad de la chapa de *P. Tremuloides* fue de 4.6, 6.7 y 9.2% y para *P. glauca* de 5, 7 y 9.5%. los tiempo de prensado de 75, 90, 120 y 240 seg a 200°C y 150 psi de presión. Encontrando que los adhesivos que contienen moléculas de bajo peso molecular presentaron buena penetración en la madera y producen uniones más durables, de igual mayor contenido de humedad de la madera se obtiene una mejor unión, especialmente en la resinas de alto peso molecular preparadas en laboratorio. La anatomía de la madera es un factor determinante en el flujo de la resina en la línea de ensamble y en la calidad de adhesión.

Zavala (1995) señala que cuando el tiempo de cargado de la prensa se excede de 4 minutos, se presentan delaminaciones a causa de un ensamble débil provocado por un precurado de la resina UF previó a la aplicación de presión a los tableros. Recomendando como tiempo óptimo teórico de cargado de 1.5 minutos y los tiempos de prensado de 2 a 4, de 4 a 6, de 5 a 8 y de 7 a 12 minutos para triplay de 3, 6, 12 y 16 a 19 mm de espesor, respectivamente, aplicando de 110 a 130°C .

Yong-Sung *et al* (1999) evaluaron los residuos de *Juglans sinesis* Dode, *Pinus koraiensis* Sieb. Et Zucc. y *Ginkgo biloba* Linnaeus como rellenos en las formulaciones de adhesivos para triplay, como testigo utilizaron un relleno usado en los Estados Unidos denominado Cocob. Se aplicaron 214 g/m^2 por línea de pegamento en tableros de $30 \times 30 \text{ cm}$ de tres capas de 2.1 mm de espesor. El tiempo de pre-prensado fue de 5 minutos a 150 psi, y de 4 minutos de prensado a 200 psi y con 150°C . La calidad de adhesión se evaluó de acuerdo a la norma PS1-95. Los resultados obtenidos indican que

los tres tipos de residuos son factibles de emplearse como rellenos en las formulaciones de adhesivo para triplay.

Barbosa *et al* (2000) elaboraron y probaron dos formulaciones de adhesivos a base de taninos de acacia (*Acacia mearnsii*) y compararon los resultados con los obtenidos con resina de fenol formaldehído comercial. La cantidad de adhesivo que aplicaron fue 100 y 180 g/m² por cada línea de pegamento, en tableros de 20 x 20 cm, de 3 capas de 1 mm de espesor. El testigo (fenol formaldehído comercial) se procesó mediante los siguientes parámetros: la temperatura de los platos de la prensa de 135 °C, la presión de 142 psi por 4.5 minutos de prensado, la viscosidad de la mezcla fue de 590 Mpa.s (cP) y el pH de 12. La resistencia al cizalle para el testigo fue de 2630 kPa y la falla de madera de 85%.

Troughton *et al* (2000) evaluaron una planta piloto de prensado con inyección de vapor para la producción de triplay y Laminated Veneer Lumber (LVL). Para determinar el ahorro de tiempo de prensado elaboraron triplay de 7 capas y LVL de 13 capas de 3.1 mm (¹/₈"") de espesor, además se le hicieron incisiones a las chapas. El adhesivo utilizado fue fenol formaldehído, aplicando 341 g/m² en Doble Línea de Pegamento (DLP). Parte de los contrachapados fueron prensados en la planta piloto donde se inyectó vapor a 80 psi por diferentes periodos de tiempo y otros tableros se prensaron en una prensa convencional. La temperatura de los platos fue de 150 °C, la presión al inicio del proceso fue de 200 y 150 psi, con una fase intermedia de 100 y 80 psi y la etapa final que consistió en ir liberando paulatinamente dicha presión. El tiempo de prensado fue variable y se definió por el tiempo en que la línea de pegamento más interna alcanzara 115 °C. De cada tablero se evaluaron la resistencia de la adhesión. Se obtuvo un ahorro

de tiempo de prensado de 32% en los tableros LVL de 13 capas, con un vaporizado de 8 minutos a 80 psi y en el caso del triplay de 7 capas se redujo en 27% el tiempo de prensado con un minuto de vaporizado a 80 psi, sin afectar la calidad de adhesión.

Torrey (2001) estudió la influencia de la conductividad térmica de cinco tipos de rellenos en las propiedades físicas de tableros de hojuelas; determinó la temperatura en el centro del tablero durante el proceso de prensado, utilizando termopares tipo J. Señaló que la conductividad térmica de la resina de UF se incrementa aproximadamente de 0.3 W/mK a más de 1 W/mK con la adición de los rellenos al nivel de carga de 20% del peso.

Zombori (2001) probó y validó modelos de simulación de la transferencia de calor y masas durante el prensado de tableros aglomerados a 5, 8.5 y 12% de CH, las temperaturas de los platos de la prensa fueron de 150 y 200 °C, y las densidades finales de los tableros fueron de 609, 641 y 673 kg/cm³. Para medir el comportamiento de la temperatura y de la presión interna del vapor utilizó termopares tipo k y transductores de presión piezoeléctricos, respectivamente. Los datos obtenidos los usó en la validación de los modelos probados en su investigación.

En la página <http://sres.anu.edu.au/associated/plywood/pressing.html> de fecha 08/06/2002, se recomienda para la elaboración de triplay de pino las siguientes condiciones de prensado, presión de los platos de 1242 a 1380 K Pa (180 a 200 psi), temperatura de los platos de 120 °C y tiempos de 2.75 minutos para tableros de 3.5 mm de espesor, y 9.5 min para los de 22 mm.

Quintero¹¹ indica que para la elaboración de triplay de pino ensamblado con urea formaldehído se debe aplicar una temperatura de 110 a 115°C y de 140 a 150 psi de presión, ya que por debajo de dicha presión se tienen problemas de adhesión que se manifiesta en tableros flojos debido a una mala transferencia de pegamento entre capas. El tiempo de prensado es de 3 minutos para tableros de 3 y 6 mm, de 9 min para triplay de 9 y 12 mm y de 11 min para los de 16 y 19 mm de espesor.

Mejía¹² indica que para la producción de tableros a base de urea formaldehído la temperatura de la prensa debe ser de 100 a 110 °C y de 150 psi de presión para los tableros de 8.5, 9, 12, 16 y 19 mm y de 130 psi para los tableros de 3 y 6 mm de espesor. los tiempos de prensado son 2.5 min para los de 3 y 6 mm, 6 min para los de 8.5, 9 y 12, y de 8 a 9 minutos para los de 15, 16 y 19 mm de espesor.

2.5. Evaluación de la adhesión

Santana *et al* (1996) evaluaron la calidad de la adhesión en triplay de pino (*Pinus tadea*) elaborados con diferentes preparaciones de adhesivos; las formulaciones consistieron en mezclar corteza entera con fenol y corteza libre de taninos de acacia negra, cada uno mezclados con fenol en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. Las soluciones resultantes se reaccionaron con formalín en una solución básica para producir resinas tipo resol al 33%. Encontraron que los mejores resultados de adhesión se obtuvieron con

¹¹ QUINTERO A., A. 2002. Prensado del triplay. México, Empresa Sierra Plywood S. A. (Correspondencia personal).

¹² MEJIA, G. 2002. Parámetros de prensado del triplay. México, Triplay de Ayotla S. A. (Comunicación personal).

las resinas preparadas con la corteza completa. A menor contenido de humedad de la chapa, los paneles elaborados con corteza entera presentaron características de adhesión similar a las obtenidas con fenol formaldehído comercial. También encontraron que el pre-prensado favorece la resistencia de la adhesión.

López (2000) determinó y comparó algunas propiedades físicas y mecánicas en tableros contrachapados de pino para interior de 3, 6 y 9 mm de espesor, provenientes de tres diferentes fabricantes, ubicados en la región norte, centro y sur del país. Además, realizó pruebas de adhesión y cizalle; siguiendo las especificaciones de la norma NMX-C-326-1978 para los ensayos de adhesión, y la norma PS1-83 de la APA (American Plywood Association) para la prueba de cizalle. Señala que la adherencia en 7 tableros fue excelente y en dos fue aceptable. Respecto a la prueba de cizalle el tablero de 3 mm soportó como carga promedio por unidad de superficie 17.12 kg/cm^2 , el de 9 mm una carga de 13.09 kg/cm^2 y el de 6 mm 7.16 kg/cm^2 ; cabe aclarar que el 84% de los tableros evaluados la falla tuvo su origen en la madera y el 16% la falla se inició en el adhesivo.

Zavala (s/f) analizó la calidad de adhesión de triplay de 12, 15, 18 y 30 mm de espesor ensamblados con resina fenólica, siguiendo las especificaciones de la APA para tableros ensamblados con adhesivo para exterior (fenol formaldehído). La resistencia al esfuerzo cortante de las probetas tratadas a vacío-presión en promedio fue de 16.77 kg/cm^2 con un promedio de 53.1% de madera fallada; y con el tratamiento de ebullición la resistencia en promedio fue de 16.14 kg/cm^2 con un promedio de 43.5% de madera fallada. La máxima resistencia al cortante fue de 22.45 kg/cm^2 y 96.67% en madera fallada en el tratamiento a vacío-presión.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en colaboración con la empresa Tableros y Chapas de Guerrero S. A. de C. V. Ubicada en la carretera a San Miguelito s/n, colonia El Manguito, Zihuatanejo, Guerrero, México. Los materiales utilizados y las actividades realizadas en el presente estudio consistieron de: preparación y acondicionamiento de las chapas; preparación y aplicación de los adhesivos (urea y fenol formaldehído) a las chapas; la integración de los contrachapados; colocación de los termopares para medir la transferencia de calor; el prensado de los tableros; registro de datos; captura y análisis de la información.

El proceso de producción de chapa y elaboración de los tableros fue de manera tradicional, sin interferir en las actividades normales de producción de la empresa se analizaron las variables relacionadas con el área de prensado de acuerdo a los objetivos del presente estudio.

3.1. Materiales

3.1.1. Materiales utilizados para la elaboración de los tableros

Los materiales utilizados para la elaboración de los tableros contrachapados (triplay) fueron:

- ✓ Chapa de tres especies de pino de 1.8 y 3.1 mm de espesor para vistas, trasvistas, centros e interiores.
- ✓ Adhesivo a base de urea formaldehído y fenol formaldehído.

3.1.2. Equipo utilizado en la elaboración de los tableros

El equipo utilizado para la elaboración de los tableros contrachapados fue el que se usa en operaciones normales de producción de triplay, integrado por:

- ✓ Bascula.
- ✓ Mezcladora de aspas para la preparación de los adhesivos.
- ✓ Engomadora de rodillos.
- ✓ Pre-prensa.
- ✓ Prensa.
- ✓ Sierras escuadradoras.

3.1.3. Equipo utilizado para medir la transferencia de calor

Para determinar la transferencia de calor durante el proceso de prensado de los tableros que se analizaron en el presente trabajo, se utilizaron:

- ✓ Termopares tipo K.
- ✓ Un selector universal de 11 canales.
- ✓ Un termómetro digital para termopar tipo J-T-E-K.
- ✓ Grapas para sujetar los termopares.
- ✓ Dos cronómetros.

3.1.4. Equipo utilizado para medir viscosidad y pH de la resina a base de fenol formaldehído

Para determinar la viscosidad y el pH del adhesivo utilizado para ensamblar los tableros de 34 mm de espesor, se empleó el siguiente equipo:

- ✓ Viscosímetro Brookfield, modelo LVF, con aguja del numero 4.
- ✓ Potenciómetro marca ORION RESEARCH digital pH.

3.1.5. Equipo utilizado para realizar pruebas de resistencia de adhesión en tableros tipo interior

- ✓ Cámara de vacío-presión.
- ✓ Bomba de vacío-presión.
- ✓ Horno eléctrico marca MAPSA, modelo HDP-334.
- ✓ Vernier digital de 150 mm.

En el presente trabajo se midió la transferencia de calor a tres tableros de cada uno de los siguientes espesores 6, 9, 12, 15, 18 y 34 mm; de los cuales en los cinco primero (6, 9, 12, 15 y 18 mm) se empleó como adhesivo urea formaldehído (UF) y en el caso de los tableros de 34 mm de utilizó fenol formaldehído (FF). Las características de los tableros estudiados se muestran en el Cuadro 2, donde se indica la cantidad y espesores de las hojas de chapa que se utilizaron para cada tipo de tablero, acorde a la producción de la empresa donde se realizó el presente estudio.

Cuadro 2. Características de los tableros analizados.

Espesor (mm)	Repeti- ciones	# de chapas (capas)	Resina	Espesor (mm) y cantidad de chapas								Espesor nominal
				Vista		Trascara		Centro		Interior		
				1.8	3.1	1.8	3.1	1.8	3.1	1.8	3.1	
6	3	3	U F	1		1		1				5.4
9	3	5	U F	1		1		1		2		9.0
12	3	5	U F	1		1			1		2	12.9
15	3	5	U F		1		1		1		2	15.5
18	3	7	U F	1		1			1		4	19.1
34	6	19	F F	1		1		1		16		34.2

Total de tableros analizados 21.

3.2. Metodología

3.2.1. Características y preparación de las chapas

Para el presente estudio se utilizó trocería de pino (*Pinus herrerae* Martínez, *P. michoacana* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl.) que se sometió a tratamiento de ablandamiento (calentamiento) para posteriormente generar chapa de 1.22 x 2.44 m, con un refuerzo adicional de 10 cm en el ancho y largo para contrarrestar las contracciones de la madera y el saneamiento de la chapa y con espesores de 1.8 y 3.1 mm para vistas y trasvistas, y para centros e interiores, Cuadro 2.

Las chapas se secaron a un contenido de humedad de 6 a 8%; pero por las condiciones de almacenamiento puede adquirir un CHE del 12%, debido a la humedad relativa de 66% y temperatura de 30°C que prevalece en el medio ambiente donde se realizó este

trabajo. Se cuidó que las chapas no se sobresecaran para evitar la inactivación de la superficie.

3.2.2. Características de las resinas

Para la elaboración de los tableros se utilizaron dos tipos de resinas (urea formaldehído y fenol formaldehído). La formulación de la mezcla del adhesivo se preparó de acuerdo a las especificaciones definidas por la empresa donde se realizó el estudio. Sin embargo, se analizó una nueva formulación de adhesivo a base de fenol formaldehído para elaborar los tableros de 34 mm de espesor con la finalidad de generar una resina más reactiva que permitiera reducir los tiempos de prensado.

A continuación se especifican las características de las resinas empleadas en la preparación de cada tipo de adhesivo, para elaborar los diferentes tableros.

3.2.2.1. Características de la resina de urea formaldehído

Las características de la resina de urea formaldehído empleada en la elaboración de los contrachapados de uso en interior, se especifican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Certificado de análisis de la resina de urea formaldehído del 11-03-2002.

Análisis	Método	Especificaciones	Resultados
pH 25°C	NATM-C01	7.5-8.3	7.7
Viscosidad Brookfield 25°C (cP)	NATM-B01	700-1000	720
Contenido de sólidos (% peso)	NATM-A01	63.0-66.0	63.2
Formaldehído libre	NATM-E01	1.5 max.	0.8
Gravedad específica 25°C	NATM-G03	El actual	1.270

Fuente: DYNEA MÉXICO, S.A. DE C.V.

3.2.2.2. Características de la resina de fenol formaldehído

Las características de la resina de fenol formaldehído empleada en la elaboración de los contrachapados de uso exterior, se especifican en los Cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Certificado de análisis de la resina de fenol formaldehído del 06-05-2002.

Análisis	Método	Especificaciones	Resultados
PH 25°C	NATM-C01	11.8-12.8	12.7
Viscosidad Brookfield 25°C (cP)	NATM-B01	290-500	360
Contenido de sólidos (% peso)	NESTE-06	43.5-46.0	44.5
Tiempo de curado 94°C (min)	NATM-D05	31-56	42
Tolerancia al agua (% peso)	NATM-H02	Infinita	Infinita
Gravedad específica 25°C	NATM-G03	El actual	1.198

Fuente: DYNEA MÉXICO, S.A. DE C.V.

Cuadro 5. Certificado de análisis de la resina de fenol formaldehído del 19-09-2002.

Análisis	Método	Especificaciones	Resultados
PH 25°C	NATM-C01	11.8-12.8	12.3
Viscosidad Brookfield 25°C (cP)	NATM-B01	290-500	348
Contenido de sólidos (% peso)	NESTE-06	43.5-46.0	44.02
Tiempo de curado 94°C (min)	NATM-D05	31-56	49
Tolerancia al agua (% peso)	NATM-H02	Infinita	Infinita
Gravedad específica 25°C	NATM-G03	El actual	1.197

Fuente: DYNEA MÉXICO, S.A. DE C.V.

3.2.3. Formulación de los adhesivos

Para la elaboración de la mezcla de los adhesivos se empleó una mezcladora (agitador) de aspas, en donde se depositaban los ingredientes en el orden y cantidades

especificadas en los Cuadros 6 y 7, correspondientes a cada tipo de resina; como se indica a continuación:

3.2.3.1. Adhesivo a base de UF

La mezcla del adhesivo que se utilizó en la manufactura de los contrachapados para uso en interiores, se preparó siguiendo las especificaciones establecidas por la empresa; los componentes, secuencia de mezclado y porcentaje de sólidos se especifican en el Cuadro 6.

Cuadro 6. 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	

3.2.3.2. Adhesivo a base de FF

Para la manufactura de los tableros de 34 mm de espesor, se emplearon dos formulaciones; la primera (1) se preparó de acuerdo a las especificaciones de la empresa y la segunda (2) fue propuesta y validada en la presente investigación, Cuadro 7. Con la primer formulación se ensamblaron el 50% de los tableros de 34 mm de espesor bajo

temperatura, presión y tiempo constante (Cuadro 8) y con la segunda mezcla se elaboró el 50% restante de los tableros de 34 mm bajo condiciones de prensado variables (Cuadro 9).

Cuadro 7. Componentes y tiempos de mezclado para dos mezclas de adhesivo a base de fenol formaldehído para los tableros de 34 mm de espesor.

Componente	Cantidad (kg)		Tiempo de Mezclado (min)	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Agua a 30 °C	13.9	13.3		
Resina (fenol formaldehído)	13.9	7.5		5
Harina de trigo	7.0	6.3	5	
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		

3.2.4. Preparación de los termopares y determinación de la temperatura en las líneas de pegamento durante el prensado de los tableros

Para la determinación de 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, como se ilustra en la Figura 3. En la unión de los alambres se utilizó soldadura de estaño/plomo en aleación 60/40.

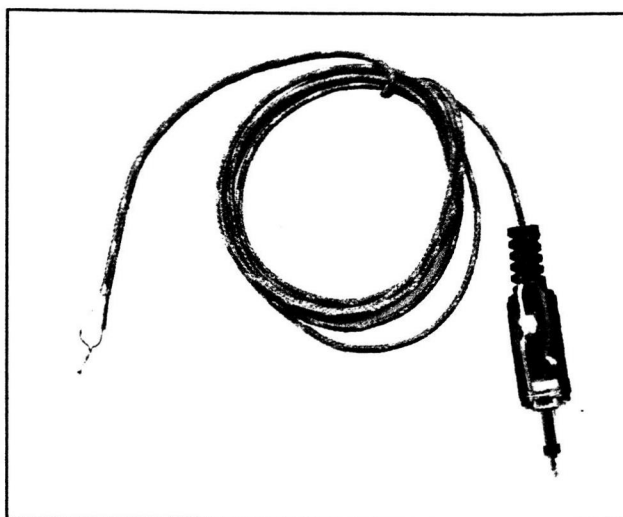


Figura 3. Detalles de elaboración de los termopares.

El extremo donde están unidos los alambres del termopar se colocó en la línea de pegamento que se requería conocer la temperatura, el otro extremo (conector) se conectó al selector universal con capacidad de 11 canales en los que se seleccionó la línea de pegamento en la que se obtenía la temperatura a través del termómetro digital para termopares.

3.2.5. Formación del conglomerado y prensado del tablero

Los tableros se formaron siguiendo la secuencia normal de producción industrial en la fábrica donde se realizó el estudio, vistas y trascaras de hojas completas de 1.8 y 3.1 mm espesor, centros de 1.8 y 3.1 mm en función del espesor del tablero programado e integrados por tiras o secciones de diferentes anchos que se acomodaron en forma contigua hasta que se obtenía la dimensión requerida de 1.30 y de 2.60 m del tablero.

3.2.5.1. Proceso de engomado de los centros y determinación de la cantidad de adhesivo

La aplicación del adhesivo a las chapas usadas como centros se realizó a través de una engomadora de rodillos (Figura 4).

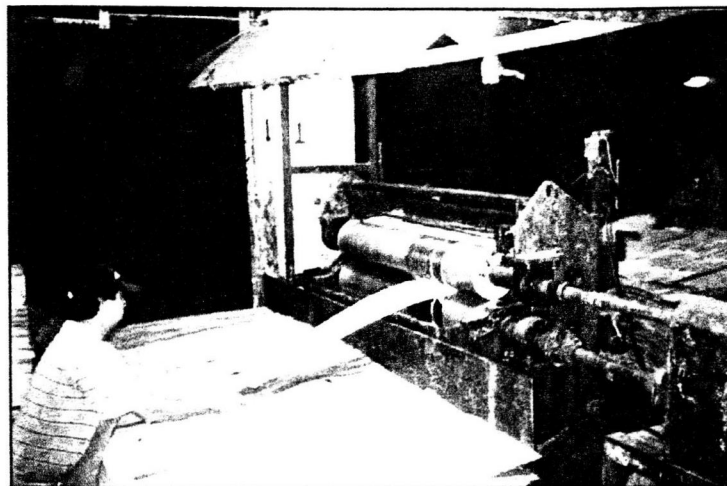


Figura 4. Engomado de las chapas empleadas en la integración de los tableros.

Con la finalidad de analizar la proporción de adhesivo utilizado en las líneas de pegamento del triplay, se determinó la cantidad de pegamento aplicada a tres muestras de chapa para centros.

El procedimiento consistió en seleccionar tres secciones de centros, libres de huecos por nudos faltantes y de dimensiones regulares. A cada sección se le determinó su área y su peso sin adhesivo y posteriormente con adhesivo (Figura 5), después de haberlas pasado por los extremos y por el centro de los rodillos de la engomadora.

Posteriormente por diferencia de pesos se determinó la cantidad de adhesivo aplicada a cada muestra, y por la relación con su área, se derivó la proporción de adhesivo aplicada por doble línea de pegamento por metro cuadrado (DLP/m²).

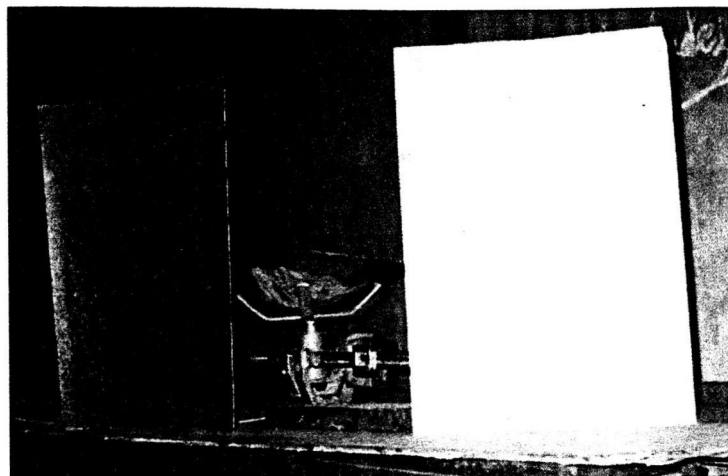


Figura 5. Forma de determinación de la cantidad de adhesivo aplicada en cada línea de pegamento.

3.2.5.2. Integración del conglomerado y colocación de los termopares

Conjuntamente con el engomado de los centros se realizó la formación de los tableros a través de la integración del conglomerado de chapas, el cual se formó con tiras engomadas para los centros alternados entre la trascara (trasvista), interiores y la cara o vista del tablero.

El procedimiento consistió en colocar primero la trascara, posteriormente tiras engomadas para formar el primer centro, después otra hoja completa y sin engomar (en el caso del tablero de 6 mm es la vista), luego otra capa de tiras engomadas y así

sucesivamente hasta completar el número de capas correspondientes a cada tipo de triplay.

Durante la conformación del contrachapado, se fueron colocando los termopares y fijándolos con grapas a la chapa, de tal manera que quedarán uno en cada línea de pegamento, y en la parte central del tablero (Figuras 6 y 7). Para medir la temperatura de los platos de la prensa fue necesario colocar un termopar entre el contrachapado y los platos de la prensa (inferior y superior); esta operación se llevó acabo al momento del cargado del tablero en la prensa.

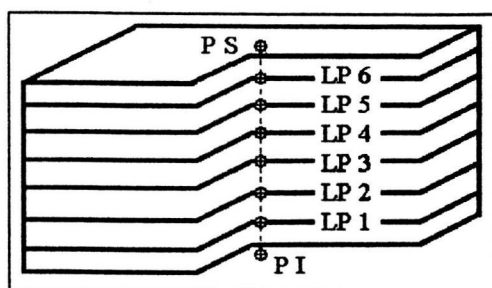


Figura 6. Diagrama de ubicación de los termopares en un tablero y la nomenclatura empleada.

Las terminales de los termopares se dejaron listas para conectarse al selector inmediatamente después del cerrado de la prensa (el selector manda la señal al termómetro digital para termopar). Las lecturas se realizaron continuamente haciendo un barrido por todos los termopares, estos ciclos se repitieron tantas veces como fue posible hasta agotar el tiempo de prensado del contrachapado. Los datos de tiempos y temperatura se fueron registrando en formatos diseñados para este fin.

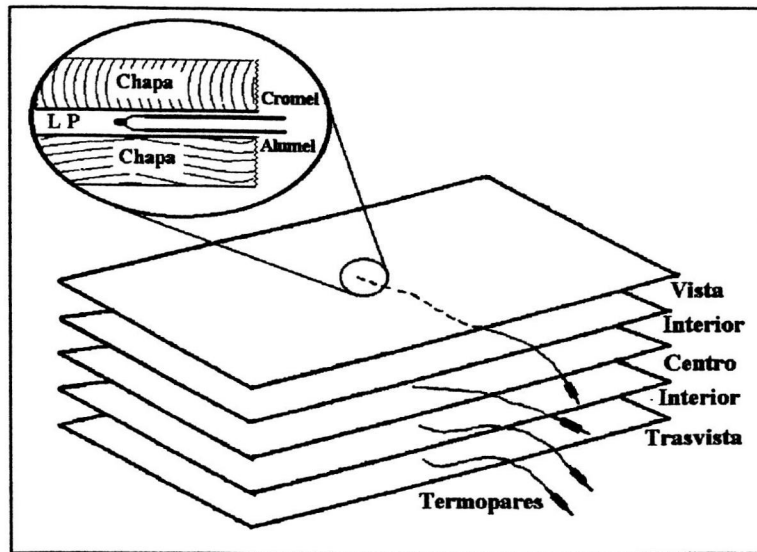


Figura 7. Detalles de la colocación de los termopares en los contrachapados.

Una vez concluidas las lecturas de las temperaturas, los termopares colocados en los contrachapados se desecharon, puesto que los tableros siguieron las demás fases del proceso de producción, como los tableros normales. Los termopares colocados entre el tablero y los platos de la prensa (P I y PS), fueron recuperados al final del prensado.

3.2.5.3 Tiempos de formación del contrachapado

Durante el proceso de armado de los tableros se registraron los tiempos correspondiente a su formación, es decir, el tiempo requerido para armar cada tablero, desde el acomodo de la trascara que es la primer capa, hasta el acomodo de la vista (última capa).

Con la finalidad de determinar la productividad en el proceso de armado, se registraron los tiempos de armado en tableros de 15 mm de espesor de 7 capas en dos engomadoras.

3.2.5.4. Prensado en frío (Pre-prensado)

Durante la conformación de los conglomerados, se fueron estibando en el área de la engomadora hasta completar la carga de la prensa. Posteriormente el conjunto de contrachapados se trasladó a la pre-prensa, para someterlos a presión con la finalidad de asegurar el contacto oportuno del adhesivo con las caras de las chapas sin aglutinante, y además para facilitar la manipulación de los tableros al momento del cargado de la prensa, Figura 8.

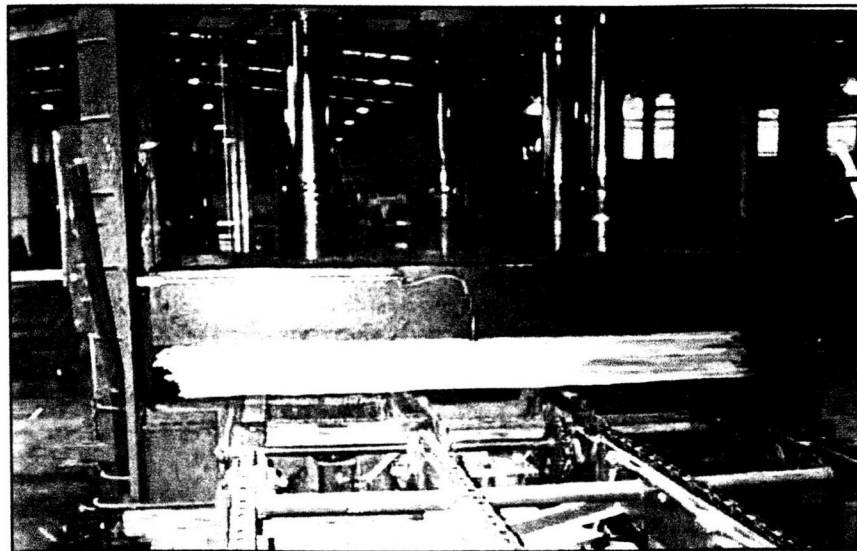


Figura 8. Proceso de pre-prensado (prensado en frío).

El tiempo promedio de pre-prensado es de 6 minutos y la presión ejercida en el conjunto de contrachapados fue de 52 psi (3.7 kg/m^2).

3.2.5.5. Proceso de prensado

Los conglomerados de chapas provenientes de la pre-prensa (prensado en frío) se trasladaron a la prensa, en donde se colocaron entre los platos para ser sometidos a

presión y temperatura por un lapso de tiempo para el fraguado de aglutinante y la liberación de la presión de vapor para evitar ponchaduras y/o delaminaciones (Figura 9).

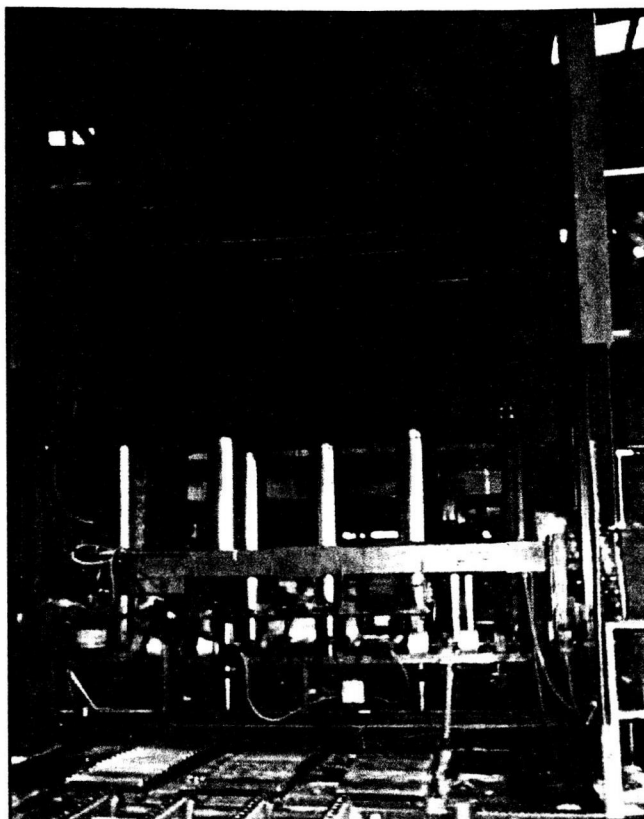


Figura 9. Proceso de prensado de los tableros.

Durante el proceso de prensado se tuvo la precaución de cargar y cerrar los platos de la prensa lo más pronto posible, para evitar sobresecado del adhesivo por el calor de los platos que pudiera ocasionar delaminaciones del tablero. Inmediatamente al cierre de los platos de la prensa se realizó la conexión de los termopares al termómetro digital para registrar la temperatura de las líneas de pegamento y de los platos de la prensa en contacto con el conglomerado por prensar.

3.2.5.5.1. Parámetros del proceso de prensado

Como se mencionó anteriormente los factores que intervienen en el proceso de prensado son la temperatura, la presión y el tiempo de prensado. En el presente trabajo estos parámetros permanecieron constante para los tableros de 6, 9, 12, 15 y 18 mm de espesor, de acuerdo a las especificaciones de la empresa, respetando el proceso de producción normal. En el Cuadro 8 se detallan las condiciones bajo las cuales se procesaron los diferentes tipos de tableros analizados. En el caso de los tableros de 34 mm de espesor, el 50% se proceso bajo las condiciones que se especifican en el Cuadro 8 y el otro 50% se elaboraron variando la temperatura, la presión y el tiempo de prensado, como se especifica en el Cuadro 9 del inciso 3.2.9.3.

Cuadro 8. Condiciones de prensado para los tableros analizados.

Espesor	Tiempo (min)		Temperatura (°C)		Presión (psi)	
	alta	baja	Programada	Real	alta	baja
6	3.00	0.00	115	115	151	121
9	4.00	2.00	110	130	151	121
12	5.50	2.00	120	140	151	121
15	6.50	2.00	120	130	151	121
18	9.00	2.00	120	140	151	121
34	20	15	135	165	151	121

3.2.5.5.2. Transferencia de calor durante el proceso de prensado

El calor juega un papel muy importante en el tiempo de polimerización de los adhesivos, por esta razón se midió la temperatura en cada una de las líneas de pegamento durante el proceso de prensado del contrachapado.

La temperatura se determinó mediante termopares que se colocaron en cada línea de pegamento al momento de armar el contrachapado.

Debido a que la empresa cuenta con una prensa de 30 luces, con la finalidad de evaluar la variación vertical de la temperatura de los platos de la prensa, se registró la temperatura de conglomerados colocados en tres niveles; nivel inferior (plato 1), nivel medio (plato 15) y nivel superior (plato 30).

3.2.6. Captura de datos sobre transferencia de calor

Para registrar la temperatura en las líneas de pegamento y en los platos de la prensa, se utilizó un termómetro digital para termopar tipo J-T-E-K de dos canales; al cual se le anexo un selector universal de 11 canales para aumentar la capacidad de lecturas.

La selección de canales para la toma y registro de las lecturas se realizó en forma manual, a través de las lecturas directas sobre el termómetro a intervalos de tiempo mínimo posible (Figura 10). Los datos se registraron en formatos previamente elaborados.

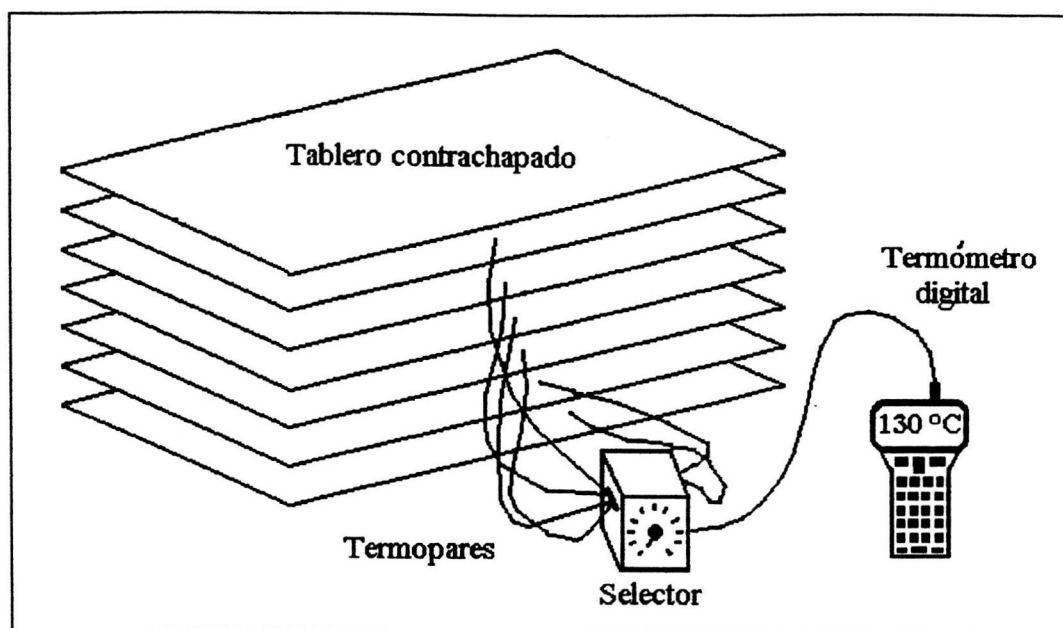


Figura 10. Determinación de la temperatura en los tableros durante el prensado.

3.2.7. Evaluación de la calidad de los tableros

Al término del proceso de prensado, se realizó una inspección detallada de la calidad de adhesión en todos los tableros (tipo interior y exterior). Esta revisión se enfocó a identificar principalmente ponchaduras y/o delaminaciones.

3.2.8. Resistencia de la adhesión

Los contrachapados elaborados con urea formaldehído se sometieron a pruebas de durabilidad del pegamento (delaminación) de acuerdo al procedimiento establecido por la norma PS1-1995. Que en término generales, establece lo siguiente: cortar cinco especímenes de prueba de 50 mm de ancho por 125 mm de longitud a lo largo del grano. Estos especímenes se colocan en una cámara de vacío y se sumergen completamente en

agua a 43 °C. Se aplica un vacío de 15 pulgadas de mercurio por 30 minutos, posteriormente se libera el vacío, dichos especímenes permanecen sumergidos en el agua por 4.5 horas sin aplicar calor. Finalmente se procede a secarlos por 15 horas en un horno a 66 °C.

Inmediatamente terminada la prueba se procede a examinar los especímenes por delaminación, para posteriormente evaluarlos de acuerdo a los parámetros de la norma PS1-95.

A la cámara de vacío-presión se le adaptó la bomba de vacío-presión con la finalidad crear las condiciones que especifica la norma PS1-95 para tableros tipo interior ensamblados con pegamento para interior (urea formaldehído), Figura 11.

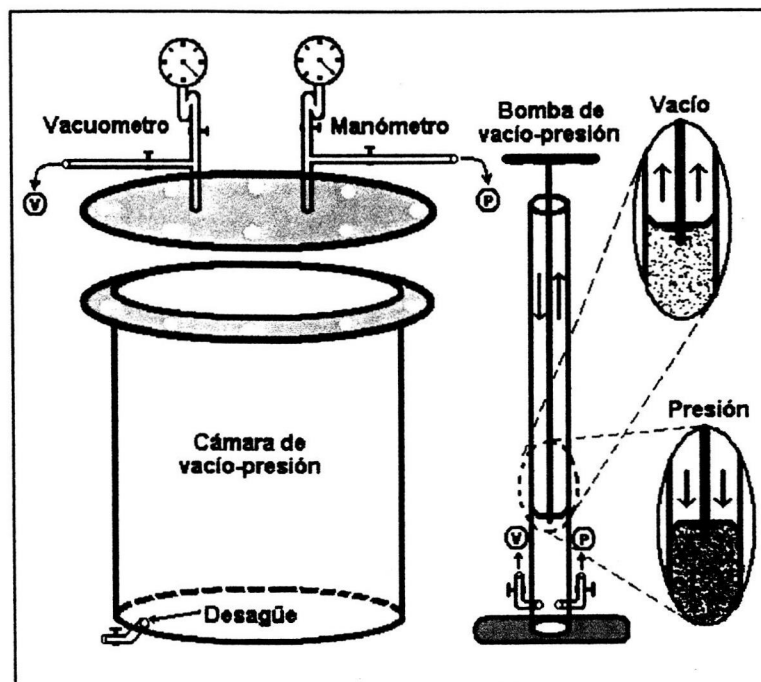


Figura 11. Equipo empleado en la prueba de evaluación de la calidad de la adhesión.

La bomba de vacío-presión fue adaptada de una bomba de presión. Tales modificaciones consistieron en invertir el émbolo, reforzar la base de la bomba y añadir otro orificio de entrada (succión) de aire en la parte opuesta a la salida de aire a presión (diseño original). En las elipses del extremo derecho de la Figura 11 se observa el detalle del émbolo y la forma de trabajo para crear vacío o presión.

3.2.9. Ajuste de la secuela de prensado del tablero de 34 mm para exterior

En función a los resultados obtenidos de la transferencia de calor en el contrachapado de 34 mm de espesor (Cuadro 16 y Figuras 24 y 25), procesados bajo los parámetros establecidos por la empresa (Cuadro 8) y la presencia de ponchaduras (Cuadro 19), se procedió a elaborar una propuesta para reducir los tiempos de prensado y eliminar los defectos de delaminación en dichos tableros.

La propuesta consistió en elaborar una formulación de adhesivo más reactiva, sin aumentar la viscosidad de la misma, controlar el contenido de humedad de la chapa entre el 6 y el 8%, así como modificar los parámetros de la prensa; que consisten en aumentar la temperatura y la presión para poder reducir el tiempo de prensado.

3.2.9.1. Formulación de adhesivo propuesta

Respecto al adhesivo se incrementó el contenido de sólidos del 29.9 al 32.1%, y la cantidad de hidróxido de sodio del 1.9 al 2.5% de la mezcla. En las columnas señaladas con (2) del Cuadro 7 de la sección 3.2.3.2 se muestra la formulación empleada para la

elaboración del 50% restante de los tableros de 34 mm, bajo condiciones de prensado variables Cuadro 9.

Para determinar el pH se utilizó un potenciómetro digital, calibrado en una solución buffer (pH = 7) e inmediatamente se procedió a determinar el pH de la mezcla de adhesivo.

La viscosidad se determinó en un viscosímetro tipo Brookfield modelo LVF, con aguja número 4 a 60 revoluciones por minuto, la temperatura de la mezcla de adhesivo al momento de la prueba fue de 25°C.

3.2.9.2. Contenido de humedad de la chapa

El contenido de humedad promedio de la chapa empleada en la elaboración de los tableros fue de 7.3%, observándose un rango de variación de 6 a 8%. Dicho contenido de humedad se determinó mediante el método de deshidratación en horno empleando la siguiente relación:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100 \quad \text{Donde:}$$

CH = Contenido de humedad (%)

Ph = Peso inicial de la muestra (g)

Po = Peso anhidro de la muestra (g)

Por otro lado debido a las condiciones atmosféricas donde se ubica la planta, la madera puede alcanzar un contenido de humedad en equilibrio (CHE) del 12% debido a las condiciones de temperatura (30°C) y 66% de humedad relativa.

3.2.9.3. Parámetros de la prensa

Los parámetros de prensado bajo los cuales se elaboraron los tableros se especifica en el Cuadro 9. Dichas condiciones fueron propuestas con base en los antecedentes de transferencia de calor, comportamiento de la presión de vapor y curado del adhesivo.

Cuadro 9. Condiciones de prensado para tableros de 34 mm.

Espesor	Tiempo (min)		Temperatura (°C)		Presión (psi)	
	alta	baja	Programada	Real	alta	baja
34	20	15	135	140	174	121
34	20	10	140	150	189	121
34	15	10	145	160	204	121

En el Cuadro anterior se puede observar que el primer ensayo se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por la empresa, los dos siguientes fueron más severos en temperatura y presión. El criterio se basó en ensayo y error debido a la carencia de los medios para determinar la presión de vapor en el centro del tablero y la resistencia de adhesión durante el proceso de prensado del triplay.

3.2.9.4. Evaluación de la calidad de los tableros

Al final del prensado de cada tablero se evaluó la calidad de adhesión mediante una inspección minuciosa de posibles delaminaciones y/o ponchaduras debido al exceso de presión de vapor y/o bajo porcentaje de adhesión lograda en el periodo de prensado.

Adicionalmente, se midió el espesor final (E_f) en los cantos del triplay cada 20 cm en cada tablero, con la finalidad de evaluar la compactación de los tableros por efecto del prensado (Figura 12). Para determinar la compactación, primero se determinó el espesor promedio de las chapas empleadas en la conformación de cada conglomerado; y con esta información se calculó el espesor nominal (E_n) del tablero y mediante la siguiente expresión se determinó la compactación al final del prensado.

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

C = Compactación del contrachapado (%)

E_n = Espesor nominal del contrachapado (mm)

E_f = Espesor final del contrachapado (mm)

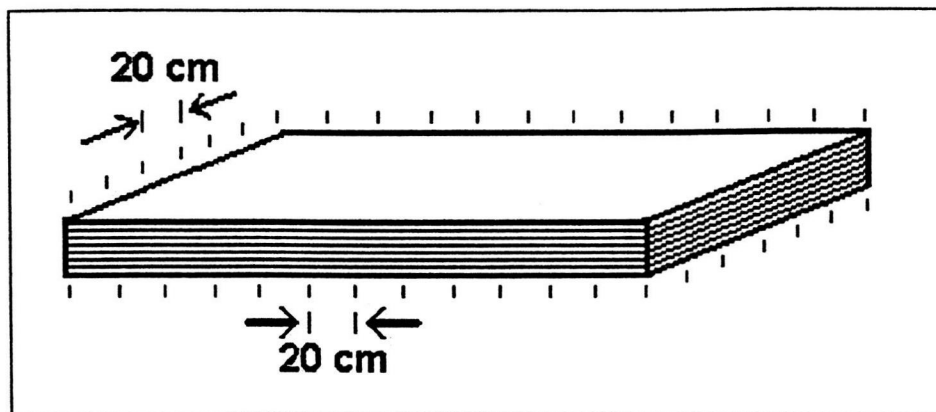


Figura 12. Medición del espesor en los tableros de 34 mm de espesor.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos obtenidos

En el presente capítulo se presenta y analiza los datos sobre la transferencia de calor durante el proceso de prensado de los tableros de 6, 9, 12, 15, 18 y 34 mm de espesor (Anexo 1). Las temperaturas se registraron en cada línea de pegamento (LP) y a su vez estas variarán en función del número de líneas de pegamento que tiene cada tipo de tablero, excepto en el de 34 mm, donde se determinó la temperatura cada dos LP o en líneas alternas.

Así mismo se analizan los datos de las diferentes resinas empleadas, de las mezclas de los adhesivos, de los tiempos de armado y de la cantidad de adhesivo aplicado en DLP/m².

4.2. Formulación de los adhesivos

4.2.1. Adhesivo a base de UF para tableros tipo interior

La resina de urea formaldehído empleada para preparar la mezcla de adhesivo tiene un contenido de sólidos del 63.2%, y el contenido de sólidos de la mezcla del adhesivo propuesta por la empresa y empleada en la elaboración de los tableros tipo interior fue

de 29.7% (Cuadro 10). Se considera aceptable dicho porcentaje de sólidos, ya que el recomendado para este tipo de tableros varia del 28 al 32 %¹.

Cuadro 10. Componentes y características de la mezcla de adhesivo empleada en la elaboración de los contrachapados tipo interior.

Componente	Cantidad (kg)
Agua a 30 °C	27.0
Harina de trigo	23.9
Harina de cáscara de nuez	0.8
Catalizador (U-247)	1.3
Resina (Urea - formaldehído)	47.0
Porcentaje de sólidos = 29.7%	
55.7 kg de sólidos totales y 44.3 kg de agua	

La proporción de sólidos y líquidos de la mezcla esta directamente relacionada con la viscosidad del adhesivo y que repercute en la facilidad de aplicación, misma que se considera adecuada ya que no se presentaron problemas en la aplicación del adhesivo a las chapas de centros.

La proporción de componentes del adhesivo a base de urea formaldehído, es semejante al reportado por Zavala (1990) para las industrias triplayeras del área metropolitana del D. F.

4.2.2. Adhesivo a base de FF para tableros tipo exterior

La resina de fenol formaldehído empleada para preparar la mezcla de adhesivo tiene un contenido de sólidos del 44.5%, y el contenido de sólidos de la mezcla propuesta por la empresa y empleada en la elaboración de los tableros tipo exterior fue de 29.9% (Cuadro

¹ ZAVALA Z., D. 2002. Formulaciones de adhesivos. Texcoco, México, Universidad Autónoma Chapingo. (Comunicación personal).

11). Se considera adecuado por estar en el rango usualmente utilizado de 28 a 32% de sólidos (Zavala, 1994 y Yong-Sung *et al*, 1999)

Cuadro 11. Componentes y características de la mezcla de adhesivo empleada en la elaboración de los contrachapados tipo exterior.

Componente	Cantidad (kg)
Agua a 30 °C	13.9
Resina (fenol formaldehído)	67.3
Harina de trigo	7.0
Harina de cáscara de nuez	9.2
Sosa cáustica (hidróxido de sodio)	1.9
Carbonato de sodio	0.7
Porcentaje de sólidos = 29.9%	
47.8 kg de sólidos totales y 52.2 kg de agua	

La proporción de sólidos y líquidos de la mezcla y su viscosidad fue adecuada ya que no se presentaron problemas en su aplicación a las chapas de centros. Sin embargo, por los problemas de ponchaduras y/o delaminaciones que se presentaron en los tableros de 34 mm de espesor, se puede considerar que es necesario incrementar el porcentaje de sólidos.

4.3. Cantidad de adhesivo aplicado

4.3.1. Cantidad de adhesivo en triplay para interiores

La cantidad promedio de adhesivo que se aplicó fue de 412 g/m² en doble línea de pegamento (DLP) para chapa de centro de 3.1 mm de espesor, de acuerdo a las especificaciones de la empresa donde se realizó el estudio para triplay de pino para interiores (urea formaldehído), Cuadro 12.

Cuadro 12. Cantidad de adhesivo aplicada en centros de 3.1 mm de espesor para tableros de uso en interiores.

Posición*	Dimensiones de las muestras			Área (m ²)	Peso de las muestras (g)		Adhesivo en DLP (g/m ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)		Sin adhesivo	Con adhesivo	
Derecha	128.0	12.5	3.1	0.160	270	335	406
Centro	128.3	15.0	3.1	0.192	300	370	364
Izquierda	128.2	20.3	3.1	0.260	500	630	500
Derecha	130.2	25.5	3.1	0.332	445	533	265
Centro	130.5	18.2	3.1	0.238	395	490	400
Izquierda	129.0	21.3	3.1	0.274	505	625	438
Derecha	129.0	11.5	3.1	0.148	260	330	472
Centro	127.6	11.5	3.1	0.147	270	335	443
Izquierda	128.3	11.5	3.1	0.148	260	320	407
Derecha	128.5	11.5	3.1	0.148	255	320	440
Centro	128.7	11.5	3.1	0.148	350	405	372
Izquierda	127.8	11.5	3.1	0.147	245	310	442
						Máximo	500
						Mínimo	265
						Promedio	412

Nota: * Se refiere a la zona de los rodillos de la engomadora por donde paso la sección de chapa, tomando como referencia la zona de alimentación.

Respecto a la cantidad de adhesivo en centros de 3.1 mm de espesor Zavala² recomienda que se deben aplicar de 360 a 400 gramos de adhesivo en DLP por metro cuadrado, tomando como base lo anterior se aplicó un 14.5% más de adhesivo base 360 g/m² o 3.1 % más respecto a 400 g/m². El exceso de adhesivo tiene un efecto negativo en el tiempo de curado; prolongando el tiempo de prensado, y en el incremento de costos de producción.

² ZAVALA Z., D. 2002. Producción de triply. Texcoco, México, Universidad Autónoma Chapingo. (Comunicación personal).

Del análisis de la cantidad de adhesivo aplicada a lo largo de los rodillos, se determinó la variación de pegamento que se aplicó en cada segmento de alimentación (Cuadro 13).

Cuadro 13 Cantidad de adhesivo aplicada en tres diferentes posiciones de los rodillos.

Posición	Cantidad (g/m ²)
Derecha	396
Centro	395
Izquierda	447

Se concluye que en la parte izquierda de los rodillos se aplica un 13% más de adhesivo respecto a la parte central y derecha. Lo cual puede ser atribuido a un desgaste en el hule del rodillo, ocasionado por ser más utilizado en esta zona.

4.3.2. Cantidad de adhesivo en triplay para exteriores

La cantidad de adhesivo aplicada en centros de 1.8 mm de espesor para conformar el tablero de 34 mm de espesor fue de 335 g/m² en DLP (Cuadro 14).

Cuadro 14 Cantidad de adhesivo aplicada en centros de 1.8 mm de espesor para tableros tipo exterior.

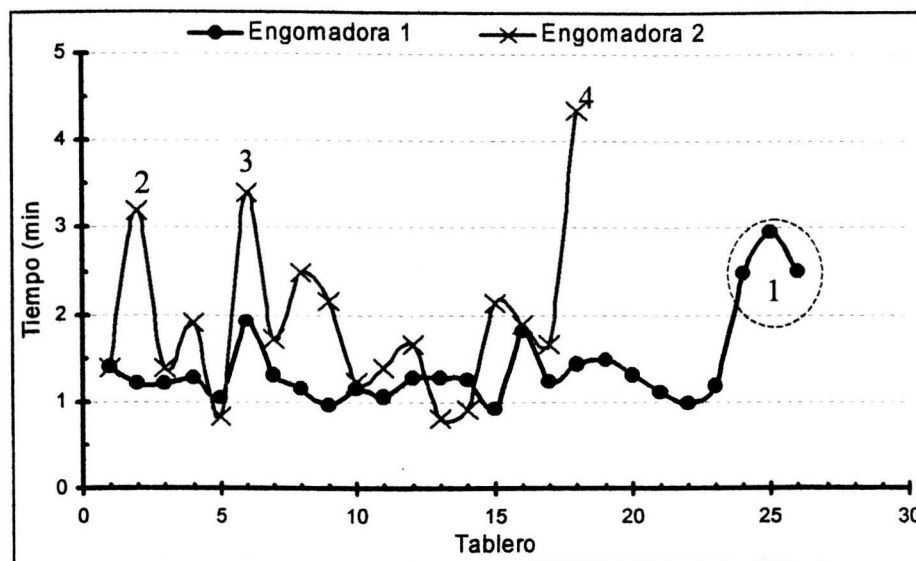
Posición*	Dimensiones de las muestras			Área (m ²)	Peso de las muestras (g)		Adhesivo en DLP (g/m ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (mm)		Sin adhesivo	Con adhesivo	
Derecha	128.5	18.5	1.8	0.238	270	350	336
Centro	128.5	13.0	1.8	0.167	180	234	323
Izquierda	128.3	15.8	1.8	0.203	180	250	345

Nota:* Se refiere a la zona de los rodillos de la engomadora por donde paso la sección de chapa, tomando como referencia la zona de alimentación.

La cantidad de adhesivo se considera aceptable, de acuerdo con Troughton et al (2000) y Zavala (1994) aplicaron 293 g/m^2 y 317 g/m^2 en DLP a centros de 3.1 mm ($\frac{1}{8}$ "") para triplay.

4.4. Formación del contrachapado

En promedio el tiempo de formación de un tablero fue de 1.41 minutos en la engomadora 1 y de 1.92 minutos en la engomadora dos (Figura 13).



Nota: ¹ Interiores descuadrados, ² Interrupción del proceso por el supervisor, ³ Chapa para centros muy corta y ⁴ Se terminó el adhesivo.

Figura 13. Tiempos de armado de contrachapados de 15 mm de espesor con 7 capas tipo interior.

El tiempo de armado de los contrachapados varía para cada engomadora. Esto se debe a la calidad de las chapas empleadas, la habilidad de los trabajadores para acomodar las chapas y la sincronización de actividades desarrolladas durante la integración.

De acuerdo al tiempo de armado registrado para los tableros de 15 mm de espesor con 7 capas, se establece que éste no debe exceder 1.5 minutos.

4.5. Fase de pre-prensado y prensado

Debido a que el programa de producción de la empresa estaba planeado para producir triplay de 15 mm con 5 y con 7 capas, por esta razón, se determinaron solamente los tiempos que involucra el prensado de este tipo de contrachapados.

El tiempo de pre-prensado en promedio fue de 5.29 minutos para los tableros de 15 mm de 5 capas y de 7.16 minutos para los de 15 mm de 7 capas, ambos a 52 psi de presión. En el tablero de 15 m con 5 capas el tiempo de pre-prensado se excede 17.4 segundos respecto a los 5 minutos pre-programados y en el caso de los contrachapados de 7 capas se excede 9.6 segundos respecto a los 7 minutos pre-establecidos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Duración en minutos de cada fase del proceso de pre-prensado y prensado de triplay de 15 mm de espesor.

Carga No.	Pre-prensado	Pre-prensa a prensa	Carga	Cierre de la prensa	Prensado	Fin prensado – Inicio descarga	Descarga
1 ^φ	5.40	2.78	1.67	0.38	8.77	0.47	1.33
2 ^φ	5.13	2.92	0.87	0.36	7.65	0.10	0.99
3 ^φ	4.65	2.07	1.25	0.40	7.71	2.04	0.93
4 ^φ	4.80	1.67	1.76	0.39	8.70	0.01	1.27
5 ^φ	6.40	2.25	0.97	0.38	8.67	0.18	1.05
6 ^φ	5.30	2.45	0.92	0.40	8.73	0.20	0.93
7 ^φ	5.33	2.95	0.89	0.40	8.65	0.18	1.27
Prom^φ	5.29	2.44	1.19	0.39	8.41	0.45	1.11
1 ^γ	7.27	2.63	1.57	0.52	11.15	0.00	2.15
2 ^γ	7.33	2.95	1.63	0.57	11.08	0.00	1.80
3 ^γ	7.27	2.08	2.80	0.57	10.80	2.33	1.72
4 ^γ	7.22	2.28	1.35	0.45	11.45	0.85	1.28
5 ^γ	6.97	2.75	1.35	0.60	11.10	1.80	4.77
6 ^γ	6.90	2.93	0.72	0.78	11.15	0.02	1.42
Prom^γ	7.16	2.61	1.57	0.58	11.12	0.83	2.19

Nota: ^φ Triplay de 15 mm de espesor con 5 capas y ^γ Triplay de 15 mm de espesor con 7 capas.

En promedio cada carga de la prensa se integró con 20 tableros de 15 mm de espesor, utilizando el 66.7% de la capacidad de producción de la prensa (30 luces). Los tableros de 15 mm con 5 permanecen en promedio 10.44 minutos en la prensa, mientras que los de 7 capas permanecen 14.10 min; este tiempo comprende desde el inicio del cargado hasta el inicio de la descarga de la prensa. El tiempo total desde que se inicia la integración del primer contrachapado de 15 mm con 7 capas (junto a la engomadora) hasta la descarga del ultimo tablero de la prensa es de 41.7 min en promedio, se considera demasiado tiempo, comparado con lo empleado por

El tiempo de prensado real promedio para los tableros de 5 capas es muy similar al pre-establecido, mientras que en los contrachapados de 7 capas existe un ligero incremento ya que la prensa abre automáticamente al final del prensado.

Respecto al tiempo de cargado de la prensa está en el rango aceptable (menos de 2 minutos), incluso aún cuando se cargara la prensa al 100% (30 tableros), Zavala (1995) indica que el tiempo óptimo de cargado no debe rebasar 1.5 min.

El tiempo que transcurre desde que termina el prensado e inicia la descarga de los tableros es de 27.0 y 49.8 segundos para los tableros de 5 y de 7 capas, respectivamente. Este tiempo es crítico para los tableros tipo interior (urea-formaldehído) ya que al exponerse a altas temperaturas después de del fraguado del adhesivo reduce la resistencia de adhesión debido al deterioro químico que sufre la resina.

4.6. Análisis de la transferencia de calor durante el prensado de los tableros

4.6.1. Variación de temperaturas en los platos de la prensa

Respecto a la variación de la temperatura en los platos de la prensa existe mayor variación de la temperatura en los platos de la parte superior (plato 30) e inferior (plato 1) que en los platos de la parte media de la prensa (plato 15). Este comportamiento se puede atribuir al sistema de suministro de vapor (medio de calentamiento), que favorece el flujo de vapor en los platos de la parte central (Figura 14).

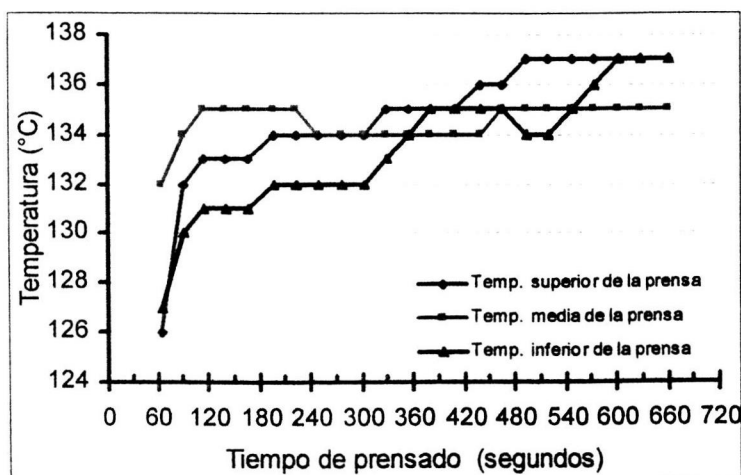


Figura 14. Variación de la temperatura a diferentes alturas de la prensa.

Por el comportamiento de la temperatura en los diferentes platos de la prensa, se decidió procesar los tableros bajo estudio en los platos del centro de la prensa.

En los tableros de 12, 15 y 18 mm se puede apreciar que la variación de la temperatura entre el plato inferior y el plato superior es de 1 a 3 °C, siendo mayor la temperatura del

plato superior (Figuras 18, 20 y 22). Este gradiente de temperatura no se considera crítico para el prensado de los contrachapados. Por tal razón se decidió determinar la temperatura del plato inferior en el resto de los tableros 6, 9 y 34 mm de espesor.

4.6.2. Transferencia de calor en los tableros de 6 mm de espesor

El comportamiento de la temperatura de los platos de la prensa disminuye al momento del cierre de la prensa debido a un alto consumo de calor por parte del contrachapado. Posteriormente se va recuperando la temperatura de los platos hasta alcanzar el valor inicial. La tasa de incremento en la temperatura interna del tablero en los primeros 80 segundos (1.3 min) es mayor y posteriormente este incremento se reduce, tendiendo a ser constante. Después de este lapso se manifiesta la máxima evaporación del agua y del fraguado del adhesivo (Figura 15).

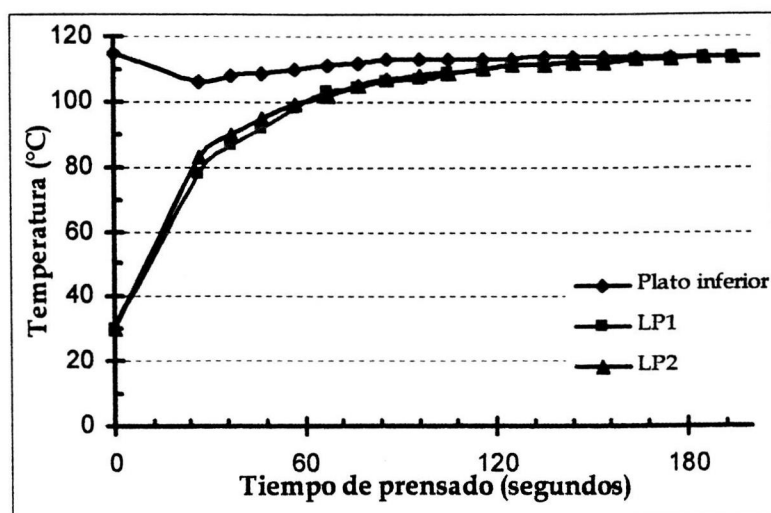


Figura 15. Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 6 mm de espesor.

Debido a que estos tableros solo tiene dos líneas de pegamento, la polimerización se realiza al mismo tiempo. Esto se infiere por el comportamiento similar de la temperatura en ambas líneas de pegamento (Figura 15 y Anexo 1).

De acuerdo al comportamiento de la temperatura interna del tablero y del resultado de la prueba de resistencia de adhesión, se considera que la secuela de prensado es adecuada para el tablero de 6 mm de espesor.

4.6.3. Transferencia de calor en los tableros de 9 mm de espesor

Como se puede observar en la Figura 16, el incremento de la temperatura es mayor en las líneas de pegamento más externas (LP 1 y 4), y gradualmente continua con las líneas de pegamento adyacentes (LP 2 y 3). Este comportamiento es lógico, debido a que estas líneas de pegamento están más cercanas de la fuente de calor. Incluso al inicio del prensado se observa un decremento de la temperatura de los platos, y posteriormente se va recuperando el nivel de temperatura, debido a que la demanda de calor es menor y se establece un equilibrio con la tasa de suministro de calor por parte de los platos de la prensa.

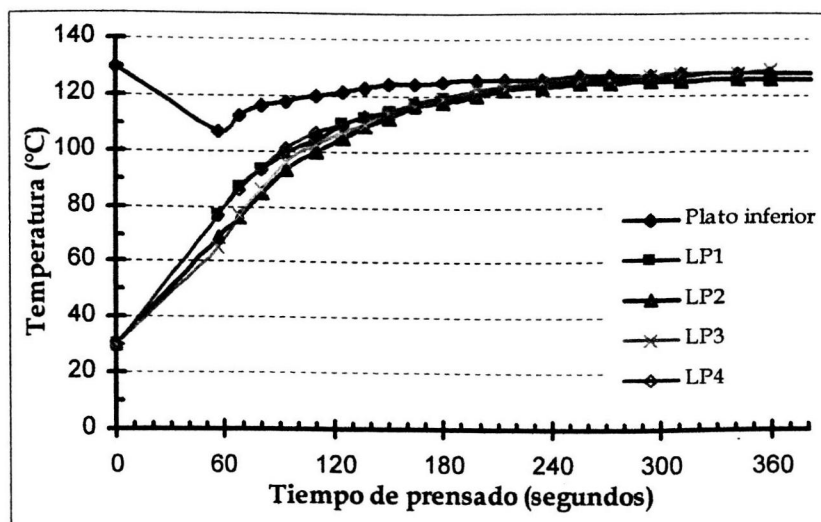


Figura 16. Curvas de transferencia de calor en las cuatro líneas de pegamento para el tablero de 9 mm de espesor.

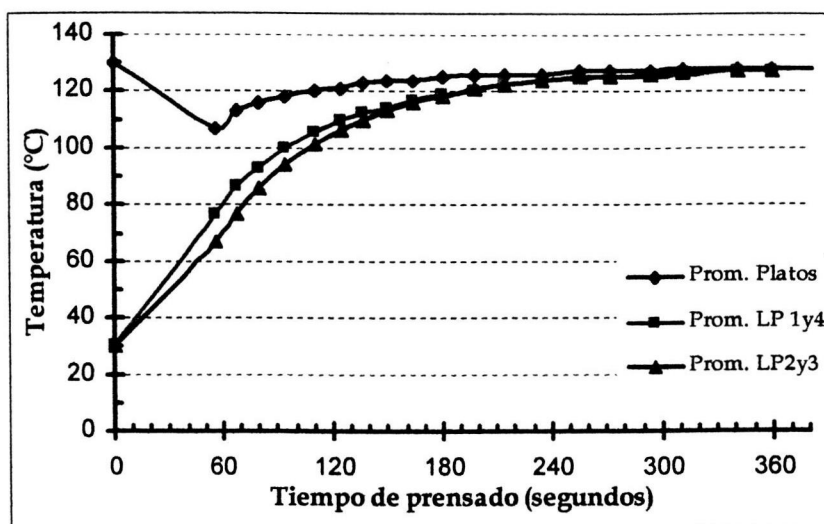


Figura 17. Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 9 mm de espesor, (derivada de la Figura 16).

Las temperaturas inferiores correspondientes a las líneas de pegamento más internas (LP 2 y 3) y alejadas de los platos (Figura 17), debido a que durante el tiempo de prensado, parte del calor es requerido para evaporar el agua de la madera y del adhesivo, así como el agua producto de la polimerización de la resina. Esta condición genera un gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del tablero.

En los primeros 4 minutos (240 s) la temperatura interna del tablero alcanza los 120 °C, momento en el cual se da una polimerización casi instantánea del adhesivo y el tiempo que transcurre a partir de este punto debe ser el necesario para eliminar el exceso de vapor del centro del tablero; éste vapor ejerce una presión que tiende a separar las chapas, cuando la resistencia de adhesión es inferior.

En este tipo de tablero, la temperatura de los platos de la prensa fue de 130 °C (Anexo 1) y tiene un efecto directo en la tasa de transferencia del calor, que seguramente agiliza el proceso de evaporación del agua y fraguado del adhesivo. Estas condiciones marcan la pauta para reducir el tiempo de prensado sin reducir la resistencia de la adhesión.

4.6.4. Transferencia de calor en los tableros de 12 mm de espesor

En la Figura 18, se muestra el comportamiento de la temperatura en cada línea de pegamento y el promedio del exterior al centro del tablero de 12 mm de espesor. En la temperatura de los platos se observa un comportamiento constante durante el proceso de prensado; esto se debe a que la captura de información inició en promedio a los 100 segundos (1.7 minutos), tiempo en el cual la demanda de calor es menor y los platos de la prensa recuperaban el nivel de temperatura de trabajo.

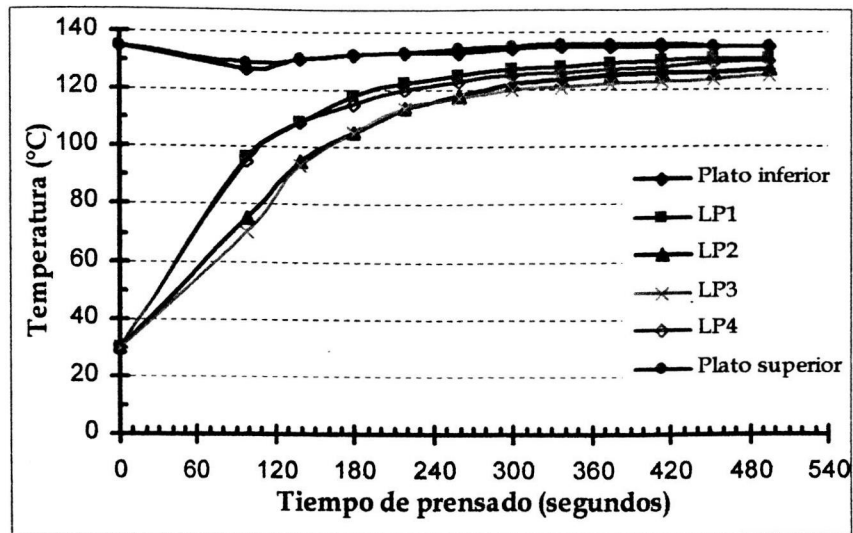


Figura 18. Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 12 mm de espesor.

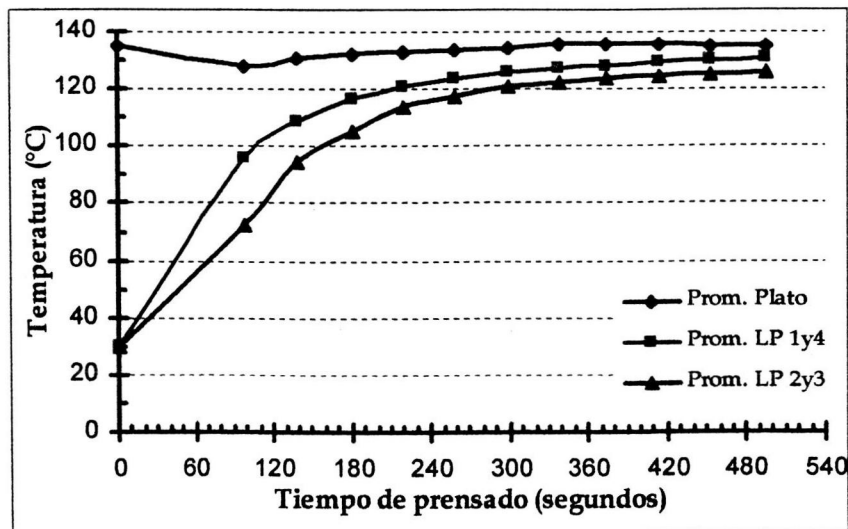


Figura 19. Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 12 mm de espesor, (derivada de la Figura 18).

A los 300 segundos (5.0 min) se uniformiza la temperatura dentro del tablero (Figura 19); éste tiempo corresponde a la fase de mayor presión (151 psi). En los 2.5 minutos restantes que corresponden a la fase de baja presión (121 psi) ya no hay un incremento

significativo en la temperatura durante el transcurso de este periodo. Por el comportamiento de la temperatura en el centro de los tableros de 12 mm de espesor (Anexo 1), existe la posibilidad de reducir a 2.0 minutos la segunda fase del proceso de prensado.

La secuela de prensado para este tipo de triplay quedaría de la siguiente manera: la temperatura de los platos de la prensa de 140 °C y en la primer fase aplicar 151 psi de presión por 5.0 min y en la segunda 121 psi por 2.0 minutos, siempre y cuando el porcentaje de sólidos no sea inferior al 30%.

4.6.5. Transferencia de calor en los tableros de 15 mm de espesor

En la Figura 20, se muestra una tendencia representativa del comportamiento de la temperatura en cada línea de pegamento del tablero de 15 mm, y en la Figura 21 se representan las temperaturas promedio de las líneas de pegamento más externas y las del centro para este tipo de triplay. En promedio a los 6.6 min (400 s) la línea de pegamento más interna alcanza los 110 °C y posteriormente tiende a mantenerse constante durante el tiempo de prensado restante (2.0 minutos). Este resultado es inferior al encontrado por Zavala, 1986 en triplay de 16 mm

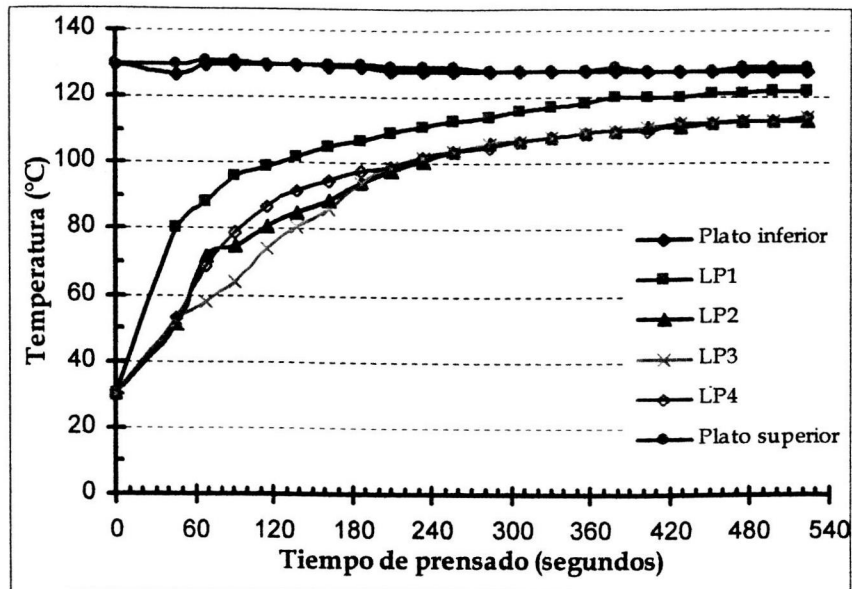


Figura 20. Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 15 mm de espesor.

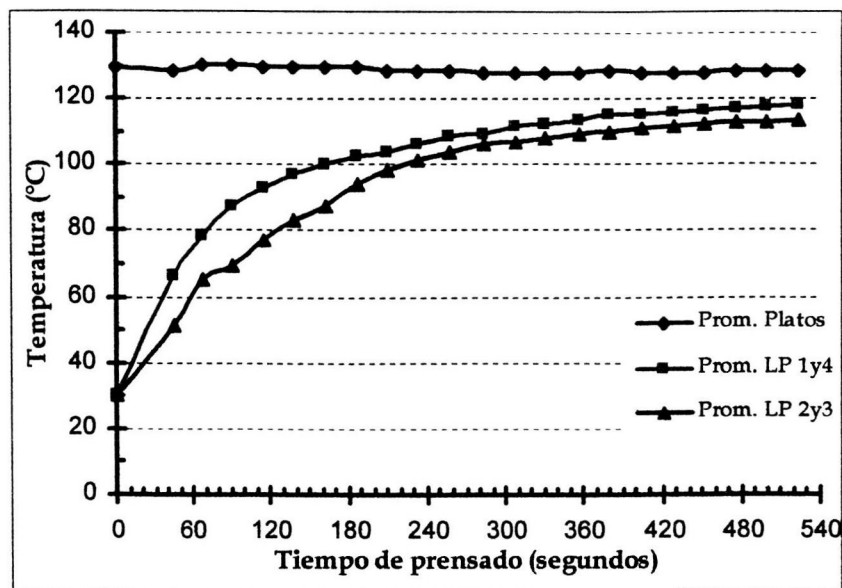


Figura 21. Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 15 mm de espesor, (derivada de la Figura 20).

Para este tipo de tableros existe la posibilidad de reducir el tiempo de prensado mediante un ajuste de la temperatura de la prensa. La corrección de la secuela de prensado implica aumentar la temperatura de los platos a 140 °C, y la presión de 151 psi aplicarla durante

los primeros 5.5 minutos de prensado y posteriormente reducir la presión a 121 psi y mantenerla por un lapso de 2.5 minutos.

4.6.6. Transferencia de calor en los tableros de 18 mm de espesor

En la Figura 22, se muestra el comportamiento de la distribución de las temperaturas en cada línea de pegamento y en la Figura 23 el promedio de temperatura del exterior al centro del tablero de 18 mm de espesor. En la temperatura de los platos se observa un comportamiento constante durante el proceso de prensado; esto se debe a que la captura de información se inició en promedio a los 60 segundos, tiempo en el cual la demanda de fue menor, además que la recuperación de la temperatura del plato de la prensa es más eficiente.

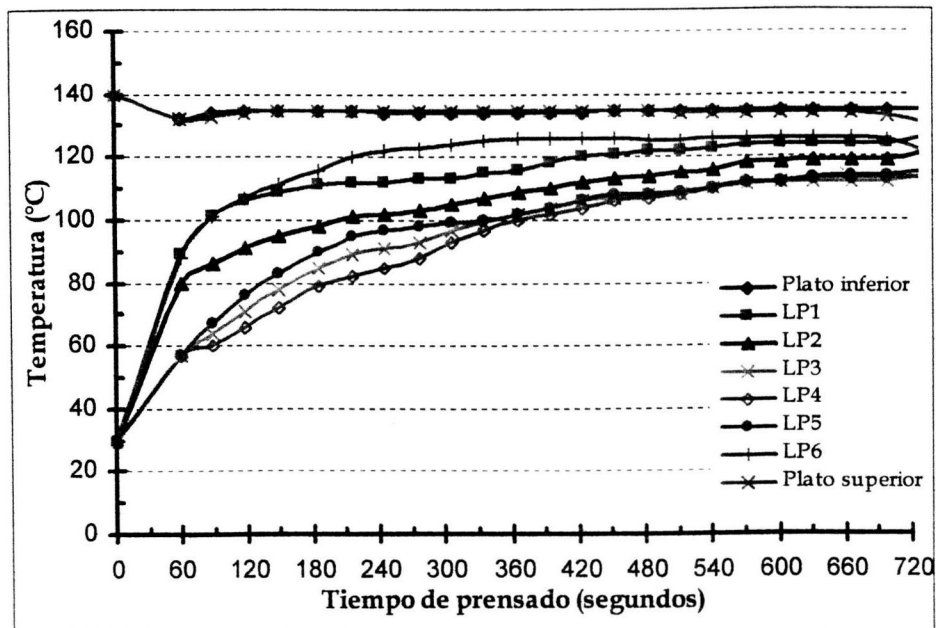


Figura 22. Curvas de transferencia de calor en las líneas de pegamento para el tablero de 18 mm de espesor.

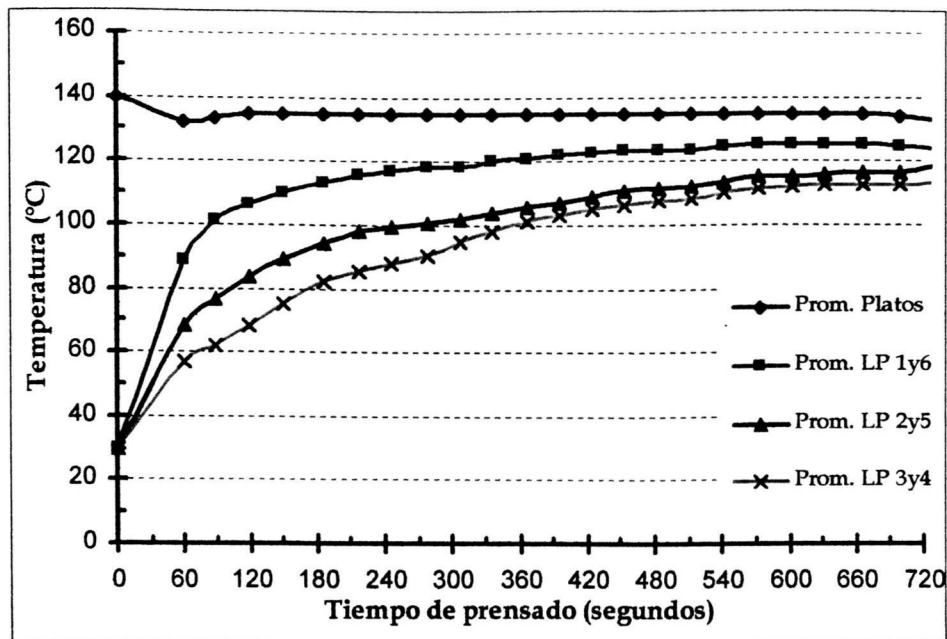


Figura 23. Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 18 mm de espesor, (derivada de la Figura 22).

A los 9.0 minutos (540 s) se uniformiza la temperatura dentro del tablero; éste tiempo corresponde a la fase de mayor presión (151 psi). Los 2.0 minutos restantes que corresponden a la fase de baja presión (121 psi) ya no hay un incremento significativo en la temperatura.

Analizando el comportamiento de la transferencia de calor y la resistencia de adhesión en el triplay de 18 mm de espesor, se concluye que la temperatura de los platos de la prensa no es adecuada debido a que se presentaron delaminaciones en las líneas de pegamento más internas. El ajuste que debe realizarse, consiste en incrementar la temperatura de los platos de la prensa a 145 °C.

4.6.7. Transferencia de calor en los tableros de 34 mm de espesor

En la Figura 24 se ilustra el comportamiento de la transferencia de calor durante el prensado, en donde se muestra la tendencia de la temperatura en cada dos líneas de pegamento del tablero de 34 mm, en la Figura 25 se representa el comportamiento promedio de la temperatura en cada línea de pegamento, partiendo de la líneas más externas (LP 2 y 18), siguiendo de las líneas de ensamble adyacentes (LP 4 y 16) y así sucesivamente con las líneas 6 y 14, hasta llegar a la línea de pegamento más interna (10). La línea de pegamento más interna (LP 10) alcanza los 120 °C en aproximadamente 17 minutos. Sin embargo, este tipo de tablero requiere de un mayor tiempo de prensado para evaporar el agua del centro; motivo por el cual se prolonga tanto el tiempo de prensado.

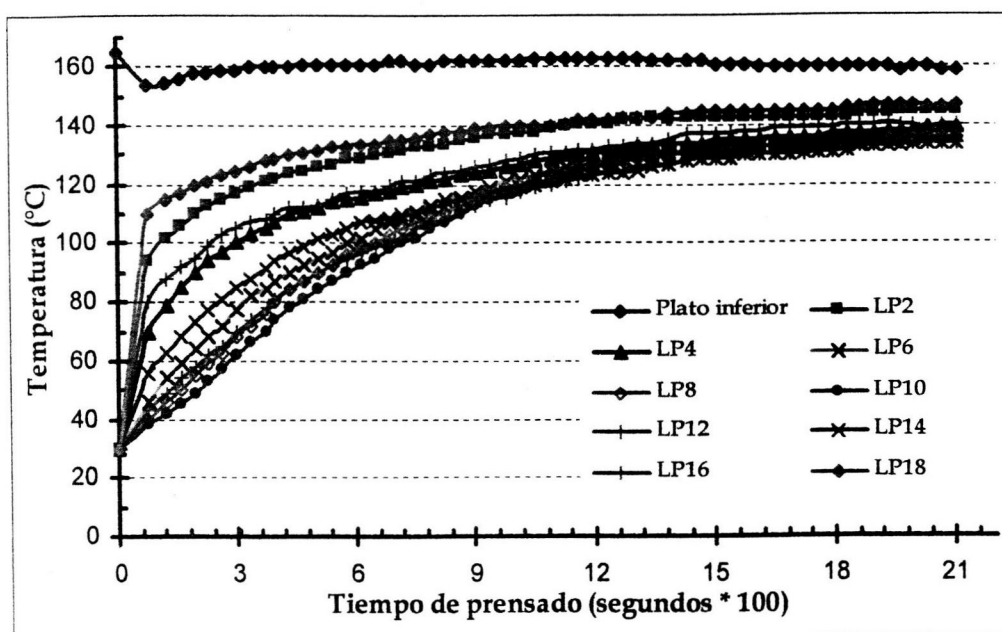


Figura 24. Curvas de transferencia de calor en nueve líneas de pegamento para el tablero de 34 mm de espesor.

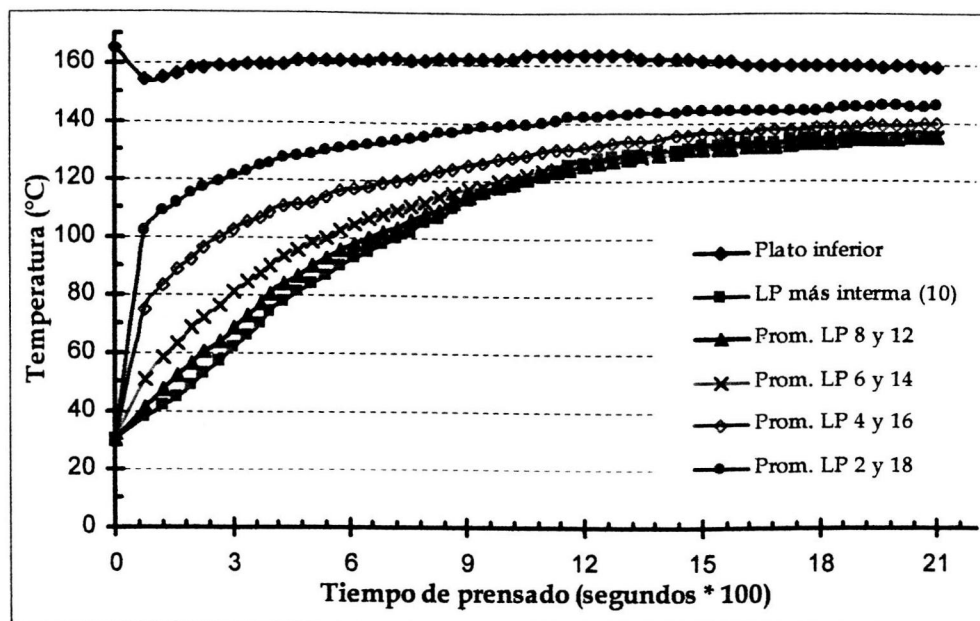


Figura 25. Temperatura promedio en las líneas de pegamento desde el exterior hacia el centro del tablero de 34 mm de espesor, (derivada de la Figura 24).

En este tablero se observa claramente el fenómeno de transferencia del calor, al inicio del prensado las líneas de pegamento más externas adquieren una temperatura mayor respecto a las LP adyacentes más alejadas de la fuente de calor. También se aprecia que conforme transcurre en tiempo de prensado el gradiente de temperatura se reduce con mayor rapidez hasta los 17 minutos.

Cotejando los resultados de la calidad de los tableros de 34 mm tipo exterior al finalizar el proceso de prensado, se puede concluir que el factor crítico que provoca las delaminaciones en la excesiva presión de vapor concentrada en el centro del contrachapado, además de bajar la resistencia de adhesión debida a que la reactividad de la resina no es suficiente para soportar la presión de vapor.

Finalmente, se considera prolongado el tiempo de prensado, además de que existe la posibilidad de reducirlo mediante un ajuste de los parámetros de la prensa (temperatura y presión) y formulando una mezcla de adhesivo más reactiva. Este análisis se presenta en el inciso 4.8.

4.6.8. Temperatura promedio en el centro de cada tablero

En los incisos del 5.6.2 al 5.6.7, se presentan los esquemas representativos de la transferencia de calor en los tableros de 6, 9, 12, 15, 18 y 34 mm de espesor. En el Cuadro 16 se integra un resumen del tiempo en el cual la LP más interna alcanza y supera los 110 °C de temperatura en cada uno de los tableros, así como el promedio de temperatura para cada espesor analizado (Anexo 1).

En el tablero de 15 mm, se observa el efecto que tiene el incremento de la temperatura de los platos de la prensa sobre el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de fraguado en la LP más interna del contrachapado. Este aumento de temperatura acelera la evaporación de la humedad del centro y evita ponchaduras y/o delaminaciones al terminar el prensado.

La temperatura interna de cada tablero es variable, ya que la madera es muy heterogénea en su estructura anatómica, contenido de humedad y otros factores que se relacionan con la conductividad térmica de la madera, así como el efecto aislante que ejerce el adhesivo después del fraguado.

Cuadro 16. Tiempos en alcanzar diferentes niveles de temperatura en las LP más internas de los tableros estudiados.

Tablero	Rep	Tiempo (min) en que la LP más interna alcanza:						Temperatura de la prensa
		110 °C	115 °C	120 °C	125 °C	130 °C	135 °C	total
6 mm	1	2.0						3.0
	2	2.0						3.4
	3	1.8	3.4					3.5
	Promedio	1.9	3.4					3.3
9 mm	1	2.6	2.9	3.5	4.3			6.0
	2	2.3	2.7	3.3	4.3			6.0
	3	2.6	3.3	4.6				6.2
	Promedio	2.5	3.0	3.8	4.3			6.1
12 mm	1	3.3	3.7	5.0	6.9			8.2
	2	4.8	5.1	6.9				9.2
	3	3.2	3.9	4.5	5.5	7.6		7.9
	Promedio	3.8	4.2	5.5	6.2	7.6		8.4
15 mm	1	9.0						9.0
	2	4.4	4.8	6.0	7.2			9.2
	3	6.6						8.7
	Promedio	6.7	4.8	6.0	7.2			9.0
18 mm	1	5.9	6.8	8.2				11.0
	2	9.0						12.1
	3	6.7	9.3	10.7				11.2
	Promedio	7.2	8.1	9.5				11.4
34 mm	1	14.4	15.7	17.6	19.3	23.1	33.9	35.0
	2	13.2	14.3	15.5	17.9	21.7	23.6	35.0
	3	14.3	15.4	17.2	19.4	22.9	32.7	35.0
	Promedio	14.0	15.1	16.8	18.9	22.6	30.1	35.0

4.7. Calidad de los tableros estudiados

Después de haber concluido el prensado de los tableros, se evaluaron respecto la calidad de la adhesión.

4.7.1. Calidad de los tableros tipo interior

En el Cuadro 17 se puede observar que las características de adhesión de los tableros a base de UF fue buena ya que no se presentaron defectos inherentes a la unión de las

chapas. Esto puede deberse a que la mezcla del adhesivo es la adecuada, la cantidad de adhesivo aplicada es superior a la recomendada en un 3.1 % base 400 g/m² en DLP y las secuelas de prensado fueron las apropiadas.

Cuadro 17. Calidad de los tableros para interiores elaborados en el presente estudio.

Espesor (mm)	Rep	Observaciones	Espesor (mm)	Rep	Observaciones
6	1	Sin delaminación	15	1	Sin delaminación
	2	Sin delaminación		2	Sin delaminación
	3	Sin delaminación		3	Sin delaminación
9	1	Sin delaminación	18	1	Sin delaminación
	2	Sin delaminación		2	Sin delaminación
	3	Sin delaminación		3	Sin delaminación
12	1	Sin delaminación			
	2	Sin delaminación			
	3	Sin delaminación			

La resistencia de la adhesión de los cinco tableros tipo interior pasaron las especificaciones de la norma PS1-95, a pesar de que en los tableros de 9 y 18 mm un espécimen de prueba de cada tablero se clasificó como fallado. Los tableros de 12 y 15 mm presentaron delaminaciones muy ligeras en profundidad y longitud, por lo que no fueron clasificadas como falladas (Cuadro 18).

Cuadro 18. Resistencia de la adhesión en tableros tipo interior de acuerdo a la norma PS1-95.

Espesor (mm)	Fecha de elaboración	No. de probetas		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

En el tablero de 9 mm la falla se presentó en la línea de pegamento más externa. Este efecto se puede atribuir a un pre-curado de la resina antes del prensado, que ocurre cuando el tiempo de cargado de la prensa es muy prolongado y el tablero permanece mucho tiempo sobre el plato caliente de la prensa sin que esta haya cerrado.

Respecto al tablero de 18 mm falló la línea de pegamento más interna, esto se puede deber a que las condiciones de temperatura no fueron suficientes para eliminar el exceso de vapor y a que el adhesivo fraguara completamente sin generar una buena resistencia de la línea del pegamento.

En resumen las características de adhesión de los tableros a base de UF fue buena ya que no se presentaron defectos inherentes a la unión de las chapas, que puede ser el resultado de la mezcla del adhesivo correcta, la cantidad de adhesivo aplicada superior a la recomendada en un 3.1 % base 400 g/m² en DLP, por lo que las secuelas de prensado son adecuadas.

4.7.2. Calidad de los tableros tipo exterior

Respecto a los tableros para exteriores se presentaron problemas de delaminación en las líneas de pegamento más internas (Cuadro 19), esto se debe a que son tableros demasiado gruesos y en la fase final del prensado se genera una zona de alta presión de vapor en el centro del contrachapado, como lo afirman Zavala, 1986 y Zombori, 2001 en triplay y en tableros aglomerados, respectivamente.

Cuadro 19. Calidad de los tableros para exteriores elaborados en el presente estudio.

Espesor (mm)	Rep	Resina	Observaciones
34	1	F F	Delaminación de 1x460 mm entre LP 11 y 12
	2	F F	Sin defectos de adhesión
	3	F F	Delaminaciones de 0.5x40, 0.5x80, 0.5x120, 0.5x160 mm en LP 8, 9, 10 y 12, respectivamente

Las variables que intervienen en la delaminación de los tableros de 34 mm para exteriores son: elevado contenido de humedad de la chapa (aproximadamente 11%), la temperatura y la presión de la prensa y tiempo de prensado son insuficientes para eliminar el exceso de vapor del centro del tablero, la resistencia de adhesión es superada por la presión del vapor.

Debido a los problemas de delaminación que presenta este tipo de tablero poco común (producto especial) y al excesivo tiempo de prensado, se decidió analizar las variables señaladas en el párrafo anterior en una segunda fase, que en términos generales consistió en reducir el CH de la chapa, usar una mezcla de adhesivo más reactiva y aumentar la temperatura y presión de la prensa para reducir tiempos de prensado y evitar delaminaciones. Los resultados se presentan en el inciso 4.8.

4.8. Ajuste de secuela de prensado para el tablero de 34 mm de espesor tipo exterior

Se analizan las variables de contenido de humedad, mezcla de adhesivo, parámetros de prensado (temperatura, presión y tiempo), calidad de los tableros al término del prensado y compactación del tablero de 34 mm de espesor.

4.8.1. Contenido de humedad de la chapa

El contenido de humedad (CH) de la chapa empleada en la elaboración de los tableros contrachapados de 34 mm de espesor tipo exterior, en promedio fue de 7.3 %. El CH de la chapa constituye un factor crítico en contrachapados gruesos, ya que al final del proceso de prensado se concentra en la parte interna del tablero, ejerciendo una fuerza de separación de las chapas.

El control del CH de la chapa en la empresa donde se realizó el presente estudio, es de suma importancia ya que las condiciones atmosféricas promedio (temperatura de 30°C y 66% de humedad relativa), la madera puede alcanzar un contenido de humedad en equilibrio (CHE) del 12%. Este CHE lo adquiere la chapa (madera) cuando permanece almacenada por largos periodos de tiempo.

4.8.2. Formulación de adhesivo propuesto

Respecto al adhesivo para elaborar los tableros de 34 mm de espesor, se preparó una mezcla más reactiva sin aumentar la viscosidad de la mezcla, con las proporciones de cada componente como se indica en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Componentes y características de la mezcla del adhesivo a base de fenol formaldehído para los tableros de 34 mm de espesor.

Componente	Cantidad (kg)
Agua a 30 °C	13.3
Resina (fenol formaldehído)	72.9
Harina de trigo	6.3
Harina de cáscara de nuez	5.0
Sosa cáustica (hidróxido de sodio)	2.5

Porcentaje de sólidos = 32.1%

44.6 kg de sólidos totales y **55.4 kg** de agua

El contenido de sólidos de la resina es de 44.02%, con la cual se formuló el adhesivo con un 32.1% de contenido de sólidos. La mezcla que constituye el adhesivos contiene 44.6 kg de sólidos y 55.4 kg de agua, un pH de 12.8 y una viscosidad Brookfield a 25°C de 2600 cp.

El adhesivo empleado inicialmente por la empresa para elaborar los tableros de 34 mm tenía un contenido de sólidos del 29.9% y se presentaban problemas de adhesión. Al incrementar 2.2% el contenido de sólidos (CS = 32.1 %) y 0.5% de hidróxido de sodio (de 1.9 a 2.5%) se preparó una mezcla de adhesivo más reactiva y más fuerte en su adhesión. Con lo cual se eliminó el problema de delaminación.

4.8.3. Parámetros de la prensa

El propósito de incrementar la temperatura de los platos de la prensa es acelerar la evaporación del agua y el fraguado del adhesivo. Los valores reales de temperatura alcanzados durante los ensayos se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Condiciones de prensado de los tableros de 34 mm de espesor tipo exterior.

Espesor	Tiempo (min)		Temperatura (°C)		Presión (psi)	
	Alta	Baja	Programada	Real	alta	baja
34	20	15	135	140	174	121
34	20	10	140	150	189	121
34	15	10	145	160	204	121

En términos reales los niveles de temperatura fueron incrementando en cantidades de 10 °C, aún cuando se programaban incrementos de 5°C, con lo que se concluye que es necesario calibrar el sistema de control de temperatura, ya que los datos muestran un desajuste de 5°C.

Respecto a la presión de los platos, ésta, se fue aumentando cada 15 psi (1.1 kg/cm²), iniciando de 174 psi hasta los 204 psi. Dichos niveles de presión se encuentran dentro de los límites medio a máximo recomendado al inicio y 121 psi al final del proceso de prensado de tableros contrachapados (Zavala, 1994 y Baldwin, 1995). El aplicar mayor presión al inicio del prensado favorece la distribución del adhesivo y la transferencia de calor, y la segunda fase de menor presión es con el fin de recuperar espesor de la chapa y acelerar la evaporación de la humedad del centro del tablero.

El procedimiento para ajustar la secuela de prensado fue a ensayo y error debido a que no se tuvieron los medios (equipos) para determinar la presión de vapor y la resistencia de adhesión durante el prensado. Por esta razón, la primer secuela probada correspondió a la establecida por la empresa, y las dos siguientes son más severas en temperatura y presión de los platos.

4.8.4 Temperatura interna en el tablero de 34 mm de espesor

4.8.4.1. Primer secuela de prensado (propuesta por la empresa)

En la primer secuela de prensado (establecida por la empresa), se pudo evaluar el efecto de la reactividad de la resina. Concluyéndose que al incrementar en 2.2% el contenido de sólidos y en 0.5 % el hidróxido de sodio, la resina polimerizó en menor tiempo y con una mayor resistencia de adhesión, ya que no se presentaron delaminaciones (Figura 26).

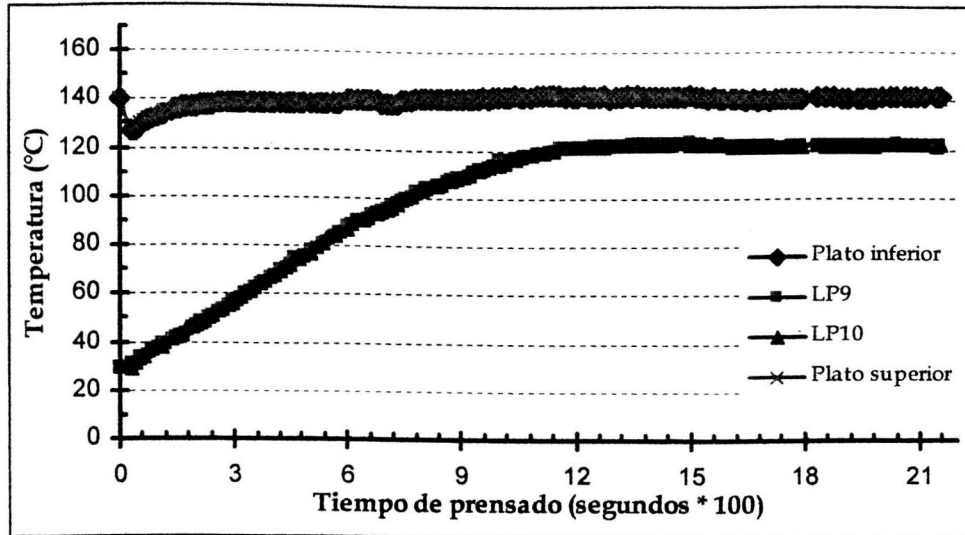


Figura 26. Temperatura interna del tablero de 34 mm de espesor, primer secuela de prensado.

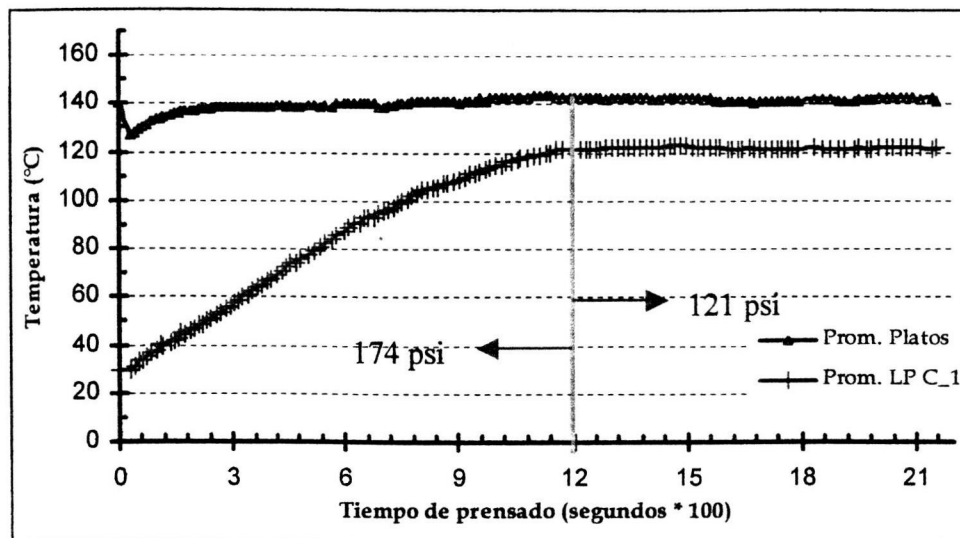


Figura 27. Temperatura interna promedio del tablero de 34 mm de espesor, (derivada de la Figura 26).

De la Figuras 26 y 27, se concluye que la temperatura interna del tablero alcanzó su máximo valor de 120 °C a los 20 minutos (1200 segundos) que corresponden a la fase de alta presión (174 psi) y posteriormente la temperatura permaneció constante durante los

siguientes 15 minutos. Esto explica el efecto de la presión sobre la transferencia de calor.

La segunda fase del prensado (121 psi) facilita la transferencia de masas (vapor y aire) del centro hacia el exterior del tablero. Por esta razón se mantiene la temperatura constante en el centro del tablero, además el flujo de masas hacia el exterior ayuda a recuperar espesor del contrachapado.

4.8.4.2. Segunda secuela de prensado

Con las siguientes condiciones de prensado (150 °C, 189 y 121 psi por 20 y 10 minutos, respectivamente), el centro del contrachapado alcanzó 120 °C en 17 minutos aproximadamente (Figuras 28 y 29). Concluyendo que existe una reducción en el tiempo de prensado del 14.3% con respecto a las condiciones de prensado establecidas por la empresa. Lo anterior es producto del incremento de 10 °C en la temperatura y de 15 psi de la presión de los platos de la prensa.

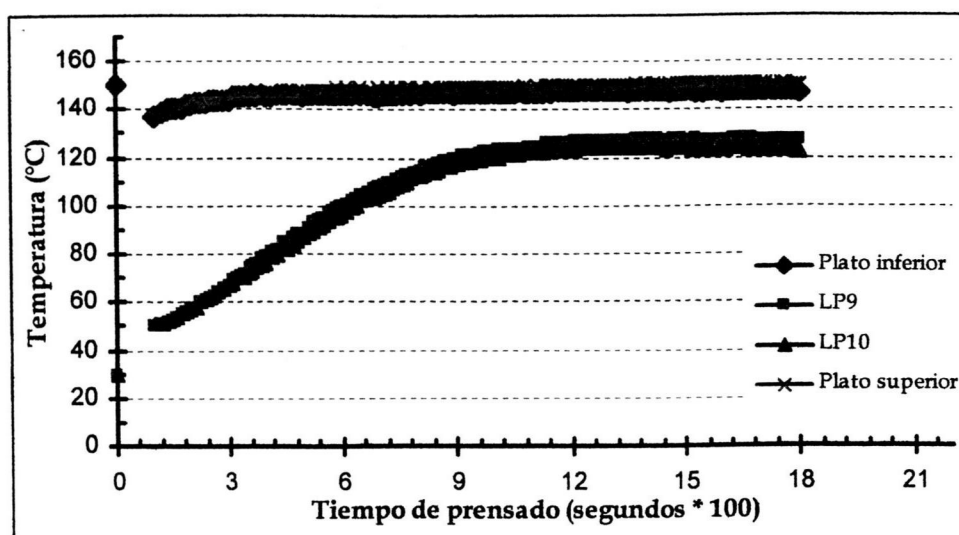


Figura 28. Temperatura interna del tablero de 34 mm de espesor, segunda secuela de prensado.

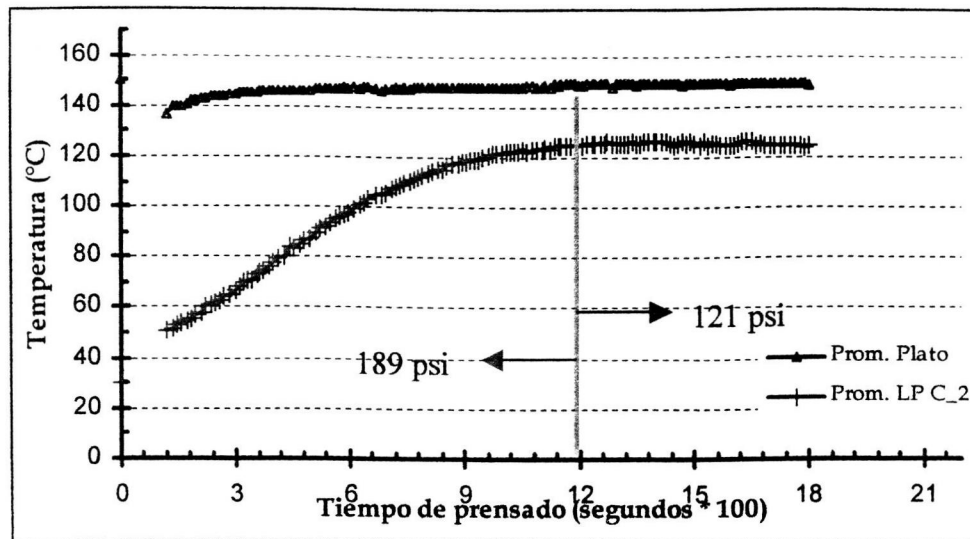


Figura 29. Temperatura interna promedio del tablero de 34 mm de espesor, (derivada de la Figura 28).

Al reducir 5 minutos en la segunda fase del prensado no se manifestaron problemas de adhesión aún cuando las condiciones de prensado fueron más severas.

4.8.4.3. Tercer secuela de prensado

En las Figuras 30 y 31, muestran el comportamiento de la temperatura interna del tablero de 34 mm durante el prensado bajo las condiciones de 160 °C, 204 y 121 psi por 15 y 10 minutos, respectivamente, logrando una reducción en el tiempo de prensado del 28.6% con respecto a la secuela de prensado inicial. Este ahorro de tiempo es producto del incremento en 20 °C de la temperatura y en 30 psi de la presión de los platos de la prensa.

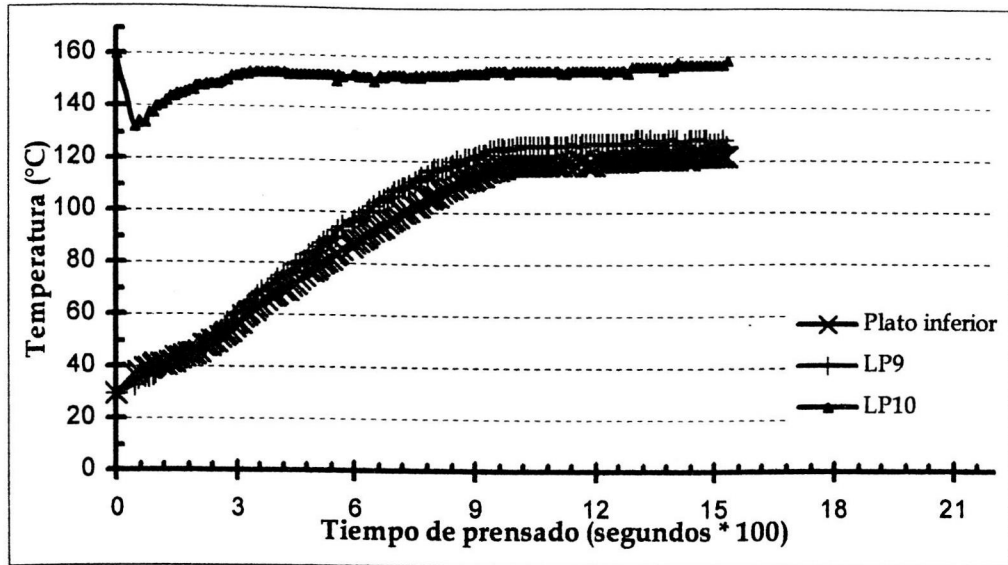


Figura 30. Temperatura interna del tablero de 34 mm de espesor, tercera secuela de prensado.

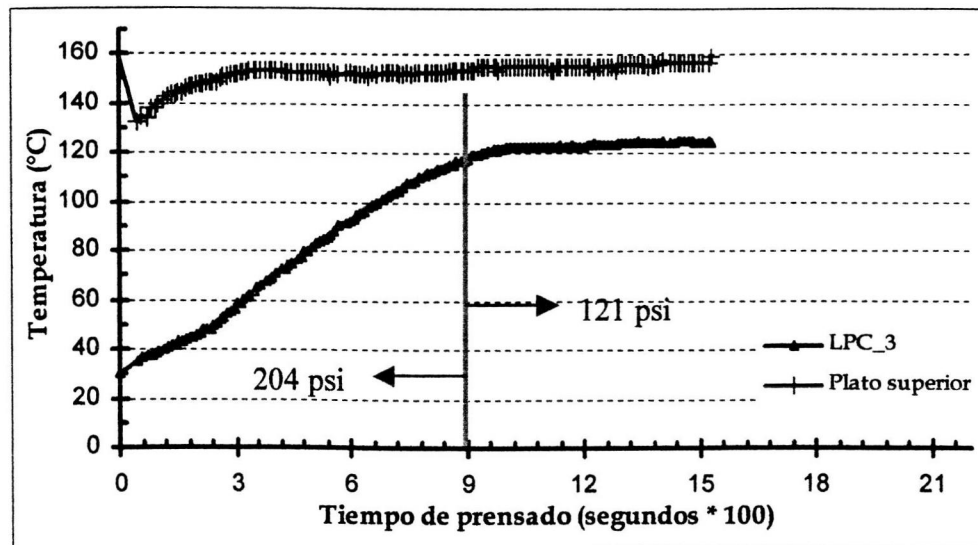


Figura 31. Temperatura interna promedio del tablero de 34 mm de espesor, (derivada de la Figura 30).

4.8.4.4. Comportamiento de la temperatura interna del tablero bajo tres condiciones diferentes de prensado

Al incrementar la temperatura y la presión de los platos de la prensa se acelera la tasa de transferencia de calor hacia el centro del tablero (Figura 32). Este fenómeno de transferencia es producto de la variación de los parámetros de prensado (temperatura y presión), ya que el espesor de los contrachapados es el mismo (34 mm), así como también el contenido de humedad de las chapas y la formulación de adhesivo empleado. Se aprecia claramente que la temperatura del centro de los tableros es superior cuando la temperatura y presión de los platos de la prensa se mayor.

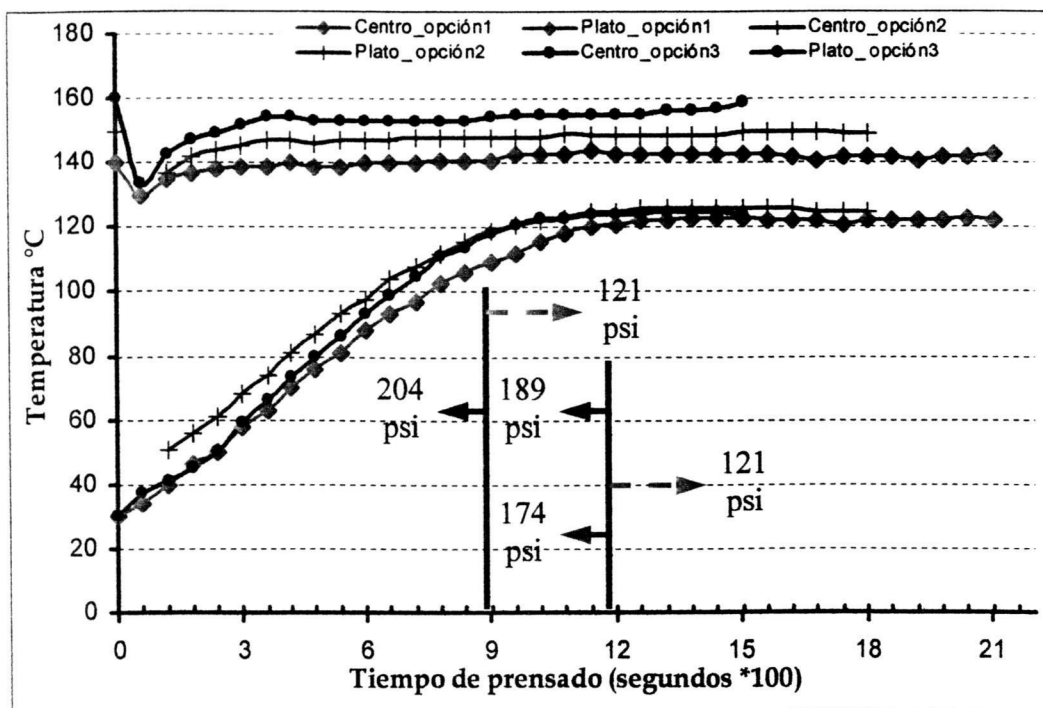


Figura 32. Temperatura interna de los tableros de 34 mm de espesor, bajo diferentes condiciones de prensado.

En los primeros 2 minutos del tiempo de prensado, existe una disminución de la temperatura de los platos de la prensa, la cual se acentúa más cuando la temperatura y la presión son mayores, y la velocidad de recuperación del nivel de temperatura de los platos es ligeramente más lenta.

Conforme se incrementa la temperatura y presión de los platos de la prensa, la temperatura del centro del triplay aumenta más rápidamente, conduciendo a una tasa mayor de evaporación y polimerización del adhesivo que finalmente se traduce en una reducción del tiempo de prensado y en una menor compactación del contrachapado por permanecer menos tiempo a compresión.

4.8.5. Calidad de los tableros contrachapado de 34 mm tipo exterior

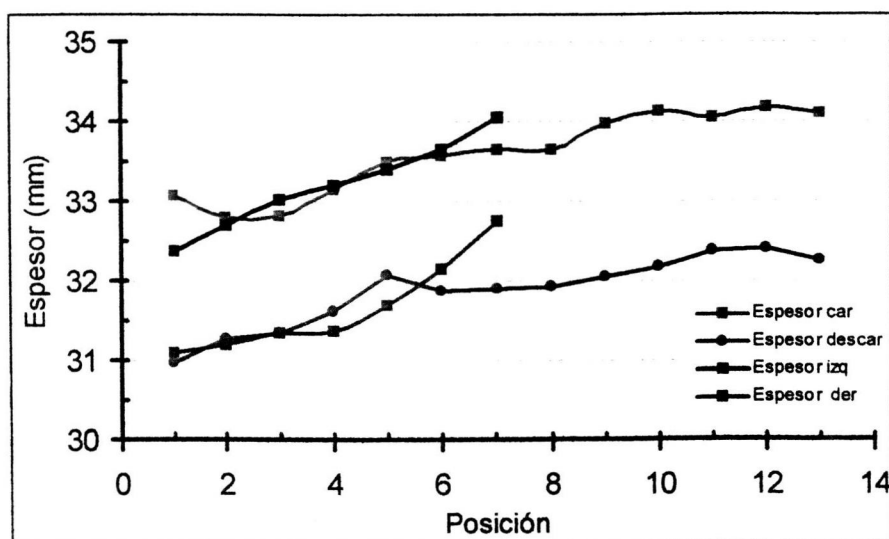
Al final del prensado de cada tablero se evaluó la calidad de adhesión mediante una inspección minuciosa de posibles delaminaciones y/o ponchaduras. Debido a que no se presentó ningún defecto de este tipo en ninguna de los tres secuelas de prensado, se considera que la tercer opción es la secuela óptima de prensado para el tableros de 34 mm de espesor tipo exterior.

4.8.6. Compactación en el tablero de 34 mm

En la Figura 33 se presenta la variación en espesor real del tablero de 34 mm de espesor después del proceso de prensado bajo las condiciones correspondientes a la primer opción de prensado (140°C, 174 y 121 psi por 20 y 15 min, respectivamente). Existe una

amplia variación en el espesor a lo largo y ancho del tablero, así como un comportamiento ascendente en los cuatro cantos, lo que indica que existe una descalibración en la presión del plato de la prensa.

También se aprecia que el espesor real del tablero (32.62 mm) es inferior al espesor nominal (35.26 mm) que implica una compactación del 7.5%. Este comportamiento es normal en la madera y en poco tiempo recuperará su dimensión original por efecto del hinchamiento producto de la absorción de humedad y de la capacidad que tiene la madera de recuperar su forma original siempre y cuando no se haya rebasado el límite plástico.

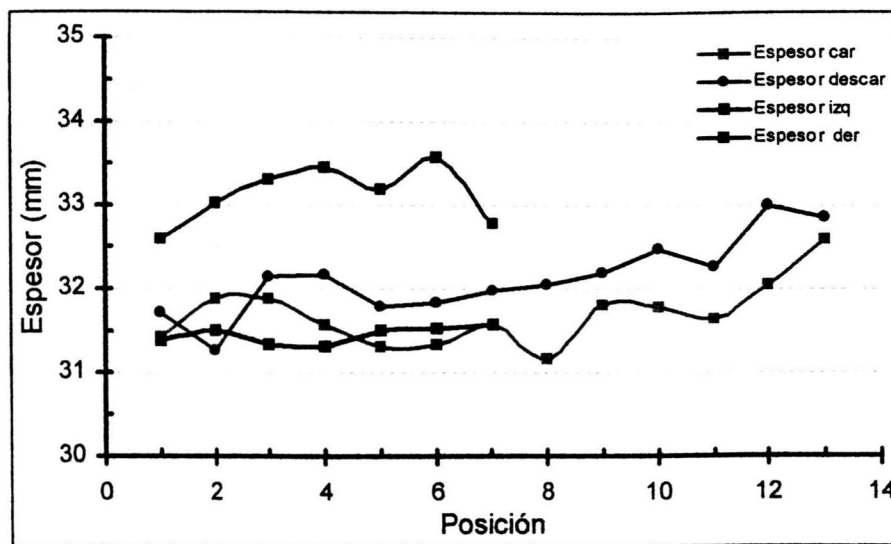


Nota: Espesor correspondiente al lado de: car = lado de la carga; descar = descarga; izq = izquierda vista desde el lado de la carga y der = lado derecho.

Figura 33. Espesor final del contrachapado de 34 mm, primer opción de prensado.

En la Figura 34 se ilustra la variación del espesor final del tablero de 34 mm de espesor elaborado bajo los siguientes parámetros de prensado (150°C, 189 y 121 psi por 20 y 10

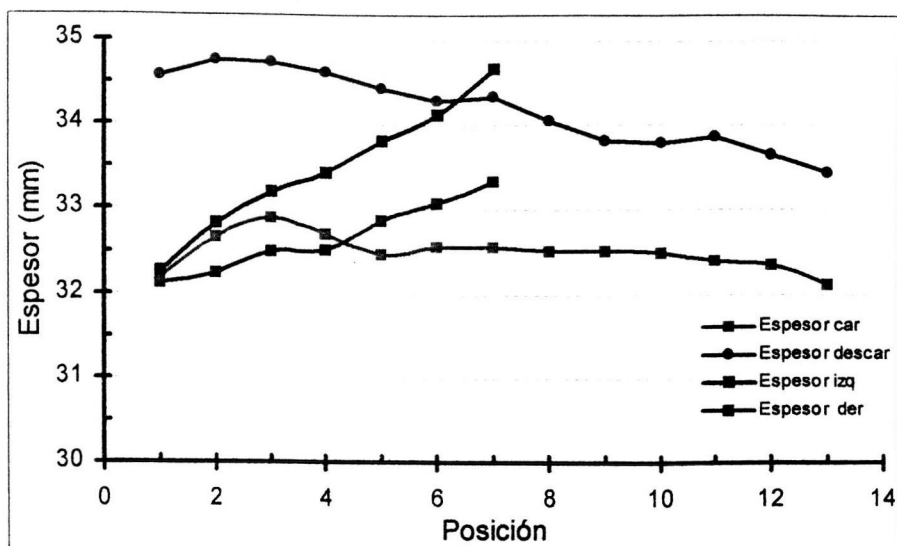
minutos, respectivamente), que correspondes a la segunda secuela de prensado. El espesor de la parte derecha es mayor que en los otros tres lados, lo que indica que existe el desajuste de la presión de los platos de la prensa. En promedio el tablero tiene un espesor real de 32.04 mm, y comparado con el espesor nominal (de acuerdo al espesor individual de cada capa) que es de 35.26 mm, que representa una compactación del 9.1%.



Nota: Espesor correspondiente al lado de: car = lado de la carga; descar = descarga; izq = izquierda vista desde el lado de la carga y der = lado derecho.

Figura 34. Espesor final del contrachapado de 34 mm, segunda opción de prensado.

En la Figura 35 se muestra el espesor real promedio que es de 33.24 mm, y el espesor nominal de 35.26 mm, que representa una compactación del 5.7%. Persiste la descalibración en la presión de los platos de la prensa. A pesar que las condiciones de prensado son más drásticas la compactación fue menor debido a que el tiempo de prensado fue menor (25 minutos) correspondiente a la tercer secuela de prensado (160 °C, 204 y 121 psi por 15 y 10 min, respectivamente).



Nota: Espesor correspondiente al lado de: car = lado de la carga; descar = descarga; izq = izquierda vista desde el lado de la carga y der = lado derecho.

Figura 35. Espesor final del contrachapado de 34 mm, tercera opción de prensado.

La ultima secuela de prensado tuvo un efecto menor sobre la compactación del tablero.

Este comportamiento es lógico ya que el contrachapado se mantiene durante 15 min bajo 204 psi de presión (Cuadro 22).

Cuadro 22. Compactación en los tableros de 34 mm de espesor bajo tres condiciones diferentes de prensado.

Espesor	Tiempo (min)		Temperatura (°C)	Presión (psi)		Compactación (%)
	alta	baja		alta	baja	
34	20	15	140	174	121	7.5
34	20	10	150	189	121	9.1
34	15	10	160	204	121	5.7

Del cuadro anterior se observa que la compactación es producto de la interacción de la presión alta que se ejerce sobre el tablero al inicio del prensado por tiempo prologado, esto coincide con lo reportado por Zavala, 1986 en tableros de 16 mm.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones de la presente investigación y posteriormente se hace una serie de recomendaciones para futuras investigaciones sobre la producción de tableros contrachapados (triplay).

Conclusiones

Elaborando los termopares de 90 cm de longitud, solamente se aprovecha el 67% del alambre (61 cm que quedan dentro del tablero), y el 33% se desperdicia.

Cuando el contenido de sólidos de la resina a base de fenol formaldehído es inferior al 30% no produce la suficiente resistencia de adhesión en tableros de 34 mm de espesor.

Las delaminaciones que se presentaron en los tableros de 34 mm de espesor tipo exterior se deben a que la presión del vapor en el centro del tablero además de afectar la polimerización del adhesivo, también supera la resistencia de adhesión.

La cantidad de adhesivo aplicada en los tableros de 34 mm tipo exterior es adecuada, ya que se aplicó en promedio la cantidad de 335 g/m² en DLP.

La variación en el tiempo de armado se debe a la calidad de las chapas empleadas, la habilidad de los ensambladores (personas encargadas de integrar el contrachapado) y la sincronización de actividades entre el alimentador de la engomadora y los ensambladores.

El tiempo promedio de cargado de la prensa fue de 1.19 y 1.57 min para los tableros de 15 mm de espesor de 5 y 7 capas, respectivamente. Se considera adecuado ya que no rebasan los 2 minutos que se establecen como un estándar en esta actividad. Además únicamente se está utilizando el 66.7% de la capacidad de la prensa (prensa de 30 platos o luces).

Transcurren 27.0 y 49.8 segundos desde el final del prensado hasta el inicio de la descarga en tableros de 15 mm de espesor de 5 y 7 capas, respectivamente. Este tiempo es crítico para los tableros tipo interior, por la degradación química que sufre la urea formaldehído al estar expuesta a altas temperaturas después de haber curado.

La descalibración en espesor de los tableros al salir de la prensa se debe a la variación en la uniformidad de la presión que ejercen los platos de la prensa sobre el contrachapado.

Existe un comportamiento bien definido en la temperatura de las líneas de pegamento, siendo mayor la temperatura en las líneas más externas y disminuye en las LP contiguas más internas. La LP más interna siempre presentó la temperatura más baja durante el proceso de prensado, por este motivo se debe considerar la temperatura de esta LP en la definición de secuelas de prensado.

Al principio del prensado existe un gradiente de temperatura muy alto, el cual va disminuyendo conforme transcurre el tiempo de prensado hasta equilibrarse la temperatura en todo el contrachapado al final del prensado.

A mayor espesor del contrachapado el tiempo de prensado es mayor debido a la baja conductividad térmica de la madera y la presión de vapor se vuelve más crítica cuando mayor es el espesor del tablero.

Aumentando del 29.9 al 32.1% el contenido de sólidos del adhesivo de fenol formaldehído, de 140 a 160 °C la temperatura y de 174 a 204 psi la presión de los platos de la prensa, se disminuyó un 28.6% el tiempo de prensado (de 35 a 25 min), la compactación se redujo en 1.8% (de 7.5 a 5.7%) y se eliminó la presencia de delaminaciones en tableros de 34 mm de espesor.

A mayor temperatura y presión de la prensa se favorece la transferencia de calor, lo cual acelera el fraguado del adhesivo y la evaporación de la humedad del centro del tablero.

A menor tiempo de prensado, la compactación del tablero es menor, aún cuando la temperatura y presión son mayores.

Recomendaciones

Cuando se requiera definir con precisión la secuela de prensado en tableros contrachapados, se debe medir el comportamiento de la temperatura, la presión de vapor y la resistencia de adhesión durante el proceso de prensado. Esto es indispensable en el desarrollo de nuevos productos, como fue el tablero de 34 mm.

Para optimizar los termopares, se deben preparar como se ilustra en la Figura 3, pero de 3 m o más de longitud y al finalizar el prensado cortar el alambre (termopar) lo más junto posible al contrachapado y de esta manera evitar la pérdida del 33% del alambre en cada termopar. Para volver a ser utilizado sólo será necesario unir y soldar el extremo donde se cortó y será nuevamente la parte sensible del termopar.

Para el desarrollo de nuevos productos (tablero de 34 mm tipo exterior) se recomienda primero analizar a nivel de laboratorio las variables de reactividad de la resina, contenido de humedad de la chapa, temperatura, presión y tiempo de prensado, ya que resulta más económico que experimentar en el proceso de producción normal de una empresa. Sin embargo, la información obtenida bajo condiciones reales de trabajo es más precisa.

Dar el mantenimiento preventivo y correctivo en las máquinas como lo indica el proveedor de la maquinaria, ya que cualquier desajuste en éstas, se refleja en la calidad del producto, (engomadora, prensa, lijadora, etc).

6. 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.
- BARBOSA., A. P.; E. B., MANO Y C. T., ANDRADE. 2000. Tannin-based resin modified to reduce wood adhesive brittleness. Forest Products Journal. 50(9): 89-92.
- CHOW P., S. 1998. Petroquímica y Sociedad. Fondo de Cultura Económica. México, s/p. (<http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.htm>).
- CONNER, H. A. 1996. Urea-formaldehyde adhesive resins. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8497-8501 pp. (WWW. fpl.fed.us/documents/pdf1996/conne96a.pdf).
- 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.
- LÓPEZ S., E. 2000. Propiedades físico-mecánicas de nueve tableros contrachapados de pino en tres fabricantes nacionales. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. 82 p.

MARRA, A. L. 1992. Technology of wood bonding: principles in practice. Van Nostrand Reinhold. U. S. A. 454 p.

NUTSCH, W. 2000. Tecnología de la Madera y del mueble. Edit. Revereté, S. A. España. 508 p.

PIZZI, A. 1994. Advanced wood adhesives technology. New York, NY: Marcel Dekker, Inc. 289 p.

STEINER, P. R.; G. E, TROUGHTON, Y A. W., ANDERSEN. 1993. Aqueous phenolic dispersions for bonding higher moisture content veneers. Forest Products Journal. 43(10):29-34.

STEINHAGEN, H. P. 1997. Thermal conductive properties of wood green or dry from -40° to $+100^{\circ}\text{C}$: a literature review. General Technical Report. FPL-9. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 10 p.

TERRY S., JR Y W. A., BOMBALL. 1990. Methyl glucoside as an extender/modifier for phenol-formaldehyde resin used to bond structural plywood. Forest Product Journal. 40(2):52-56.

TERRY S., JR; MILLER, G. D. Y WORLD, L. N. 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.

TORREY, KATIE S. 2001. Influence of conductive fillers on the physical properties of waferboard. Thesis Master of Science in Chemical Engineering. Michigan Technological University. 280 p.

TROUGHTON G. E. Y LUM, C. 2000. Pilot plant evaluation of steam-injection pressing for LVL and plywood products. *Forest Product Journal*. 50(1):25-28.

TRUJILLO A., G. 1993. Determinación de la secuela de acondicionamiento de madera para la obtención de chapa rebanada. Cía. de chapa Los Reyes, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. 87 p.

SANTANA, M. A. E.; BAUMANN, M. G. D. Y CONNER, A. H. 1996. Phenol-formaldehyde plywood adhesive resin prepared with liquefied bark of black wattle (*Acacia mearnsii*). *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 16(1), 1-19.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1996/santa96a.pdf>

U. S. 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. Rev. pp. 9-1 a 9-24.

WOLCOTT, M. P Y T. G., RIALS. 1995. In-situ cure monitoring of isocyanate adhesives using microdielectric analysis. *Forest Product Journal*. 45(2):72-77.

YONG-SUNG, OH Y TERRY S.,. 1999. Korean filler raw materials for plywood adhesives. *Forest Products Journal*. 49(3):61-64.

ZAVALA Z, D. 1986. Analysis of processes operative within plywood during hot pressing. Ph. D. Thesis. Oregon State University. 201 p.

ZAVALA Z, D. 1994. Diagnóstico de la industria de tableros contrachapados en el área metropolitana del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*. 18(74): 139-162.

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.

ZAVALA Z., D. S/f. Análisis tecnológico de triplay de 12, 15, 18 y 30 mm de espesor ensamblados con resina fenólica. Inédito. 8 p.

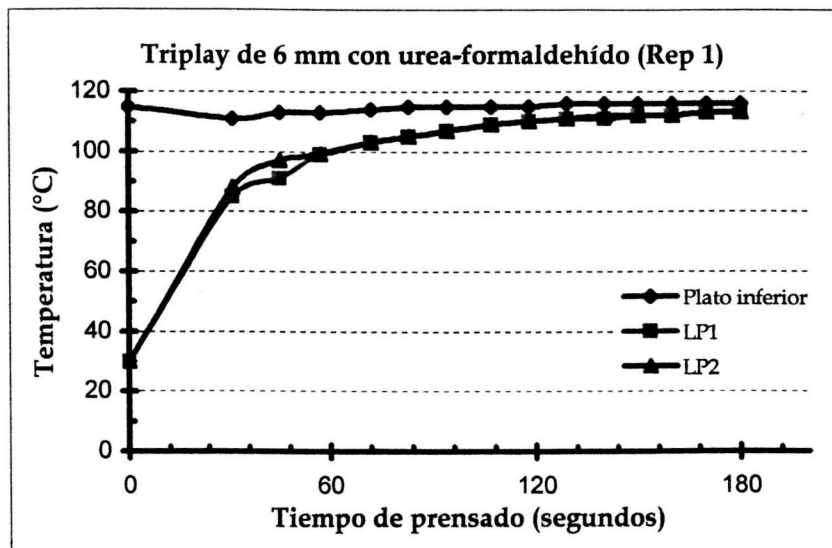
ANEXO 1

Contrachapado de 6 mm, tipo interior (UF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C		
	Plato inferior	LP1	LP2
0	115	30	30
31	111	85	88
45	113	91	97
57	113	99	99
72	114	103	103
83	115	105	105
94	115	107	107
107	115	109	109
118	115	110	110
129	116	111	111
140	116	111	112
150	116	112	112
160	116	112	112
170	116	113	113
180	116	113	113

3 min de prensado

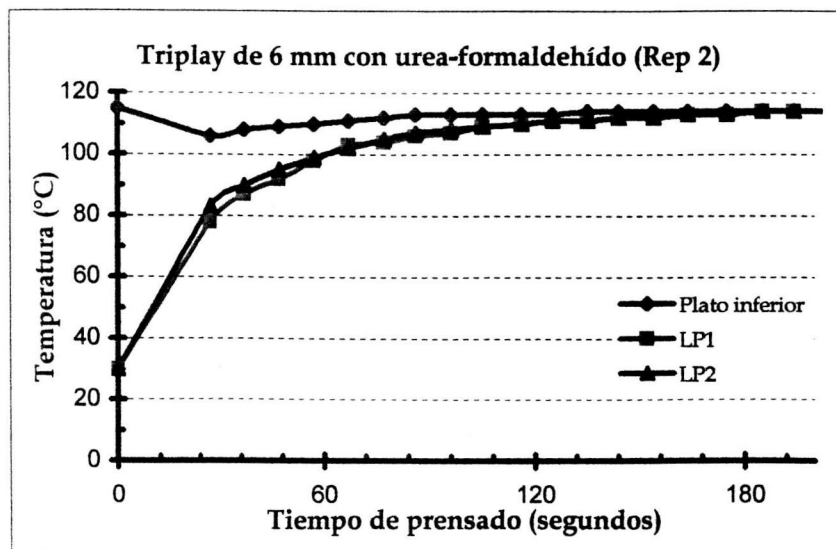
2 min de cargado (se atoraban los tableros al descargar)



Contrachapado de 6 mm, tipo interior (UF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C		
	Plato inferior	LP1	LP2
0	115	30	30
27	106	78	83
37	108	87	90
47	109	92	95
57	110	98	99
67	111	103	102
77	112	104	105
86	113	106	107
96	113	107	108
105	113	109	109
116	113	110	110
125	113	111	111
135	114	111	111
144	114	112	112
154	114	112	112
164	114	113	113
175	114	113	113
185	114	114	114
194	114	114	114
203	114	114	114

3.38 min de prensado



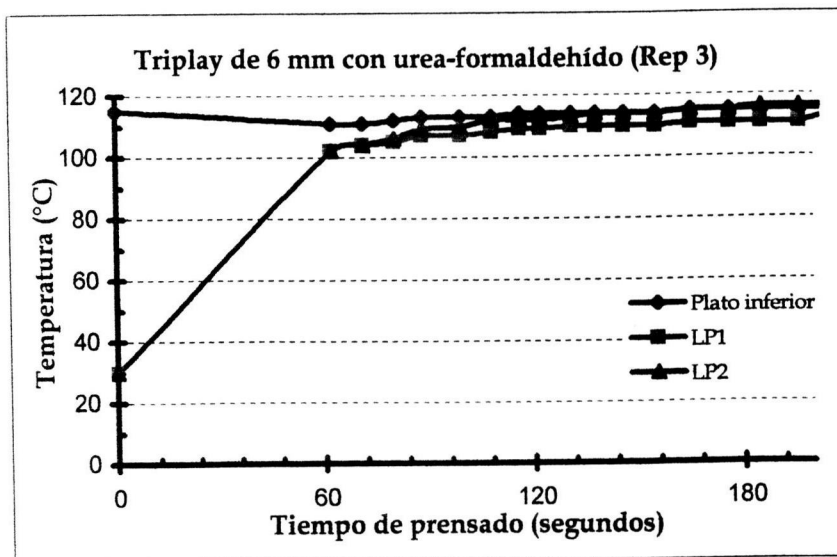
Contrachapado de 6 mm, tipo interior (UF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C		
	Plato inferior	LP1	LP2
0	115	30	30
62	111	102	102
71	111	104	104
80	112	105	106
88	113	107	109
99	113	107	110
108	113	108	112
116	114	109	112
122	114	109	112
131	114	110	113
138	114	110	114
146	114	110	114
155	114	110	114
165	115	111	115
176	115	111	115
185	115	111	116
196	115	111	116
204	115	113	116
212	115	112	116

4.86 min de prensado

1.33 min tardo en cerrar la prensa (problema mecánico)

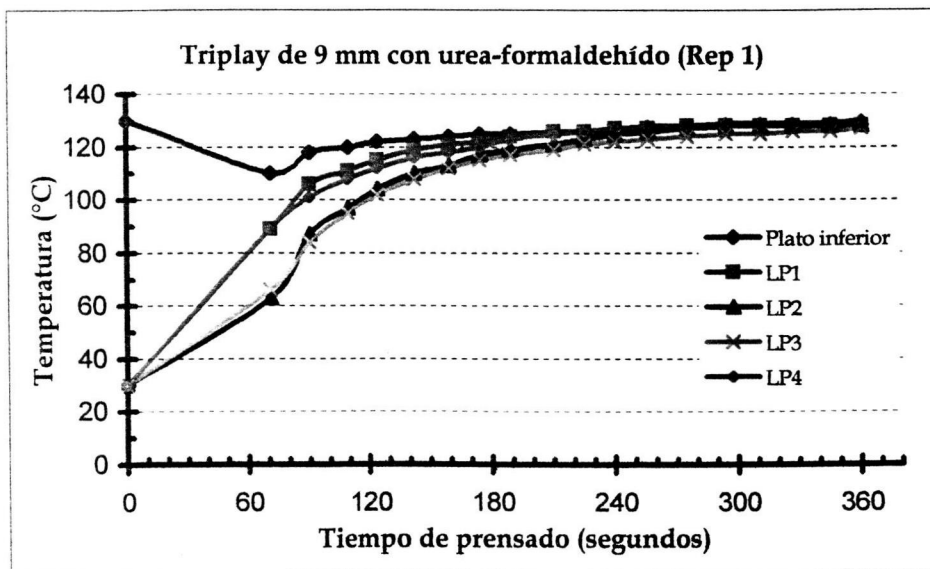
2.15 min tardo en descargar la prensa (problemas mecánicos)



Contrachapado de 9 mm, tipo interior (UF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Plato inferior	Temperatura en °C			
		LP1	LP2	LP3	LP4
0	130	30	30	30	30
71	110	89	63	66	89
90	118	106	87	84	101
109	120	111	97	95	108
124	122	115	104	102	112
142	123	119	110	108	116
159	124	121	113	112	118
174	125	122	117	115	120
189	125	124	119	117	123
210	126	126	121	119	125
225	126	126	123	121	126
240	126	127	125	122	127
256	127	127	126	123	128
275	128	128	127	124	128
294	128	128	128	125	129
311	128	128	128	125	129
327	128	128	128	126	129
345	128	128	128	126	129
360	128	128	128	127	130

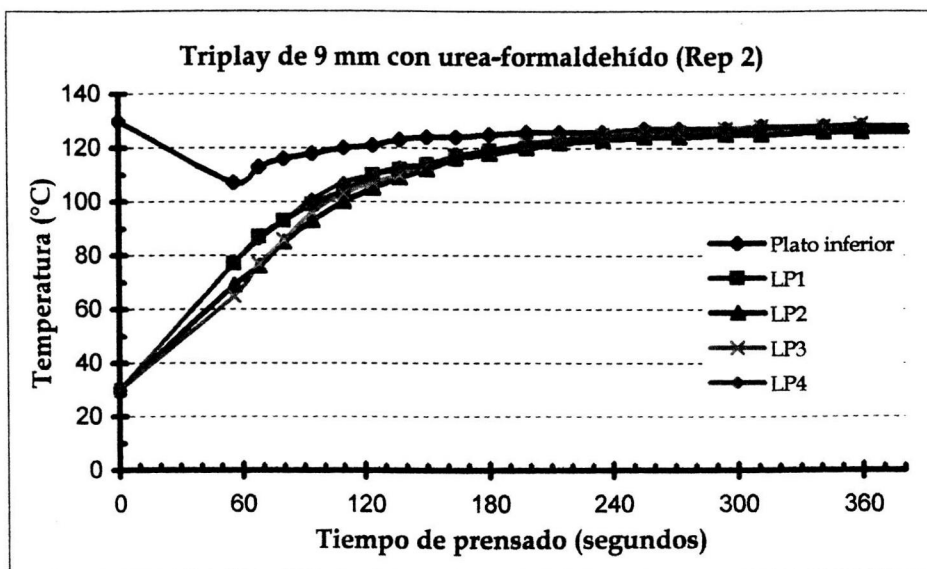
6 min de prensado



Contrachapado de 9 mm, tipo interior (UF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C				
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4
0	130	30	30	30	30
56	107	77	69	65	77
68	113	87	76	77	86
80	116	93	85	86	93
94	118	99	93	96	101
110	120	104	100	103	107
124	121	110	105	107	110
137	123	112	109	110	113
150	124	114	112	114	114
164	124	117	116	116	117
180	125	119	118	119	119
198	126	120	120	122	121
214	126	122	122	123	123
235	126	123	123	125	124
255	127	124	124	126	125
272	127	124	124	126	126
294	127	125	125	127	126
311	128	125	125	128	127
341	128	126	126	128	128
359	128	126	126	129	128
381	128	126	126		

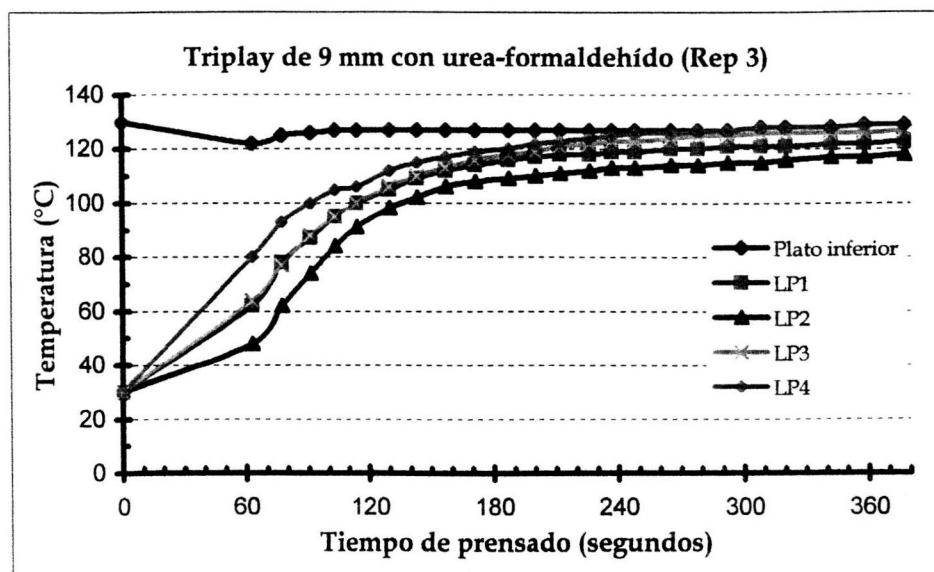
6.35 min de prensado



Contrachapado de 9 mm, tipo interior (UF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C				
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4
0	130	30	30	30	30
63	122	62	48	64	80
77	125	78	62	77	93
91	126	87	74	88	100
103	127	95	84	95	105
114	127	100	91	100	106
130	127	105	98	106	112
143	127	109	102	110	115
157	127	112	106	113	117
171	127	114	108	116	119
187	127	116	109	118	120
200	127	117	110	119	122
212	127	118	111	121	123
226	127	118	112	122	124
237	127	119	113	123	125
248	127	119	113	123	126
265	127	120	114	124	126
278	127	120	114	125	127
292	127	121	115	125	127
308	128	121	115	126	128
320	128	121	116	126	128
342	128	122	117	126	128
358	129	122	117	126	129
377	129	123	118	127	129

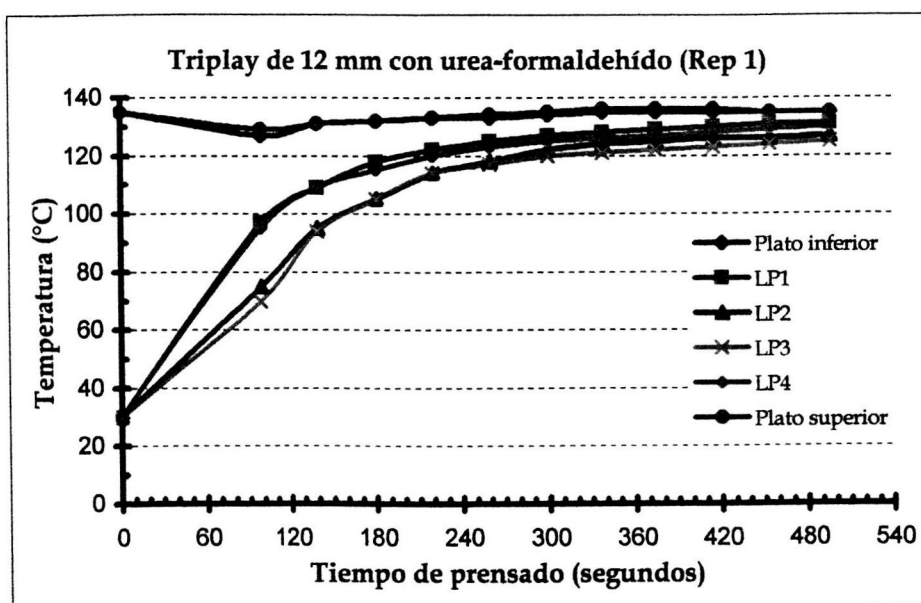
6.28 min de prensado



Contrachapado de 12 mm, tipo interior (UF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C					
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	Plato superior
0	135	30	30	30	30	135
98	127	97	75	70	95	129
139	131	109	95	94	109	131
180	132	118	105	105	115	132
219	133	122	114	114	120	133
259	133	125	118	117	123	134
299	134	127	122	120	125	135
337	135	128	124	121	126	136
374	135	129	125	122	127	136
414	135	130	126	123	128	136
453	135	131	126	124	129	135
495	135	131	127	125	130	135

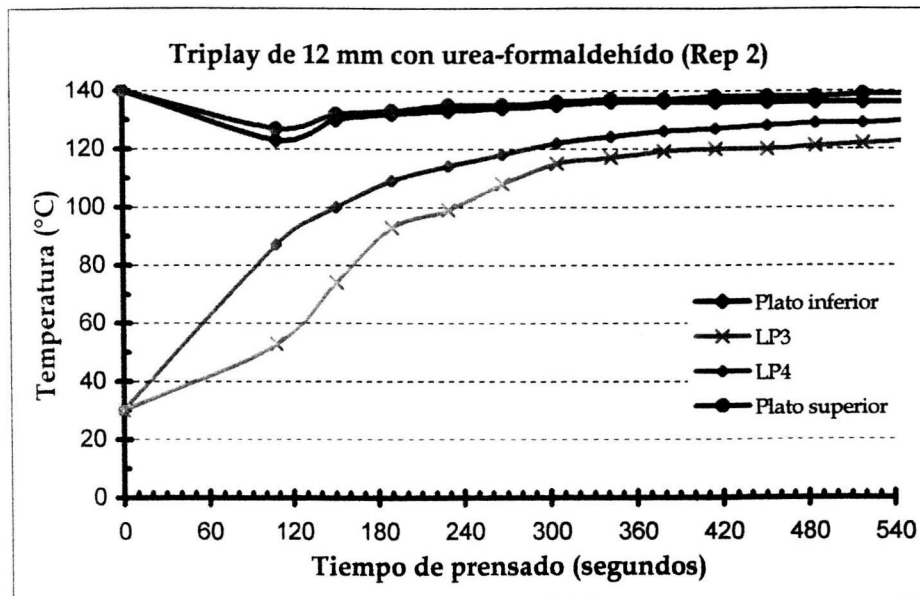
8.25 min de prensado



Contrachapado de 12 mm, tipo interior (UF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C				
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	Plato superior
0	140			30	140
108	123			53	127
151	130			74	132
190	132			93	133
229	133			99	135
267	134			108	135
305	135			115	136
342	136			117	137
379	136			119	137
415	136			120	138
451	136			120	138
485	136			121	138
518	136			122	139
555	136			123	139

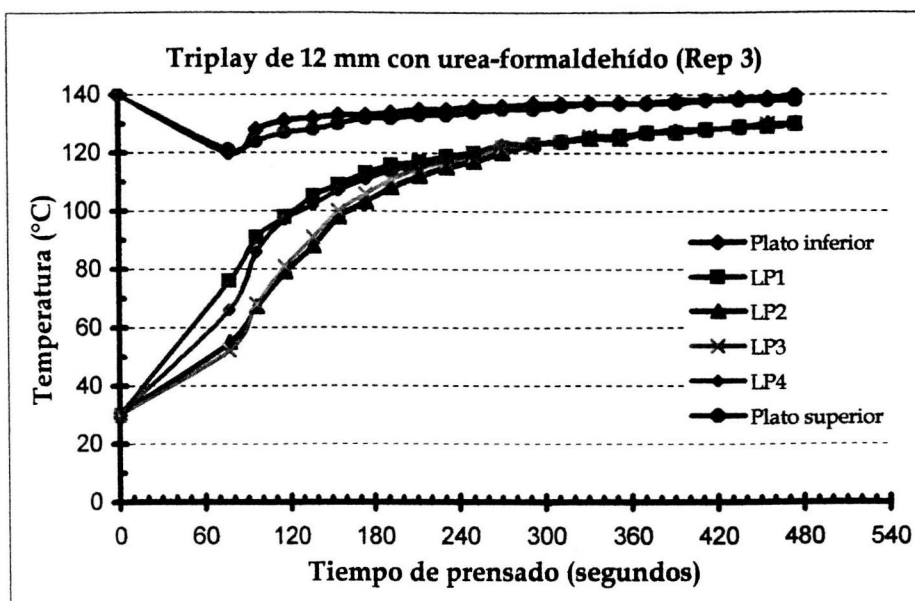
9.25 min de prensado



Contrachapado de 12 mm, tipo interior (UF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C					Plato superior
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	
0	140	30	30	30	30	140
77	120	76	55	52	66	121
96	128	91	67	68	86	124
116	131	98	79	81	97	127
137	132	105	88	91	102	128
155	133	109	98	100	107	130
174	133	113	103	106	111	132
192	134	116	108	111	114	132
212	135	117	112	115	116	133
231	135	119	115	117	118	133
250	136	120	117	119	120	134
270	136	122	120	122	123	135
292	137	123	123	123	123	135
311	137	124	124	124	124	136
331	137	125	125	126	126	137
352	137	126	125	126	126	137
371	137	127	127	127	127	137
391	138	127	127	127	128	137
412	138	128	128	128	128	138
435	139	129	129	129	129	138
455	139	129	130	130	130	138
474	140	130	130	130	130	138
7.90 min de prensado						

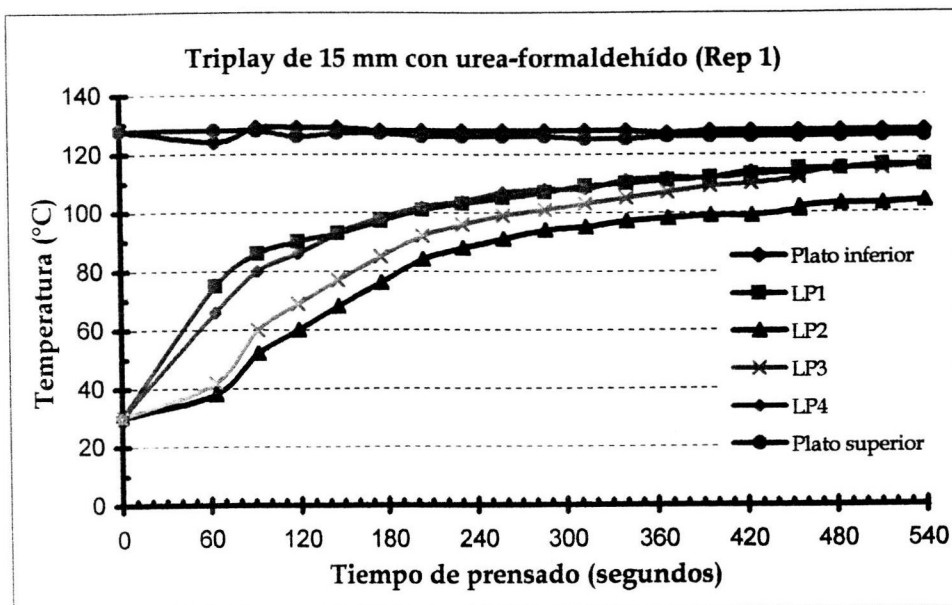
7.90 min de prensado



Contrachapado de 15 mm, tipo interior (UF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C					
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	Plato superior
0	128	30	30	30	30	128
64	124	75	38	42	66	128
92	129	86	52	60	80	128
119	129	90	60	69	86	126
146	129	93	68	77	93	127
176	128	97	76	85	98	127
204	128	101	84	92	102	126
231	128	103	88	96	104	126
258	128	105	91	99	107	126
286	128	107	94	101	108	126
313	128	109	95	103	108	125
340	128	110	97	105	111	125
367	127	111	98	107	112	126
395	128	112	99	109	112	126
423	128	113	99	110	114	126
455	128	114	101	112	114	126
455	128	115	102	113	115	126
483	128	115	103	115	115	126
511	128	116	103	115	116	126
539	128	116	104	116	116	126

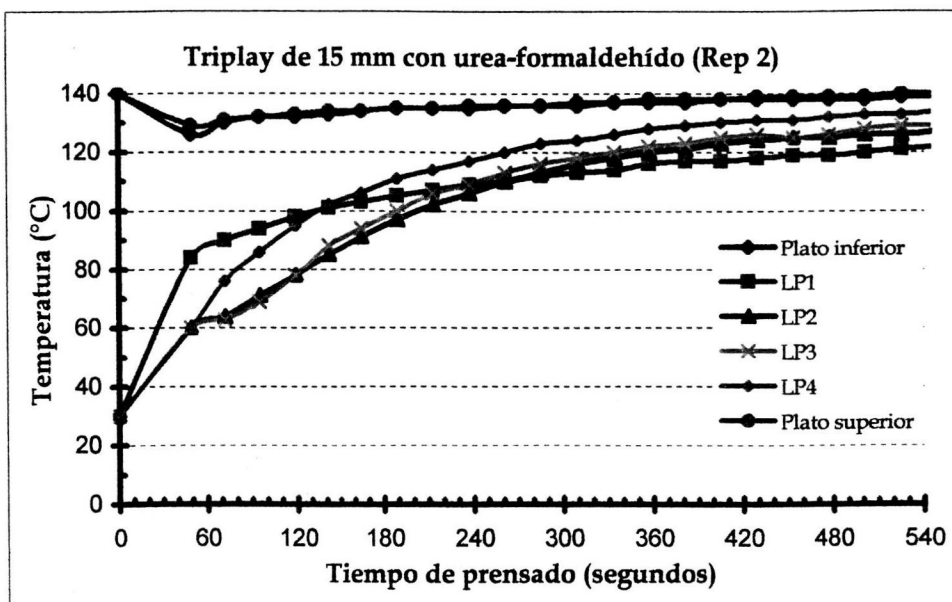
8.98 min de prensado



Contrachapado de 15 mm, tipo interior (UF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C					
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	Plato superior
0	140	30	30	30	30	140
49	126	84	60	60	60	129
72	130	90	64	63	76	131
95	132	94	71	69	86	132
119	132	98	78	78	95	133
142	133	101	85	88	102	134
165	134	103	91	94	106	134
189	135	105	97	100	111	135
213	135	107	102	106	114	135
237	135	109	106	109	117	136
261	136	110	110	113	120	136
285	136	112	113	116	123	136
309	136	113	116	118	124	137
334	137	114	118	120	126	137
357	137	116	120	122	128	138
381	137	117	121	123	129	138
405	138	117	123	125	130	138
429	138	118	124	126	131	139
453	138	119	125	125	131	139
477	138	119	125	126	132	139
501	138	120	126	128	133	139
525	139	121	126	129	133	140
549	139	122	127	129	134	140

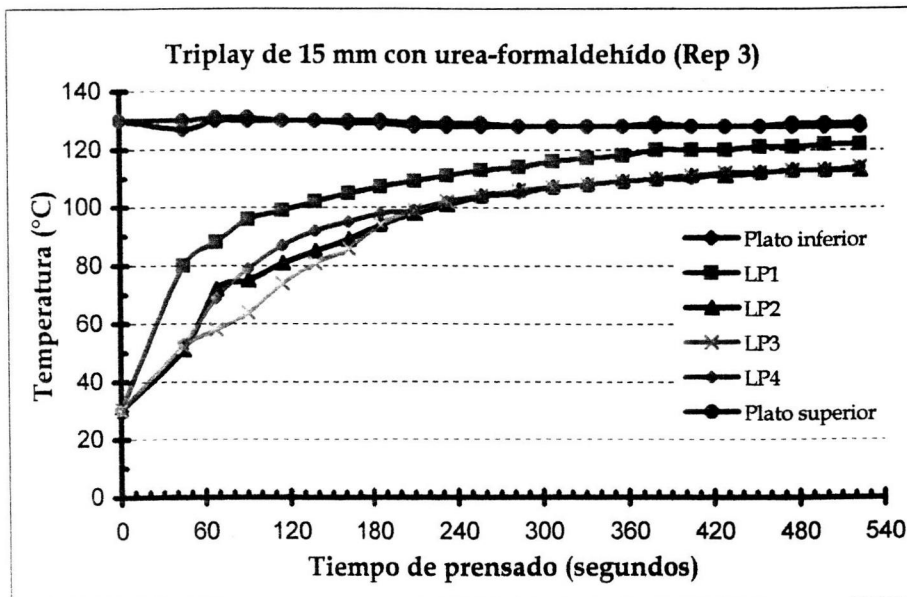
8.98 min de prensado



Contrachapado de 15 mm, tipo interior (UF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C					
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	Plato superior
0	130	30	30	30	30	130
45	127	80	51	52	53	130
68	130	88	72	58	69	131
91	130	96	75	64	79	131
115	130	99	81	74	87	130
138	130	102	85	81	92	130
162	129	105	89	86	95	130
186	129	107	94	94	98	130
210	128	109	98	99	99	129
233	128	111	101	102	102	129
257	128	113	104	104	104	129
283	128	114	106	106	105	128
307	128	116	107	107	107	128
331	128	117	108	108	108	128
356	128	118	109	109	109	128
379	128	120	110	110	110	129
404	128	120	111	111	110	128
428	128	120	111	112	112	128
452	128	121	112	112	112	128
475	128	121	113	113	113	129
498	128	122	113	113	113	129
523	128	122	113	114	114	129

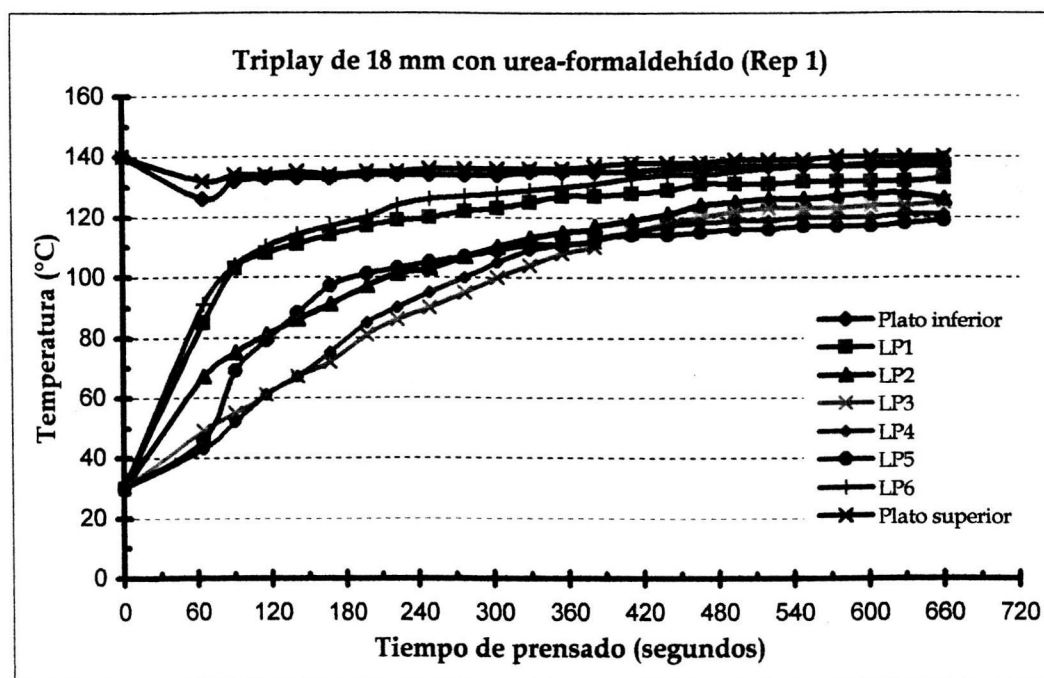
8.72 min de prensado



Contrachapado de 18 mm, tipo interior (UF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C							Plato superior
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	
0	140	30	30	30	30	30	30	140
65	126	85	67	49	43	46	91	132
91	132	103	75	55	52	69	104	134
116	133	108	81	61	61	79	110	134
141	133	111	86	67	67	88	114	135
167	133	114	91	72	75	97	117	134
197	134	117	97	81	85	101	120	135
223	134	119	101	86	90	103	124	135
249	134	120	103	90	95	105	126	136
277	134	122	107	95	100	107	127	136
303	134	123	110	100	105	109	128	136
329	135	125	113	104	109	111	129	136
355	135	127	115	108	111	111	130	136
381	135	127	116	110	112	112	131	137
381	135	127	117	112	113	113	131	137
410	135	128	119	115	115	114	133	138
439	136	129	121	118	117	114	134	138
465	136	131	124	120	118	115	134	138
493	137	131	125	122	119	116	135	139
520	137	131	126	123	119	116	136	139
548	137	132	126	123	120	117	137	139
575	137	132	127	123	120	117	137	140
602	137	132	128	124	120	117	138	140
629	137	132	128	124	121	118	138	140
660	137	133	126	125	121	119	139	140

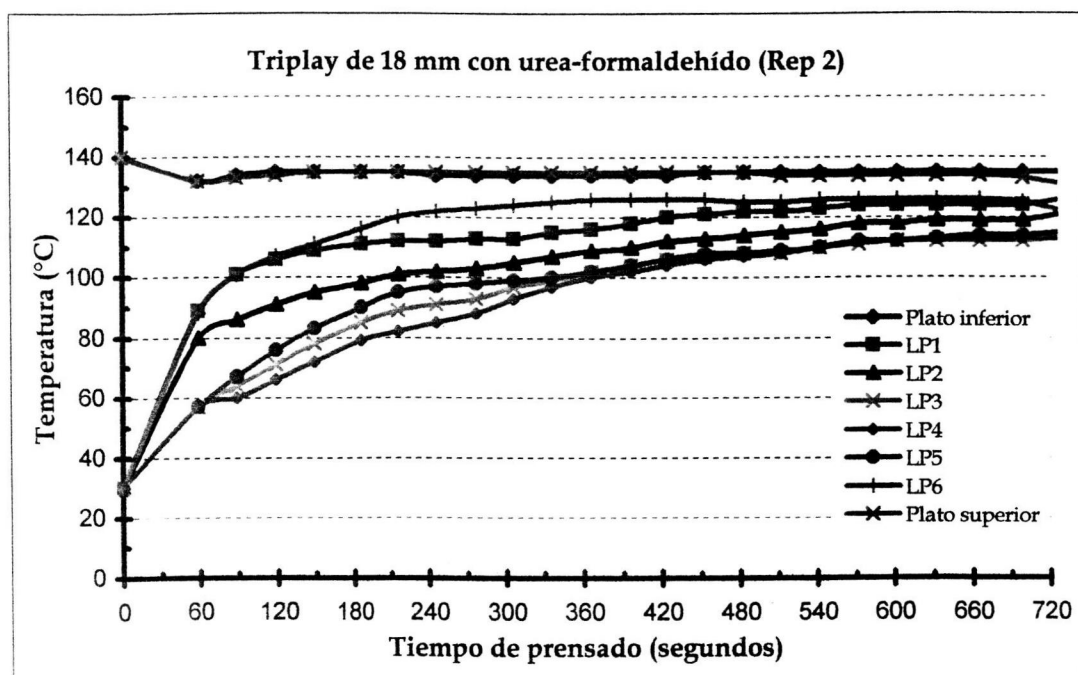
11.00 min de prensado



Contrachapado de 18 mm, tipo interior (UF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C							Plato superior
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	
0	140	30	30	30	30	30	30	140
59	132	89	80	57	57	57	88	132
89	134	101	86	64	60	67	101	133
119	135	106	91	71	66	76	107	134
149	135	109	95	78	72	83	111	135
186	135	111	98	85	79	90	116	135
216	135	112	101	89	82	95	120	135
246	134	112	102	91	85	97	122	135
277	134	113	103	93	88	98	123	135
306	134	113	105	97	93	99	124	135
336	134	115	107	99	97	100	125	135
366	134	116	109	102	100	102	126	135
396	134	118	110	104	102	104	126	135
424	134	120	112	106	104	106	126	135
453	135	121	113	107	106	108	126	135
483	135	122	114	108	107	108	125	135
512	135	122	115	108	108	109	125	134
542	135	123	116	110	110	110	126	134
572	135	124	118	111	112	112	126	134
602	135	124	118	112	112	112	126	134
632	135	124	119	112	113	113	126	134
665	135	124	119	112	113	114	126	134
698	135	124	119	112	113	114	125	133
728	135	126	121	113	113	115	122	131

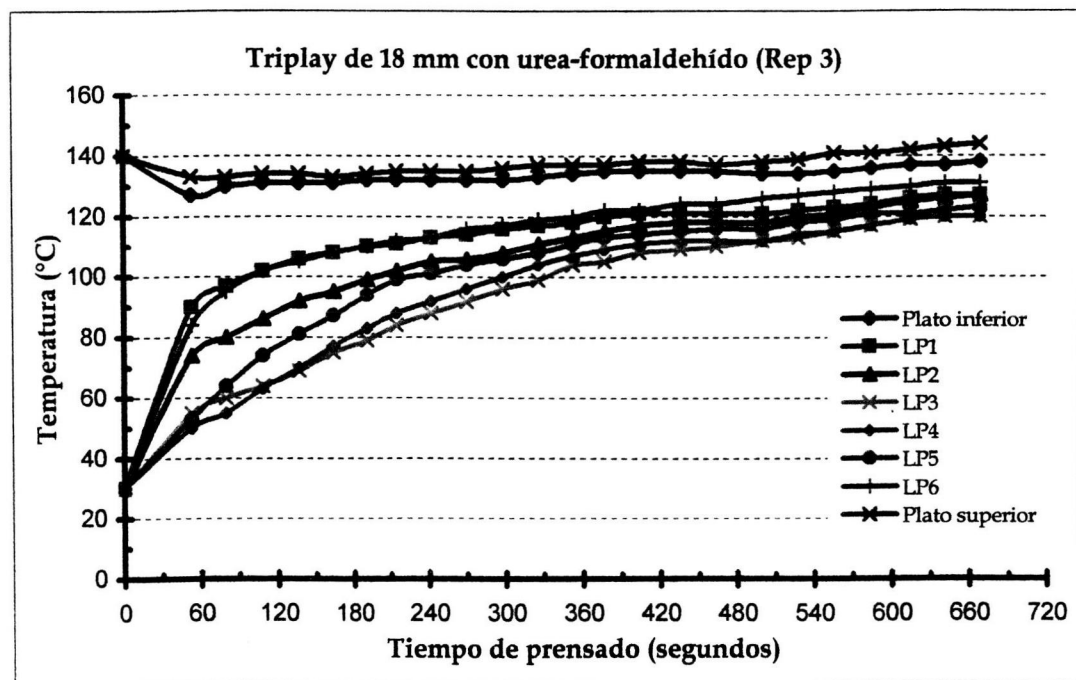
12.13 min de prensado



Contrachapado de 18 mm, tipo interior (UF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C							Plato superior
	Plato inferior	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	
0	140	30	30	30	30	30	30	140
53	127	90	74	55	50	53	84	133
80	130	97	80	60	55	64	95	133
109	131	102	86	64	63	74	102	134
137	131	106	92	69	70	81	105	134
164	131	108	95	75	77	87	108	133
191	132	110	99	79	83	94	110	134
215	132	111	102	84	88	99	112	135
242	132	113	105	88	92	101	113	135
270	132	114	106	92	96	104	116	135
298	132	116	108	96	100	106	117	136
326	133	117	111	99	104	108	119	137
353	134	118	113	104	107	111	120	137
377	135	120	115	105	109	113	122	137
404	135	121	117	108	111	114	122	138
436	135	121	118	109	112	115	124	138
464	135	121	118	110	112	116	124	137
500	134	121	118	112	112	116	126	138
528	134	122	120	113	114	118	127	139
556	135	123	121	115	115	119	128	141
585	136	124	123	117	117	121	129	141
615	137	126	125	119	119	121	130	142
642	137	127	126	120	120	122	131	143
669	138	127	127	120	120	123	131	144

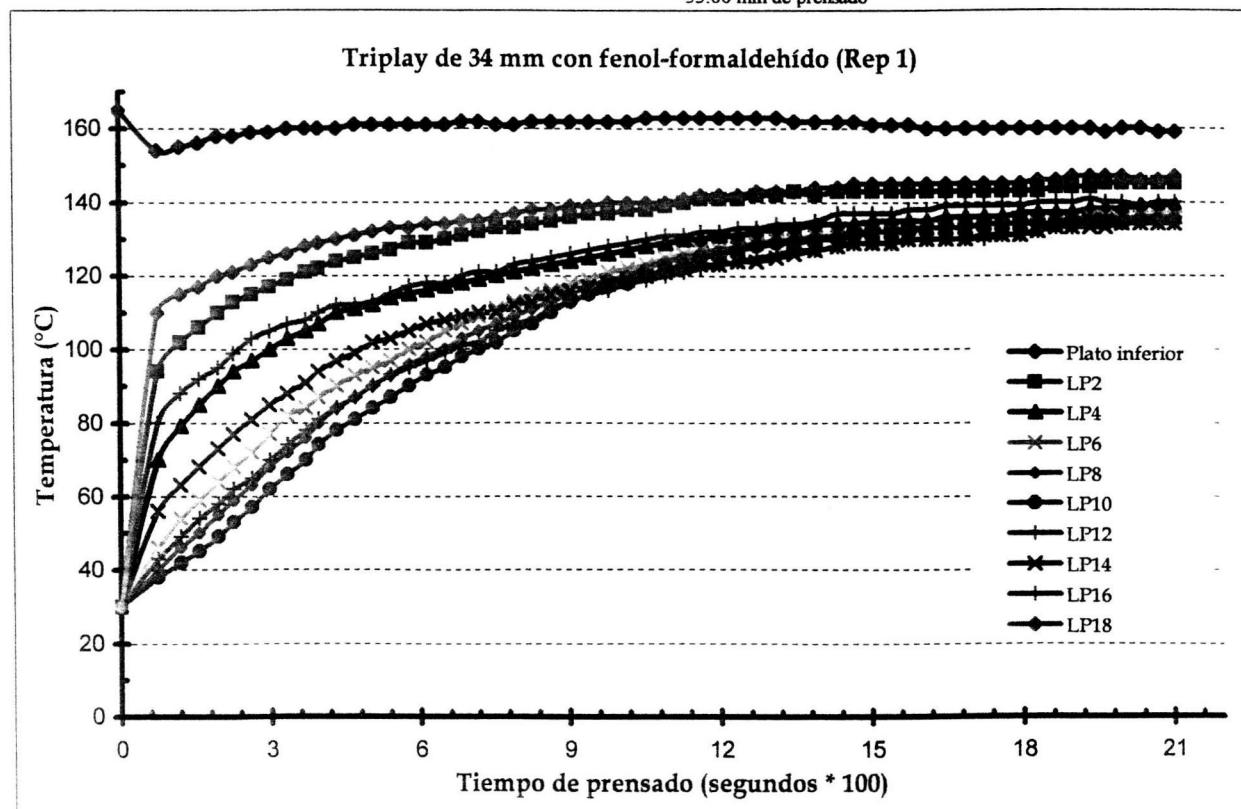
11.15 min de prensado



Contrachapado de 34 mm, tipo exterior (FF). Primera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C										Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C									
	Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18		Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18
0	165	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1091	163	139	129	125	124	122	120	121	131	140
76	154	94	70	46	40	38	43	56	80	110	1127	163	140	130	126	125	123	121	122	131	141
122	155	102	79	54	46	42	49	63	88	115	1160	163	141	130	127	126	125	122	123	132	142
159	156	106	85	59	50	45	54	68	92	117	1197	163	141	131	127	127	126	123	123	132	142
196	158	110	90	64	55	49	58	73	95	120	1234	163	141	131	128	128	127	124	124	133	142
227	158	113	94	68	59	53	62	77	99	121	1271	163	142	132	129	128	128	125	124	133	143
264	159	115	97	72	63	57	65	81	103	123	1310	163	142	133	130	129	129	126	125	134	143
299	159	117	100	77	68	62	70	85	105	125	1345	162	143	133	130	130	129	127	126	134	143
335	160	119	103	82	72	66	74	88	107	126	1387	162	142	134	131	130	130	127	127	135	144
372	160	121	105	84	76	70	78	91	108	128	1432	162	143	134	131	131	130	128	128	137	144
397	160	122	107	87	80	74	81	94	110	129	1465	162	143	134	132	132	131	129	129	137	145
434	160	124	110	90	84	78	84	97	112	130	1501	161	143	135	132	132	132	129	129	137	145
471	161	125	111	93	87	81	87	99	112	131	1539	161	143	135	132	132	132	129	129	137	145
506	161	126	112	95	90	84	90	102	113	132	1574	161	143	135	132	132	133	130	130	138	145
542	161	127	114	97	93	87	93	103	115	133	1611	160	143	135	133	133	133	130	130	138	145
578	161	129	115	100	96	90	95	105	117	133	1649	160	143	136	133	133	133	130	130	139	145
614	161	129	116	102	98	93	97	107	118	134	1687	160	143	136	133	133	133	130	130	139	145
650	161	130	117	105	100	95	99	108	118	134	1723	160	143	136	134	134	134	130	131	139	145
685	162	131	118	107	103	98	101	109	120	135	1759	160	143	136	134	134	134	131	131	139	145
720	162	132	119	109	105	100	102	110	121	135	1794	160	143	137	134	134	134	131	131	139	145
756	161	133	120	111	107	102	105	110	121	136	1829	160	143	137	134	134	134	132	132	140	146
791	161	133	121	113	109	105	107	112	123	137	1864	160	144	137	134	134	134	133	133	140	146
827	162	134	122	115	111	107	108	113	124	138	1896	160	144	137	135	135	135	133	133	140	147
865	162	135	123	116	113	110	111	115	125	138	1931	160	144	138	136	135	134	134	133	141	147
903	162	136	124	118	115	113	113	116	126	139	1962	159	145	138	136	135	134	134	133	140	147
940	162	137	125	119	117	115	115	117	127	139	1994	160	145	138	135	135	134	134	134	140	147
978	162	137	126	121	119	117	116	118	128	140	2031	160	145	139	136	136	135	134	134	139	146
1016	162	138	127	122	120	118	118	119	129	140	2067	159	145	139	136	136	135	134	134	140	146
1053	163	138	128	123	122	120	119	120	130	140	2100	159	145	139	136	136	135	134	134	140	147

35.00 min de prensado

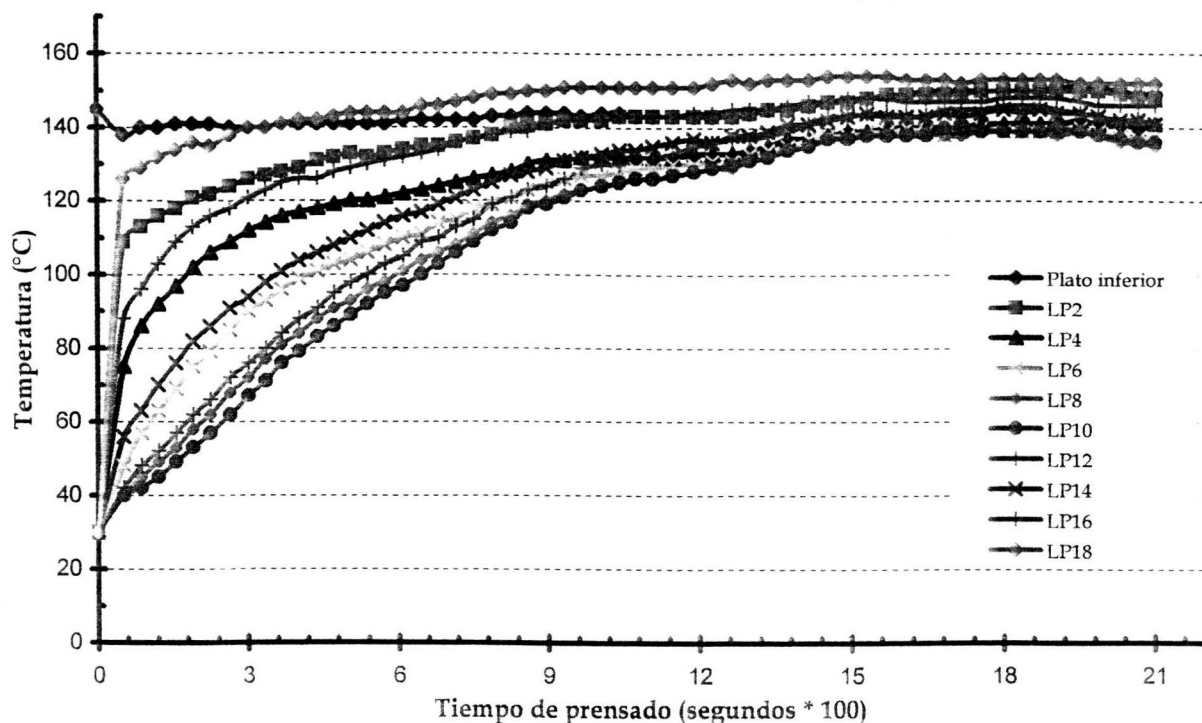


Contrachapado de 34 mm, tipo exterior (FF). Segunda repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C										Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C									
	Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18		Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18
0	145	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1041	144	143	132	128	125	125	130	134	143	151
53	138	109	75	48	40	40	42	56	88	126	1073	143	143	132	129	126	126	132	134	143	151
88	140	113	86	57	45	42	48	63	96	129	1108	143	143	132	129	126	126	132	135	143	151
123	140	116	92	63	49	45	52	70	103	132	1147	143	143	132	130	127	127	133	136	143	151
158	141	118	97	69	53	49	57	76	109	134	1188	143	143	133	130	128	128	135	137	144	151
192	141	121	102	75	58	53	62	82	113	136	1225	143	143	133	131	129	129	136	136	144	152
227	141	122	106	79	62	57	66	86	116	135	1264	143	143	133	131	129	130	137	138	145	153
266	140	124	109	85	68	62	72	91	118	138	1299	144	144	134	133	131	131	137	138	145	152
302	140	126	112	90	72	67	76	94	121	140	1334	145	145	135	134	132	132	138	139	145	153
337	140	127	114	93	77	71	80	98	123	140	1374	145	145	137	135	134	134	139	141	146	153
368	141	128	116	96	81	76	84	101	125	141	1415	146	146	137	137	135	135	141	141	147	153
404	141	129	117	99	84	79	88	104	126	142	1453	147	147	138	138	137	137	143	142	147	154
440	141	131	118	101	88	83	91	106	126	142	1492	147	147	139	138	137	137	143	143	148	154
474	141	132	119	103	91	86	95	108	128	143	1530	148	148	139	139	138	138	144	144	148	154
506	141	133	120	104	93	89	98	110	129	144	1569	149	149	140	139	138	138	144	143	148	154
539	141	132	120	106	96	92	100	112	130	144	1607	149	149	140	140	138	138	143	143	147	153
574	141	133	121	108	98	95	103	114	131	144	1646	150	149	140	139	139	138	143	143	147	153
609	142	134	122	110	101	97	105	116	132	144	1682	150	149	140	138	138	140	145	144	147	153
645	142	135	123	111	104	100	109	117	133	146	1715	150	149	140	139	138	140	145	143	147	152
680	142	135	124	114	106	103	110	119	134	146	1755	150	150	141	140	139	139	145	144	147	153
716	142	136	125	115	108	106	113	121	136	147	1799	150	150	141	139	139	139	146	145	148	153
752	142	137	126	118	111	109	115	123	137	148	1835	150	150	141	139	139	139	146	144	148	153
789	143	138	127	119	114	112	119	125	138	149	1871	150	150	141	139	139	139	146	145	148	153
826	143	140	128	121	116	114	121	127	139	149	1904	151	150	141	139	138	140	145	144	148	153
859	144	141	130	123	119	118	123	128	139	150	1950	151	150	142	140	139	139	144	144	147	152
896	144	141	131	125	120	119	124	129	141	150	1986	151	150	141	139	138	138	143	143	146	152
932	144	142	131	126	122	121	126	131	142	151	2030	150	149	141	138	136	137	141	142	146	152
965	143	142	132	127	123	123	129	132	142	151	2066	149	148	140	137	136	136	142	142	146	152
1005	144	142	132	127	124	124	130	133	142	151	2100	149	148	141	138	135	136	141	141	146	152

35 min de prensado

Triplay de 34 mm con fenol-formaldehído (Rep 2)



Contrachapado de 34 mm, tipo exterior (FF). Tercera repetición

Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C										Tiempo de prensado (seg)	Temperatura en °C									
	Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18		Plato inferior	LP2	LP4	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	LP16	LP18
0	145	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1099	142	139	129	126	122	122	127	130	137	147
108	133	93	62	45	40	38	40	51	81	118	1134	142	139	130	127	127	125	127	131	138	147
141	136	105	72	50	43	41	45	58	89	123	1168	142	140	131	129	125	125	128	132	138	147
174	137	110	79	56	46	43	49	64	96	126	1201	143	141	133	130	126	126	129	132	139	147
207	138	113	85	61	50	46	53	69	100	127	1238	144	142	133	130	127	127	130	133	139	147
240	138	116	91	65	53	50	57	74	105	129	1272	144	143	134	131	128	128	131	134	140	147
273	139	118	95	70	58	54	62	79	109	131	1306	144	143	134	132	129	129	131	134	140	148
307	139	119	98	75	61	57	67	83	112	132	1341	144	143	135	132	129	129	131	134	140	148
341	140	121	101	78	65	61	71	86	114	133	1375	144	144	136	133	130	130	131	135	140	148
375	140	122	103	82	69	66	75	90	116	135	1409	144	144	137	134	131	131	131	134	140	147
408	140	124	106	86	73	69	79	93	117	135	1443	145	145	137	134	131	131	132	135	140	147
442	140	124	107	89	76	73	83	96	119	136	1481	145	145	137	135	132	132	132	135	141	147
475	140	126	110	92	80	77	86	98	120	137	1516	145	145	138	135	132	133	133	135	141	147
509	141	127	110	96	84	80	89	101	121	137	1551	145	145	138	135	133	133	133	136	141	147
544	141	128	112	99	88	84	93	104	122	138	1586	145	145	138	135	133	133	133	136	141	148
578	141	129	114	102	91	88	96	106	123	138	1620	145	145	138	135	133	133	133	136	141	148
612	141	130	114	104	95	91	98	108	124	139	1654	145	145	138	139	133	133	133	136	141	148
646	141	130	116	107	97	94	101	111	126	140	1688	145	145	139	136	133	133	133	136	142	148
680	141	131	117	109	100	97	104	113	127	141	1722	145	145	139	136	133	133	134	136	142	149
714	141	132	118	111	102	99	107	114	128	140	1756	145	145	139	136	133	133	134	136	142	149
748	141	132	119	112	105	102	110	117	129	142	1790	146	146	139	136	133	134	134	136	142	149
790	141	133	120	114	108	106	113	120	130	143	1825	146	146	139	137	134	134	134	136	142	149
824	141	134	121	116	110	108	115	122	132	144	1858	146	146	139	136	134	134	134	136	142	149
858	142	135	122	118	112	111	117	123	133	144	1891	146	146	140	136	134	134	134	137	142	149
892	142	136	124	119	114	113	119	124	133	145	1925	146	147	140	137	134	134	135	137	143	149
925	142	136	124	120	115	115	120	125	134	145	1964	147	147	140	137	134	135	135	137	143	148
962	142	136	125	122	117	117	123	127	135	145	1998	147	147	140	137	134	135	136	138	143	149
996	142	137	127	123	119	119	124	127	135	146	2032	147	147	140	137	134	135	136	138	143	150
1030	142	137	127	124	120	120	125	128	136	146	2066	147	147	140	137	134	135	136	138	143	150
1064	142	138	128	125	125	121	126	129	136	147	2100	147	147	140	137	134	135	136	138	144	150

35 min de prensado

