

# EFFECTO DEL CATALIZADOR EN LAS PROPIEDADES DE TABLEROS DE PARTICULAS CON MADERA DE TEPA

Anibal Pinto S. (\*)  
Hernán Poblete W. (\*\*)

## RESUMEN

*La madera de tepa (**Laurelia philippiana** Looser) presenta algunas características, como su baja densidad y su valor de pH, que resultan negativas en la fabricación de tableros de partículas con ureaformaldehído. En el presente estudio se corrigió el ambiente desfavorable para el fraguado, aumentando la cantidad de catalizador ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).*

*Los tableros se confeccionaron de un espesor de 16 mm y de una sola capa, con partículas del tipo capa media. La densidad calculada fue  $650 \text{ kg/m}^3$ .*

*El factor de encolado fue del 8 % de resina seca, en relación al peso anhidro de las partículas. El cloruro de amonio (en solución al 20%) fue agregado en 6 niveles diferentes; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 y 3.0 % (base resina sólida) y un testigo sin catalizador.*

*Los resultados indican que al aumentar el nivel de catalizador se reducen las propiedades hinchamiento y absorción de agua. Paralelamente se provoca un incremento de las resistencias mecánicas.*

*La cantidad óptima de catalizador se encontraría entre 2.0 y 3.0 %.*

(\*) Forestal Tornagaleones, Chumpullo s/n, Valdivia, Chile.

(\*\*) Instituto Tecnología de Productos Forestales, U. Austral de Chile, Casilla 853, Valdivia, Chile.

## ABSTRACT

Due to some basic characteristics of the wood, such as acidity and density, "Tepa" (*Laurelia philippiana* Lossen) is known to be unsuitable for particleboard production with ureaformaldehyde as adhesive. In this study the unfavourable environment for hardening of ureaformaldehyde was modified by correcting the pH value, and by increasing the amount of catalyst ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Single layer particleboards with the following characteristics were made:

Thickness	:	16 mm
Density	:	650 kg/m <sup>3</sup>
Adhesive amount	:	8%

Ammonium chloride (20 % solution) was applied at six different levels; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 and 3,0 percent based on the solid weight of resin. Boards without  $\text{NH}_4\text{Cl}$  were also tested as control.

An increasing amount of ammonium chloride provides reduction in thickness swelling and water absorption, while mechanical properties increase.

The best effect on board properties seems to be produced with  $\text{NH}_4\text{Cl}$  amounts of between 2,0 and 3,0 %.

## INTRODUCCION

La madera de tepa es una materia prima que al ser utilizada para la producción de tableros de partículas con ureaformaldehído no da buenos resultados. Estudios realizados con esta especie indican que, debido a la baja densidad de la madera, debe ser sometida a compresiones muy altas para alcanzar las densidades y espesores deseados en el tablero. Además, a menor densidad de madera menor cantidad de resina disponible, ya que aumenta la superficie interna del material convertido en partículas (Poblete y Peredo, 1990).

La madera de tepa presenta también un grado de acidez que es desfavorable para el fraguado de la ureaformaldehído. Poblete et al. (1991) midieron el valor de pH en madera de tepa, con y sin falso duramen, y con 3 diferentes contenidos de humedad. La madera sin mancha poseía un pH más ácido (6.68 a 5.73) que la con falso duramen (7.35 a 7.14). Los valores de pH de tepa son los más alcalinos dentro de las especies nativas chilenas (Albin, 1975).

Poblete y Zarate (1986) indican que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos, siguen su curso óptimo con un determinado rango de pH, el que es específico para cada adhesivo. La ureaformaldehído requiere de un pH entre 3 y 3.5 con lo que resulta evidente que la madera de tepa no es adecuada para ser tratada con este adhesivo.

Son varios los investigadores que señalan que en la fabricación de tableros de partículas se requiere de un pH específico, el que normalmente debe ser ajustado agregando al adhesivo sustancias catalizadoras (Parameswaran, 1974; Poblete y Zarate, 1986).

La adición de catalizadores puede ser la solución a los problemas que provoca la acidez de la madera, ya que estos productos reaccionan durante el prensado liberando compuestos que determinan el ambiente de pH en que fragua el adhesivo (Poblete, 1983).

Para el caso de la ureaformaldehído se utilizan como catalizadores el cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) o el sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). El primero

genera durante la reacción ácido clorhídrico (HCl) y el segundo libera ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Ambos ácidos reducen el valor del pH del ambiente en que fragua el adhesivo. Las reacciones de descomposición de los catalizadores que ocurren durante el prensado se encuentran descritas por Poblete y Pinto (1992).

En general la literatura revisada indica que al agregar catalizador se afecta el fraguado del adhesivo lo que provoca cambios en las propiedades de los tableros.

El efecto del catalizador sobre las propiedades mecánicas depende del valor de pH de la madera. Así lo demuestran Roffael, Rauch y Bismark (1975), quienes fabricaron tableros de partículas con una latifoliada de pH 3.23 y una conífera de pH 4.22. En el caso de la madera de pH ácido, el catalizador (Cloruro de amonio  $NH_4Cl$ ) no mejoró el fraguado de la ureaformaldehído y, además, redujo las propiedades mecánicas de los tableros. Sin embargo, con la especie de carácter menos ácido el agregar  $NH_4Cl$  fue imprescindible para obtener resultados que permitieran cumplir con las normas en las propiedades del tablero.

Plath (1959) estudió la variación que sufren las propiedades de los tableros al agregar diferentes cantidades de  $NH_4Cl$ . Este autor determinó que al aumentar la cantidad de  $NH_4Cl$  hasta un 15 % aumenta la flexión. La tracción mejoró al aumentar la proporción de  $NH_4Cl$  hasta 15 %, para luego disminuir con cantidades mayores (Plath, 1959).

Kehr (1962) analizó el efecto del catalizador sobre las propiedades de los tableros fabricados con 2 especies, una conífera de pH 4.8 y una latifoliada de pH 5.9. La resistencia a la flexión aumentó con el incremento en el nivel de catalizador, manteniéndose constante con cantidades de catalizador superiores a 4 %. Siempre el comportamiento de la especie más ácida fue superior al de la latifoliada. Las peores resistencias se obtuvieron al no agregar este reactivo.

El mismo autor confirmó la relación existente entre resistencia y cantidad de catalizador, observando que la propiedad mecánica flexión mejoró con el aumento de la cantidad de catalizador hasta llegar a 3%. A partir de esta cantidad la resistencia comenzó a disminuir (Kehr, 1967).

Con respecto a la propiedades físicas, Plath (1959) determinó que el hinchamiento a las 2 y 24 horas se reduce con el aumento de la cantidad de catalizador hasta 20%. Al aplicar el último nivel de catalizador ensayado (25%), el hinchamiento vuelve a aumentar.

Kehr (1962) señala que el hinchamiento a las 24 horas se vio disminuido con el aumento del catalizador. Sin embargo una vez alcanzado el nivel 4% del reactivo, esta propiedad se mantuvo constante, experimentando un leve aumento con cantidades cercanas a 10% de catalizador.

En un estudio posterior, el mismo autor encontró que el hinchamiento a las 24 horas se redujo con el aumento en la cantidad de catalizador hasta llegar al 3 %. Con el incremento del catalizador sobre 3 % se registró un aumento de la propiedad ( Kehr, (1967).

Neusser (1962) estudió el efecto sobre las propiedades físicas al agregar  $\text{NH}_4\text{Cl}$  como catalizador. Este autor determinó que el hinchamiento a las 24 horas se reduce con el incremento del nivel de catalizador. Esta tendencia fue mas notoria en maderas con pH más ácido. Fue posible observar que la reducción del hinchamiento es muy fuerte en un comienzo, pero al llegar a un nivel cercano al 4 % de catalizador se estabiliza.

## **MATERIAL Y METODO**

### **Madera**

Para la elaboración de los tableros que utilizó madera de tepa libre de falso duramen, de árboles jóvenes recién cortados, cuya edad fluctuaba entre los 15 y 25 años. El diámetro mínimo de las trozas fue 15 cm.

Los árboles seleccionados fueron extraídos en la localidad de Antihue, provincia de Valdivia.

### **Adhesivo y catalizador**

El adhesivo utilizado fue Ureaformaldehido, aplicado en una concentración del 50%.

Como catalizador se agregó cloruro de amonio en solución al 20 %. El catalizador se aplicó en 7 niveles distintos, los que se presentan en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1**  
**NIVELES DE CATALIZADOR EMPLEADO, MEDIDOS COMO PORCENTAJE DEL PESO DE LA RESINA SOLIDA.**

Nivel	1	2	3	4	5	6	7
Catalizador %	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

### **Preparación de las partículas**

La madera descortezada se transformó en astillas en un astillador de tambor, para luego ser viruteada en un molino de anillos Pallman.

Finalmente las partículas de madera fueron tratadas en un secador de bandeja Heraeus. El material madera permaneció a una temperatura media de 50 °C durante un tiempo aproximado de 60 horas. El contenido de humedad final fue 4 %.

### **Fabricación de los Tableros**

El adhesivo se aplicó con una encoladora de toberas marca Drais. El factor de encolado fue del 8 % de resina seca, en relación al peso anhidro de las partículas.

Los tableros se confeccionaron de un espesor de 16 mm y de una sola capa, con partículas del tipo capa media. La densidad calculada fue 650 kg/m<sup>3</sup>.

El ciclo de prensado contempló una presión máxima 3.0 N/mm<sup>2</sup>, una presión media de 1.5 N/mm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 7 minutos. La temperatura de prensado se mantuvo constante a 150 °C.

## Determinación de las Propiedades de los Tableros

Una vez fabricados los tableros fueron climatizados según la norma DIN 50 014.

Los ensayos mecánicos se realizaron en una máquina universal de ensayos según las siguientes normas.

- Flexión Estática (MOR y MOE)                   DIN    52 362
- Tracción Perpendicular al Plano               DIN    52 365

Las propiedades físicas medidas fueron :

- Densidad   DIN    52 361
- Hinchamiento                                   DIN    52 364
- Absorción de Agua                            ASTM  1 037, en probetas  
  DIN    52 364

La distribución de las probetas fue homogénea en la superficie de los paneles. En todas las probetas se controló la densidad del tablero.



## **RESULTADOS**

### **Densidad**

En el Cuadro N° 2 se presentan los valores de densidad para los 7 tipos de tablero fabricados. Esta propiedad se midió en un total de 336 probetas, según la norma indicada en la metodología.

**Cuadro N° 2**

**DENSIDAD POR TIPO DE TABLERO. VALORES PROMEDIOS, MAXIMOS, MINIMOS  
Y DESVIACION ESTANDAR (DE).**

NH <sub>4</sub> Cl (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )			DE
	Promedio	Max.	Min.	
0.0	0.641	0.690	0.583	0.031
0.5	0.755	0.755	0.535	0.044
1.0	0.655	0.749	0.571	0.039
1.5	0.659	0.758	0.578	0.040
2.0	0.656	0.804	0.529	0.056
2.5	0.657	0.744	0.567	0.038
3.0	0.654	0.743	0.567	0.037

La densidad promedio general de los tableros fabricados fue de 0.655 g/cm<sup>3</sup>, con un máximo de 0.804 g/cm<sup>3</sup>, un mínimo de 0.529 g/cm<sup>3</sup> y una desviación estándar de 0.042.

No se observó un efecto del nivel de catalizador sobre la densidad de los tableros, lo que se reflejó en el bajo coeficiente de correlación registrado ( $r=0.04$ ).

Los tableros fabricados sin catalizador (nivel 0%) presentaron fallas en su zona central, soplado. Estos tableros presentan un espesor mayor al esperado (18 mm) y registran los valores de densidad más bajos. Esta falla se debe a un fraguado inadecuado del adhesivo, tal como lo determinaron Poblete y Peredo (1990).

Al agregar 0.5% de catalizador la densidad de los tableros aumentó y se eliminó el soplado. Con proporciones mayores a 0.5% la densidad de los tableros permaneció prácticamente constante.

Un análisis de varianza determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que debe destacarse el efecto que pudiera tener la densidad de los tableros sobre el resto de las propiedades ensayadas.

## Hinchamiento

Esta propiedad se controló en un total de 336 probetas y los resultados después de 2 y 24 horas de inmersión en agua a 20°C se presentan en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3

**HINCHAMIENTO DESPUES DE 2 Y 24 HORAS DE INMERSION.  
VALOR PROMEDIO, MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR (DE).**

Inmersión (h)	NH, CL (%)	Hinchamiento (%)			
		Promedio	Max.	Min.	DE
2	0.0	45.54	54.76	38.10	4.49
	0.5	57.94	76.83	41.82	9.10
	1.0	25.57	30.43	21.60	2.17
	1.5	21.69	28.40	16.87	2.42
	2.0	17.06	19.88	12.66	1.56
	2.5	16.13	20.63	12.35	1.66
	3.0	18.05	21.12	14.91	1.50
24	0.0	59.36	70.66	50.00	5.51
	0.5	74.28	94.51	53.70	11.08
	1.0	31.25	37.57	25.93	2.74
	1.5	26.25	32.72	21.88	2.53
	2.0	20.46	25.47	14.56	2.29
	2.5	19.09	25.63	14.20	2.19
	3.0	21.06	24.69	17.39	1.75

Tanto en el hinchamiento a las 2 h como a las 24 h, se comprobó que los resultados mas desfavorables no se obtuvieron con 0% de catalizador, si no que con el nivel inmediatamente superior, es decir 0.5%.

La diferencia entre los tableros con 0% y 0.5% de catalizador se observa en los valores de densidad y en el espesor inicial. Ambos parámetros, densidad y espesor, demuestran que en los tableros con 0% existe menos comprensión del material. Además, si se asume que la cantidad de 0.5% de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  no es suficiente para producir un fraguado eficiente, se tendrá que la unión entre partículas es débil, por lo que al absorber agua el hinchamiento de los tableros con 0.5% será mayor.

La disminución del hinchamiento producida por un incremento del porcentaje de catalizador, puede explicarse por la eficiencia del fraguado del adhesivo. Es decir, en presencia de un pH desfavorable de la madera, el adhesivo requiere de catalizador para fraguar. El fraguado mejora al aumentar la presencia de ácido clorhídrico proveniente del catalizador, las uniones entre partículas resultan mas resistentes y el hinchamiento disminuye. Sin embargo, pasado un determinado nivel de cloruro de amonio se produce un excedente de ácido clorhídrico, lo cual no mejora el fraguado. En efecto, cuando el catalizador alcanza el nivel 3%, el hinchamiento aumenta levemente.

De acuerdo con la norma DIN 68 761, el hinchamiento máximo permitido a las 2 horas es 8% y a las 24 horas es 16%. Estas exigencias no fueron cumplidas por los tableros. Esta propiedad podría mejorarse a través de la incorporación de algún producto hidrófobo. Al respecto existe un antecedente en el estudio de Poblete y Peredo (1990), quienes al incluir una emulsión de parafina obtuvieron tableros de tepe que cumplen con la norma.

La reducción del hinchamiento por incremento del nivel de catalizador, coincide con lo señalado por Kehr (1962); Kehr (1967); Plath (1959) y por Poblete y Peredo (1990). Sin embargo, el porcentaje óptimo de catalizador varía dependiendo de las condiciones de cada ensayo.

A través del análisis de varianza se determinó que en el hinchamiento a las 2 h existen diferencias significativas entre todos los tratamientos.

En el hinchamiento a las 24 h existen diferencias significativas entre los tratamientos, con excepción de los niveles de catalizador 2.0% y 3.0%, los cuales no presentan diferencias significativas.

A través de un análisis de regresión fue posible determinar una ecuación que permite estimar el hinchamiento en función del porcentaje de catalizador. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro N° 4.

**Cuadro N° 4**

**ECUACIONES DE REGRESION PARA EL HINCHAMIENTO DESPUES DE 24 H, EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE CATALIZADOR.**

Ecuación	r	ES
$H2 = 59.6495 - 32.8315 C + 6.1568 C^2$	0.8600	7.957
$H24 = 77.3236 - 44.2210 C + 8.3070 C^2$	0.8724	10.1012

Donde :

H2 : Hinchamiento a las 2 h (%)

H24 : Hinchamiento a las 24 h (%)

C : Nivel de catalizador (%)

C2 : Nivel de catalizador al cuadrado (%)

r : Coeficiente de regresión múltiple

ES : Error estándar de la estimación

Dado que para la propiedad de hinchamiento, existen diferencias significativas entre los tratamientos, el nivel óptimo de catalizador corresponde al 2.5 %.

**Absorción de agua**

En el Cuadro N° 5 se presentan los resultados de absorción a las 2 y 24 horas de inmersión. Esta propiedad se controló en las mismas probetas de hinchamiento.

Cuadro N° 5

ABSORCION DE AGUA DESPUES DE 2 Y 24 H DE INMERSION A 20 °C VALORES PROMEDIO,  
MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR (DE).

Inmersión (h)	NH, CL (%)	Hinchamiento (%)			
		Promedio	Max.	Min.	DE
2	0.0	120.41	150.16	105.40	11.50
	0.5	134.58	172.50	102.67	18.65
	1.0	87.28	104.64	71.62	7.78
	1.5	79.19	93.78	60.16	8.16
	2.0	73.66	100.38	52.04	9.34
	2.5	71.56	87.63	58.10	6.33
	3.0	74.52	91.19	61.70	6.46
24	0.0	152.07	186.19	135.71	12.63
	0.5	168.30	202.39	133.15	20.94
	1.0	112.09	132.16	93.98	8.62
	1.5	102.62	118.49	82.44	8.95
	2.0	94.10	121.46	69.34	10.50
	2.5	91.79	109.06	76.05	7.42
	3.0	95.81	114.89	80.32	7.21

La absorción de agua a las 2 y 24 h disminuye al incrementarse el nivel de catalizador. Esta reducción de la absorción continúa hasta el nivel 2.5% de catalizador.

Al igual que en el hinchamiento, los resultados mas desfavorables se obtuvieron con el nivel 0.5 de catalizador. Esta situación se explicaría por un fraguado deficiente lo que hace mas inestables e irregulares a los tableros. Lo anterior se manifiesta en los valores de desviación estándar, lo que también se observó en el hinchamiento.

Los valores de absorción registrados son mayores a los obtenidos en otros ensayos con otras especies (Poblete, 1986) y se explican en gran medida por la baja densidad y gran permeabilidad de la madera de tepa. En efecto, al comparar tepa con otras especies nativas (coigue, olivillo y ulmo) se ha determinado que reúne una serie características que favorecen el ingreso del agua (Juacida, 1980).

La disminución en la absorción de agua al aumentar el porcentaje de catalizador, se explica por un mejoramiento del proceso de fraguado, lo que permite aumentar la adherencia entre las partículas, haciendo al tablero más estable y resistente al ingreso de agua.

La propiedad de absorción podría mejorarse con la aplicación de algún agente hidrófobo (Poblete y Peredo, 1990). Otra forma de reducir la absorción de agua, según lo señalan Vital et al. (1974) y Urzua y Poblete (1980), sería aumentando la densidad de los tableros.

Al realizar un análisis de varianza con los valores de absorción se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de catalizador igual o menor a 1.5%. Entre los tratamientos con 2.0, 2.5 y 3.0% no existen diferencias significativas. Lo anterior vale para los dos tipos de inmersión estudiados.

Con un análisis de regresión fue posible determinar una ecuación para la absorción de agua en función del porcentaje de catalizador, los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6

ECUACIONES DE REGRESION PARA LA ABSORCION DE AGUA DESPUES DE 2 Y 24 H, EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE CATALIZADOR.

Ecuación	r	ES
$A2 = 139.9630 - 52.2406 C + 9.9271 C^2$	0.8304	14.1093
$A24 = 175.4120 - 63.0860 C + 11.8836 C^2$	0.8458	16.1719

- A2 : Absorción a las 2 h (%)  
 A24 : Absorción a las 24 h (%)  
 C : Nivel de catalizador (%)  
 C2 : Nivel de catalizador al Cuadrado (%)  
 r : Coeficiente de regresión múltiple  
 ES : Error estándar de la estimación

El nivel 2.5 % de catalizador fue el que más redujo la absorción de agua. Sin embargo, debido a que en esta propiedad no existen diferencias significativas entre los tratamientos con más de 2.0 % de catalizador, a partir de este nivel se puede obtener el mejor resultado en esta propiedad.

## Resistencia a la Flexión

Para evaluar la resistencia a la flexión estática de los tableros, se midió el módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), de acuerdo a la norma señalada en la metodología, en un total de 336 probetas.

Los resultados de ambos parámetros, MOR y MOE, se presentan en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7

RESISTENCIA A LA FLEXION POR TIPO DE TABLERO, MODULO DE ROTURA (MOR) Y  
MODULO DE ELASTICIDAD (MOE). VALORES PROMEDIO, MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION  
ESTANDAR (DE).

NH, Cl (%)	Resistencia a la Flexión							
	MOR (N/mm <sup>2</sup> )				MOE (N/mm <sup>2</sup> )			
	Prom.	Max.	Min.	DE	Prom.	Max.	Min.	DE
0.0	16.52	26.34	6.57	5.21	2099	2712	1836	203
0.5	21.20	28.86	8.42	4.99	2213	2683	1163	352
1.0	26.34	32.08	19.98	3.11	2239	3037	1135	453
1.5	28.10	36.91	21.15	3.65	2375	3570	1183	450
2.0	27.56	39.73	17.18	4.07	2449	2992	1831	283
2.5	28.41	34.78	24.05	2.94	2466	2832	2128	159
3.0	28.03	33.09	19.52	3.31	2408	3155	1486	334

En relación al módulo de rotura, la exigencia que establece la norma DIN 52 362 es de 16 N/mm<sup>2</sup>. Este requerimiento fue superado por todos los tratamientos, aunque el tratamiento sin catalizador se encuentra en el límite de la norma.

Cabe señalar que los tableros fabricados sin catalizador y parte de las probetas con 0.5% de catalizador presentaron una fractura anormal, paralela a las caras del tablero. Esta falla anormal se produce por la presencia de una capa central débil y por que en este tipo de ensayos ocurre un encuentro de fuerzas (comprensión y tracción) en la zona central de la probeta (Poblete, 1988).

El incremento en la cantidad de catalizador provocó un aumento de la

resistencia a la flexión. Este aumento de la resistencia a la flexión, es coincidente con el determinado por Poblete y Peredo (1990). Sin embargo estos investigadores obtuvieron valores de resistencia inferiores a los encontrados en el presente estudio. La resistencia máxima registrada por Poblete y Peredo (1990) fue de 15.4 N/mm<sup>2</sup> con 2% de catalizador, en tanto que en el presente trabajo con igual nivel de catalizador se alcanzó una resistencia de 27.6 N/mm<sup>2</sup>. Los mayores valores de resistencia a la flexión (MOR) se explican en gran medida por la diferencia en la forma de las partículas con que se trabajó en esta oportunidad, menor espesor (0.3 mm) y mayor coeficiente de esbeltez (36.1).

El comportamiento del módulo de rotura concuerda también con lo señalado por Kehr (1962) y Kehr (1967). Este autor obtuvo las menores resistencias en tableros que no contenían catalizador. Al aumentar la cantidad del reactivo la resistencia aumentó progresivamente hasta llegar a un máximo, con 2.8% de catalizador, y luego disminuyó (Kehr, 1967).

Al realizar un análisis de varianza al módulo de rotura se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel igual o superior a 1.5% de catalizador.

Para el caso del módulo de elasticidad no existen exigencias en la norma DIN empleada. Los resultados se pueden comparar con la tabla de resistencias para tableros de 3 capas destinados a la fabricación de muebles, recopilada del Holzbau-Atlas, por el profesor Dr. Rodiger Albin, para la cátedra de fabricación de muebles (Escuela Superior de Rosenheim, Alemania). En esta tabla se indica que los tableros de espesor entre 13 y 20 mm deben tener un módulo de elasticidad que se encuentre entre 2.800 y 4.000 N/mm<sup>2</sup>. Si se comparan estos rangos con los resultados obtenidos se observa que la exigencia no es cumplida por ningún tratamiento. Sin embargo es necesario tener presente que los tableros de teja tenían una capa, por lo que puede esperarse que el módulo de elasticidad mejore al agregar dos capas externas.

El análisis de varianza de los valores de elasticidad determinó que con más de 1.5% de catalizador las diferencias entre los tratamientos no son significativas. Debe destacarse que en el módulo de elasticidad, como en el caso del módulo de rotura, la máxima resistencia también se alcanzó con el nivel 2.5% de catalizador.

Al someter los valores de resistencia a la flexión (módulo de rotura y módulo de elasticidad) a un análisis de regresión, fue posible obtener ecuaciones que estiman la resistencia en función del porcentaje de catalizador. Los resultados

de este análisis se presentan en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8

ECUACIONES DE REGRESION PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION (MOR Y MOE), EN  
FUNCION DEL PORCENTAJE DE CATALIZADOR.

Ecuación	r	ES
MOR = 16.6945 + 19.4913 C - 2.2793 C <sup>2</sup>	0.6734	3.9349
MOE = 2081.60 + 252.17 C - 44.38 C <sup>2</sup>	0.3012	348.70

Donde:

- MOR : Resistencia a la rotura (N/mm<sup>2</sup>)
- MOE : Resistencia en el límite elástico (N/mm<sup>2</sup>)
- C : Nivel de catalizador (%)
- C<sup>2</sup> : Nivel de catalizador al cuadrado (%)
- r : Coeficiente de regresión múltiple
- ES : Error estándar de la estimación

Los valores de resistencia a la flexión (módulo de rotura) se ajustan bien a una ecuación de segundo grado, ya que en un comienzo la incorporación de pequeñas cantidades de catalizador hacen aumentar la resistencia significativamente y una vez alcanzado el nivel de 1.0% la tasa de incremento de la resistencia se reduce. El aumento de la resistencia con cantidades mayores de NH<sub>4</sub>Cl continua pero con una tasa de incremento cada vez menor, hasta alcanzar la resistencia máxima (28.41 N/mm<sup>2</sup>), con 2.5% de catalizador. Finalmente, al agregar 3.0% de catalizador la resistencia a la flexión disminuye.

Los valores de resistencia a la flexión (MOR) en los estudios de Kehr (1962, 1967) también se ajustan mejor a una parábola que a una recta.

Pese a que los valores de resistencia del módulo de elasticidad se ajustan bien a la ecuación presentada, el uso de esta ecuación queda restringido por el bajo coeficiente de regresión (r = 0.30) y el alto error de la estimación (348.7). No obstante este tipo de curva (cuadrática), es la que mejor representa el comportamiento de los tableros.

De acuerdo con los resultados presentados, el nivel óptimo de catalizador para la propiedad de flexión corresponde a 2.5%, puesto que cuando la cantidad de catalizador supera este porcentaje ocurren cambios químicos que perjudican el fraguado de la ureaformaldehído, provocando uniones más

débiles y disminuyendo la resistencia.

En general puede aseverarse que el aumento en la resistencia a la flexión se debe a cambios provocados por la acción del catalizador en el ambiente en que fragua el adhesivo. Lo anterior se confirma al observar los resultados de pH y de tiempo de gelificación determinados por Poblete y Pinto (1992).

### Resistencia a la Tracción

El ensayo de resistencia a la tracción perpendicular al plano del tablero se realizó de acuerdo a la norma DIN 52 365, en un total de 448 probetas.

Los resultados de esta propiedad mecánica se presentan en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9

#### RESISTENCIA A LA TRACCION POR DE TABLERO. VALORES PROMEDIO, MAXIMO, MINIMO Y DESVIACION ESTANDAR (DE).

NH, Cl (%)	Resistencia a la Tracción (N/mm <sup>2</sup> )			DE
	Promedio	Max.	Min.	
0.0	0.22	0.41	0.06	0.08
0.5	0.40	0.67	0.10	0.14
1.0	0.70	0.92	0.27	0.12
1.5	0.88	1.23	0.52	0.15
2.0	0.86	1.27	0.49	0.19
2.5	0.99	1.30	0.56	0.17
3.0	0.78	1.14	0.43	0.16

Existen al menos dos aspectos importantes a considerar en el análisis de los resultados. En primer lugar, debido a la forma como se distribuyen las fuerzas durante este ensayo, la propiedad tracción perpendicular es el mejor indicador de la calidad de la unión entre las partículas de la zona central del tablero (Urzúa y Poblete, 1980).

Por otra parte, durante el prensado la parte central del tablero es la última en recibir el máximo de temperatura, es la zona que está menos tiempo bajo el efecto de la temperatura y en ella el fraguado del adhesivo se da en las peores

condiciones.

Lo anterior sumado a los problemas que presenta la madera de tepe, hacen que la propiedad tracción perpendicular sea especialmente afectada por las condiciones dadas en el ensayo.

El ensayo de tracción en los tableros con cantidades reducidas de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  muestra claramente el efecto de un fraguado deficiente, producto del ambiente desfavorable en que se lleva a cabo la reacción química. En la medida que se incrementa el nivel de catalizador, el grado de acidez del ambiente en que fragua el adhesivo cambia y es posible formar uniones más fuertes entre las partículas. Los resultados presentados en el Cuadro N° 9 muestran un aumento importante de la resistencia a la tracción al elevarse el porcentaje de catalizador. Es destacable el significativo aumento de la resistencia al agregar pequeñas cantidades de catalizador.

De acuerdo con la norma DIN 52 365, la exigencia mínima para este tipo de tableros es de  $0.35 \text{ N/mm}^2$ . En este caso el tratamiento con 0% de catalizador fue el único que no superó el mínimo exigido por la norma. El valor máximo de resistencia ( $0.99 \text{ N/mm}^2$ ) se alcanzó con 2.5% de catalizador.

Por medio del análisis de varianza se determinó que en la propiedad tracción existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, excepto entre aquellos con 1.5% y 2.0% de catalizador.

Al realizar un análisis de regresión con los valores de resistencia a la tracción, fue posible ajustar una ecuación en función del porcentaje de catalizador. Esta ecuación se presenta en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 10

**ECUACION DE REGRESION PARA LA RESISTENCIA A LA TRACCION, EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE CATALIZADOR.**

Ecuación	r	ES
$T = 0.1498 + 0.6734 C - 0.1489 C^2$	0.8106	0.1621

Donde:

- T : Resistencia a la tracción ( $\text{N/mm}^2$ )
- C : Nivel de catalizador (%)
- $C^2$  : Nivel de catalizador al cuadrado (%)
- r : Coeficiente de regresión múltiple
- ES : Error estándar de la estimación

Al igual que para la resistencia a la flexión, los valores de resistencia a la tracción se ajustan mejor a una ecuación de segundo grado.

El comportamiento que tiene esta propiedad al aumentar el nivel de catalizador es concordante con lo señalado por Kehr (1962), Kehr (1967) y Plath (1959). Kehr en 1962 y 1967 utilizando una especie cuya madera es de pH menos ácido (5.9) también encontró una relación cuadrática entre la resistencia a la tracción y el nivel de catalizador empleado.

## CONCLUSIONES

- El incremento del nivel de catalizador, permite mejorar las propiedades físicas de hinchamiento y absorción de agua y las propiedades mecánicas flexión (MOR y MOE) y tracción perpendicular.
- Ninguno de los tableros producidos cumple con la exigencia de la norma DIN, en relación al hinchamiento. Sin embargo la inclusión de algún agente hidrófobo, permitiría mejorar la propiedad de hinchamiento y absorción de agua y así cumplir con la norma.
- Los tableros producidos con madera de tepa y ureaformaldehído sin catalizador presentan fallas en la parte central, no cumplen con la norma en tracción y presentan los valores más bajos de flexión.
- En base a los valores de resistencias mecánicas y propiedades físicas obtenidos, se puede aseverar que la inclusión de un catalizador ácido es indispensable para producir tableros con madera de tepa y ureaformaldehído. En el estudio parece óptimo agregar la cantidad de 2.5% de cloruro de amonio como catalizador del adhesivo.

## BIBLIOGRAFIA

**Albin, R. 1975.** Determinación del pH en Diversas Especies de los Renovales de la Provincia de Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. BOSQUE 1(1): 3 - 5.

**Juacida, R. 1980.** Algunos factores que incluyen en la impregnación de maderas. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Publicación Docente N° 3. 19 p.

**Kehr, E. 1962.** Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten Holztechnologie. 3 (1): 22 - 28.

\_\_\_\_\_. Zur Verfahrenstechnologie für die Spanplattenherstellung, insbesondere über den Einfluß des Festharz-, Härter- und Hydrophobierungsmittelanteils auf die Spanplattenqualität. Holztechnologie. 8 (2): 81 - 86.

**Neusser, H. 1962.** über die Veränderungen des Leimes Während des Produktionsganges von Spanplatten bzw. über einige Einflußfaktoren auf deren Verleimungsqualität. Holzforschung und Holzverwertung. 14 (5/6): 88 - 97.

**Parameswaran, N. 1974.** pH and Buffering Capacity of Some Tropical Tree Barks. J. Ind. Acad. Wood Sci. 5 (1): 28 - 31.

**Plath, E. 1959.** über den Einfluß der Härtung von Harnstoff-harzen auf die Eigenschaften von Holzspanplatten. Holz als Roh -und Werkstoff. 17 (12): 490 - 494.

**Poblete, H. y Peredo, M. 1990.** Tableros a Base de Desechos de Contrachapados. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Informe de Convenio N° 182. 150 p.

**Poblete, H.; Díaz - Vaz, J.E.; Peredo, M. 1991.** Determinaciones de las Causas y Efectos de las Coloraciones en Madera de Tepa. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Informe de Convenio N° 187. Valdivia. 24 p.

**Poblete, H. y Zarate, M. 1986.** Influencia de los Extraíbles sobre las Propiedades de la Madera y su Utilización como Materia Prima. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Publicación Docente N° 20. 55 p.

**Poblete, H. y Roffael, E. 1985.** über chemische Veränderungen in Holzspänen bei der Herstellung von Harnstoff-Formaldehydharz-gebundenen Spanplatten. Holz als Roh - und Werkstoff. 43 (2): 57 - 62.

**Poblete, H.; Pinto, A. 1992.** Avances sobre el Efecto del Catalizador en el Fraguado de Ureaformaldehido en Tableros de Tapa. BOSQUE 13 (2).

\_\_\_\_\_. **1983.** Veränderrungen in Holzpänen Während der Trocknung und des Pressens zu Holzspanplatten. Göttingen. Dissertation. 157 p.

\_\_\_\_\_. **1986.** Resistencias Mecánicas de Tableros de Partículas Producidos con Mezclas de Especies Chilenas. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. BOSQUE 7 (1): 30 - 45.

\_\_\_\_\_. **1988.** Incorporación de Astillas de Despunte en Tableros de Partículas. Ciencia e Investigación Forestal. INFOR. Santiago, 2 (4): 45 - 61.

**Roffael, E.; Rauch, W.; Bismark, C. 1975.** Folmaldehydabgabe und Festigkeitsausbildung bei der Verleimung von Eichenspänen mit Harnstoffformaldehydharzen. Holz als Roh - und Werks - stoff. 33 (72): 271 - 275.

**Urzúa, D. y Poblete, H. 1980.** Utilización Silvoagropecuaria de los Terreros de Ñadis. Informe N° 2. Factibilidad Técnica de Producción de Tableros de Partículas Utilizando las Especies que Crecen en los Terrenos de Ñadis. Informe Convenio N° 22. Convenio SERPLAC X Región - Universidad Austral de Chile. 140 p.

**Vital, B.; Lehmann, W. and Boone, R. 1974.** How Species and Board Densities Affect Properties of Exotic Hardwood Particleboard. For. Prod. J. 24 ( 12): 37 - 45.