



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Efecto de un hidrófobo sobre la estabilidad dimensional de tableros de partículas.

Patrocinante : Sr. Hernán Poblete W.

Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**.

CRYSTIAN ANDRES SMITH WINKLER

VALDIVIA
2009

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Hernán Poblete W.	6,0
Informante:	Sr. Juan Diaz-Vaz O.	6,2
Informante:	Sr. Roberto Juacida P.	6,0

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Hernán Poblete W.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer el apoyo incondicional de toda mi familia durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Sin este apoyo no habría sido posible dar por finalizada esta etapa.

Quiero también agradecer a todo el equipo del Instituto de Tecnología de Productos Forestales, especialmente a María Eugenia Díaz, quien me prestó toda su ayuda cuando más la necesité.

Agradecimiento para mi profesor patrocinante Hernán Poblete, por su paciencia y apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo. También a los profesores informantes Juan Díaz-Vaz y Roberto Juacida.

Agradecimiento especial al profesor Oscar Thiers quién me orientó en temas fundamentales relacionados con este trabajo.

Muchas gracias a todos.

Dedicado a mi familia.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEORICO	3
2.1. Cambios dimensionales en tableros de partículas	3
2.2. Aspectos tecnológicos que afectan los cambios dimensionales	3
2.2.1. Geometría de las partículas	3
2.2.2. Densidad de la materia prima y del tablero	5
2.2.3. Adhesivo	5
2.2.4. Prensado	6
2.3. Agente hidrófobo	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	11
3.1. Material	11
3.1.1. Madera	11
3.1.2. Adhesivo	11
3.1.3. Hidrófobo	11
3.1.4. Equipos	12
3.2. Metodología	12
3.2.1. Fabricación de los tableros	12
3.2.2. Corte de los tableros y muestreo	13
3.2.3. Climatizado de las probetas	14
3.2.4. Determinación de variaciones dimensionales	14
3.2.5. Determinación del contenido de humedad de equilibrio	15
3.2.6. Análisis estadístico	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Cambios dimensionales	16
4.1.1. Expansión en el espesor	16
4.1.2. Expansión lineal	20
4.2. Humedad de equilibrio	25
5. CONCLUSIONES	28
6. BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	
1	Abstract
2	Valores promedio y variación del largo y el espesor
3	Valores promedio del largo y espesor de cada tablero
4	Valores promedio y variación del peso de las probetas

RESUMEN EJECUTIVO.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de un agente hidrófobo, sobre la estabilidad dimensional de tableros de partículas. Se fabricaron 16 tableros con diferentes cantidades de un agente hidrófobo (0,00 - 3,75 - 7,50 y 11,25% en base al peso seco de la resina sólida). El resto de las variables se mantuvieron constantes. Los tableros fueron fabricados con la especie canelo (*Drimys winteri* Forst.)

Los tableros se sometieron a diferentes condiciones de humedad relativa del aire (46%, 59%, 65%, 72% y 85%) a temperatura constante de 20°C. Para cada condición climática se midieron la expansión en el espesor y lineal. Además, se calculó la humedad de equilibrio para cada condición climática.

Los resultados muestran que la adición de un agente hidrófobo no mejora la estabilidad dimensional de los tableros.

Se comprobó que los valores de contenido de humedad de equilibrio aumentan a medida que se aumenta la humedad relativa del aire, esto concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios.

Palabras claves : Tableros de partículas, agente hidrófobo, estabilidad dimensional, humedad de equilibrio.

1. INTRODUCCIÓN.

Los tableros de partículas elaborados con adhesivos poco estables en ambientes mal ventilados, tales como baños, cocinas y subsuelos, presentan importantes variaciones dimensionales al ser sometidos a cambios de humedad. Estos cambios dimensionales producen graves problemas para la elaboración de muebles y elementos interiores de construcción.

Un factor importante que influye en la estabilidad dimensional de los tableros de partículas, es la incorporación de algún producto de características hidrófobas, con el propósito de mejorar las propiedades físicas, hinchamiento y absorción de agua. Por lo tanto, es importante conocer el comportamiento de las propiedades dimensionales de los tableros y conocer su variación cuando es aplicado un agente hidrófobo.

Son escasos los antecedentes en Chile respecto a las variaciones dimensionales de tableros de partículas cuando son sometidos a diferentes condiciones de humedad por un tiempo prolongado. Tampoco se conoce, el efecto que los agentes hidrófobos tienen sobre éstas propiedades.

A lo anterior se agrega que, el conocer el comportamiento de las variaciones dimensionales ante cambios en las condiciones climáticas permitirá al fabricante del tablero tomar las medidas necesarias para evitar inconvenientes posteriores, y lo importante que es determinar si un hidrófobo puede corregir la inestabilidad dimensional.

El estudio propuesto en este trabajo se centró en el análisis del efecto de un agente hidrófobo sobre las variaciones dimensionales de los tableros. El hidrófobo empleado en los tableros fué una emulsión de parafina, aplicado en 4 niveles, entre 0% y 11,25% calculado en base al peso de la resina sólida. La especie a utilizar para la confección de los tableros fué canelo (*Drimys winteri* Forst.).

Las determinaciones se realizaron luego de tratar las muestras en diferentes condiciones climáticas, determinándose el comportamiento dimensional de los diferentes tipos de tableros ante las variaciones del clima. Se usaron las normas DIN para evaluar las propiedades de los tableros.

De acuerdo a lo planteado, el objetivo general de este estudio fué determinar el efecto de un agente hidrófobo sobre las propiedades dimensionales de tableros de partículas.

Los objetivos específicos son :

1. Determinar las variaciones en el espesor y de la longitud de los diferentes tableros ante variaciones de las condiciones de climatizado.

2. Analizar estadísticamente los resultados y determinar las relaciones existentes entre los cambios dimensionales y las diferentes cantidades de hidrófobo aplicadas a los tableros.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Cambios dimensionales en tableros de partículas.

La madera sólida se contrae e hincha cuando está sujeta a condiciones ambientales que causan desorción o absorción de agua. Los tableros de partículas se comportan de igual forma bajo las mismas condiciones, pero la magnitud del cambio dimensional es diferente al de la madera (KELLY, 1977).

Los tableros de partículas son higroscópicos y dimensionalmente inestables cuando son expuestos al vapor de agua, agua líquida o a la humedad del ambiente, debido a que el material posee propiedades higroscópicas al igual que la madera sólida. Los tableros absorberán humedad de la atmósfera y aumentarán su volumen. Los cambios dimensionales en el material, antes y después de la instalación, pueden provocar defectos importantes y descalificadores en los productos (KELLY, 1977).

La magnitud del cambio dimensional es mucho mayor en la dirección del espesor, en tableros de partículas convencionales de prensado plano, que el que se esperaría del hinchamiento de madera sólida (KELLY, 1977). KOLLMANN *et al.* (1975), compararon la estabilidad dimensional de tableros de partículas con madera sólida de pino. El hinchamiento del espesor del tablero fue mucho mayor que el hinchamiento tangencial de la madera sólida.

Si se compara la expansión lineal de tableros de partículas con las variaciones dimensionales que sufre la madera sólida, se comprueba que la alteración lineal en el tablero es mucho menor que el hinchamiento radial en la madera sólida, pero mayor que el hinchamiento longitudinal de madera sólida (KELLY, 1977).

En un tablero formado con una orientación de las partículas al azar, las partículas están dispuestas en todos los ángulos posibles, pero básicamente con la dirección de las fibras paralela a la superficie del tablero. Consecuentemente la expansión lineal paralela y perpendicular a la dirección de fabricación no presenta diferencias importantes (KELLY, 1977).

2.2. Aspectos tecnológicos que afectan los cambios dimensionales.

2.2.1. Geometría de las partículas.

La geometría de las partículas está determinada por las dimensiones largo, ancho y espesor. SUCHSLAND (1972), concluyó que la geometría de la partícula es el factor más importante para controlar la expansión lineal en un estudio con tableros de partículas comerciales.

El espesor de las partículas tiene un efecto importante sobre la estabilidad dimensional de los tableros. En la literatura disponible aparece, prácticamente en forma unánime, que la estabilidad del espesor obtenida en tableros producidos con

partículas delgadas es mayor que en los fabricados con partículas gruesas. Además, en general, cuando se aumenta la longitud de las partículas, mejora la estabilidad del espesor (KELLY, 1977).

JORGENSEN y ODELL (1961) y POST (1958), encontraron una mejor estabilidad en el espesor de tableros de partículas producidos con partículas de roble de 0,006 pulgadas de espesor, que con partículas más gruesas.

TURNER (1954), también mostró un posible mejoramiento de la estabilidad lineal cuando decrece el espesor de las partículas de 0,03 a 0,009 pulgadas.

Siguiendo una tendencia similar a la descrita para el caso del hinchamiento, el hinchamiento irreversible en el espesor (*Springback*) aumenta cuando se incrementa el espesor de las partículas (POST, 1961).

GATCHELL *et al.* (1966), encontró un incremento en la expansión lineal en tableros de partículas de Pino Oregón cuando el espesor de las partículas aumentaba. Al mismo tiempo, se comprobó que la expansión lineal es independiente del largo de partículas cuando éste se incrementaba de 1 a 2 pulgadas.

LEHMANN (1974), en su estudio con partículas de Pino Oregón de 0,5, 1 y 2 pulgadas de largo y 0,03 y 0,045 pulgadas de espesor, no encontró un efecto significativo del largo de partículas en el hinchamiento del espesor. Sin embargo, las partículas más cortas mostraron un hinchamiento en el espesor levemente menor al resto.

Según POST (1961), ni la estabilidad en el espesor ni la lineal son afectados de forma importante por cambios en el largo y espesor de las partículas cuando éstas tienen menos de 0,012 pulgadas de espesor, vale decir que el efecto del espesor sobre la estabilidad dimensional se pierde bajo ciertos límites.

Una buena forma de representar la geometría de la partícula está dada por el Coeficiente de esbeltez (CE). Este parámetro se determina dividiendo el largo de la partícula por su espesor. BRUMBAUGH (1960) señaló que al disminuir el coeficiente de esbeltez de las partículas se aumenta el hinchamiento del tablero. El mayor hinchamiento provocado por el uso de partículas de mayor espesor, sería debido al hinchamiento irreversible, ya que al momento del prensado habría una mayor compresión provocando una gran deformación de la estructura anatómica, la que tiende a recuperarse al aumentar el contenido de humedad. Para obtener el óptimo en todas las propiedades de un tablero, el coeficiente de esbeltez recomendado por BRUMBAUGH (1960) debe ser de a lo menos 200. Sin embargo, respecto al coeficiente de esbeltez se puede asegurar que el efecto de variarlo es significativo sólo en ciertos rangos, sobre y bajo los cuales no habría repercusiones en las propiedades del tablero.

2.2.2. Densidad de la materia prima y del tablero.

La densidad de la madera es considerada la variable más importante de la especie en su efecto sobre las propiedades de los tableros de partículas. Así, para una densidad de tablero dada, un incremento en la densidad del material leñoso utilizado causa una baja en las propiedades mecánicas del tablero, un incremento en la expansión lineal e hinchamiento en el espesor, VITAL *et al.* (1974).

STEWART y LEHMANN (1973) llegaron a determinar que la densidad del tablero afectaba positiva o negativamente al hinchamiento dependiendo de la especie (de distinta densidad) de donde proveniese la partícula.

La densidad del tablero es una medida de compactación de las partículas individuales en el tablero, y es dependiente de la densidad de la madera y de la presión aplicada durante la etapa del prensado, VITAL *et al.* (1974).

VITAL *et al.* (1974), estudió la relación entre el hinchamiento en el espesor, la expansión lineal y la densidad del tablero. Señala que, como conclusión general, dentro de una misma especie, un incremento en la densidad del tablero causa una baja en el hinchamiento en el espesor y un incremento en la expansión lineal.

BERTERRECHE (1994), menciona que al comparar los resultados de hinchamiento en un tablero de partículas sometido a 2 y 24 horas de inmersión en agua, se observa que la variable densidad en el primer caso reduce el hinchamiento, mientras que a 24 horas determina un aumento, esto debido a que al pasar el tiempo el agua logra penetrar en la madera. Como los tableros más densos tienen una cantidad efectiva de material lignocelulósico mayor, y al mismo tiempo con una mayor deformación, el hinchamiento producido también será mayor.

BERTERRECHE (1994), no encontró una relación entre la densidad y el hinchamiento al someter tableros de partículas de diversas densidades (570 y 655 kg/m³) a climas con 70 y 90% de humedad relativa.

GINZEL y PERAZA (1966), mencionan que los tableros de densidad media que comprenden entre 0,4 y 0,8 g/cm³, y que generalmente se fabrican con densidades comprendidas entre 0,55 a 0,7 g/cm³ son los que se emplean en la fabricación de muebles, tabiques interiores y revestimientos de casas, y se caracterizan por su buena estabilidad dimensional entre otras cosas. En tanto, los tableros pesados que van desde 0,8 a 1,2 g/cm³ tienen menor estabilidad dimensional que los de densidad media.

2.2.3. Adhesivo.

La cantidad de adhesivo se expresa como porcentaje del peso seco de la madera utilizada, cantidades que fluctúan entre 6 y 8% de ese peso son las más frecuentes (GINZEL y PERAZA, 1966).

Cuando se trata de productos que exigen mucha resistencia a la humedad y calor, como en zonas tropicales, es conveniente usar un adhesivo fenólico. Sin embargo, la resina de urea es la más empleada por razones económicas y tecnológicas (GINZEL y PERAZA, 1966). Las condiciones en que se utilizará el tablero define el adhesivo más apropiado, de esta manera, Urea-formaldehído se define como para interiores con buena ventilación y ambientes donde la humedad de equilibrio no exceda el 18% y la línea de unión permanezca bajo 50° C. En el caso del Fenol-formaldehído, se trata de un adhesivo apropiado para exposiciones en exteriores o con altos contenidos de humedad. Por último, la melamina-urea-formaldehído es apropiada para exposiciones intermedias entre los dos adhesivos ya mencionados (PIZZI, 1983).

LARMORE (1959), demostró que la cantidad de resina utilizada en la fabricación de tableros influenciaba el cambio del espesor. Así, a una mayor cantidad de adhesivo existe un menor cambio dimensional en el espesor del tablero. Sin embargo, KELLY (1977) menciona que aunque esta es la base sobre la cual la impregnación de resina ha sido usada para limitar la higroscopicidad del material, el costo económico no presenta justificación para este tratamiento.

GATCHELL *et al.* (1966) mencionan que la expansión lineal de tableros de partículas se reduce levemente por un aumento en el contenido de adhesivo.

2.2.4. Prensado.

Las funciones básicas del prensado en caliente son polimerizar las uniones y densificar la estera para darle el espesor deseado. La presión aplicada, en el prensado en caliente de la estera, afecta a variables como el área de contacto partícula-partícula, densidad del panel, control del espesor del tablero, espesor de la capa del adhesivo y extensión de la transferencia del adhesivo de una partícula de la superficie a otra. La amplitud de la presión aplicada puede variar de 12 a 40 Kg/cm² (MOSLEMI, 1974).

Durante el prensado muchas de las propiedades físicas son determinadas, especialmente aquellas influenciadas por el gradiente de densidad vertical. El contenido de humedad de la estera, la velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura son las condiciones de prensado más significativas que afectan las propiedades de los tableros de partículas (KELLY, 1977).

El desplazamiento de la humedad durante el prensado con temperatura, produce cambios de humedad en las distintas capas del tablero, estos cambios juegan un rol importante sobre el perfil de densidad y sobre otras propiedades del tablero resultante (KOLLMANN *et al.*, 1975).

En el prensado se emplean generalmente temperaturas entre 160 y 200° C. Con estas temperaturas se consigue llegar rápidamente a la temperatura de 100° C en el centro del tablero, con lo que se consigue un fraguado en un corto tiempo, factor importante desde el punto de vista económico (GINZEL y PERAZA, 1966).

SOTO (1995), concluyó que las propiedades de hinchamiento tanto a las 2 como a las 24 horas de inmersión en agua a 20° C fue más afectada por la temperatura de prensado que por el tiempo total del ciclo, y presentó diferencias significativas para todos los rangos de temperaturas aplicadas.

BUSCHBECK y KEHR (1960) citado por SOTO (1995), determinaron las propiedades de hinchamiento y absorción de agua en tableros que fueron prensados con temperaturas entre 110 y 220° C. De sus resultados se puede concluir que con un tiempo de prensado corto y una temperatura de platos alta, se obtienen tableros con una mayor estabilidad dimensional.

Tiempos largos del cierre de la prensa, particularmente si es acompañado por altas temperaturas, generan un hinchamiento irreversible más alto (MOSLEMI, 1974).

2.3. Agente Hidrófobo.

El tablero aglomerado tiene como principal componente a la madera y por consiguiente es lógico que tenga las características de ésta, en especial la de hincharse al absorber agua. El problema se resuelve generalmente aplicando parafinas o ceras minerales, que se agregan como emulsiones de concentración variable, entre 35 y 65%. La parafina o cera no elimina totalmente la capacidad del tablero para absorber agua, pero la reduce de tal forma, que se retrasa el tiempo de hinchamiento. Lo anterior se logra agregando 3 a 5% de parafina o cera sólida (calculada como porcentaje del peso de la resina sólida) a la solución del adhesivo (GINZEL y PERAZA, 1966).

Con la adición de cera se puede esperar una influencia similar en la expansión lineal a la que ha sido reportada para el hinchamiento en el espesor, la cera reducirá los cambios dimensionales bajo condiciones de humedad relativa cíclica y exposiciones en agua líquida en períodos cortos (KELLY, 1977).

Según LAWNIZACK y NOWAK (1962), una disminución de la receptividad del vapor de agua y agua líquida, para evitar el hinchamiento, se puede lograr de la siguiente manera:

- a. Aumento porcentual de la porción del adhesivo.
- b. Tratamiento térmico de las astillas o tableros terminados.
- c. Tratamiento hidrolítico de las astillas como impermeabilización con resinas de bajo peso molecular.
- d. Aplicación de materias repelentes de humedad.

La estabilidad de las propiedades dimensionales son mejoradas al aumentar el contenido de resina y con la adición de cera. Sin embargo, un contenido de cera del 1% fue encontrado más beneficioso que 1,5 y 2% de cera para dar una resistencia óptima al agua (LEHMANN, 1978).

Al aplicarse cantidades excesivas de cera, se interfiere las uniones del adhesivo con la madera y reduce las propiedades mecánicas del tablero (KELLY, 1977).

Las investigaciones realizadas sobre la conveniencia de la aplicación de medios para evitar el hinchamiento en la industria de tableros, han comprobado una influencia de los medios de impermeabilización sobre la disminución de la higroscopicidad, la captación de agua e hinchamiento de los tableros (LAWNIZACK y NOWAK, 1962).

KELLY (1977), señala que el uso de una parafina o cera está ampliamente extendido en la industria de tableros de partículas para los tableros unidos con urea y fenolformaldehído. Contradictoriamente GATCHELL *et al.* (1966) y HEEBINK y HANN (1959), no encontraron reducción de los cambios dimensionales, para tableros de partículas tratados con cera bajo un largo período de exposición al vapor de agua.

MOSLEMI (1974), señala que el uso de cera es útil cuando se repele agua líquida en períodos cortos y que la cera prácticamente no tendría efectos en el flujo de vapor de agua.

Según HEEBINK y HANN (1959), la adición de cera en tableros retardó temporalmente la absorción de agua, pero no tiene un efecto en el mejoramiento de la estabilidad dimensional después de una exposición prolongada.

Con respecto a las características de la parafina, KOLLMANN *et al.* (1975) menciona que ésta debe ser:

- a. Homogénea
- b. Compatible con el adhesivo, endurecedor, agua y preservantes.
- c. Inyectable
- d. Adecuado para dosificar

Respecto al tipo y estructura molecular de las parafinas, ROFFAEL y MAY (1983), señalan que básicamente las parafinas y ceras parafínicas empleadas como agentes hidrófobos, están compuestas por polímeros enlazados con un gran número de grupos metílicos formando cadenas de longitud variable, dependiendo del número de carbonos que posean, las que pueden ser rectas (n-Parafinas) o ramificadas (iso-Parafinas).

Estos autores estudiaron el efecto de la longitud de la cadena de hidrocarburos, el tipo de cadena y dentro del tipo de cadena, el peso molecular de las iso-Parafinas sobre el hinchamiento y absorción de agua de tableros de partículas de tres capas, encolados con Urea-formaldehído, concluyendo que a medida que aumenta la longitud de la cadena (el número de carbonos que la componen), disminuyen tanto el hinchamiento como la absorción de agua. Esta última propiedad se ve más favorablemente influenciada a medida que aumenta el tiempo de inmersión (ROFFAEL y MAY, 1983).

Además, en el estudio de ROFFAEL y MAY (1983), se determinó que como agentes hidrófobos, las iso-Parafinas son menos eficientes que las n-Parafinas, tanto en la reducción del hinchamiento como de la absorción de agua, siendo ésta última propiedad, más sensible al agente hidrófobo que el hinchamiento. Finalmente, en lo que a peso molecular de las parafinas se refiere, el estudio concluye que las parafinas de alto peso molecular resultan ser más efectivas como agentes hidrófobos que las de bajo peso molecular, debido en gran medida a que las primeras presentan una cadena de hidrocarburos de mayor longitud.

Según MÜLLER (1962), el grado de eficiencia de las propiedades hidrófobas están determinadas por tres factores:

1. El tipo y estructura molecular de las parafinas y mezclas de ceras parafínicas.
2. El modo de distribución de los emulsionantes y estabilizadores necesarios para la homogenización de la parafina en agua.
3. El modo de emulsión y homogenización.

En cuanto al tipo de emulsionante y estabilizante requeridos para homogenizar las emulsiones parafínicas, estas sustancias deben descomponerse durante el proceso de prensado, por efecto de presión y temperatura de manera que pierdan su higroscopicidad. El uso de emulsionantes inapropiados puede contrarrestar parcial e incluso totalmente el efecto hidrófobo de la parafina, dada la facilidad de absorción de agua que tienen algunos emulsionantes por su condición lipófila (MÜLLER, 1962; GINZEL y PERAZA, 1966).

La distribución y estabilidad de una emulsión parafínica depende no solo del tipo y de la cantidad del emulsionante usado, sino que también de las técnicas mecánicas y físicas para emulsionar y aplicar la emulsión. Es así que, en la producción de emulsiones altamente concentradas, después de producida la emulsión, es indispensable la homogenización de la misma, evitando la floculación y permitiendo una dispersión uniforme del tipo y tamaño de partículas de parafina sobre las virutas (MÜLLER, 1962).

Tanto la forma de aplicar las emulsiones durante el encolado, como la presión de atomización, influyen notablemente en la efectividad del agente hidrófobo, por lo que dicha presión debe mantenerse constante. También tiene un efecto una mala formulación del encolado y emulsionantes, como también una defectuosa distribución de la parafina en la resina, lo que se traduce en una mala distribución del hidrófobo en el tablero. Efectos negativos similares, sobre las propiedades hidrófobas de las parafinas, se producen al agregar productos ignífugos y biocidas en los tableros (MÜLLER, 1962).

Existen tres diferentes tipos de sistemas de emulsión, las emulsiones de parafinas o ceras aniónicas, no iónicas y catiónicas. Muchas de estas emulsiones

pueden ser incorporadas con la resina y endurecedor, hasta ahora las emulsiones aniónicas han sido las de mayor aplicación (KOLLMANN *et al.*, 1975).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1. Material.

3.1.1. Madera.

La madera que se utilizó en la elaboración de los tableros corresponde a la especie canelo (*Drimys winteri* Forst.), de la cual se fabricaron las partículas en una viruteadora de anillos.

3.1.2. Adhesivo.

El adhesivo que se empleó en la confección de los tableros corresponde a Urea-formaldehído ADELITE UT-60, proporcionado por la empresa OXIQUM S.A. La cantidad de adhesivo fué de un 9%, en base al peso seco de las partículas, en las capas externas y de un 7% en la capa media. La cantidad promedio de adhesivo fué de un 7,8%.

3.1.3. Hidrófobo.

El agente hidrófobo que se aplicó en la confección de los tableros correspondió a una emulsión parafínica (50% de concentración) que posee las siguientes especificaciones técnicas :

Tipo	: Dispersión acuosa de parafina de partículas finas.
Uso	: La emulsión parafínica IN-220 contiene parafina y sistemas emulgadores especiales, está especificada como medio de hidrofobización para productos hechos de madera, en especial para tableros de aglomerados.
Contenido sólidos	: 50%.
pH	: 8,5-9,5.
Viscosidad (20°C)	: app 70 mPas.
Densidad (20°C)	: app 0,950 Kgs/lts.
Poder calorífico	: 4,129 Kcal/Kg.
Apariencia	: Líquido opaco, de color crema-café claro e inoloro.
Dilución en agua	: Infinita.
Estabilidad al frío	: No almacenar a temperaturas bajo 4°C.
Estabilidad almac.	: 2 meses a 21°C.
Compatibilidad	: Compatible con mezclas de : <ul style="list-style-type: none">- Resinas Uréicas.- Activador XL-355.- Secuestrante FC-324.- Resinas Melamínicas.- Resinas Tónicas.

3.1.4. Equipos.

En la fabricación y ensayo de los tableros se emplearon los equipos del Instituto de Tecnología de Productos Forestales.

3.2. Metodología.

3.2.1. Fabricación de los tableros.

Los tableros se fabricaron teniendo presente los siguientes parámetros y características, que permanecen constantes:

Espesor: 16 mm.

Número de capas: 3

Proporción de las capas: las capas externas corresponden al 40% y la capa media al 60%.

Densidad: la densidad se calculó de acuerdo a la densidad de la especie, de tal manera que se obtenga una razón de compresión aproximada a 1,6.

Catalizador : sulfato de amonio $(\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$

Presión máxima : 3,0 N/mm²

Presión media : 1,2 N/mm² (el ciclo de prensado se presenta en la figura 1)

Temperatura de prensado : 190 °C

Tiempo de prensado: el factor tiempo/mm de espesor del tablero aplicado fué de 10 seg.

La variable considerada en la fabricación de los tableros es la cantidad de agente hidrófobo a aplicar. Se aplicó una emulsión de parafina en cuatro niveles, considerando que lo normal en la industria es aplicar un 7,5% del peso seco de la resina. Esta emulsión fué aplicada en una mezcla con el adhesivo tanto en la capa media como en las capas externas. Los niveles que fueron utilizados en la elaboración de los tableros son los siguientes:

0,00 - 3,75 - 7,50 - 11,25 % en base al peso seco de la resina sólida.

Para este estudio se fabricaron cuatro repeticiones para cada uno de éstos tipos de tableros, lo que da un total de 16 tableros.

El proceso de prensado se puede visualizar gráficamente en el diagrama que se presenta en la figura 1.

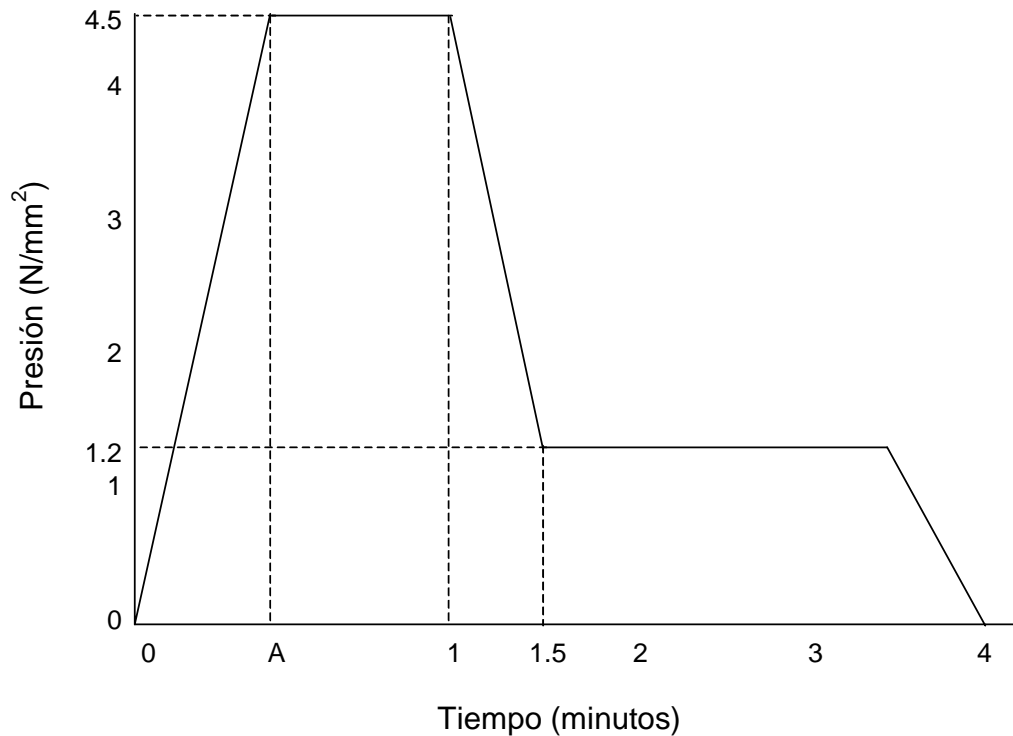


Figura 1 : Diagrama del ciclo de prensado. 0-A : tiempo de cierre de la prensa, el cual, es variable dependiendo de la densidad final del tablero.

3.2.2. Corte de los tableros y muestreo.

Los tableros tenían dimensiones finales de 45cm x 45cm x espesor y de ellos se cortaron probetas para la determinación de la variación dimensional en el espesor y longitudinal principalmente.

Las probetas para la medición del espesor tenían 50mm de arista por el espesor, y se cortaron 20 probetas por tablero. Las probetas requeridas para la medición de la variación longitudinal eran de 200mm de largo, 25mm de ancho por el espesor del tablero, y se cortaron en un número de 18 por tablero.

En la Figura N° 2 se muestra el esquema de corte de probetas en los tableros.

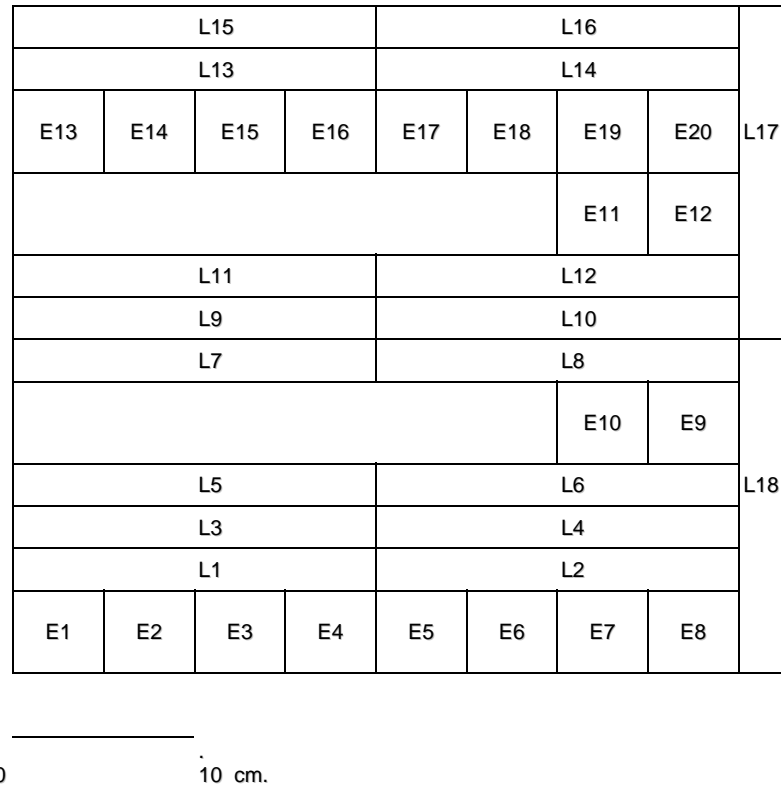


Figura 2 : Esquema de Corte de las Probetas. "E": probeta para medición de espesor; "L": probeta para medición de longitud.

3.2.3. Climatizado de las probetas.

Las probetas se climatizaron en una cámara de clima HERAEUS programable (precisión de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ y 4% de humedad relativa), hasta alcanzar peso constante, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa del aire. Para el estudio se ha considerado una temperatura constante de 20°C y cinco condiciones de humedad relativa (46%, 59%, 65%, 72% y 85%).

La primera medición se realizó luego de un climatizado a la temperatura establecida (20°C) y con la humedad relativa inicial más baja (46%). En etapas sucesivas se fué elevando la humedad relativa del aire hasta completar el ciclo con un 85% de humedad relativa.

3.2.4. Determinación de variaciones dimensionales.

Las variaciones del espesor y longitudinal se determinaron en las probetas descritas en el punto 3.2.2. y se efectuaron con medidores digitales, cuya precisión es de 0,001 mm. Las mediciones se realizaron una vez que las probetas alcanzaban el peso constante en cada una de las condiciones climáticas. Después de esto, las probetas fueron sometidas a una nueva condición dentro de la cámara.

La variación dimensional se calculó por diferencias de la medida (en mm) con respecto a la condición inicial (46% de humedad relativa del aire) para cada nivel de humedad relativa del aire. Luego de la última condición climática, las probetas se llevaron a estado anhidro.

Las variaciones dimensionales se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(d_1 - d_0)}{d_0} * 100 \quad (1)$$

Donde:

E = Expansión (%)

d_1 = Dimensión a 46, 59, 65, 72, 85 y 0 % de humedad relativa.

d_0 = Dimensión inicial, en base a 46% de humedad relativa.

3.2.5. Determinación del contenido de humedad de equilibrio.

Las probetas fueron pesadas luego de ser sometidas a cada condición climática y al finalizar el ensayo fueron sometidas a un secado en estufa a 103°C hasta peso constante, con el fin de poder calcular la variación de la humedad de equilibrio de los tableros luego del climatizado a diferentes condiciones.

Las humedades de equilibrio se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$H_e = \frac{(p_1 - p_0)}{p_0} * 100 \quad (2)$$

Donde:

H_e = Humedad de equilibrio (%)

p_1 = Peso a 46, 59, 65, 72 y 85 % de humedad relativa del aire.

p_0 = Peso seco de la probeta.

3.2.6. Análisis estadístico.

Para realizar el análisis y las descripciones gráficas de los resultados de los diferentes ensayos, se utilizaron estadísticos descriptivos (medias). Para determinar la existencia de diferencias significativas de las variaciones dimensionales dentro de cada tipo de tratamiento se realizó una prueba T de comparación de medias, con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Cambios dimensionales.

4.1.1 Expansión en el espesor.

Las variaciones dimensionales en el espesor, se entregan en el cuadro 1, expresadas en milímetros y porcentajes. Esto fue calculado en base al espesor inicial del tablero a una humedad relativa del aire de 46% y a 20°C de temperatura constante.

CUADRO 1 : Expansión en el espesor calculado sobre la base de la medida del espesor a una humedad relativa del aire de 46% y a una temperatura constante de 20°C.

Contenido de hidrófobo		Humedad relativa del aire				Estado anhidro
		59%	65%	72%	85%	
0,00%	mm	0,055	0,073	0,273	0,627	-0,163
	%	0,338	0,443	1,666	3,829	-0,993
3,75%	mm	0,066	0,092	0,311	0,763	-0,044
	%	0,403	0,564	1,903	4,661	-0,270
7,50%	mm	0,088	0,073	0,289	0,742	0,037
	%	0,535	0,444	1,76	4,526	0,227
11,25%	mm	0,083	0,105	0,334	0,808	0,128
	%	0,505	0,642	2,041	4,934	0,783

En el cuadro 1 se observan los valores promedios de expansión en el espesor, para distintos niveles de agente hidrófobo y para cada nivel de humedad relativa estudiada. Los valores negativos corresponden a la contracción generada al llevar los tableros a estado anhidro en la última etapa de climatizado.

Al revisar los valores presentados en el cuadro 1, se puede observar que al aumentar la humedad relativa del aire, aumenta el espesor de los tableros. Los mayores valores promedios de expansión se presentan en los tableros tratados con un 11,25% de agente hidrófobo a una humedad relativa del aire de 85% (4,934% del espesor inicial). Los porcentajes de expansión en el espesor son mayores a medida que se aumentan los valores de humedad relativa del aire, especialmente por sobre el 65% de humedad relativa del aire. Gráficamente la relación se puede observar en la Figura 3 para cada nivel de agente hidrófobo.

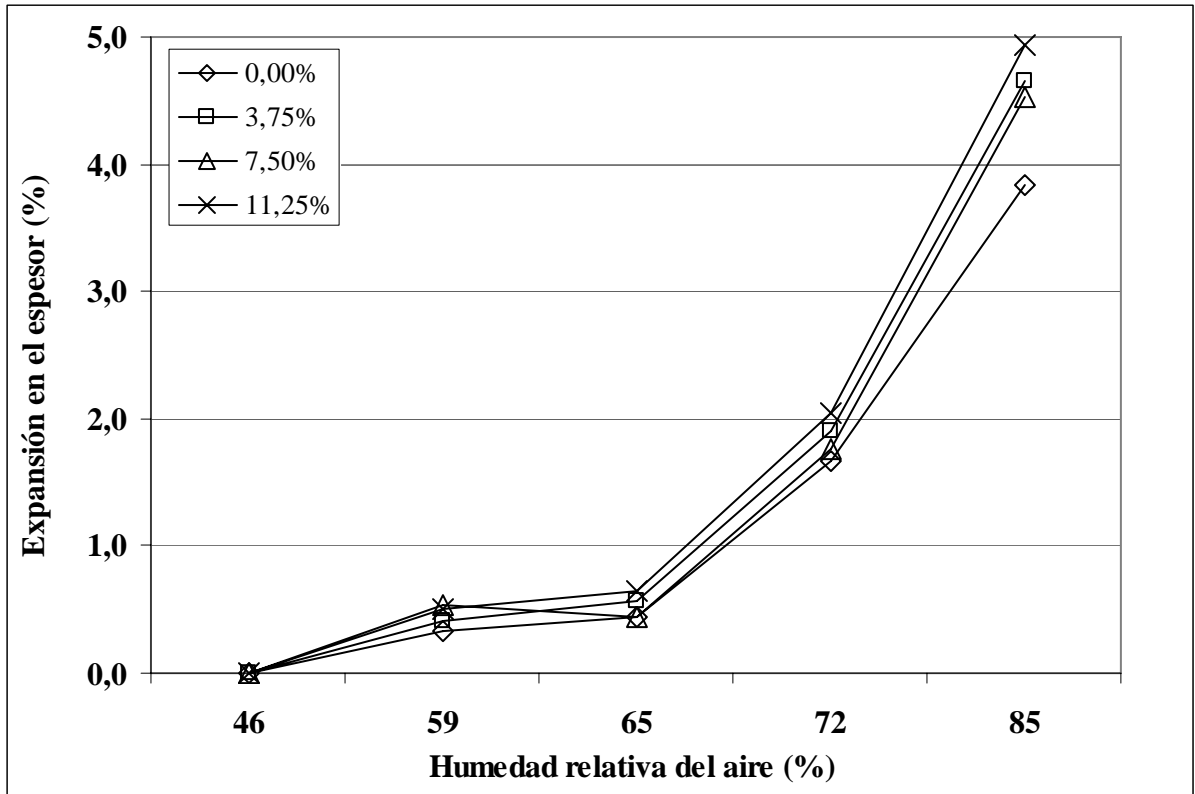


Figura 3 : Variación dimensional en el espesor en función de la humedad relativa del aire a una temperatura constante de 20°C para cada nivel de hidrófobo.

La relación existente entre la expansión en el espesor y el nivel de agente hidrófobo en cada condición climática, indica que hay un aumento en la expansión del espesor a medida que se aumenta el nivel de hidrófobo aplicado. La misma tendencia se puede ver gráficamente en la figura 4.

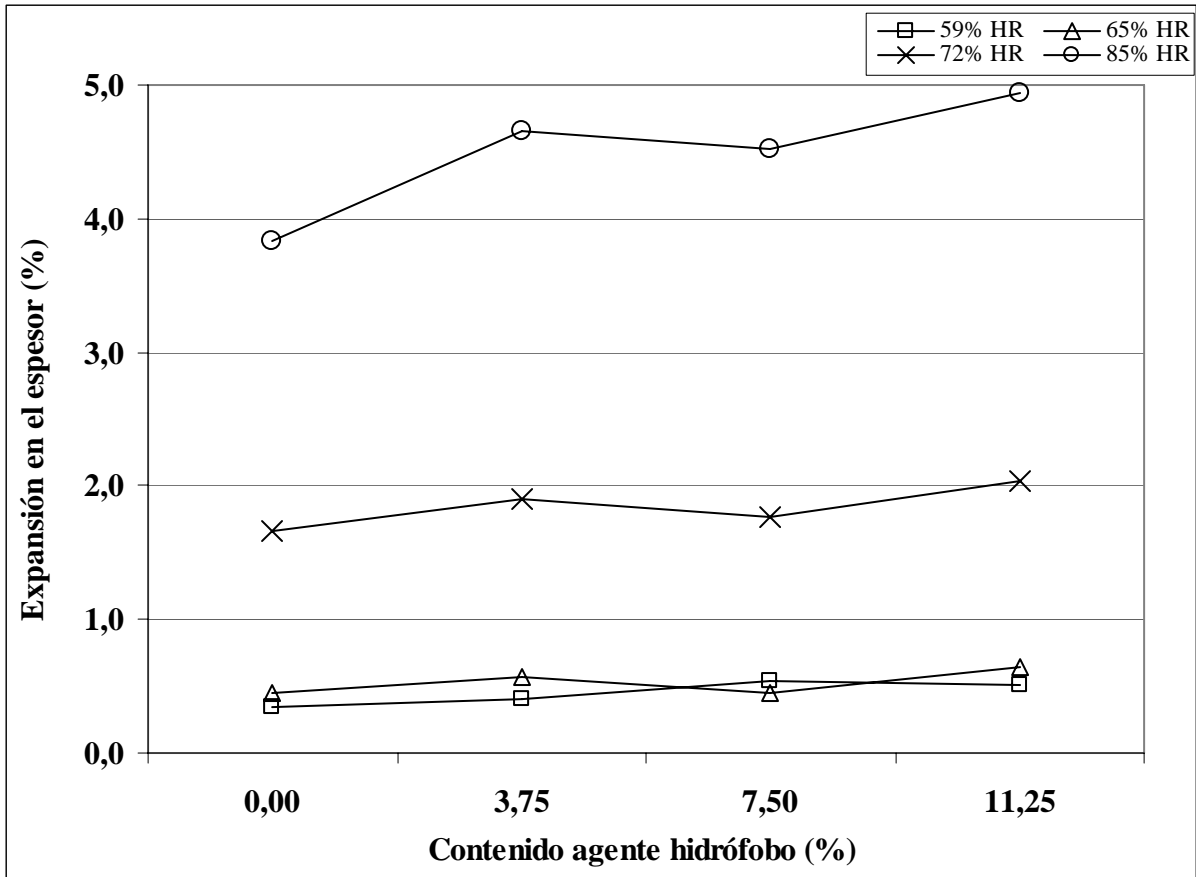


Figura 4 : Variación dimensional en el espesor en función de los niveles de hidrófobo a una temperatura constante de 20°C para cada nivel de humedad relativa.

En la figura 4 cada una de las poligonales, representa la expansión en el espesor para cada nivel de agente hidrófobo aplicado y al aumentar la humedad relativa del aire desde 46% a 85%. Cada una de las curvas muestra como aumenta el cambio dimensional a medida que aumenta el nivel del agente hidrófobo. Es decir, a menores cantidades de hidrófobo se ve una mayor estabilidad dimensional. Esto se aprecia en todos los niveles de humedad relativa estudiados.

Al realizar el análisis estadístico se puede observar que la diferencia entre los distintos tratamientos de hidrófobo es diferente para los distintos niveles de humedad relativa del aire. Esto se puede apreciar en la figura 5, correspondiente a gráficos de cajas para un nivel de confianza de un 95%.

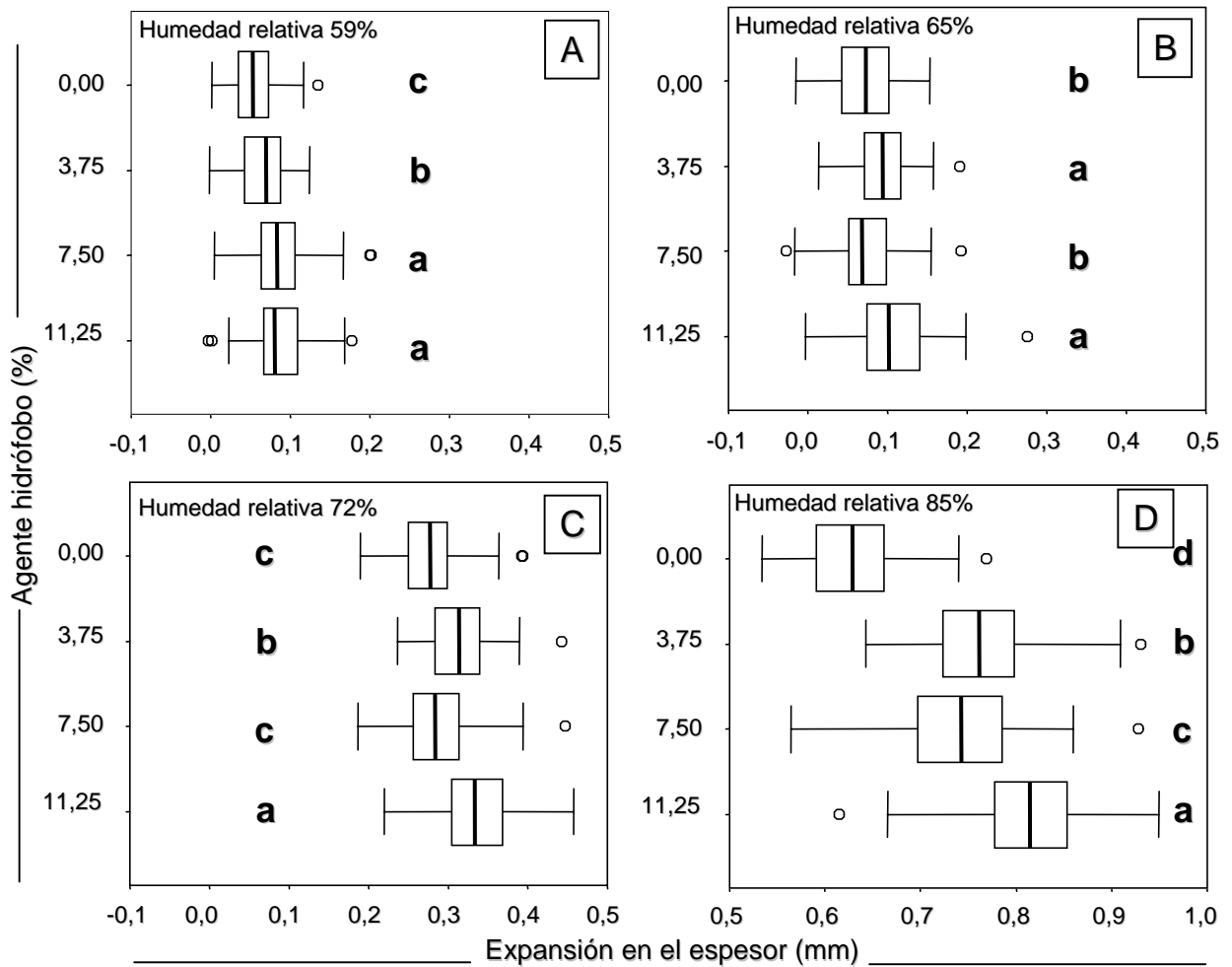


FIGURA 5 : Variación dimensional del espesor de los tableros (mm), por tratamiento, para cada nivel de humedad relativa del aire. A: humedad relativa 59%, B: humedad relativa 65%, C: humedad relativa 72% y D: humedad relativa 85%. Letras diferentes (a, b, c y d) indican diferencia significativa.

Para una humedad relativa del aire del 59% (figura 5A), los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre el tratamiento de 7,50% y 11,25% de agente hidrófobo, pero estos dos tratamientos son diferentes a los de 0,00% y 3,75%. En este caso la mayor estabilidad dimensional se presentó en el tratamiento con 0,00% de agente hidrófobo.

Para una humedad relativa del aire del 65% (figura 5B), los tratamientos de 0,00% y 7,50% no muestran diferencias significativas entre ellos, al igual que los tratamientos de 3,75% y 11,25% que son iguales entre sí, pero distintos a los dos anteriores. En este caso la mayor estabilidad dimensional se presentó en los tratamientos de 0,00% y 7,50% de agente hidrófobo.

Para una humedad relativa del aire de 72% (figura 5C), los tratamientos de 0,00% y 7,50% no mostraron diferencias significativas, sin embargo estos tratamientos son significativamente distintos a los otros dos tratamientos (3,75% y 11,25%). En este

caso la mayor estabilidad dimensional se presentó en los tratamientos de 0,00% y 7,50% de agente hidrófobo.

Para una humedad relativa del aire de 85% (figura 5D), los cuatro tratamientos de agente hidrófobo mostraron diferencias significativas. En este caso la mayor estabilidad dimensional la presentó el tratamiento con 0,00% de agente hidrófobo.

En todas las condiciones de humedad relativa, el tratamiento de 11,25% de agente hidrófobo fué el que presentó menor estabilidad dimensional y el tratamiento con 0,00% de agente hidrófobo (sin aplicación de agente hidrófobo) presentó la mayor estabilidad dimensional. Estos resultados coinciden con GATCHELL *et al.* (1966) y HEEBINK y HANN (1959), quienes no encontraron reducción de los cambios dimensionales, para tableros de partículas tratados con cera bajo un largo período de exposición al vapor de agua. MOSLEMI (1974), señala que el uso de cera es útil cuando se repele agua líquida en períodos cortos y que la cera prácticamente no tendría efectos en el flujo de vapor de agua.

4.1.2. Expansión lineal.

Los valores promedios de las variaciones dimensionales en el sentido lineal del tablero, se entregan en el cuadro 2, expresadas en milímetros y porcentajes. Esto fue calculado en base al largo inicial de las probetas de los tableros a una humedad relativa del aire de 46% y a 20°C de temperatura constante.

La relación que existe entre la humedad relativa del aire y la expansión lineal es similar a la expuesta para el caso de la expansión en el espesor, pero la variación dimensional es de menor magnitud.

En el cuadro 2 se observan los valores promedios de expansión en el sentido lineal, para distintos niveles de agente hidrófobo y para cada nivel de humedad relativa estudiada. Los valores negativos corresponden a la contracción generada al llevar los tableros a estado anhidro en la última etapa de climatizado.

CUADRO 2 : Expansión lineal calculado sobre la base de la longitud a una humedad relativa del aire de 46% y a una temperatura constante de 20°C.

Contenido de hidrófobo		Humedad relativa del aire				Estado anhidro
		59%	65%	72%	85%	
0,00%	mm	0,039	0,085	0,104	0,255	-0,641
	%	0,020	0,043	0,052	0,128	-0,320
3,75%	mm	0,064	0,069	0,092	0,236	-0,638
	%	0,032	0,034	0,046	0,118	-0,318
7,50%	mm	0,094	0,089	0,123	0,295	-0,603
	%	0,047	0,044	0,062	0,148	-0,302
11,25%	mm	0,047	0,064	0,098	0,306	-0,604
	%	0,024	0,032	0,049	0,153	-0,302

Al revisar los valores presentados en el cuadro 2, se puede observar que al aumentar la humedad relativa del aire, aumenta el largo de las probetas de los tableros. Los mayores valores promedios de expansión se presentan en los tableros tratados con un 7,50 y un 11,25% de agente hidrófobo a una humedad relativa del aire de 85% (0,148 y 0,153% del largo inicial respectivamente). Los porcentajes de expansión en el sentido lineal son mayores a medida que se aumentan los valores de humedad relativa del aire, especialmente por sobre el 72% de humedad relativa del aire. Gráficamente la relación se puede observar en la Figura 6 para cada nivel de agente hidrófobo.

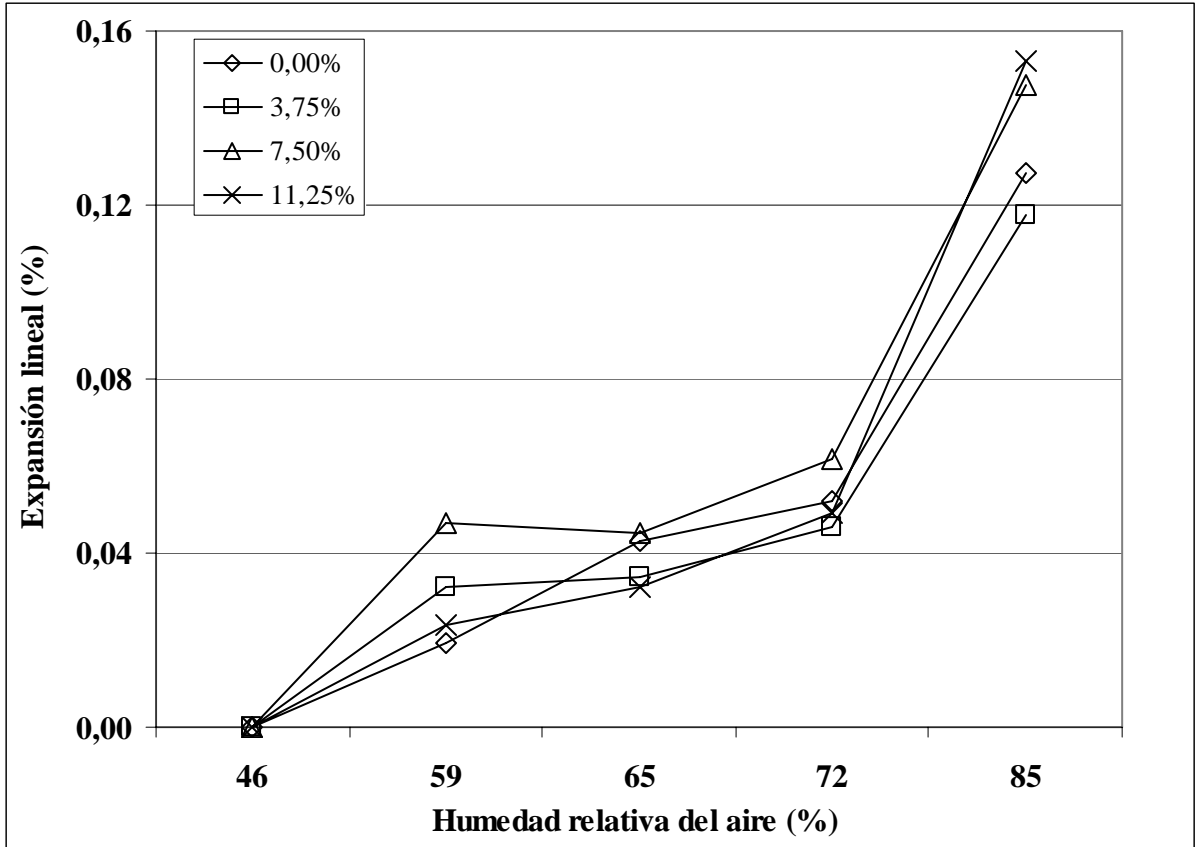


Figura 6 : Expansión lineal en función de la humedad relativa del aire a una temperatura constante de 20°C para cada nivel de hidrófobo.

En la figura 6 se puede ver que los valores de expansión lineal son menores a los registrados para el caso de la expansión en el espesor. Esto se debe a la distinta orientación de las partículas al momento de confeccionar los tableros de partículas. La dirección longitudinal de las fibras de las partículas quedan paralelas a la dirección longitudinal de los tableros. Esta disposición permite que la anisotropía de las partículas de la madera actúen sobre el tablero expandiendo el sentido lineal en menor proporción que el sentido del espesor (NIEMZ y POBLETE, 1996).

Entre la expansión lineal y el nivel del agente hidrófobo en cada condición climática, no se logra apreciar una tendencia clara. Se puede ver que hay un aumento en la expansión lineal para los tratamientos de 7,50 y 11,25% de agente hidrófobo aplicado. Esta tendencia se puede ver gráficamente en la figura 7.

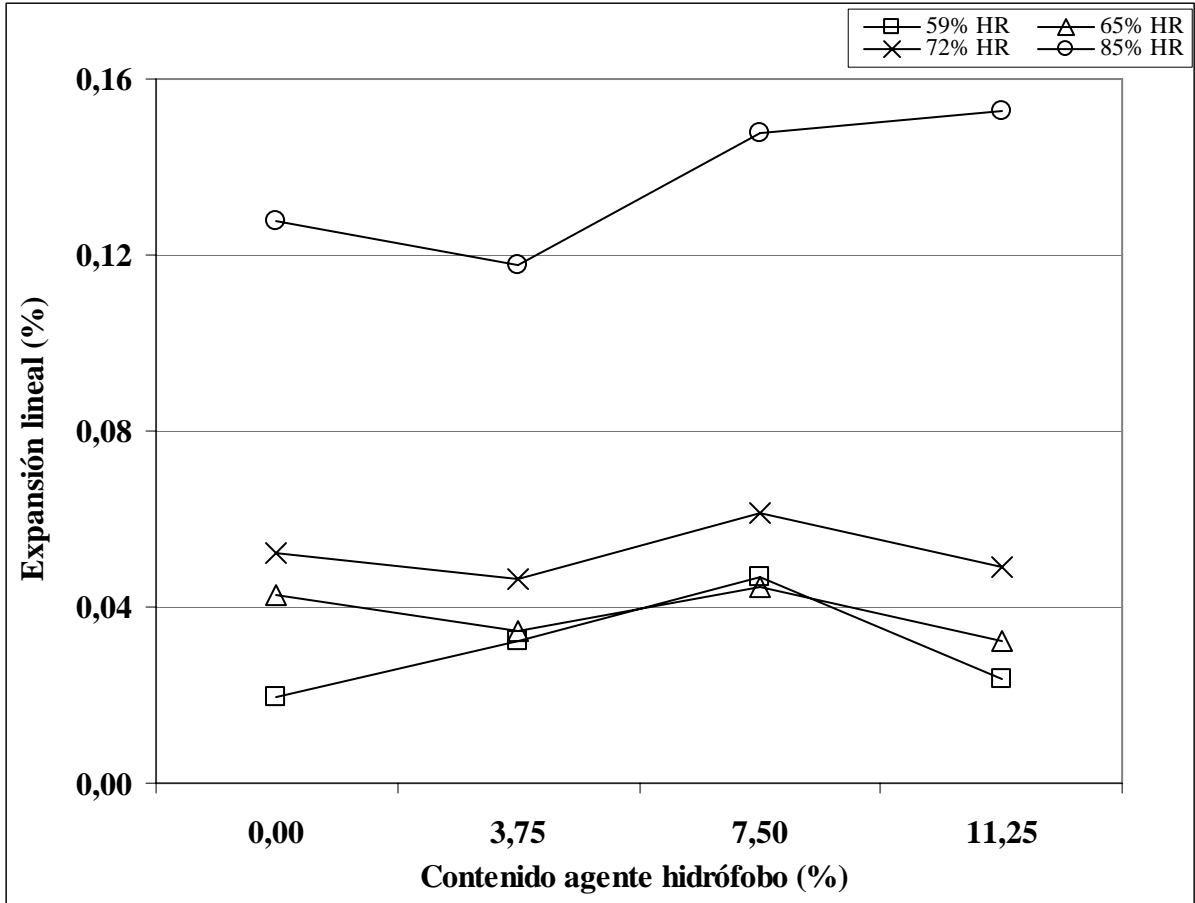


Figura 7 : Expansión lineal en función de los niveles de hidrófobo a una temperatura constante de 20°C para cada nivel de humedad relativa.

En la figura 7 cada una de las poligonales, representa la expansión lineal para cada nivel de agente hidrófobo aplicado y al aumentar la humedad relativa del aire desde 46% a 85%. Se puede ver que sólo en el caso de la humedad relativa de 85%, los tratamientos de 7,50 y 11,25% mostraron mayores niveles de variación dimensional, es decir, menor estabilidad dimensional.

Al realizar el análisis estadístico se puede observar que la diferencia entre los distintos tratamientos de hidrófobo es diferente para los distintos niveles de humedad relativa del aire. Esto se puede apreciar en la figura 8, correspondiente a gráficos de cajas para un nivel de confianza de un 95%.

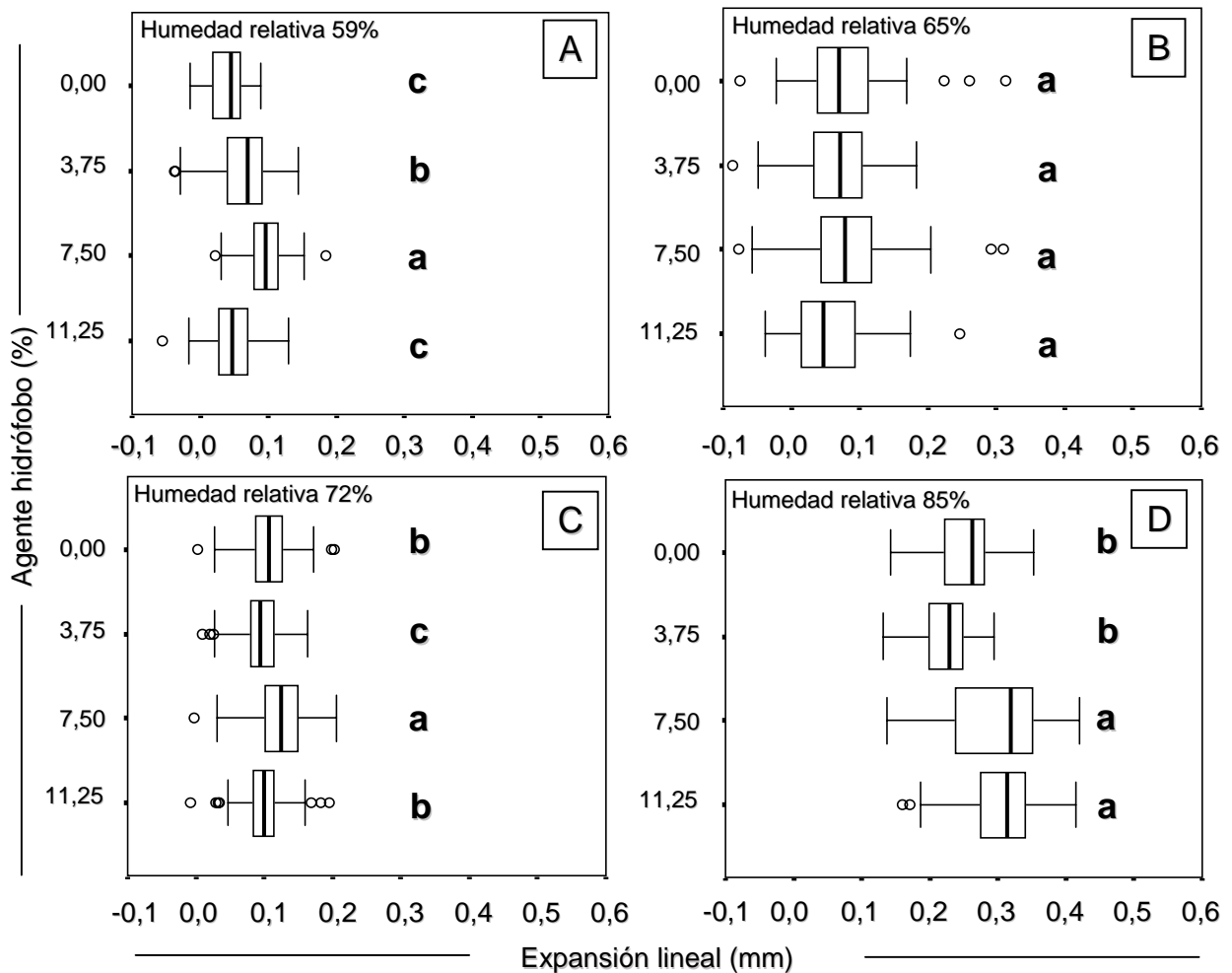


FIGURA 8 : Variación dimensional del largo (lineal) de los tableros (mm), por tratamiento, para cada nivel de humedad relativa del aire. A: humedad relativa 59%, B: humedad relativa 65%, C: humedad relativa 72% y D: humedad relativa 85%. Letras diferentes (a, b, c y d) indican diferencia significativa.

Para una humedad relativa del aire del 59% (figura 8A), los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre el tratamiento de 0,00% y 11,25% de agente hidrófobo, pero estos dos tratamientos son diferentes a los de 3,75% y 7,50%. En este caso la mayor estabilidad dimensional se presentó en el tratamiento con 0,00% y 11,25% de agente hidrófobo.

Para una humedad relativa del aire del 65% (figura 8B), todos los tratamientos aplicados no muestran diferencias significativas entre ellos, es decir, los cuatro tratamientos tienen el mismo efecto en la estabilidad dimensional lineal de los tableros.

Para una humedad relativa del aire de 72% (figura 8C), los tratamientos de 0,00% y 11,25% no mostraron diferencias significativas y el tratamiento de 3,75% y 11,25% tampoco mostraron diferencias significativas entre ellos. El tratamiento de 7,50% mostró diferencias significativas al resto de los tratamientos, siendo el que presentó

la menor estabilidad dimensional. En este caso la mayor estabilidad dimensional se presentó en los tratamientos de 11,25% y 3,75% de agente hidrófobo.

Para una humedad relativa del aire de 85% (figura 8D), los tratamientos de 0,00% y 3,75% de agente hidrófobo no mostraron diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos de 7,50% y 11,25% tampoco mostraron diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, los tratamientos de 0,00% y 3,75% mostraron diferencias significativas con los tratamientos de 7,50% y 11,25%. En este caso la mayor estabilidad dimensional la presentaron los tratamientos con 0,00% y 3,75% de agente hidrófobo.

En general, para todos los niveles de humedad relativa del aire, excepto a 72%, el tratamiento que presentó mayor estabilidad dimensional fué el de 0,00%. Esto coincide con los resultados de la expansión en el espesor.

Las razones por las cuales el tratamiento sin agente hidrófobo presenta los mejores resultados, están explicadas en el punto 4.1.1 que habla de la expansión del espesor. Las razones son válidas, tanto para la expansión en el espesor como para la expansión lineal.

4.2. Humedad de equilibrio.

Los resultados de la determinación de la humedad de equilibrio para cada tipo de tratamiento y condición climática pueden observarse en el cuadro 3.

CUADRO 3 : Humedad de equilibrio de los tableros alcanzada a distintas humedades relativas del aire.

Contenido hidrófobo	Humedad relativa a 20°C				
	46%	59%	65%	72%	85%
0,00%	7,82	8,39	8,31	9,80	11,98
3,75%	7,92	8,61	9,20	10,05	12,35
7,50%	7,71	8,43	9,00	9,82	12,07
11,25%	7,51	8,19	8,44	9,73	12,12

Para todos los tipos de tratamientos estudiados se observa que a medida que aumenta la humedad relativa del aire aumenta la humedad de equilibrio. Los máximos valores de contenido de humedad de equilibrio se presentan para la más alta humedad relativa del aire (85%), estos valores van desde 11,98 a 12,35%. Estos resultados coinciden con lo obtenido por NIEMZ y POBLETE (1995) y POBLETE e INZUNZA (1997).

Para los distintos tratamientos de agente hidrófobo no se aprecia una relación con respecto a la humedad de equilibrio. Esto se puede ver gráficamente en la figura 9.

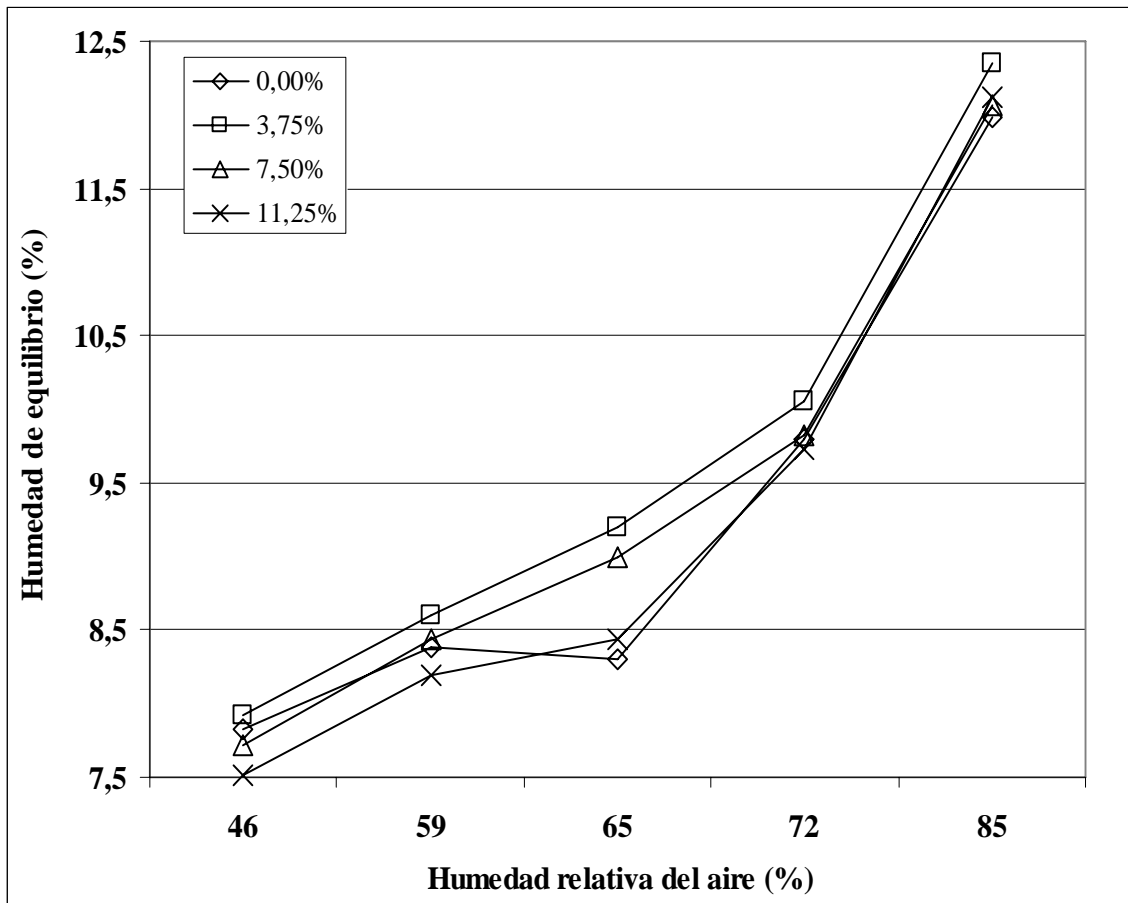


Figura 9 : Efecto de la humedad relativa del aire sobre el contenido de humedad de equilibrio en tableros con distintos niveles de hidrófobo.

Con los valores de humedad de equilibrio y expansión dimensional de los tableros, se calculó la variación dimensional promedio (en porcentaje) por cada 1% de cambio de la humedad de equilibrio (cuadro 4).

CUADRO 4 : Variación dimensional por cada 1% del cambio de humedad de equilibrio.

Contenido hidrófobo	Hinchamiento (por cada 1%)	
	Longitudinal (%)	Espesor (%)
0,00%	0,031	0,920
3,75%	0,027	1,050
7,50%	0,034	1,039
11,25%	0,033	1,071
Promedio	0,031	1,020

Los valores promedios alcanzaron el 1,020 y 0,031% de variación dimensional por cada 1% de cambio en la humedad de equilibrio de los tableros para el espesor y en el sentido lineal respectivamente. Estos valores son mayores, en la variación dimensional del espesor, que los obtenidos por NIEMZ y POBLETE (1996), quienes determinaron valores de 0,840 y 0,032% de cambio dimensional para el sentido del espesor y lineal respectivamente, para tableros de densidades cercanas a los 600 kg/m³. POBLETE e INZUNZA (1997) obtuvieron valores promedio de 0,790 y 0,060% respectivamente, para tableros de densidad media de 650 kg/m³. La variación dimensional en el sentido lineal coincide con lo encontrado en la literatura consultada, sin embargo en la expansión en el espesor las variaciones son mayores. Esto puede deberse a diferencias en la densidad de los tableros estudiados, variable que no fue registrada en este estudio.

5. CONCLUSIONES.

- Las variaciones dimensionales en el sentido del espesor y lineal de los tableros de partículas, aumentan a medida que se aumenta la humedad relativa del aire.
- El aumento del nivel del agente hidrófobo no mejora la estabilidad dimensional de los tableros tanto en el espesor como lineal.
- La variación dimensional en el espesor es mayor que la expansión lineal, siendo esta hasta 33 veces mayor.
- La humedad de equilibrio de los tableros de partículas aumenta a medida que se aumenta la humedad realtiva del aire. No hay diferencias en la humedad de equilibrio entre distintos niveles de hidrófobo.
- La media de cambio dimensional para el espesor y lineal por cada 1% de cambio en la humedad de equilibrio fué de 1,020% y 0,031% respectivamente.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- BERTERRECHE, A. 1994. Efecto de la inclusión de aserrín proveniente de sierra huincha en algunas propiedades físico-mecánicas de tableros de partículas fabricados con *Pinus radiata* D. Don.. Tesis Magister en Ciencias. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 80 p.
- BUSCHBECK, L. ; KEHR, E. 1960. Untersuchungen zur verkürzung der prenzzeit beim heisspressen von Spanplatten. Holztechnologie 1(2): 112-123.
- BRUMBAUGH, J. 1960. Effect of flake dimension on properties of particleboards. Forest Products Journal 10(5): 243-246.
- GATCHELL, C. HEEBINK, B.; HEFTY, F. 1966. Influence of components variables on properties of particleboard for exterior use. Forest Products Journal 16(4): 46-59.
- GINZEL, C.; PERAZA, W. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Instituto de Investigación y Experiencias. Madrid. 185 p.
- HEEBINK, B.; HANN, R. 1959. How wax and particle shape affect stability and strength of oak particleboard?. Forest Products Journal 9 (7): 197-203.
- JORGENSEN, R.; ODELL, R. 1961. Dimensional Stability of oak flake boards as affected by particle geometry and resin spread. Forest Products Journal 11(10): 463-466.
- KELLY, M. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameter and physical properties of particleboard General Technical Report FPL 10. Madison. 64p.
- KOLLMANN, F. KUENZI, E.; STAMM, A. 1975. Principles of Wood Science and Technology. II Wood Based Materials. Springer Verlag. Berlin. 703 p.
- LARMORE, F. 1959. Influence of specific gravity and resin content on properties of particleboard. Forest Products Journal 9(4): 131-134.
- LAWNIZACK, M.; NOWAK, K. 1962. Der Einfluss hydrophobierender imprägniermittel auf feuchtigkeitsbedingte Formänderungen der Span und Flachsschäbenplatten. Holz als Roh- und Werkstoff. 20(2): 68-72.
- LEHMANN, W. 1974. Properties of structural particleboard. Forest Products Journal 24(1): 19-26.
- . 1978. Cyclic moisture conditions and their effects on strength and stability of structural flakeboard. Forest Products Journal 28(6): 23-31.

- MOSLEMI, A. 1974. Particleboard. I Materials. Southern Illinois University Press. 239p.
- MÜLLER, H. 1962. Erfahrungen mit Paraffin - Emulsionen als Quellschutzmittel in der Spanplatten Industrie. Holz als Roh - und Werkstoff. 20(6): 24-28.
- NIEMZ, P.; POBLETE, H. 1995. Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte von MDF und Spanplatten. Holz als Roh - und Werkstoff. 53:368.
- NIEMZ, P.; POBLETE, H. 1996. Estabilidad dimensional y humedad de equilibrio en tableros de fibra (MDF) y de partículas. Ciencia e Investigación Forestal 10(1):49-62.
- POBLETE, H.; INZUNZA, L. 1997. Determinación de la estabilidad dimensional de tableros de partículas ante diferentes condiciones climáticas. Instituto de Tecnología de Productos Forestales. Universidad Austral de Chile. 10p.
- POST, P. 1958. Effects of particle geometry and resin content on bending strength of oak flakeboard. Forest Products Journal 8 (10): 317-327.
- POST, P. 1961. Relationships of flake size and resin content to mechanical and dimensional properties of flakeboard. Forest Products Journal 11 (1): 34-37.
- ROFFAEL, E.; MAY, A. 1983. Parafin sizing of particleboards: chemical aspects. Fraunhofer Institute For Wood Research (WKI), Technical University Braunschweig. Fed. Rep. of Germany. pp. 283-295.
- SOTO, J. 1995. Influencia de la temperatura y tiempo de prensado sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros de partículas fabricados con una mezcla de *Nothofagus*. Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- STEWART, H.; LEHMANN, W. 1973. High - quality particleboard from cross - grain, knifeland hardwood flakes. Forest Products Journal 23(8): 52-60.
- SUCHSLAND, O. 1972. Linear hygroscopic of selected comercial particleboard. Forest Products Journal 22 (11): 28-32.
- TURNER, H. 1954. Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of resin bonded wood-particle panels. Forest Products Journal 4 (5): 210-222.
- VITAL, B.; LEHMANN, W.; BOONE, R. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. Forest Products Journal 24(12): 37-45.

ANEXOS

ANEXO 1

Abstract and keywords

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the effect of a hydrophobic agent on the dimensional stability of particleboards. Boards were made with different quantities of a hydrophobic agent (0,00 - 3,75 - 7,50 and 11,25% on the basis of the dry weight of the solid resin). The rest of the production conditions were kept constant. Boards were made with canelo (*Drimys winteri* Forst.) wood particles.

Boards were submitted to different conditions of relative humidity (46%, 59%, 65%, 72% and 85%) at constant temperature of 20°C. For every climatic condition the linear expansion and the thickness swelling were determined. In addition, the equilibrium moisture content for every climatic condition was calculated.

The results show that with this conditions the addition of a hydrophobic agent does not improve the dimensional stability of the boards.

The equilibrium moisture content increase as the relative humidity increases, this agrees with the results obtained in other studies.

Keywords : particleboards, hydrophobic agent, dimensional stability, equilibrium moisture content.

ANEXO 2

Valores promedios y variación del largo y el espesor

Largo (mm) promedio de las probetas por cada tratamiento.

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	200,339	200,253	200,292	200,358	200,508	199,612
3,75%	200,386	200,317	200,382	200,410	200,553	199,680
7,50%	199,897	199,808	199,902	199,931	200,103	199,205
11,25%	200,281	200,216	200,264	200,315	200,523	199,612

Espesor (mm) promedio de las probetas por cada tratamiento.

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	16,440	16,368	16,423	16,640	16,995	16,205
3,75%	16,455	16,363	16,429	16,674	17,125	16,319
7,50%	16,467	16,394	16,482	16,682	17,136	16,431
11,25%	16,469	16,364	16,447	16,698	17,172	16,493

Variación del largo promedio (mm) por cada tratamiento

Tratamiento	46%	59%	65%	72%	85%	seco
0,00%	0,000	0,039	0,085	0,104	0,255	-0,641
3,75%	0,000	0,064	0,069	0,092	0,236	-0,638
7,50%	0,000	0,094	0,089	0,123	0,295	-0,603
11,25%	0,000	0,047	0,064	0,098	0,306	-0,604

Variación del espesor promedio (mm) por cada tratamiento

Tratamiento	46%	59%	65%	72%	85%	seco
0,00%	0,000	0,055	0,073	0,273	0,627	-0,163
3,75%	0,000	0,066	0,092	0,311	0,763	-0,044
7,50%	0,000	0,088	0,073	0,289	0,742	0,037
11,25%	0,000	0,083	0,105	0,334	0,808	0,128

Variación del largo promedio (%) por cada tratamiento

Tratamiento	46%	59%	65%	72%	85%	0%
0,00%	0,000	0,020	0,043	0,052	0,128	-0,320
3,75%	0,000	0,032	0,034	0,046	0,118	-0,318
7,50%	0,000	0,047	0,044	0,062	0,148	-0,302
11,25%	0,000	0,024	0,032	0,049	0,153	-0,302

Variación del espesor promedio(%) por cada tratamiento

Tratamiento	46%	59%	65%	72%	85%	0%
0,00%	0,000	0,338	0,443	1,666	3,829	-0,993
3,75%	0,000	0,403	0,564	1,903	4,661	-0,270
7,50%	0,000	0,535	0,444	1,760	4,526	0,227
11,25%	0,000	0,505	0,642	2,041	4,934	0,783

ANEXO 3

Valores promedios del largo y espesor de cada tablero

Variación del largo (mm) por cada tablero

Contenido de hidrófobo	Tablero	20° - 65%			20° - 46%		20° - 59%		20° - 72%		20° - 85%		secado estufa	
		Peso	Largo	Superf.	peso	largo	peso	largo	peso	largo	peso	largo	peso	largo
0,00%	1	49,837	200,381	405,6	49,320	200,324	49,568	200,337	50,215	200,395	51,291	200,538	45,779	199,641
	2	49,451	200,313	410,6	48,935	200,204	49,174	200,249	49,843	200,311	50,891	200,473	45,476	199,590
	3	47,481	200,381	405,1	49,470	200,258	49,704	200,315	50,377	200,387	51,374	200,545	46,021	199,635
	4	50,076	200,278	411,3	49,603	200,226	49,856	200,268	50,527	200,338	51,513	200,479	46,054	199,583
3,75%	1	50,841	200,414	410,9	50,196	200,349	50,445	200,377	51,129	200,424	52,229	200,613	46,491	199,707
	2	50,205	200,371	412,0	49,632	200,333	49,964	200,416	50,588	200,425	51,554	200,573	45,991	199,712
	3	50,037	200,348	410,0	49,488	200,271	49,789	200,342	50,413	200,371	51,355	200,500	45,842	199,638
	4	50,406	200,413	410,7	49,898	200,318	50,166	200,392	50,825	200,420	51,759	200,527	46,215	199,662
7,50%	1	49,493	198,364	406,3	48,974	198,273	49,240	198,360	49,858	198,406	50,760	198,529	45,699	197,669
	2	50,431	200,384	411,7	49,898	200,297	50,174	200,386	50,801	200,420	51,756	200,576	46,336	199,698
	3	50,350	200,459	407,8	49,805	200,340	50,088	200,431	50,713	200,465	51,664	200,651	46,205	199,736
	4	50,630	200,380	411,1	50,046	200,322	50,360	200,431	50,971	200,434	51,942	200,658	46,521	199,718
11,25%	1	50,114	200,241	409,5	49,566	200,212	49,879	200,285	50,550	200,302	51,508	200,529	46,281	199,663
	2	50,285	200,327	412,4	49,792	200,250	50,042	200,288	50,737	200,345	51,868	200,559	46,385	199,618
	3	50,810	200,272	410,3	50,314	200,203	50,564	200,240	51,264	200,304	52,414	200,480	46,942	199,599
	4	50,584	200,283	412,6	50,070	200,201	50,329	200,243	51,028	200,307	52,132	200,524	46,584	199,570

Variación del espesor (mm) por cada tablero

Contenido de hidrófobo	Tablero	20° - 65%			20° - 46%		20° - 59%		20° - 72%		25° - 85%		secado estufa	
		Peso	Largo	Superf.	peso	Espesor	peso	Espesor	peso	Espesor	peso	Espesor	peso	Espesor
0,00%	1	24,654	16,399	2.468,0	24,366	16,314	24,500	16,382	24,817	16,586	25,300	16,939	22,545	16,168
	2	25,017	16,461	2.501,7	24,734	16,402	24,870	16,443	25,185	16,664	25,677	17,015	22,894	16,206
	3	25,434	16,350	2.477,5	25,148	16,285	25,288	16,333	25,605	16,549	26,099	16,913	23,302	16,136
	4	25,482	16,551	2.468,8	25,198	16,470	25,341	16,533	25,660	16,762	26,142	17,112	23,335	16,311
3,75%	1	25,338	16,410	2.463,5	25,025	16,326	25,199	16,390	25,533	16,615	26,109	17,076	23,196	16,307
	2	24,986	16,525	2.475,9	24,680	16,432	24,849	16,504	25,191	16,746	25,761	17,211	22,887	16,375
	3	25,174	16,414	2.470,1	24,869	16,328	25,045	16,384	25,388	16,644	25,950	17,080	23,045	16,269
	4	25,072	16,471	2.469,3	24,771	16,365	24,947	16,438	25,293	16,692	25,861	17,135	22,959	16,325
7,50%	1	25,724	16,443	2.491,6	25,396	16,367	25,591	16,449	25,927	16,662	26,499	17,121	23,537	16,291
	2	24,824	16,493	2.468,4	24,506	16,418	24,693	16,509	25,023	16,701	25,584	17,136	22,717	16,315
	3	25,384	16,393	2.466,8	25,060	16,325	25,251	16,402	25,584	16,605	26,152	17,054	23,237	16,442
	4	24,955	16,537	2.466,8	24,639	16,466	24,827	16,566	25,159	16,762	25,709	17,232	22,844	16,676
11,25%	1	25,413	16,450	2.475,9	25,101	16,324	25,283	16,395	25,651	16,648	26,222	17,109	23,297	16,647
	2	24,794	16,515	2.470,1	24,508	16,398	24,683	16,467	25,046	16,748	25,605	17,218	22,742	16,499
	3	24,754	16,409	2.467,6	24,963	16,312	25,142	16,402	25,505	16,657	26,073	17,142	23,174	16,378
	4	24,948	16,504	2.464,3	24,654	16,423	24,837	16,525	25,198	16,741	25,764	17,218	22,874	16,446

ANEXO 4

Valores promedios y variación del peso de las probetas

Variación del peso por tablero (%) (largo)

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	-0,245	0,000	0,493	1,842	3,923	-7,094
3,75%	1,142	0,000	0,577	1,878	3,857	-7,367
7,50%	1,097	0,000	0,573	1,821	3,723	-7,026
11,25%	1,027	0,000	0,537	1,921	4,096	-6,784

Variación del peso por tablero (%) (espesor)

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	1,148	0,000	0,557	1,833	3,795	-7,411
3,75%	1,235	0,000	0,700	2,074	4,365	-7,305
7,50%	1,290	0,000	0,764	2,101	4,360	-7,294
11,25%	0,689	0,000	0,726	2,192	4,474	-7,194

Variación del peso por tablero (gr.) (largo)

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	49,211	49,332	49,575	50,240	51,267	45,832
3,75%	50,372	49,803	50,091	50,739	51,724	46,134
7,50%	50,226	49,681	49,966	50,586	51,530	46,190
11,25%	50,448	49,935	50,204	50,895	51,981	46,548

Variación del peso por tablero (gr.) (espesor)

Tratamiento	65%	46%	59%	72%	85%	seco
0,00%	25,147	24,861	25,000	25,317	25,805	23,019
3,75%	25,143	24,836	25,010	25,351	25,920	23,022
7,50%	25,221	24,900	25,090	25,423	25,986	23,084
11,25%	24,977	24,806	24,986	25,350	25,916	23,022