



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Efecto del contenido de cera y resina sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros HDF

Patrocinante: Sr. Hernán Poblete W.

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

JUAN ALEJANDRO RIVERA ESTRADA

VALDIVIA
2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Hernán Poblete W.	6,6
Informante:	Sr. Luís Vallejos	6,0
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	6,3

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenidos 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

A ti dios por darme la oportunidad de vivir, aprender, mejorar, crecer y regalarme una familia maravillosa, principalmente a mis padres que me dieron la vida mi hermana y mi polola que han estado conmigo en todo momento.

Agradecimiento especial para mi Profesor Guía Dr. Hernán Poblete, por su amistad, paciencia y su constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto. De igual forma deseo expresar mi agradecimiento a los Profesores Informantes Sr. Héctor Cuevas y el Sr. Luís Vallejos, por su apoyo para la culminación de esta tesis.

A la Empresa Masonite Chile por facilitar el material para este estudio, y en forma especial a todos los integrantes del laboratorio de esta empresa.

A mis compañeros y amigos, a la tía Tegua por compartir las angustias y gratificaciones, a todos ellos gracias.

Antes de terminar aprovecho de dar las gracias a todos los que me han ayudado y contribuido en la realización de esta tesis, no los nombro por que no quisiera olvidar alguno.

Siendo humildes comprenderemos que aún tenemos mucho por mejorar, mucho que aprender y que podemos ocuparnos en la tarea de crecer

Con mucho cariño, humildemente Juan Rivera Estrada

Dedicado a mis padres Marta y Domingo

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEORICO	3
2.1 Tablero HDF	3
2.2 Componentes del tablero	3
2.2.1 Madera	3
2.2.2 Corteza	5
2.2.3 Adhesivo	6
2.2.4 Fenol formaldehído	6
2.2.5 Aditivos	6
2.2.6 Cera	7
2.3 Fabricación de tableros HDF Masonite	8
2.4 Propiedades del tablero y su relación con los contenidos de cera y resina	9
2.4.1 Densidad del tablero	9
2.4.2 Expansión lineal en tableros	10
2.4.3 Contenido de humedad y humedad de equilibrio	10
2.4.4 Absorción de agua	11
2.4.5 Resistencia a la flexión: Módulo de rotura y módulo de elasticidad	11
2.4.6 Tracción paralela	12
2.4.7 Clivaje	12
2.4.8 Hinchamiento y estabilidad dimensional en tableros	12
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	14
3.1 Materiales	14
3.1.1 Tableros	14
3.1.2 Equipos Experimental	14
3.2 Metodología	14
3.2.1 Determinación del Hinchamiento en el espesor y de Expansión lineal	15
3.2.2 Contenido humedad de equilibrio	16
3.2.3 Determinación de la resistencia a la flexión (MOR y MOE)	16
3.2.4 Determinación de la resistencia a la tracción paralela	17
3.2.5 Clivaje	18
3.2.6 Hinchamiento total, absorción de agua y densidad	19
3.2.7 Análisis de los resultados	20

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Efecto de la cera y la resina sobre el Módulo de Rotura (MOR) y el Módulo de Elasticidad (MOE)	22
4.2	Efecto de la cera y la resina en la Tracción paralela	23
4.3	Efecto de la cera y la resina sobre el hinchamiento y absorción de agua	24
4.4	Efecto de la cera y la resina en el clivaje	26
4.5	Efecto de la cera y la resina en la expansión; en el espesor, lineal y humedad de equilibrio	28
4.5.1	Humedad de equilibrio	28
4.5.2	Expansión en espesor	30
4.5.3	Expansión lineal	32
5.	CONCLUSIONES	35
6.	BIBLIOGRAFÍA	36
	ANEXOS	
1	Abstract	
2	Análisis estadístico ANOVA para la densidad	
3	Gráficos efecto de la cera y la resina para el hinchamiento y la absorción de agua para 2 y 24 horas	
4	Variación de la densidad para los diferentes niveles de cera y resina	
5	Gráficos de expansión lineal v/s nivel de cera y resina para cada clima	
6	Gráficos regresiones de la expansión lineal en función de la humedad relativa	
7	Gráficos de expansión en espesor v/s contenido de cera y resina para cada clima	
8	Gráficos regresiones de la expansión en espesor en función de la humedad relativa	
9	Gráficos de la humedad de equilibrio v/s nivel de cera y resina para cada clima	
10	Gráficos de humedad de equilibrio, expansión en espesor y lineal según nivel de cera y resina para cada clima	

RESÚMEN EJECUTIVO

Se determinó el efecto de la cera parafínica y la resina fenolformaldehido sobre las propiedades físico-mecánicas del producto que fabrica la empresa Masonite Chile denominado *Doorskins* (tablero HDF). Se confeccionaron tableros con diferentes niveles de cera (1,6%; 1,3%; 1,0%; 0,7%) y resina (5,5%; 5,4%; 5,3%; 5,2%) permaneciendo las demás variables constantes, se evaluó el comportamiento de éstos luego de ser sometidos a un climatizado a 20°C y diferentes humedades relativas entre 40% y 72,5%, a ellos se les midió la humedad de equilibrio, expansión lineal y en espesor.

Además se evaluaron las propiedades módulo de rotura, módulo de elasticidad, tracción paralela, absorción de agua e hinchamiento en una condición de clima normal.

Los resultados para las propiedades realizadas en un clima normal demostraron que no existe una correlación de la cera como tampoco del efecto de la resina, en el rango que cubrió este estudio, con las propiedades: tracción paralela, módulo de elasticidad, módulo de rotura, absorción e hinchamiento, si se puede apreciar el efecto de estas variables en el esfuerzo al clivaje, encontrando una alta correlación entre ellas.

De las propiedades medidas en diferentes climas se registró una variación dimensional en el espesor y longitudinal, siendo la primera hasta 11 veces mayor que en el sentido lineal, no encontrando diferencias visibles entre niveles de ambas series.

Palabras clave: Cera Parafínica, resina Fenolformaldehido, tablero de fibra HDF, propiedades físicas y mecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de productos de madera o sus derivados presenta una serie de ventajas en relación con otros materiales para la construcción. La madera es un material renovable, disponible abundantemente, biodegradable, que recicla y captura carbono proveniente de la atmósfera en su estructura. Para producir productos madereros se requiere de menor cantidad de energía, en comparación a otros productos.

A su vez la utilización de tableros a base de madera permite mantener muchas ventajas sobre madera sólida, como son, dimensiones mayores a las que se dan en la naturaleza, la posibilidad de eliminar defectos de la madera y una mayor homogeneidad del producto final. Al fabricar los tableros se pueden controlar la mayoría de las propiedades variando la densidad y adicionando productos específicos.

Se observa un aumento mundial importante en la producción y consumo de tableros en general, entre ellos los de fibras, destacándose los de alta densidad (HDF). En Chile estos tableros son usados mayoritariamente en mueblería, revestimientos interiores, tabiques, como elementos de decoración y especialmente para placas moldeadas “skins”. Estos tableros son formados por un proceso seco y utilizan como materia prima, madera de coníferas, específicamente *Pinus radiata*, la cual es desfibrada por un proceso termomecánico (TMP). Luego de la adición de resinas sintéticas, cera parafínica como hidrófobo, además de otros aditivos que se incorporan en menor cantidad, las fibras son prensadas para obtener un tablero con una densidad final que varía entre 800 a 1200 kg/m³.

Los tableros HDF así como otros tableros absorben humedad del ambiente provocando aumentos en sus dimensiones y una hidrólisis entre la fibra y la resina. La variación dimensional de los tableros, es una de las propiedades más importantes, sobre todo si se trata de la producción de elementos como puertas, donde las deformaciones deben ser evitadas.

Actualmente se adicionan emulsiones de parafina o se aumenta la cantidad de resina para controlar las variaciones dimensionales. Sin embargo, el aumento de estos componentes se traduce a su vez en cambios de otras propiedades del tablero.

Para el caso de los tableros HDF fabricados en Chile con *Pinus radiata*, no se conoce la relación que existe entre la cantidad de resina y de emulsión de parafina con la estabilidad de los tableros y sus propiedades.

Por lo mencionado anteriormente, la empresa “Masonite Chile” planteó la necesidad de hacer un estudio cuyo objetivo principal es determinar la relación existente entre la estabilidad dimensional y los contenidos de cera y resina en los “skins”. Paralelamente se controlarán los cambios en las propiedades mecánicas del tablero.

Para lograr el objetivo general se propuso los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la variación de las propiedades físicas higroexpansividad, hinchamiento y humedad de equilibrio para cada tablero confeccionado en las distintas condiciones de clima aplicadas.
- Determinar las propiedades físicas densidad, hinchamiento total y absorción de agua y las propiedades mecánicas flexión (MOR y MOE), clivaje y tracción paralela luego de un climatizado a 65% HR y 20° C.
- Correlacionar la variación de cera y resina con las propiedades determinadas.

2. MARCO TEORICO

2.1 Tablero HDF

HDF (*High Density Fiberboard*), corresponde a una clasificación específica dentro de los tableros de fibras, según su densidad también llamados tableros duros. Se trata de un tablero producido por material fibroso de madera, de alta densidad con un peso específico superior a los 800 kg/m³.

Las principales características del producto es que se fabrica a través de un proceso seco el cual utiliza como materia prima madera de *Pinus radiata*. Ésta madera es desfibrada por medio de un proceso termomecánico, se le adiciona resinas sintética (fenol formaldehído) y cera parafínica, y luego de un prensado con alta temperatura se obtiene una placa moldeada “*skins*” con un espesor de 3,2 mm y una densidad promedio de 1050 kg/m³.

Dentro de las ventajas que poseen los tableros moldeados HDF, en comparación con otros tableros, los *skins* de alta densidad son dimensionalmente más estables, las caras de estos tienen gran resistencia al impacto, las terminaciones son muy simples ya que llevan una mano de pintura, tienen un diseño estampado con un estilo propio y poseen un gran potencial decorativo (Goycolea, 2000).

2.2 Componentes del tablero

- material fibroso (madera , corteza) 94%
- resina fenol formaldehído 5,3%
- cera parafínica 0,7%

En general para la fabricación de tableros no existe una receta única y la combinación de los materiales va a estar dada por cada planta y específicamente por los requerimientos demandados de cada producto.

2.2.1 Madera

Para la fabricación de tableros se emplea madera de *Pinus radiata* en la forma de trozas, madera pulpable, ramas o desechos de otros procesos productivos. La presencia de corteza se acepta pero con limitaciones. En general se prefiere madera fresca y con un buen estado sanitario, lo que evita pérdidas, ya que el ataque de hongos provoca disminuciones en el grado de polimerización de las cadenas de celulosa, cortes en las fibras, aumentando la proporción de fibras cortas y reduciendo las propiedades mecánicas del tablero (Poblete, 2004).

El color de la madera tiene un efecto en la cantidad de recubrimiento que se ocupará para obtener el color deseado, la composición química de la madera, será la que ayudará a dar respuestas a los distintos comportamientos de esta frente a los diversos procesos físicos y químicos a que se someta y deberá ser compatible con

los adhesivos que se utilicen. El control del valor del pH de la madera es una actividad necesaria para asegurar la calidad.

La densidad de la especie es importante por cuánto ésta determina la cantidad de fibras por unidad de volumen e influye en los coeficientes de conversión de la planta, en general se requieren densidades que permitan un desfibrado con poco consumo de energía y rápido. Cabe mencionar que al aumentar la densidad se consume mayor energía en el desfibrado, lo que conlleva a un cierto grado de recalentamiento de las fibras produciéndose una coloración más oscura y fibras de menor calidad (Poblete, 2004).

Por lo dicho en el párrafo anterior el *Pinus radiata* es preferido por poseer una madera que presenta una densidad que permite un fácil desfibrado, además de ser ésta una especie de fibras largas permitiendo un mejor anclaje entre las fibras en el tablero y que dan por lo general, mejores propiedades mecánicas (Poblete, 2004).

El largo de fibras es deseable ya que por esta característica, se producen ángulos fibrilares más pequeños y contracciones longitudinales menores (Delmastro *et al.*, 1982).

La porción del fuste que se utilice también tiene efectos sobre la calidad del producto. Estudio sobre el largo de fibras demostraron que la madera obtenida en las partes altas del fuste afecta negativamente las propiedades de resistencia. También se ha encontrado que el *Pinus radiata* presenta incrementos del largo de fibras desde la médula a la corteza. Datos de esta especie en Chile, indican variaciones de promedios desde la médula a la corteza de 1,62 a 3,10 mm (Delmastro *et al.*, 1982).

Por otro lado los extraíbles de la madera son de gran importancia desde el punto de vista de la utilización de la madera, en especial los llamados secundarios, que se encuentran principalmente en el duramen, son más importantes, ya que poseen una mayor influencia sobre los distintos procesos industriales. En su mayoría son sustancias que se depositan durante el proceso de duraminización (polifenoles, quinonas, etc.), y su cantidad depende de factores tales como la especie, sitio, edad y posición en el árbol (Poblete *et al.*, 1991).

Los extraíbles de la madera también tienen efectos sobre el encolado. Aquellos que poseen la propiedad de ser hidrófobos (resinas, aceites) disminuyen la capacidad de la madera para absorber y unirse con el adhesivo. También estos determinan el valor de pH y la capacidad de equilibrio de ionización (capacidad de tampón) de la madera y a través de estas propiedades influyen sobre el proceso de encolado. Este efecto de los extraíbles, se debe a que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos convencionales (urea formaldehído, fenol formaldehído) siguen su curso óptimo solamente en un determinado rango de valor de pH. De esta forma y dependiendo del tipo de adhesivo, la presencia de ciertos extraíbles, puede acelerar, retardar o simplemente inhibir el proceso de fraguado (Poblete *et al.*, 1991).

Otros factores importantes para la calidad del tablero se encuentran en algunos aspectos morfológicos y químicos de las fibras. Entre ellos; la estructura geométrica de la fibra, el tamaño y estado de la superficie de las fibras después del desfibrado, la constitución química, largo, diámetro, y espesor de la pared celular. Estas características determinan la calidad, forma del afieltramiento (formación de la manta) y su compresión en el prensado y con ello la calidad del tablero (Poblete, 2004).

2.2.2 Corteza

La corteza es un material heterogéneo de alta complejidad, se compone de una capa externa inerte de protección con células muertas, usualmente de color oscuro, y una zona interna fisiológicamente activa, se caracteriza por un alto contenido de material extraíble, especialmente de tipo fenólico y por su menor contenido de material lignocelulósico. La composición química de la corteza depende de la especie, de las condiciones de crecimiento del árbol y de la edad de éste (CORFO, 1990).

Los contenidos de corteza en el rollizo de madera varían dependiendo del tamaño de los trozos. En general, al aumentar el diámetro disminuye la proporción de corteza. En *Pinus radiata* se ha determinado que aproximadamente un 10% del volumen corresponde a corteza (Martínez, 1984).

Numerosos estudios se han realizado para probar las cualidades de la corteza y sus efectos en los tableros. Las alteraciones más importantes al incorporar corteza están relacionadas con el color, la estructura anatómica y su composición química (Poblete, 2001).

Se ha determinado en la corteza de *Pinus radita* creciendo en Chile cantidades que se aproximan a un 40% de extraíbles secundarios, principalmente polifenoles simples y de alto peso molecular (Poblete *et al.*, 1991).

Sánchez (1990) estudió las propiedades del tablero de partículas de *Pinus radiata*, encontrando que con aumentos de la proporción de corteza se disminuyen las propiedades mecánicas, esto es por un defecto de las características anatómicas de la corteza. Por el contrario, el hinchamiento y la absorción de agua se ven mejoradas, en este caso se asume una acción repelente al agua de algunos compuestos químicos.

Teniendo en consideración que la corteza es un material rico en compuestos fenólicos y que estos se combinan con el formaldehído, Roffael (1979) estudió el efecto que tiene la inclusión de corteza sobre la emanación de este compuesto. Los resultados de Roffael, con tablero de *Pinus silvestrys*, demuestran que a medida que la cantidad de corteza aumenta, disminuye la capacidad de emanación de los tableros.

2.2.3 Adhesivo

El adhesivo es junto con la madera, el constituyente más importante en el tablero. La variedad de adhesivos que se usan en distintos procesos industriales es muy amplia, de ellos destacan los adhesivos formados por resinas termofraguantes. La resistencia de sus uniones puede ser atribuida a diferentes factores; debido a la alta polaridad y baja viscosidad, el adhesivo penetra en la madera, lo cual da como resultado un mecanismo de unión inicial. Como consecuencia a la alta polaridad, los residuos termofraguantes son conocidos por formar uniones de hidrógenos muy fuertes con los grupos hidroxilos. Las reacciones químicas posteriores ocurren entre los componentes de la madera y las resinas, como resultado de la composición química y temperatura.

Las emisiones de formaldehído durante la producción y utilización de los tableros, constituyen un factor muy importante para la futura aceptación en el mercado de los diferentes tipos de resinas para tableros.

Las propiedades del tablero dependen en gran medida de las materias primas, material fibroso, adhesivo y de las reacciones que se produzcan entre ellas. El tipo de adhesivo, la cantidad y la composición de la mezcla de adhesivo y aditivos determinan las propiedades y el uso que se le dará al tablero (Poblete, 2001).

2.2.4 Fenol formaldehído

La resina denominada fenol formaldehído es de color café oscuro, de alto costo y forma uniones que son resistentes a la intemperie, debe también agregarse la ventaja que las emanaciones de formaldehído son inferiores a las aminoresinas (Poblete, 2001).

La reacción entre el fenol y el formaldehído se provoca en presencia de álcali o de un ácido. El tiempo de gelificación de las resinas fenólicas, varía de acuerdo con el valor de pH. La resina presenta un valor de pH entre 10 a 13 en general son muy básicos, siendo su óptimo para su curado un valor de 4. La temperatura es el principal catalizador (Pizzi, 1994).

En la reacción de fraguado se distinguen tres fases. En primer lugar la resina se encuentra en estado de resol. Al aplicar temperatura sobre el punto de ebullición, pasa al estado de resitol en el que se encuentra parcialmente endurecida y no es soluble en agua o alcohol pero si, en acetona. Si la aplicación de temperatura continúa se alcanza el último estado, resit, donde la resina es insoluble (Poblete, 2001).

2.2.5 Aditivos

La aplicación de aditivos junto a los adhesivos, permite controlar el proceso de fraguado u otorgar a los tableros propiedades específicas que definen el uso del tablero. Entre los aditivos para controlar el proceso de fraguado se encuentran los

catalizadores y retardantes, mientras que entre los aditivos más conocidos para otorgar características especiales están los biocidas, ignífugos, hidrófobos y capturadores de formaldehído.

2.2.6 Cera

Normalmente se agregan hidrófobos a la mezcla de adhesivo para reducir la absorción de agua y el hinchamiento de los tableros. La sustancia más empleada es la cera parafínica, que se agrega en la forma de emulsión (Poblete, 2004).

La cantidad de parafina sólida que se agrega al adhesivo depende del tipo de tablero, como también del tipo de madera y adhesivo que se empleen.

El grado de eficiencia y las cualidades hidrófobas o hidrófugas de las ceras y parafinas esta determinadas fundamentalmente por tres factores (Muller, 1962).

- El tipo y estructura molecular de las parafinas y mezclas de ceras parafínicas.
- El tipo de emulsionantes y estabilizadores requeridos para la homogenización de la parafina en agua. El punto de fusión y contenido de aceite
- El modo de emulsionamiento y homogenización.

Respecto al tipo y estructura molecular de las parafinas Roffael y May (1983) señalan que 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).

En cuanto al tipo de parafinas, se determinó que las iso-Parafinas son menos eficientes que las n-Parafinas como agentes hidrófobos, tanto en la reducción del hinchamiento como de la absorción de agua, siendo esta última propiedad, más sensible al potencial hidrófobo de las parafinas que el hinchamiento.

Finalmente en lo que al 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 hidrocarbonos de mayor longitud.

En cuanto al tipo de emulsionantes y estabilizantes requeridos para homogeneizar las emulsiones parafínicas, estas sustancias deben ser de tal naturaleza que, durante el proceso de prensado, se descompongan por efecto de la presión y temperatura de manera que pierdan su higroscopicidad. El empleo de emulsionante inapropiados puede contrarrestar parcial e incluso totalmente el efecto hidrófobo de

la parafina, dada la facilidad de absorción de agua que tienen algunos emulsionantes producto de su condición lipofoba (Muller, 1962).

2.3 Fabricación de tableros HDF Masonite

Estos tableros son elaborados a través de un proceso seco cuya característica es que en la etapa de prensado la estera está compuesta por fibras secas, con un contenido de humedad inferior al 40%.

La materia prima que se utiliza corresponde a astillas de pino insigne, las cuales son desfibradas a través de un proceso termomecánico, con éste se logra la individualización de las fibras gracias a una etapa térmica donde las astillas son introducidas a una cámara de precalentamiento, en ella son plastificadas con temperaturas superior a los 160° C y vapor a una presión que fluctúa entre 8 y 12 kg/cm², en esta etapa y previo al desfibrado se le agrega cera a las astillas.

El equipo desfibrador consta de dos discos, de los cuales uno está fijo y el otro gira, luego del desfibrado se le agrega la resina a través de una unidad denominada *Blow line*, posteriormente el secado se lleva a cabo mediante arrastre neumático a través de un tubo de secado, las fibras húmedas que vienen con una alta presión desde el desfibrador, son inyectadas al conducto produciéndose un descenso de la presión y una expansión de la pasta. El conducto lleva una corriente de aire o gases de combustión calientes y secos produciéndose la evaporación del agua.

Secas las fibras son dosificadas a una unidad de formación en la cual se forma la estera, pasa por un pre-prensado y dimensionado para ser llevada a la prensa principal, la que cuenta con diez pisos, donde cada uno de ellos está compuesto por dos matrices con diseños de relieves característicos de una puerta, el prensado se realiza con una alta temperatura para la consolidación del tablero.

La figura siguiente muestra el *master panel* que se obtiene del cual se generan 2 *skins*.

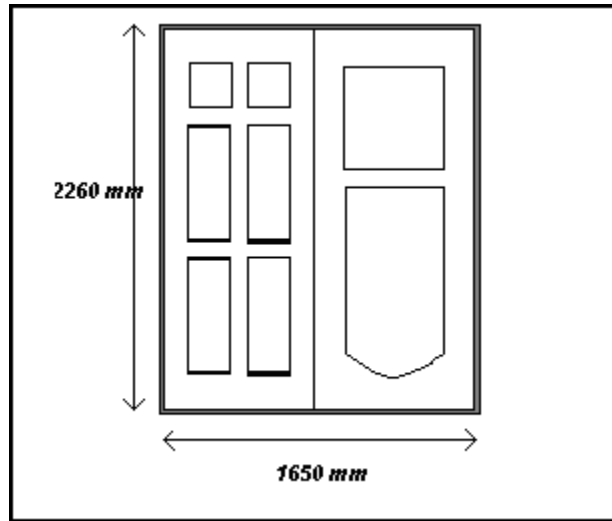


Figura 1. Tablero obtenido después del prensado

2.4 Propiedades del tablero y su relación con los contenidos de cera y resina

Las propiedades de los tableros se ven afectadas por muchos factores que participan en el proceso productivo. Cada propiedad mecánica o física es el reflejo de la forma en que participaron las variables en la producción.

Por otra parte, para asegurar una buena comercialización del tablero, se debe cumplir con los requisitos de las normas, tanto de las resistencias mecánicas como de las propiedades físicas, garantizando la calidad del producto.

2.4.1 Densidad del tablero

La densidad del tablero es una de las propiedades más importantes a determinar, ya que de ella dependen las propiedades mecánicas. Al conocer la densidad se puede determinar si la unidad de formación está dosificando correctamente la cantidad de material requerida (Poblete, 2004).

Es importante contar, además con información respecto a la variación de la densidad en el espesor del tablero. Para ello se debe determinar el perfil de densidad. Con éste se puede evaluar las condiciones del prensado, el fraguado del adhesivo y el estado general del tablero. Generalmente un cambio en la densidad del tablero provoca cambios en todas las propiedades físicas y mecánicas de éste (Poblete, 2001).

Se ha comprobado que los tableros de alta densidad, mayor a 800 kg/m^3 , tienen una estabilidad dimensional menor (Poblete *et al.*, 2000). Por otro lado se han hecho investigaciones para ver la influencia de la densidad en el hinchamiento, no llegando a concluir si la densidad influye o no en ésta propiedad.

Un estudio hecho en tablero de partículas por Berterreche (1994), señala que, luego de periodos largos de inmersión, al penetrar el agua se vence la resistencia de la unión madera-adhesivo. Como los tableros más densos tienen una cantidad lignocelulósica mayor y presentan una elevada deformación por compactación, el hinchamiento producido también será mayor.

2.4.2 *Expansión lineal en tableros*

Esta se refiere al aumento en la longitud o ancho del tablero provocado por una variación de la humedad de equilibrio. Es evaluada generalmente midiendo el aumento de las dimensiones tanto en el sentido perpendicular como paralelo al eje del tablero (Henríquez, 2004).

Vital *et al.*, (1974) señala que en tableros de partículas con una cierta densidad dada, un incremento en la densidad del material leñoso causa una baja en las propiedades mecánicas del tablero y un incremento en la expansión lineal y en el espesor.

Con respecto a la expansión lineal Gatchell *et al.*, (1966) menciona que solo se reduce levemente por un aumento en el contenido de adhesivo.

En estudios realizados por Lampert (1967), donde fabricó tableros HDF producidos por el proceso húmedo, utilizando como materia prima madera de abedul se encontró que ante cambios desde el estado anhidro de los tableros hasta una humedad relativa del aire del 90% se producen variaciones en la masa del tablero hasta un 14%, variaciones en el largo del tablero hasta 0,6% y variaciones en el espesor hasta un 10%.

2.4.3 *Contenido de humedad y humedad de equilibrio*

El contenido de humedad es importante por cuanto ésta característica tiene un efecto directo sobre las propiedades del tablero.

La humedad de equilibrio es el contenido de humedad que adquiere el tablero cuando es expuesto al ambiente durante un tiempo prolongado, en estas condiciones el tablero perderá o ganará agua hasta alcanzar un estado de equilibrio entre la humedad que contiene y la del aire en el lugar donde se encuentre. Ante cambios de la humedad relativa del aire, la magnitud del cambio dimensional es mayor en los tableros que en la madera (Poblete *et al.*, 2000).

Poblete *et al.*, (2000) demostró que la humedad de equilibrio aumenta a medida que se incrementa la humedad relativa del aire, siendo mayor en tableros de menor densidad.

Por otro lado se ha comprobado que los extraíbles tienen además, un efecto notable sobre las propiedades físicas de la madera. Algunos compuestos hidrófobos tienden a disminuir la humedad de equilibrio y reducen la histéresis, lo que es de esperar que los tableros tengan el mismo comportamiento de la madera. Existen especies donde

los extraíbles pueden reducir la contracción (*Pseudotsuga menziesii*) y el hinchamiento (*Teutona grandis*) (Poblete *et al.*, 1991).

En cuanto a la cantidad de resina incorporada al tablero y las propiedades mencionadas no se tienen información pero se podría esperar, que éstas disminuyan en la medida que incorpore mayor cantidad de resina.

2.4.4 Absorción de agua

Dado la importancia que refleja la higroscopicidad del tablero y el efecto que se produce en éste por la absorción de agua, se ha hecho cada vez más necesario tener información sobre ésta propiedad.

Se ha encontrado que existen determinaciones que relacionan la inclusión de un hidrófobo (parafina emulsionada), con la absorción de agua del tablero, encontrándose una mejora significativa de las propiedades físicas, especialmente la absorción de agua (Poblete, 2004).

Quillet (1999) demuestra que la adición de una emulsión de parafina tiene un efecto importante pero limitado en las propiedades físicas del tablero (hinchamiento), donde al prolongarse el tiempo de exposición a la humedad el comportamiento de tableros con emulsiones de parafinas y sin estos tienden a ser similares.

2.4.5 Resistencia a la flexión: Módulo de rotura y módulo de elasticidad

En relación a la resistencia de la flexión estática y su relación con la cantidad de cera se ha encontrado que en tablero de partículas, donde incorporan componentes hidrófobos al tablero, éstos experimentan pequeñas disminuciones en el valor de las propiedades mecánicas, flexión y tracción perpendicular al plano del tablero, ante el aumento del contenido de producto hidrófobo, siendo la tracción más sensible al aumento de la cantidad de parafina en el tablero (Nagel, 1992).

En cuanto a la cantidad de cera, Quillet (1999) sostiene que aparte del efecto limitado de las emulsiones de parafina, se debe tener especial cuidado en que una sobredosis de parafina puede provocar una pérdida de las propiedades mecánicas del tablero.

Ranta (1978); Nagel (1992), concluyen que con un nivel de 1,5% de emulsión de parafina en los tableros de partículas, se obtienen en general las propiedades físicas más adecuadas sin deteriorar las propiedades mecánicas de los paneles, cumpliendo con los valores exigidos por la norma.

En relación a la cantidad de resina y la resistencia a la flexión Dunky y Niemz (2002), señalan que al aumentar la cantidad de adhesivo se mejora la flexión plana y de canto.

2.4.6 Tracción paralela

No existen determinaciones que establezcan relaciones entre la cantidad de resina y esta propiedad. Sin embargo, si se tienen presente los resultados de Dunky y Niemz (2002), que indican que con mayores cantidades de resina se mejoran las propiedades mecánicas, sería posible esperar también un mejoramiento de la resistencia a la tracción paralela. Contrario a lo anterior, los resultados de Nagel (1992) señalan que un aumento de la cantidad de emulsión de parafina, compuesto hidrófobo, interfiere en el desarrollo de una buena unión, mejora las propiedades físicas (hinchamiento y absorción de agua) y disminuye las propiedades mecánicas de los tableros.

2.4.7 Clivaje

Para el caso de determinar la fuerza necesaria que se debe ejercer para desprender la unión del *skin* con el batiente, y como es el comportamiento de ésta frente a cambios de cera y resina, no existe información que establezcan las relaciones entre cada una de estas variables, pero es de esperar que con aumentos de cera se produzca una disminución de ésta propiedad, debido al aumento de componentes hidrófobos que impiden la penetración del adhesivo, lo que se traducirá en una unión débil. En cuanto a la variación de resina, y su influencia en ésta propiedad, se espera que con aumentos de ésta haya una mejora en el clivaje.

2.4.8 Hinchamiento y estabilidad dimensional en tableros

Los tableros por ser un material confeccionado con madera, son higroscópica y dimensionalmente inestable al estar expuesto en un ambiente con una alta humedad. Estos al absorber humedad desde el lugar donde se encuentren aumentan sus dimensiones mostrando un comportamiento desigual en los diferentes planos, característico de la anisotropía de la madera (Díaz-Vaz, 2003).

El deterioro de una unión se puede dar por una hidrólisis de la resina, una falla en la unión entre el adhesivo y la superficie de la fibra de madera o por una rotura provocada por los esfuerzos mecánicos que provoca el hinchamiento al penetrar el agua en el tablero (Poblete, 2004).

Moslemi (1974) señala que el hinchamiento en los tableros puede ser tres veces mayor al de la madera.

Para controlar la inestabilidad dimensional de los tableros se miden parámetros como el hinchamiento y la expansión lineal. El hinchamiento refleja la estabilidad dimensional del tablero ante variaciones de las condiciones de humedad ambiental. Esta propiedad también entrega información valiosa respecto a la efectividad de hidrófobos (emulsiones de cera) que se hayan agregado (Poblete, 2001).

La medida más recurrida para reducir el hinchamiento y la pérdida de resistencia que se produce por éste fenómeno, es agregar emulsiones de parafina a la mezcla de

adhesivo. Quillet (1999) demuestra que la adición de una emulsión de parafina tiene un efecto importante pero limitado en la reducción del hinchamiento, en tablero MDF, indicó que no se encontraron diferencias entre la adición de 2% y 0,5% de parafina, luego de 24 horas de inmersión en agua.

En estudios hechos por Roffael y May (1983) concluyeron; a medida que aumenta el número de carbonos que componen la estructura molecular de las parafinas (la longitud de la cadena), 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.

En cuanto a la estabilidad dimensional y su relación con las condiciones climáticas, Niemz y Poblete (1996) estudiaron tableros de fibras (MDF) y de partículas con diferentes densidades y variaron la humedad relativa del aire entre 40% y 95%, manteniendo la temperatura constante en 23°C. Las condiciones del estudio no permiten observar una relación clara entre la densidad del tablero y el cambio dimensional.

Berterreche (1994) tampoco encuentra en tableros de partículas una relación entre la densidad y la variación en el espesor luego de someter, tableros de diversas densidades 570 y 655 kg/m³, a climas con 70% y 90% de humedad relativa.

Poblete *et al.*, (2000) confirma que la variación dimensional aumenta con la densidad del tablero. En el sentido del espesor la variación dimensional se ve más acentuada que en el sentido longitudinal.

En relación a la cantidad de adhesivo, en un resumen presentado por Dunky y Niemz (2002), señala, al aumentar la cantidad de adhesivo en tableros MDF, se obtienen los siguientes efectos en las propiedades de éste; tracción aumenta, flexión plana aumenta, flexión canto aumenta, hinchamiento a 2 y 24 horas baja, absorción de agua baja.

Larmore (1959) señala que la cantidad de resina utilizada en la fabricación de los tableros afecta la estabilidad dimensional en el espesor. Con incrementos en la cantidad de adhesivo se obtiene un menor cambio dimensional en el espesor del tablero.

Estudio hecho por Lampert (1967) demuestra que al adicionar adhesivos (fenol formaldehído) en tableros HDF producidos por el proceso húmedo, se reduce el hinchamiento. Con hasta un 6% de adhesivo se producen los mayores efectos en el hinchamiento sobre ese valor se reduce pero muy lentamente.

Por otro lado Lampert (1967) en tableros con una densidad de 900 kg/m³, señala que al incorporar aditivos como parafina al tablero en cantidades de 0,5% a 2,5% se reduce el hinchamiento de 28% a 12% respectivamente. La absorción de agua también disminuye.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales

3.1.1 Tableros

Para confeccionar los tableros se utilizó madera de *Pinus radiata* con la adición de resina fenol formaldehído y cera parafínica.

Los tableros fueron elaborados en la línea de producción de la empresa “Masonite Chile” manteniendo todas las condiciones normales de producción.

3.1.2 Equipos Experimental

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron equipos del Laboratorio de Tableros del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile y equipos de la empresa Masonite Chile S.A.

- Cámara Heraeus; Con rangos de humedad relativa de 40% hasta 90%. El rango de temperatura fluctúa entre 10 – 45° C. Con una precisión de $\pm 4\%$ y $\pm 3^\circ$ C.
- Estufa Heraeus; Ésta estufa posee rangos de temperatura que oscilan entre 0 a 250° C, con una precisión de 1° C.
- Equipo de medición Mitutoyo; Medidores digitales para espesor y longitud, precisión de 0,001 mm.
- Máquina universal de ensayos mecánicos; Mohr-Federhaf-Loesenhauser.
- Balanza científica con una precisión de 0,01g.

3.2 Metodología

Para lograr los objetivos planteados se evaluaron los tableros fabricados con diferentes cantidades de cera y resina con las variaciones que se detallan a continuación.

Cuadro 1. Variables y niveles de cada una de éstas

Variable	Niveles (%bms)			
Resina (Fenol)	5,2	5,3*	5,4	5,5
Cera (PF)	0,7*	1,0	1,3	1,6

* Niveles normales con los que se fabrican los tableros.

Para cada una de las condiciones planteadas se construyeron tres *skins*, de donde se obtuvieron las probetas para cada uno de los ensayos.

3.2.1 Determinación del Hinchamiento en el espesor y de Expansión lineal

Esta propiedad se midió de acuerdo con la metodología propuesta por Niemz y Poblete (1996). Según estos autores las dimensiones de las probetas para la medición del cambio dimensional en el largo y ancho fueron de 200 mm de largo por 20 mm de ancho por 3,2 mm de espesor. El número que se ensayaron por tablero fueron 10.

Las probetas fueron expuestas en la cámara de clima ante cambios de humedad relativa de 40% - 52,5% - 65% y 72,5% y a temperatura constante 20° C, en forma sucesiva y aumentando. Para éste caso fue necesario identificar 2 puntos a través de marcas de 3 cm de cada extremo, con el objetivo de realizar las medidas en los mismos puntos. Para controlar la expansión longitudinal también se realizó una marca en unos de los cantos de la probeta. Probeta de expansión lineal (EN, 318).

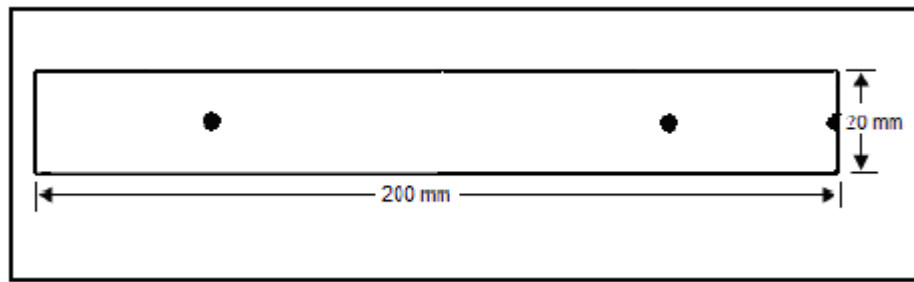


Figura 2. Probeta de expansión lineal

Las mediciones se realizaron una vez que las probetas alcanzaron peso constante, en cada una de las condiciones climáticas dadas y se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$H_E = \frac{(d_1 - d_2)}{d_2} \times 100$$

Donde:

H_E : Hinchamiento en el espesor (%).

d_1 : Dimensión a 40; 52,5; 65 y 72,5 % humedad relativa.

d_2 : Dimensión inicial, base a un estado anhidro.

Con la siguiente fórmula se determinó la expansión lineal:

$$E_L = \frac{(d_1 - d_2)}{d_2} \times 100$$

Donde:

E_L : Expansión lineal (%).

d_1 : Dimensión a 40; 52,5; 65 y 72,5 % humedad relativa.

d_2 : Dimensión inicial, base a un estado anhidro.

3.2.4 Contenido humedad de equilibrio

Las probetas fueron pesadas luego de ser sometidas a cada condición de clima ya mencionado y luego del secado en estufa a $103^\circ \pm 2^\circ$ C hasta peso constante, se calculó la variación de la humedad de equilibrio con las diferentes condiciones de clima. El número de probetas que se evaluó en esta propiedad es de 10 por tablero y éstas se calcularon de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$H_e = \frac{(p_1 - p_0)}{P_0} \times 100$$

Donde:

H_e = Humedad de equilibrio (%).

p_1 = Peso a 40; 52,5; 65 y 72,5 % humedad relativa.

p_0 = Peso a un estado anhidro.

3.2.3 Determinación de la resistencia a la flexión (MOR y MOE)

Esta propiedad se midió de acuerdo con la norma DIN 52.352 para tableros de fibras duros de espesores menores a 6,0 mm.

Las probetas tuvieron dimensiones de 50 mm en el ancho y el largo fue 24 espesores del tablero más 50 mm. Este procedimiento se llevó a cabo en la máquina universal de ensayos mecánicos y a través de un software se calculó los módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática. Dicho ensayo se presenta en la figura 3.

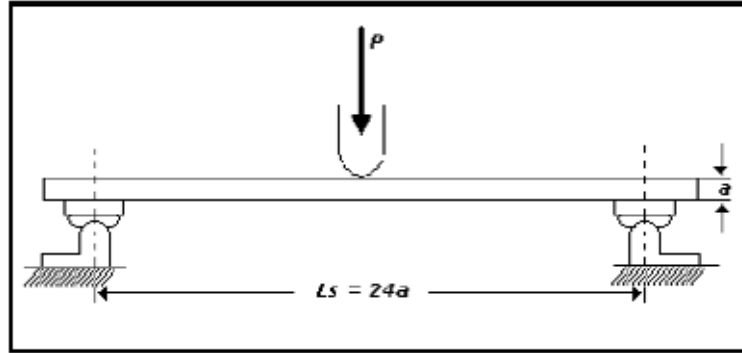


Figura 3. Ensayo de flexión para tableros duros (DIN, 52.352)

El cálculo de esta propiedad se llevó a cabo utilizando las siguientes relaciones:

$$\text{MOR} = \frac{3 \times Q \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Donde:

- MOR: Módulo de rotura (kg/cm²)
- Q : Carga máxima medida en la máquina universal (kg)
- L : Distancia entre el centro de los apoyos (cm)
- b : Ancho de la probeta (cm)
- h : Espesor de la probeta (mm)

Paralelamente se pudo medir el módulo de elasticidad aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{MOE} = \frac{PI \times L^3}{FI \times 4 \times b \times h^3}$$

Donde:

- MOE : Módulo de elasticidad a la flexión estática (kg/cm²)
- PI : Carga en el límite de proporcionalidad (kg)
- FI : Deformación en el límite de proporcionalidad (mm)
- L : Distancia entre el centro de los apoyos (cm)
- b : Ancho de la probeta (cm)
- h : Espesor de cada probeta (mm)

3.2.4 Determinación de la resistencia a la tracción paralela

Para este ensayo se ha diseñado una probeta especial tomando como base la norma DIN 52.377, para tableros contrachapados y madera sólida. Éstas fueron climatizadas a 65 ± 3% de humedad relativa con una temperatura de 20° C. La

probeta mantiene la forma original de la norma pero con dimensiones inferiores como lo muestra la figura 4.

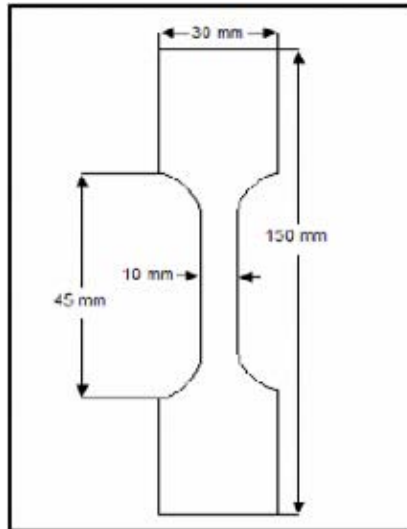


Figura 4. Adaptación de la probeta de tracción paralela

El valor de la resistencia a la tracción paralela se calculó por la siguiente fórmula:

$$R_{TP} = \frac{Q}{b \times h}$$

Donde:

- R_{TP} : Resistencia a la tracción paralela (kg/cm^2)
- Q : Carga máxima soportada por la probeta a la tracción (kg)
- b : Ancho de la probeta (10 mm)
- h : espesor en el centro de cada probeta (mm)

3.2.5 Clivaje

Esta propiedad se midió de acuerdo a la norma ASTM D 1037: “*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and particle Panel Materials*”. El objetivo es determinar la fuerza necesaria expresada en Newton que se debe ejercer para desprender la unión del *Doorskin* con el batiente. El taco que representa al batiente es un tablero MDF, al cual se le adhiere la probeta que se quiere ensayar. La forma es como lo representa la figura 5.

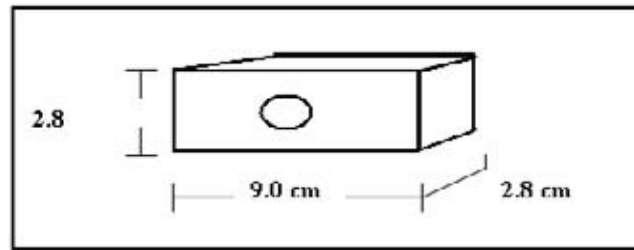


Figura 5. Taco utilizado para determinar el clivaje

La figura 6 muestra la posición de las probetas de ensayo en la máquina universal

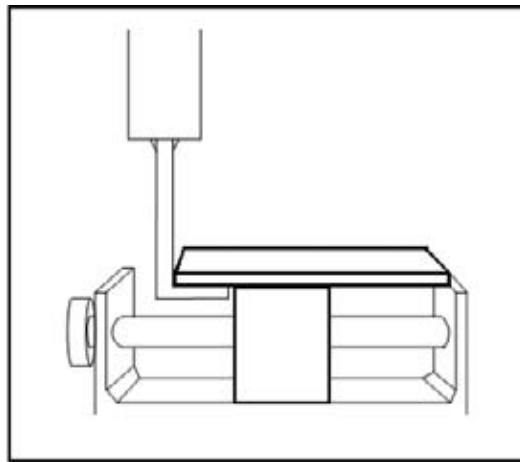


Figura 6. Posición de la probeta para determinar el clivaje en la maquina universal

3.2.8 *Hinchamiento total, absorción de agua y densidad*

El hinchamiento total se determinó de acuerdo a la norma DIN 52.350, se calculó sometiendo las probetas a un baño de agua a 20° C, por 2 y 24 horas, midiendo el espesor antes y después del baño. El aumento del espesor se expresó como porcentaje y se define como hinchamiento. Para medir esta propiedad, las probetas deben poseer dimensiones de 50 x 50 mm, el número de ellas es de 20 por cada tablero.

La absorción de agua se determinó de acuerdo a la norma DIN 52.351. El valor de ésta propiedad fue obtenida por diferencia de peso antes y después del baño y se expresa como porcentaje. Las probetas fueron las mismas que se utilizaron para medir el hinchamiento.

La densidad se determinó de acuerdo a la norma DIN 52.350, en probetas obtenidas para medir hinchamiento. El número de probetas que se ensayó corresponde a las de este ensayo.

La fórmula que se usó fue:

$$G_t = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} \times 100$$

Donde:

G_t: Hinchamiento (%)

t₁ : Espesor de la probeta antes de inmersión (mm)

t₂ : Espesor de la probeta después de inmersión (mm)

La absorción de agua se obtuvo a través de la misma probeta tomando en cuenta la diferencia de peso tanto para 2 horas como para 24 horas. Esto se logró medir mediante la siguiente relación:

$$A_p = \frac{(p_2 - p_1)}{p_1} \times 100$$

Donde:

A_p: Absorción (%)

p₁ : Peso de la probeta antes de inmersión (g)

p₂: Peso de la probeta después de inmersión (g)

Con la siguiente relación se determinó la densidad:

$$D = \frac{P}{L \times A \times E}$$

Donde:

D: Densidad del tablero (kg/m³).

E: Espesor promedio de la probeta (m).

P: Peso de la probeta (kg).

L y A: Largo y ancho de la probeta (m).

3.2.9 *Análisis de los resultados*

Antes de cualquier análisis es relevante recordar que no existe en la literatura estudios que relacionen la influencia de la cera y resina con las propiedades físicas y mecánicas en tableros HDF.

Los resultados obtenidos en cada uno de los niveles de las variables especificadas anteriormente, fueron comparados con los valores obtenidos por Vargas (2005), él estudió el efecto de la densidad sobre las propiedades físicas y mecánicas en tableros HDF. Para evaluar los resultados con los diferentes contenidos de cada variable (densidad), se realizó un análisis de varianza. También se hizo, análisis de

correlación mediante regresión, con el fin de determinar el grado de asociación existente entre las variables y las propiedades de los tableros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la cera y la resina sobre el Módulo de Rotura (MOR) y el Módulo de Elasticidad (MOE) en flexión estática.

El cuadro 2 muestra los valores obtenidos por el efecto de ambas variables y la densidad que presentaron los respectivos tableros.

Cuadro 2. Tabla de estadígrafos para el MOE y el MOR

Resina (%)	Densidad (Kg/m ³)	Estadígrafos	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
5,5	886,0	Promedio Desv. Estándar	3290 723	41,6 3,8
5,4	880,1	Promedio Desv. Estándar	3228 609	41,2 3,7
5,3	896,3	Promedio Desv. Estándar	3019 444	41,5 4,1
5,2	945,6	Promedio Desv. Estándar	3630 653	45,6 5,0
Cera (%)				
1,6	898,1	Promedio Desv. Estándar	3402 700	40,4 6,5
1,3	900,1	Promedio Desv. Estándar	2743 525	38,6 5,7
1,0	903,4	Promedio Desv. Estándar	3323 584	41,6 5,01
0,7	906,9	Promedio Desv. Estándar	3021 576	41,1 4,6

Los tableros en estudio registraron una resistencia promedio mínima a la rotura (MOR) de 41,2 N/mm² para el caso de la resina y de 38,6 N/mm² para la cera. La medida de la rigidez (MOE) presentó un promedio mínimo de 3019 N/mm² en el estudio del efecto de la resina y de 2743 N/mm² en la serie con variación del contenido de cera.

El promedio más alto obtenido en la resistencia a la rotura fue de 45,6 N/mm², valor encontrado en la serie resina 5,2% y que coincide con el valor de densidad más alto encontrado en los tableros en estudio.

Al determinar la densidad de las probetas, se pudo comprobar que existe una variación importante de este parámetro, efecto notorio en la serie que estudia el efecto de la resina. Estas variaciones de la densidad impiden reconocer el efecto del adhesivo. En la serie cera, si bien las variaciones de densidad fueron menores no se ve una tendencia clara atribuible a dicho factor.

Dada la resistencia que presentaron los tableros a la flexión, se observó que no existe una dependencia clara de la cera como tampoco del efecto de la resina sobre esta propiedad, en el rango que cubrió este estudio. El efecto más notorio es producido por la diferencia de densidad que presentaron los tableros en cuestión. Lo

cual es corroborado por Poblete (2001), él señala que en general un cambio en la densidad del tablero provoca cambios en todas las propiedades físicas y mecánicas de éste.

Por otro lado en estudio hecho por Vargas (2005) concluye, a medida que aumenta la densidad se incrementa la resistencia que presentan los tableros respecto al MOE y MOR, lo cual demuestra que ésta es una de las variables más influyentes sobre esta propiedad.

Dado los resultados obtenidos y comparados con los encontrados por Vargas se puede ver que éstos son similares para el módulo de elasticidad (MOE) y levemente superiores para el módulo de rotura (MOR), esto es válido para densidades similares.

A fin de corroborar la apreciación de la existencia de diferencias significativas en la densidad de los tableros de cada variable en estudio se realizó un análisis de varianza.

Al observar la tabla ANOVA (Anexo 2) para la densidad según nivel de resina, el p-valor es inferior a 0,05, lo cual indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la densidad media de un nivel de resina a otro para un nivel de confianza del 95,0%.

Para el caso de la cera del ANOVA realizado se desprende, puesto que el p-valor es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre la densidad media de un nivel de cera a otro para un nivel de confianza del 95,0%.

4.2 Efecto de la cera y la resina en la Tracción paralela

Para la realización de este ensayo se diseñó una probeta de acuerdo con la norma DIN 52.377, para tableros contrachapados y madera sólida con dimensiones menores. La probeta diseñada no corresponde a ninguna norma establecida para tableros HDF (ver figura 4) ya que no existe una norma que evalúe esta propiedad. El cuadro 3 muestra los valores obtenidos para cada una de las serie.

Cuadro 3. Tabla de estadígrafos para la tracción paralela

Resina (%)	Densidad (Kg/m ³)	Estadígrafos	Tracción paralela (N/mm ²)
5,5	886,0	Promedio Desv. Estándar	9,39 0,91
5,4	880,1	Promedio Desv. Estándar	9,86 0,76
5,3	896,3	Promedio Desv. Estándar	10,23 1,08
5,2	945,6	Promedio Desv. Estándar	10,00 0,80
Cera (%)			
1,6	898,1	Promedio Desv. Estándar	9,60 0,94
1,3	900,1	Promedio Desv. Estándar	9,24 1,29
1,0	903,4	Promedio Desv. Estándar	9,57 1,09
0,7	906,9	Promedio Desv. Estándar	9,84 1,24

Del efecto producido por la resina sobre esta propiedad se obtuvo un valor promedio más alto de 10,23 N/mm² y un valor promedio mínimo de 9,39 N/mm² encontrado para la serie resina, en el nivel 5,3% y 5,5% respectivamente. Para la serie cera se obtuvo un valor promedio más alto de 9,84 N/mm², obtenido en el nivel 0,7% y un valor promedio mínimo de 9,24 N/mm² obtenido en el nivel 1,3%.

Dado los resultados obtenidos en esta propiedad se puede ver que no hay un efecto notorio producido por los diferentes niveles de las variables cera y resina.

Los valores obtenidos en esta propiedad difieren levemente entre variables presentando densidades similares y son visiblemente mayores que los valores encontrados por Vargas (2005) en tableros HDF producidos en condiciones normales con una densidad de 973 (Kg/m³) el cual registró un valor promedio de 2,7 (N/mm²).

4.3 Efecto de la cera y la resina sobre el hinchamiento y absorción de agua

Para la realización de éste análisis se obtuvieron probetas de diferentes zonas del tablero, estas se pusieron bajo agua por 2 y 24 horas. Es necesario mencionar que se le midió la densidad a todas las probetas, encontrando diferencias significativas entre tableros para la serie resina efecto menos notorio para la serie cera la cual presentaron diferencias de densidad no significativas para un nivel de confianza de 95% (Anexo 2).

Respecto a los valores obtenidos por esta propiedad para el efecto dado por la resina y la cera. El cuadro 4 muestra los resultados obtenidos por ambas serie.

Cuadro 4. Tabla valores de absorción e hinchamiento para 2 y 24 horas

Resina (%)	Hinchamiento (%) 2hr	Hinchamiento (%) 24hr	Absorción (%) 2hr	Absorción (%) 24hr
5,2	11,1	21,4	14,8	35,1
5,3	10,3	19,3	14,7	36,4
5,4	10,7	20,6	16,0	36,3
5,5	11,8	23,1	17,0	39,8
Cera (%)				
0,7	9,6	18,5	15,5	35,2
1,0	10,9	19,0	16,4	35,1
1,3	9,6	19,4	14,6	35,5
1,6	10,5	19,3	15,4	34,9

De los resultados obtenidos, los valores más altos encontrados corresponden a la serie resina, específicamente en el nivel 5,5% obteniendo 23,1% en hinchamiento y 39,8% en absorción ambos a 24 horas. Esto permite inferir que los tableros logran incrementar su dimensión en espesor producto de la inmersión en agua de 24 horas en un 23,1% de su espesor inicial. En relación a los valores encontrados para ambas variables se puede ver que los resultados de la serie cera, para la absorción e hinchamiento fueron menores que los obtenidos para la serie resina, a 2 hrs. y 24 hrs.

En las figuras 7 y 8 se puede observar el efecto de ambas series.

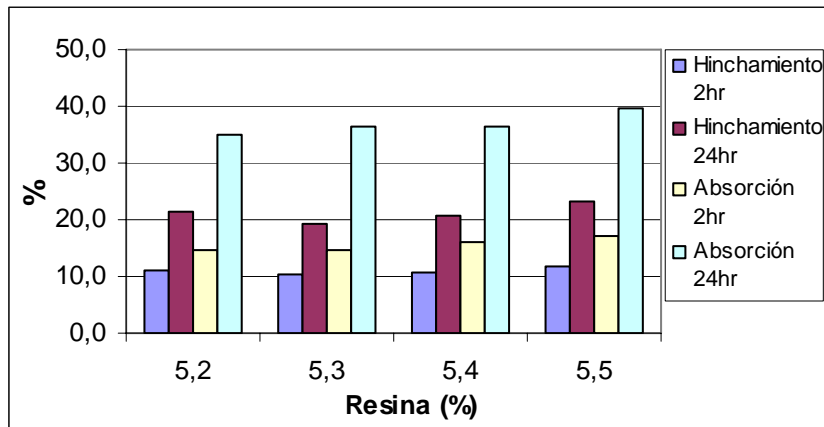


Figura 7. Efecto de la resina en el hinchamiento y absorción a 2hr y 24hr

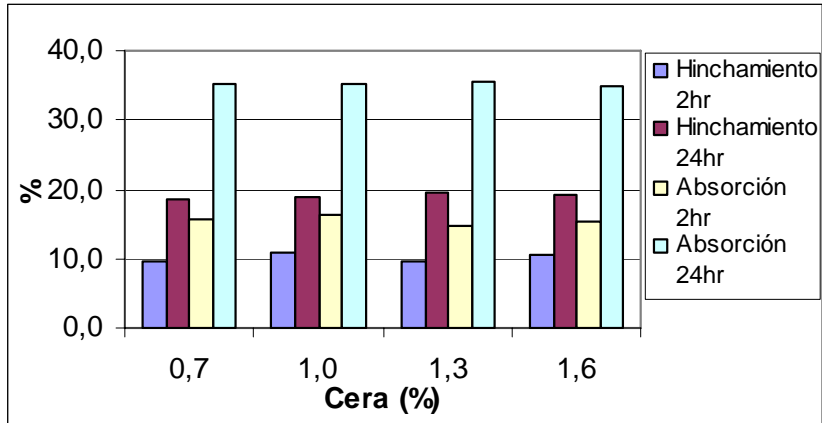


Figura 8. Efecto de la resina en el hinchamiento y absorción a 2hr y 24hr

De los resultados obtenidos se puede apreciar que no existe un efecto notorio del efecto de la cera como tampoco de la resina sobre las propiedades hinchamiento y absorción de agua a 2 horas y 24 horas, en el rango que cubrió el estudio. En relación a los resultados obtenidos en este estudio y comparados con los valores registrados por Vargas (2005), se puede decir que estos son levemente superiores.

El parámetro que fija la norma (DIN 68.750) estipula que para tableros duros el hinchamiento a 24 horas no debe ser mayor al 18% como máximo. En referencia a la norma ninguno de los tableros de ambas series cumplió con lo que estipula ésta, ya que todos los tableros superaron los límites exigidos.

Siguiendo con lo que estipula la norma para tableros duros la absorción durante 24 horas de inmersión en agua no debe ser mayor al 30%. En referencia a ella los tableros en estudio no cumplen con los límites fijados por ésta.

A manera de conclusión del análisis de hinchamiento y de absorción se puede señalar que el efecto de estos niveles de cera y resina usada, no explica el comportamiento de los tableros ante estas propiedades. En términos generales se puede decir que los niveles usados para las series no permiten ver diferencias o que éstas se encuentran disfrazadas por la variación de otras variables de producción que puedan afectar las propiedades en estudio.

Los resultados obtenidos en este estudio tienen relación con los obtenidos por Quillet (1999), él demuestra que la adición de una emulsión de parafina tiene un efecto importante pero limitado en la reducción del hinchamiento, en tablero MDF, indicó que no se encontraron diferencias entre la adición de 2% y 0,5% de parafina, luego de 24 horas de inmersión en agua.

4.4 Efecto de la cera y la resina en el clivaje

Respecto a esta propiedad y su relación con las variables cera y resina, no fue posible su comparación, con otros tableros, ya que ésta es solo medida por la

empresa quien facilitó los tableros para el estudio. El ensayo se midió de acuerdo a la norma ASTM D 1037.

Los resultados obtenidos en esta propiedad se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Tabla de estadígrafos obtenidos para el clivaje

Resina (%)	Estadígrafos	Clivaje (N)
5,5	Promedio	461
	Desv. Estándar	58
5,4	Promedio	448
	Desv. Estándar	56
5,3	Promedio	445
	Desv. Estándar	42
5,2	Promedio	436
	Desv. Estándar	36
Cera (%)		
1,6	Promedio	404
	Desv. Estándar	57
1,3	Promedio	391
	Desv. Estándar	48
1,0	Promedio	408
	Desv. Estándar	35
0,7	Promedio	424
	Desv. Estándar	48

De los resultados mostrados en el cuadro anterior, el promedio más alto fue 461N el cual se obtuvo en la serie resina 5,5% y el promedio más bajo fue 391N obtenido en la serie cera 1,3%.

En los gráficos 9 y 10 se puede ver el efecto de la cera y la resina sobre el clivaje.

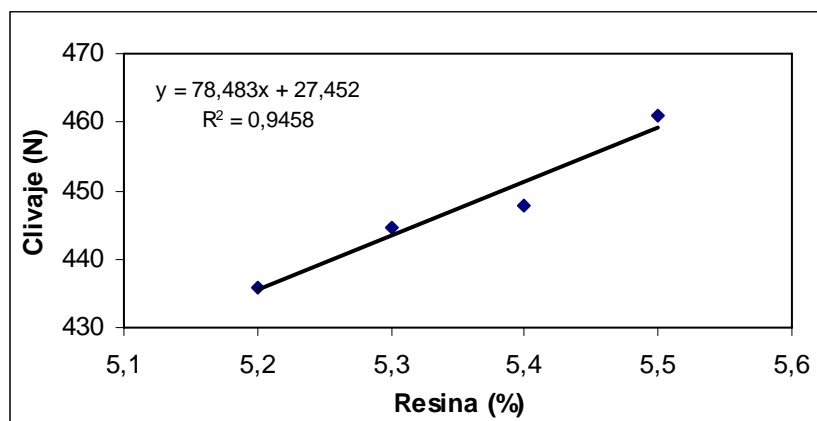


Figura 9. Efecto de la resina respecto al clivaje

La figura muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre clivaje y resina. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un

94,6% de la variabilidad en el clavaje. Además se puede ver claramente, que a medida aumenta el porcentaje de resina en los tableros, se ve mejorada la resistencia que presentan éstos a los esfuerzos del clavaje. Esto se explica por la mayor cantidad de adhesivo.

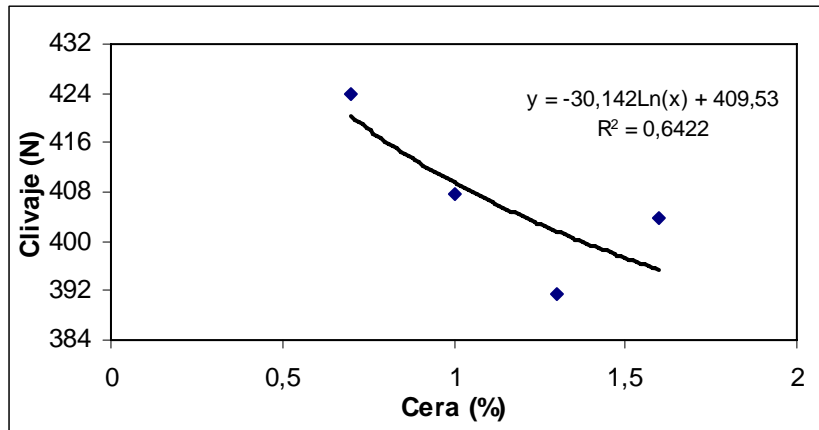


Figura 10. Efecto de la cera respecto al clavaje

La figura 10 muestra los resultados del ajuste al modelo logarítmico para describir la relación entre clavaje y la cera. De él se desprende, a medida que los tableros aumentan su contenido de cera, se ve una disminución en la resistencia a los esfuerzos del clavaje. Esto se debe a una mayor participación que tendría en los tableros un compuesto hidrófobo que reduce la penetración del adhesivo (Polivinilacetato) usado para la realización de este ensayo. Esto confirma los resultados de Nagel (1992), los que señalan que un aumento de la cantidad de emulsión de parafina, compuesto hidrófobo, interfiere en el desarrollo de una buena unión.

Es importante mencionar que los tableros de la serie resina cumplen con los requisitos de resistencia que exige la empresa. Se exige un valor de clavaje mayor a 420 N y desgarro 100 % se acepta hasta 85%.

Para el caso de la serie cera sólo cumple con la máxima calidad exigida el nivel 0,7% es decir, obtuvo una resistencia sobre 420N. Cabe mencionar que todas las probetas presentaron 100% de desgarro.

4.5 Efecto de la cera y la resina en la expansión; en el espesor, lineal y humedad de equilibrio

4.5.1 Humedad de equilibrio

Los resultados de la determinación de humedad de equilibrio para cada tipo de tablero y condición climática se exponen en el cuadro 6.

En todos los tipos de tableros se observa que a medida que aumenta la humedad relativa del aire aumenta la humedad de equilibrio. Los valores alcanzaron un máximo en la más alta humedad relativa (72.5%) que fue entre 7,1 y 8,9 según el tipo de tablero.

Entre los tableros de ambas serie, los que presentaron una humedad de equilibrio más alta fueron los de la serie resina, no pudiendo ver una tendencia clara. En las figuras 11 y 12, se puede ver el efecto debido a los diferentes niveles de cada una de estas variables.

Cuadro 6. Humedad de equilibrio (%) de acuerdo a los diferentes climas

Resina (%)	Humedad Relativa (%)			
	40	52,5	65	72.5
5,5	5,505	6,541	7,734	8,998
5.4	5,491	6,246	7,517	8,787
5.3	5,152	5,902	7,124	8,289
5.2	5,599	6,303	7,669	8,836
Cera (%)				
1,6	4,848	5,580	6,902	7,920
1,3	4,136	4,883	6,071	7,141
1,0	4,721	5,457	6,710	7,841
0,7	4,418	5,209	6,310	7,422

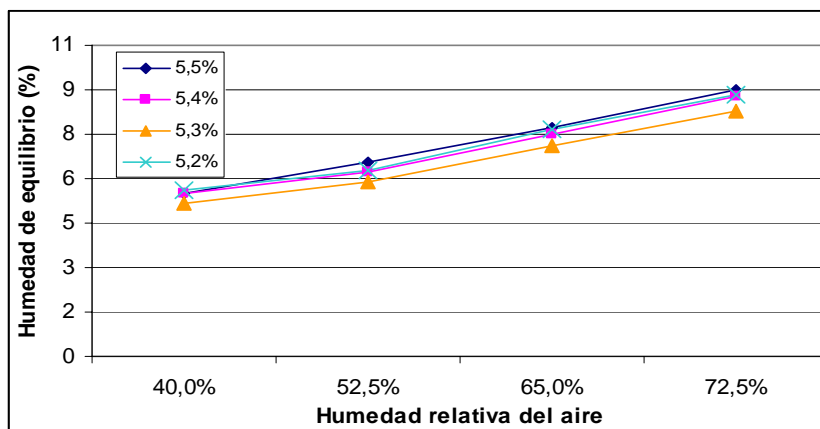


Figura 11. Variación de la humedad de equilibrio en función de la humedad relativa para cada nivel de resina.

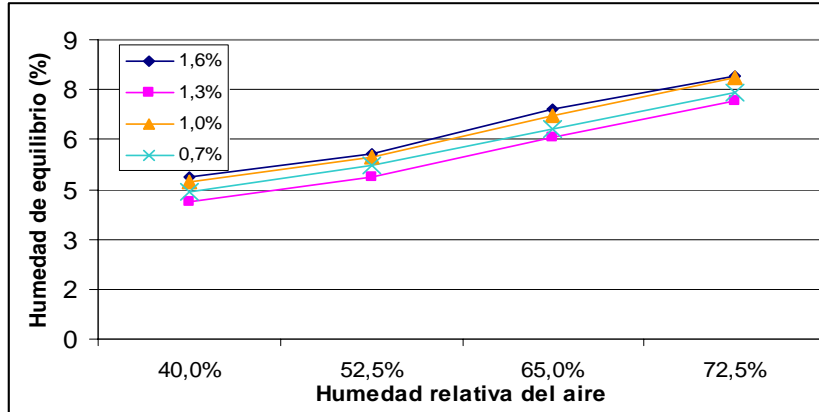


Figura 12. Variación de la humedad de equilibrio en función de la humedad relativa para cada nivel de cera.

Los resultados encontrados en este estudio concuerdan con lo señalado por Poblete *et al.*, (2000), el cual demuestra que la humedad de equilibrio aumenta a medida que se incrementa la humedad relativa del aire, siendo mayor en tableros de menor densidad.

4.5.2 Expansión en espesor

Las variaciones de esta propiedad se entregan en el cuadro 7. Como era de esperar, al examinar los valores presentados en el cuadro 7 se observa que al aumentar la humedad relativa del aire aumenta el espesor del tablero. Gráficamente la relación puede observarse para ambas serie, resina y cera en las figuras 13 y 14 respectivamente.

Cuadro 7. Expansión del espesor (%) calculado sobre la base de un estado anhidro

Resina (%)	Humedad Relativa (%)			
	40	52,5	65	72,5
5,5	1,046	2,535	2,749	4,301
5,4	0,958	2,444	2,824	4,172
5,3	1,337	2,400	2,938	4,040
5,2	1,074	2,460	2,864	4,237
Cera (%)				
1,6	0,949	2,169	2,717	3,834
1,3	1,989	2,516	3,213	4,205
1,0	1,728	2,151	2,837	3,839
0,7	2,063	2,341	2,899	3,956

Con respecto a la relación existente entre la cantidad de cera y resina con el grado de expansión del espesor para cada condición de clima, se observa que no existe una tendencia definida para los diferentes niveles de ambas variables, si se puede apreciar que para la condición de clima más extrema la variación de espesor es menor en la serie cera que en la serie resina.

El valor promedio más alto obtenido es de 4,301% el cual se encontró en la serie resina 5,5% y que coincide con uno de los valores de densidad más bajos encontrados en los tableros en estudio.

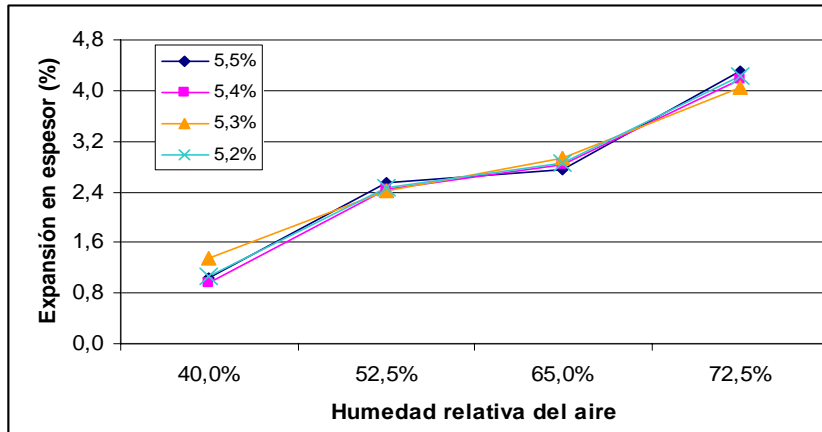


Figura 13. Variación de la expansión en espesor en función de la humedad relativa para cada nivel de resina.

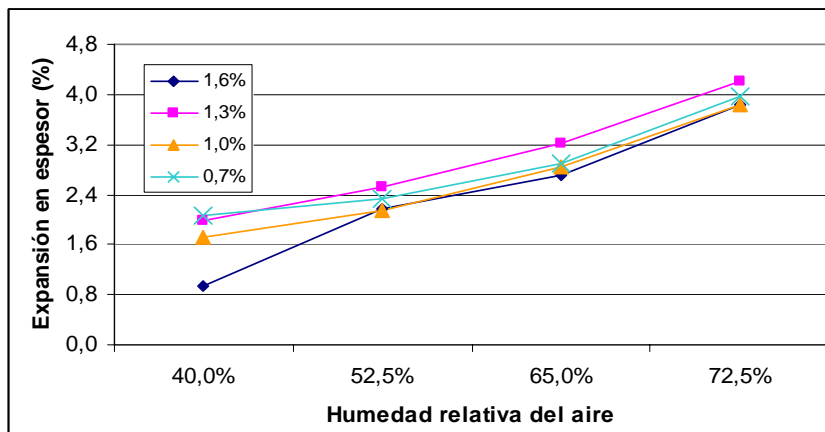


Figura 14. Variación de la expansión en espesor en función de la humedad relativa para cada nivel de cera.

De las figuras anteriores se puede observar que al aumentar la humedad relativa del aire, aumenta la expansión en espesor del tablero, lo que es natural que se haya generado, por la característica higroscópica de la madera, capta las moléculas de agua en mayor medida cuando hay más agua en el ambiente, lo que explica el aumento en el espesor ante un incremento de la humedad relativa. Además se puede apreciar de la figura, es que para los diferentes niveles de resina y cera un cambio sobre la humedad relativa normal 65% se produce un cambio mayor en el aumento de la expansión en el espesor, siendo la resina menos estable que la cera ante cambios de la humedad relativa del aire, para los niveles que se estudió. Los resultados obtenidos son inferiores a los registrados por Vargas (2005).

Cuadro 8. Regresiones para la expansión en el espesor en función de la humedad relativa del aire.

Resina (%)	Ecuación de regresión	R ²
5,5	$E_e = 8,8433 * HR - 2,4271$	0,8998
5,4	$E_e = 8,9406 * HR - 2,5414$	0,9344
5,3	$E_e = 7,7117 * HR - 1,7552$	0,9591
5,2	$E_e = 8,8045 * HR - 2,4038$	0,9342
Cera (%)		
1,6	$E_e = 8,2327 * HR - 2,3167$	0,9627
1,3	$E_e = 6,4932 * HR - 0,7530$	0,9389
1,0	$E_e = 6,1841 * HR - 0,9171$	0,9191
0,7	$E_e = 5,4326 * HR - 0,3089$	0,8611

En el cuadro 8 se puede observar que existe un alto grado de asociación entre las variables expansión en el espesor y la humedad relativa, registrándose coeficientes de correlación (R²) mayores a 0,9.

4.5.3 Expansión lineal

Los resultados de la variación en el sentido lineal se entregan en el cuadro 9. En él se observa los diferentes niveles de cera y resina y su respectivo valor de expansión lineal para cada condición de clima estudiada. La relación que existe entre la expansión lineal y la humedad relativa del aire es similar a la expuesta en el caso de la expansión en el espesor. Al examinar los resultados se observa que al aumentar la humedad relativa del aire se produce una expansión en el sentido lineal del tablero.

Cuadro 9. Expansión lineal calculada sobre la base medida del espesor a un estado anhidro

Resina (%)	Humedad Relativa (%)			
	40	52,5	65	72,5
5,5	0,162	0,236	0,292	0,349
5,4	0,149	0,220	0,281	0,334
5,3	0,152	0,218	0,285	0,338
5,2	0,175	0,249	0,305	0,347
Cera (%)				
1,6	0,199	0,250	0,316	0,346
1,3	0,147	0,225	0,275	0,309
1,0	0,182	0,242	0,304	0,335
0,7	0,146	0,212	0,263	0,307

Se puede destacar que en la serie resina 5,4% se obtuvo una menor expansión lineal. En la condición de clima más crítica (72,5%) se obtuvo en promedio 0,334% de expansión.

Para el caso de la serie cera el valor promedio mínimo alcanzado fue 0,307% en la condición más extrema alcanzada en el estudio.

Si bien los cambios de expansión lineal para cada clima realizado son notorios, no se aprecia una tendencia de los cambios dimensionales para ambas serie. Los resultados de este estudio difieren con los valores encontrados por Vargas (2005), para una misma condición de clima normal 65% HR y 20°C y considerando una densidad similar, él obtuvo en promedio 0,414% levemente superior a 0,316% valor promedio más alto obtenido en el presente estudio.

En la figura 15 se observan las poligonales representativas para cada nivel de la serie resina.

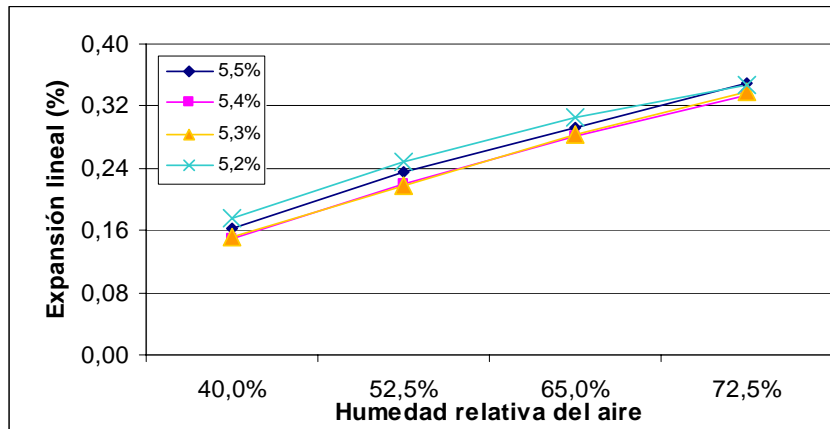


Figura 15. Variación de la expansión lineal en función de la humedad relativa para cada nivel de resina.

De la figura 15, se puede ver que no existe una cierta tendencia ante los cambios de expansión lineal producidos producto de las diversas condiciones de clima. De él se puede observar, que en la medida aumenta la condición de clima más extrema aumenta consigo el cambio en las dimensiones de los tableros en estudio, cambio que se hace menos visible en la medida que aumenta la condición más desfavorable.

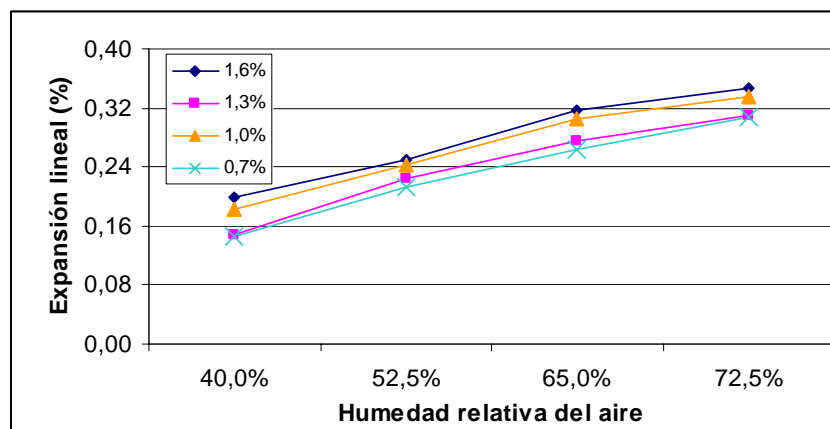


Figura 16. Variación de la expansión lineal en función de la humedad relativa para cada nivel de cera.

Se observó que producto de los cambios en los niveles de cera en el tablero, no se provoca una tendencia notoria, ante cambios dimensionales provocados por diferentes climas. Lo más visible de la figura es que en la medida que aumenta la condición más desfavorable de clima, el cambio en la expansión lineal es cada vez menor.

En el cuadro 10 se presentan las regresiones para la relación entre humedad relativa y expansión lineal, calculadas para ambas series. En él se aprecia una alta correlación entre la humedad relativa del aire y la expansión lineal, todos los niveles presentaron un $R^2 > 0,99$

Cuadro 10. Regresiones para la expansión lineal en función de la humedad relativa del aire

Resina (%)	Ecuación de regresión	R²
5,5	$E_e = 0,5553 * HR - 0,0597$	0,9926
5,4	$E_e = 0,5570 * HR - 0,0741$	0,9961
5,3	$E_e = 0,5628 * HR - 0,0755$	0,9964
5,2	$E_e = 0,5209 * HR - 0,0301$	0,9967
Cera (%)		
1,6	$E_e = 0,4627 * HR + 0,0118$	0,9970
1,3	$E_e = 0,4886 * HR - 0,0417$	0,9890
1,0	$E_e = 0,4735 * HR - 0,0065$	0,9990
0,7	$E_e = 0,4848 * HR - 0,0468$	0,9967

5. CONCLUSIONES

Dado los resultados obtenidos para los ensayos mecánicos se observó que no existe una dependencia clara de la cera, como tampoco del efecto de la resina sobre las propiedades MOR, MOE y tracción paralela en el rango que cubrió ambas variables en este estudio. Las variaciones tuvieron una mayor influencia por las diferencias de densidad, que por el efecto de los niveles de cera y resina.

El hinchamiento y la absorción de agua no son influenciadas por la cera como tampoco por la resina en los niveles utilizados en el estudio. Si se aprecia valores menores en la serie cera en relación a los valores obtenidos por cada variable.

La resistencia en el clivaje se ve mejorada en la medida que aumenta el porcentaje de resina en los tableros. Efecto contrario fue el ocurrido ante aumentos en el nivel de cera, con lo cual se aprecia una disminución en la resistencia a dicha propiedad.

La humedad de equilibrio no presentó variaciones considerables en relación a los diferentes contenidos de resina, mismo efecto ocurrió con la serie cera.

Para la variación dimensional en espesor y lineal se observa que no existe una tendencia definida entre los diferentes niveles de cera como tampoco del efecto de la resina.

De acuerdo a los rangos de cera y resina usados con los efectos producidos en las propiedades estudiadas se puede inferir que no se producen mayores variaciones en el tablero, por lo que se podría acotar más los niveles ante futuros estudios, lo que contribuiría a reducir los costos de producción. A modo de propuesta sería interesante bajar 0,3% los niveles de cera y resina usados, de manera de poder ver cuando se produce el quiebre.

En términos generales se puede decir que los niveles usados para ambas series no permiten ver diferencias o que éstas se encuentran disfrazadas por la variación de otras variables de producción que pudieron afectar las propiedades en estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Berterreche, A. 1994. *Efecto de la inclusión de aserrín proveniente de sierra huincha en algunas propiedades físico-mecánicas de tablero de partículas fabricado con Pinus radiata D Don*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80 p.
- CORFO. 1990. *Optimización de producción de taninos*. Universidad de Concepción. 101 p.
- Delmastro, R.; Diaz-vaz, J.; Schlatter, J. 1982. *Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del Pinus radiata*. Editorial CONAF FAO. Documento de trabajo. 89 p.
- Diaz-vaz, J. 2003. *Anatomía de la madera*. 1ª ed. Chile. Editorial Marisa Cuneo. 151 p.
- Dunky, M.; Niemz, P. 2002. *Holzwerkstoffe und Leime. Technologie und Einflussfaktoren*. Springer-Verlag. Berlin. 954 p.
- Gatchell, C.; B, Heebink, F, Hefty. 1966. *Influence of components variables on properties of particleboard for exterior use*. Forest Products Journal. 16(4): 46-59.
- Goycolea, P. 2000. *Puertas Moldeadas, alta tecnología en Puertas*. INTERNET: <http://www.Revistabit.cl> (junio 15, 2005).
- Henríquez, G. 2004. *Evaluación de expansión lineal en tableros OSB industriales*. Tesis Ing. En Maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 31 p.
- Lampert, H. 1967. *Faserplatten*. Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Eigenschaften. 453p
- Larmore, F. 1959. *Influence of specific gravity and resin content on properties of particleboard*. Forest Products Journal. 9(4): 131-134.
- Martinez, O. 1984. *Análisis de la variación del espesor de corteza a lo largo del fuste en un rodal maduro de Pinus radiata D. Don*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80 p.
- Moslemi, A. 1974. *Particleboard*. I. Souther Illinois university press. pp 137-160
- Muller, H. 1962. *Erfahrungen mit Paraffin-Emulsionen als Quellschuttmittel in der Spanplatten industrie Holz als Roh- und werkstoff*. 20(6): 24-28.

- Nagel, C. 1992. *Efectos de un hidrofobo en tableros de particulas elaborados con residuos de explotacion de Pinus radita D Don. y Aextoxicón punctatum*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 106 p.
- 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.
- Pizzi, A. 1994. *Advanced Wood Adhesives Technology*. Editorial Marcel Dekker, Inc. 289 p.
- Poblete, H. Rodríguez, S.; Zárate, M. 1991. *Extraíbles de la madera sus características y efectos sobre la utilización de esta materia prima*. Facultad de Ciencias Forestales, U. Austral de Chile. Publicación Docente n° 34. 43 p.
- Poblete, H.; Loncomilla, E.; Inzunza, L. 2000. Densidad del tablero de particulas y estabilidad dimensional. *Bosque (Chile)* 21(2): 69-83
- Poblete, H. 2001. *Tableros de partículas*. 1ª ed. Chile. Editorial El Kultrún. 177 p.
- Poblete, H. 2004. *Tableros MDF. Apuntes de Clases*.
- Quillet, S. 1999. Influence of aminoplast resins quality on MDF water resistance. *Proceedings 2nd European Wood Based Panel Symposium*. WKI- EPF.
- Ranta, L. 1978. Untersuchunge uber die dimensionsänderungen von Spanplatten in platebenne 4 Mitteilung: Orienter ende Versuche zur Verminderungen der linear Flächenände rung durch verfahrenstechnischeoptimierung. *Holz als Roh und Werkstoff* 36(1): 37-44.
- Roffael, E. 1979. Holz-Rinden-Mischplatten-Kiefernholzspäne-Kiefern-rinde-Harnstoffformaldehydharz (Molverhältnis 1:1.6)-Formaldehydabgabe-WKI-Methods. *WKI-Kurbericht* 19/79. 2p.
- Roffael, E.;May, H. 1983. Paraffin Sizing of particleboards: Einfluss auf die verleimbarkeit mit alkalischen. Phenol Formaldehyharzen. *Holz als Ruh- und werkstoff*. 32(5): 182-187.
- Sanchez, J. 1990. *Inclusión de Corteza en Tablero de Particulas de Pinus radita D. Don*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 63 p.
- Vargas, R. 2005. *Efecto de la densidad sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros HDF*. Tesis Ing. En Maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 40 p.

Vital, B.; W, Lehmann.; R, Boone. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard. *Forest Products Journal* 24(12): 37-45.

ANEXOS

ANEXO 1

Abstract

ABSTRACT

It was determined the effect of the paraffin wax and the resin fenolformaldehido about the physical-mechanical properties of the product that it manufactures the company Masonite denominated Chile Doorskins (board HDF). Boards were made with different levels of wax (1,6%; 1,3%; 1,0%; 0,7%) and resin (5,5%; 5,4%; 5,3%; 5,2%) remaining the constant other variables, the behavior was evaluated of these after being subjected to an acclimatized to 20°C and relative different humidity between 40% and 72,5%, to them they were measured the balance humidity, lineal expansion and in thickness.

The properties break module were also evaluated, module of elasticity, parallel traction, absorption of water and swelling in a condition of normal climate.

The results for the properties carried out in a normal climate demonstrated that a correlation of the wax doesn't exist I neither eat of the effect of the resin, in the range that covered this study, with the properties: parallel traction, module of elasticity, break module, absorption and swelling, if you can appreciate the effect of these variables in the effort to the clivaje, finding a high correlation among them.

Of the properties measured in different climates he/she registered a dimensional variation in the thickness and longitudinal, being the first one up to 11 times adult that in the lineal sense, not finding visible differences among levels of both series.

Words key: Paraffin wax, resin Fenolformaldehido, fiber board HDF, physical and mechanical properties.

ANEXO 2

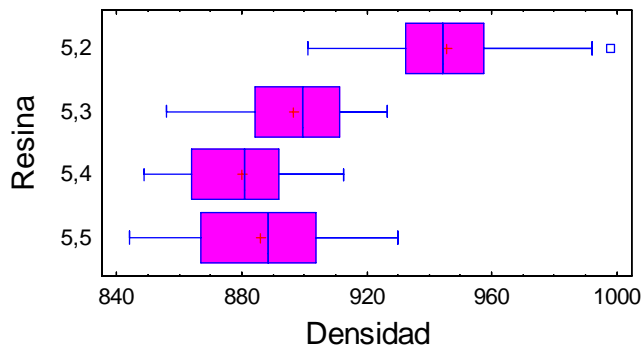
Análisis estadístico ANOVA para la densidad

Tabla ANOVA para densidad según resina

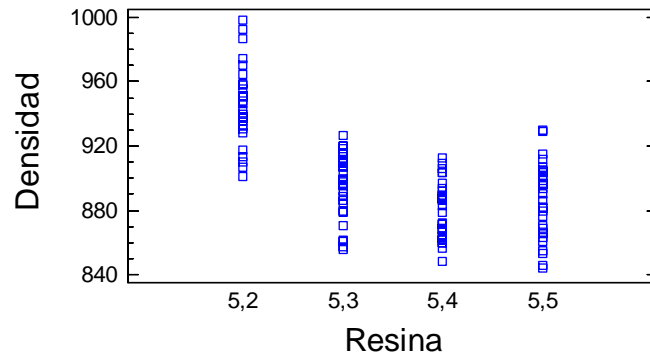
Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	79982,6	3	26660,9	58,64	0,0000
Intra grupos	52742,6	116	454,678		
Total (Corr.)	132725,0	119			

Gráfico de Cajas y Bigotes



Representacion porCodigo de Nivel



Contraste de Rangos Múltiple para densidad según resina

Método: 95,0 porcentaje LSD

RESINA	Frec.	Media	Grupos homogéneos
5,4	30	880,097	X
5,5	30	885,972	XX
5,3	30	896,333	X
5,2	30	945,558	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
5,2 - 5,3	*49,2255	10,9046
5,2 - 5,4	*65,4614	10,9046
5,2 - 5,5	*59,5863	10,9046
5,3 - 5,4	*16,236	10,9046
5,3 - 5,5	10,3609	10,9046
5,4 - 5,5	-5,8751	10,9046

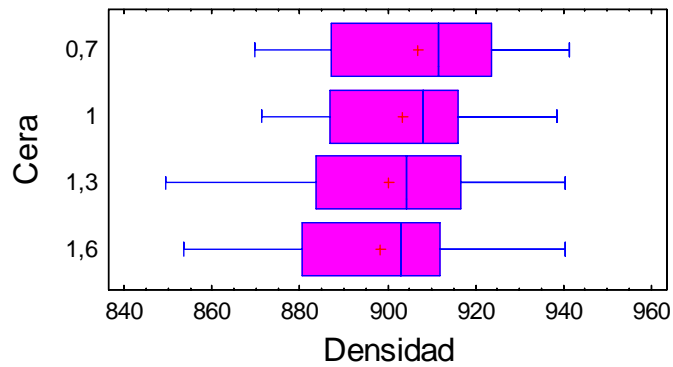
* indica una diferencia significativa.

Tabla ANOVA para densidad según cera

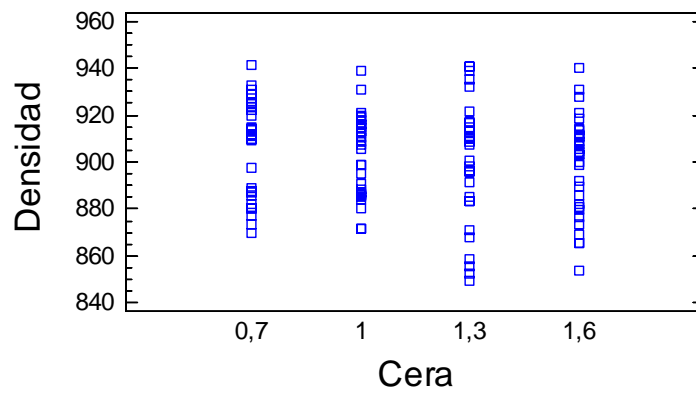
Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	1344,59	3	448,197	0,96	0,4164
Intra grupos	54416,5	116	469,108		
Total (Corr.)	55761,1	119			

Gráfico de Cajas y Bigotes

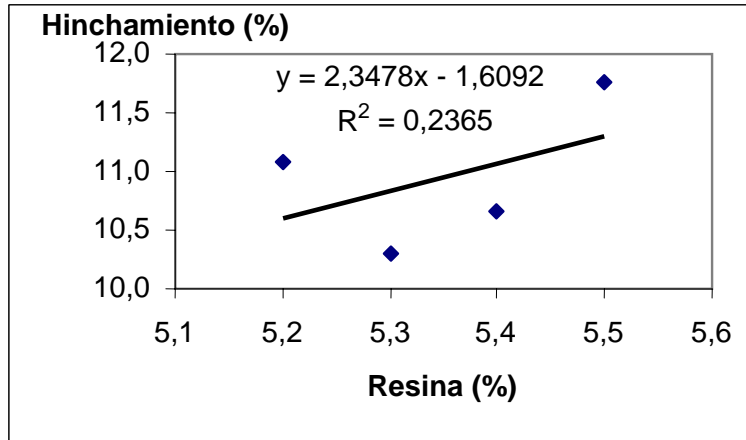


Representación por Código de Nivel

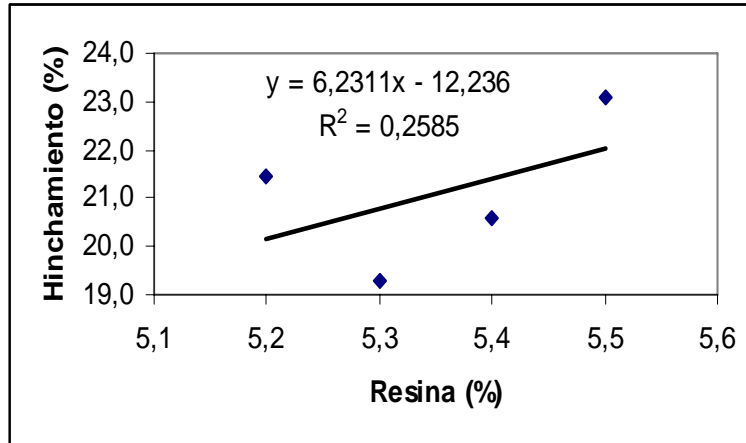


ANEXO 3

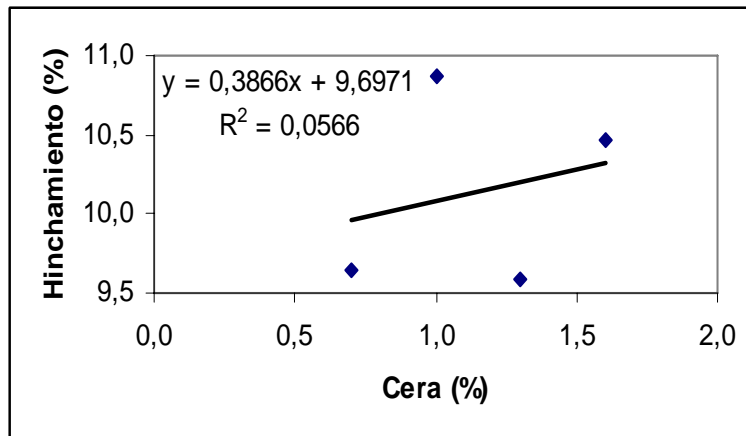
Gráficos efecto de la cera y la resina para el hinchamiento y la absorción de agua para 2 y 24 horas



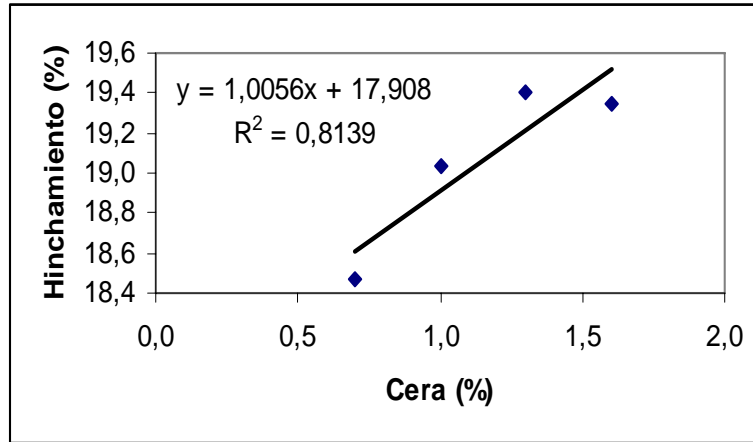
Efecto de la resina en el hinchamiento a 2 horas



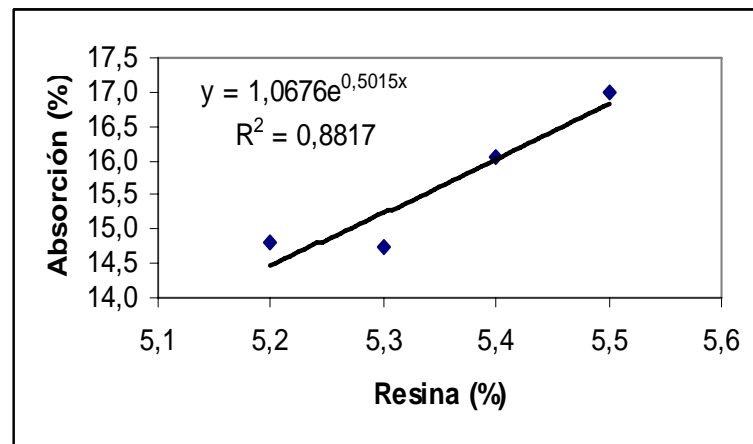
Efecto de la resina en el hinchamiento a 24 horas



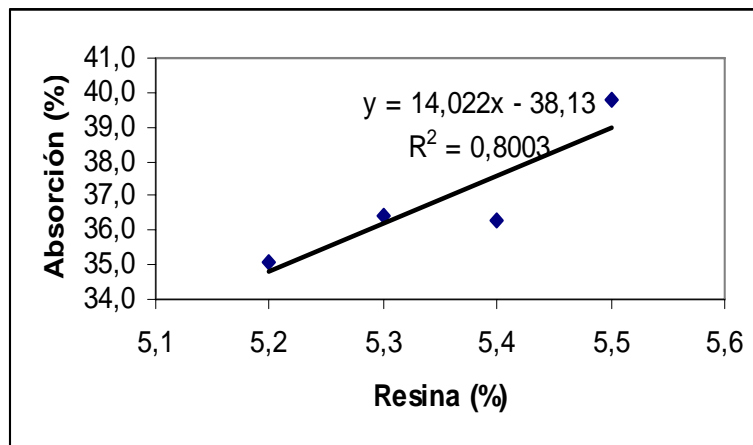
Efecto de la cera en el hinchamiento a 2 horas



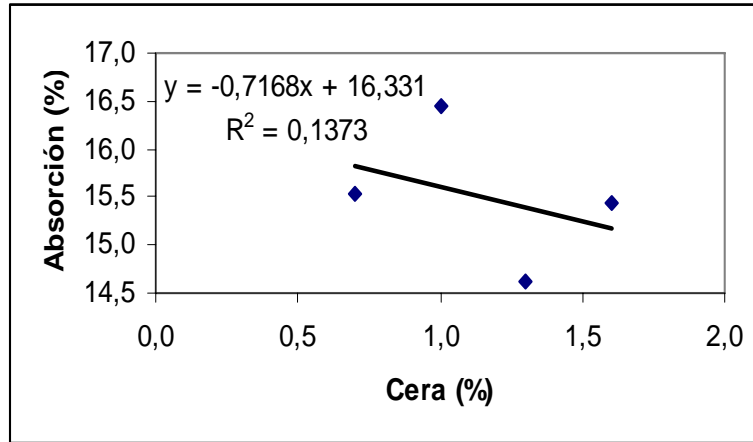
Efecto de la cera en el hinchamiento a 24 horas



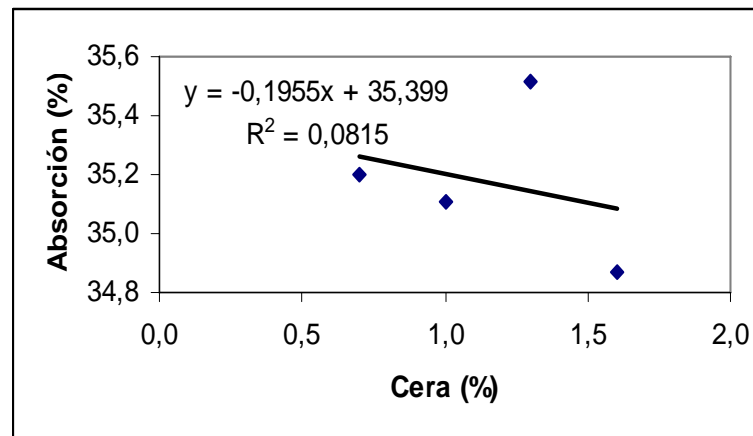
Efecto de la resina sobre la absorción de agua a 2 horas de inmersión



Efecto de la Resina en la absorción de agua a 24 horas de inmersión



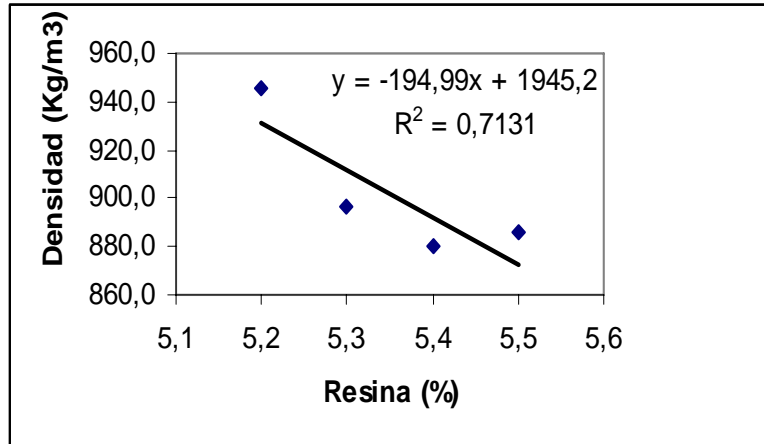
Efecto de la cera en la absorción de agua a 2 horas de inmersión



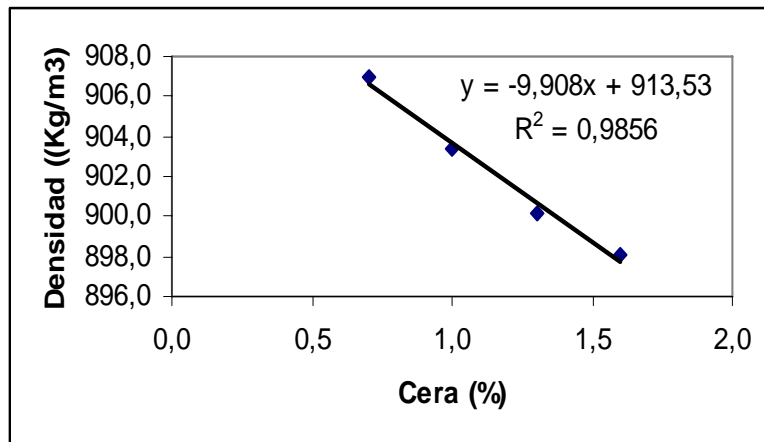
Efecto de la cera en la absorción de agua a 24 horas de inmersión

ANEXO 4

Variación de la densidad para los diferentes niveles de cera y resina



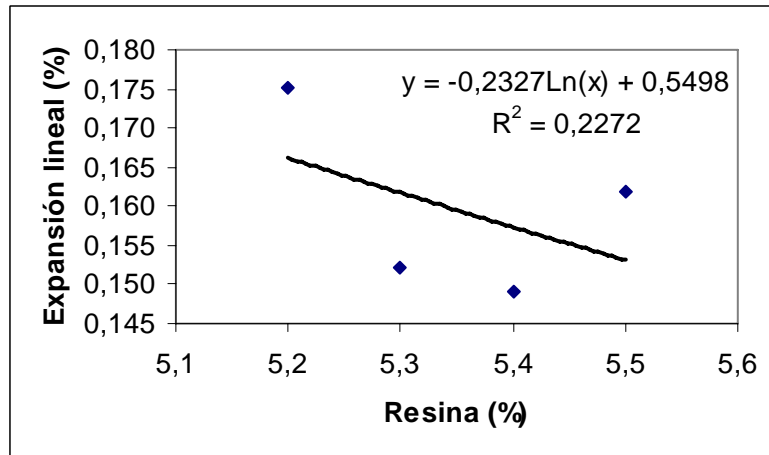
Efecto de la variación de densidad en la serie resina



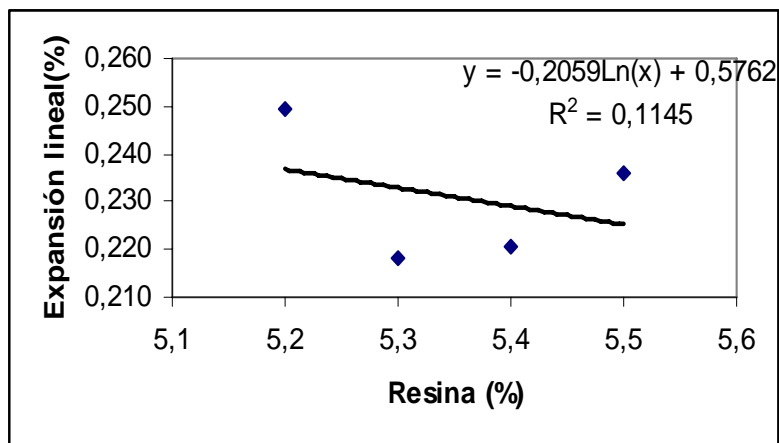
Efecto de la variación de densidad en la serie cera

ANEXO 5

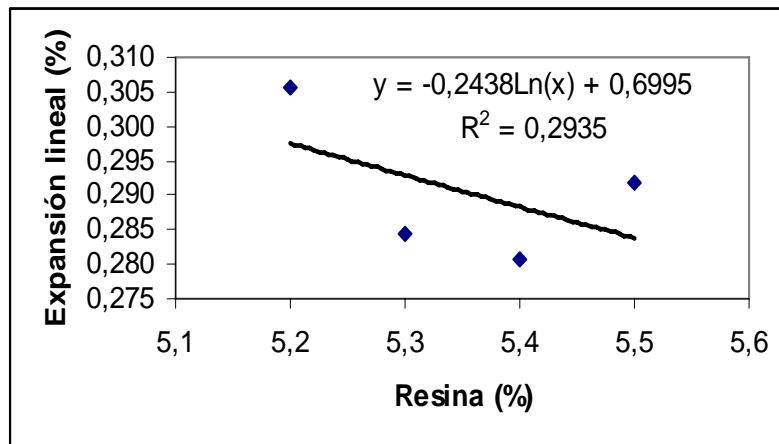
Gráficos de expansión lineal v/s nivel de cera y resina para cada clima



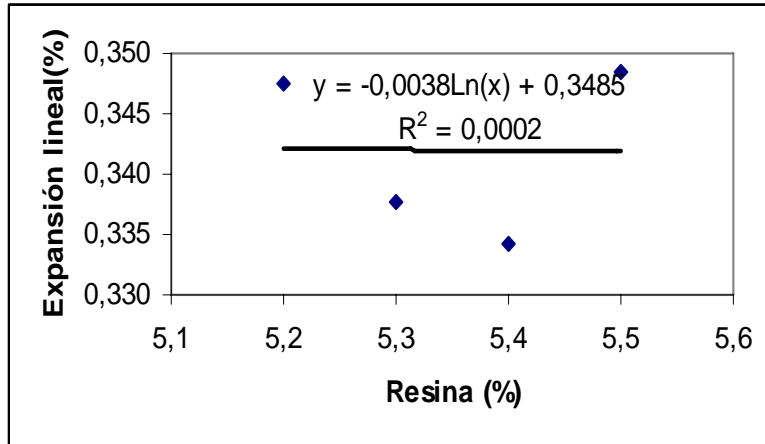
Efecto de la resina respecto a la expansión lineal para un clima de 40% HR



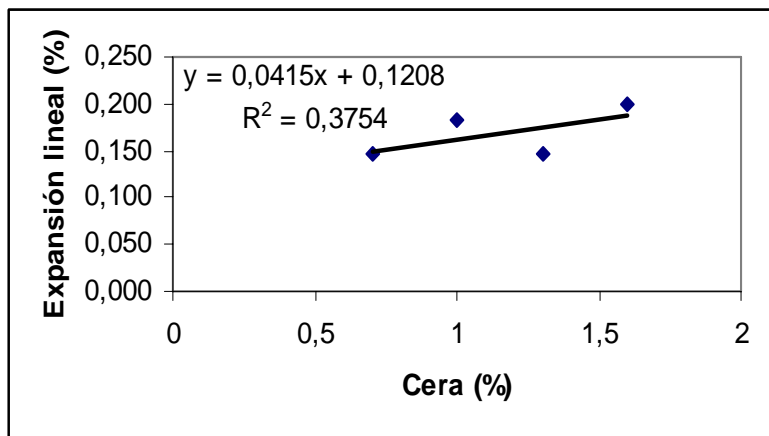
Efecto de la resina respecto a la expansión lineal para un clima de 52.5% HR



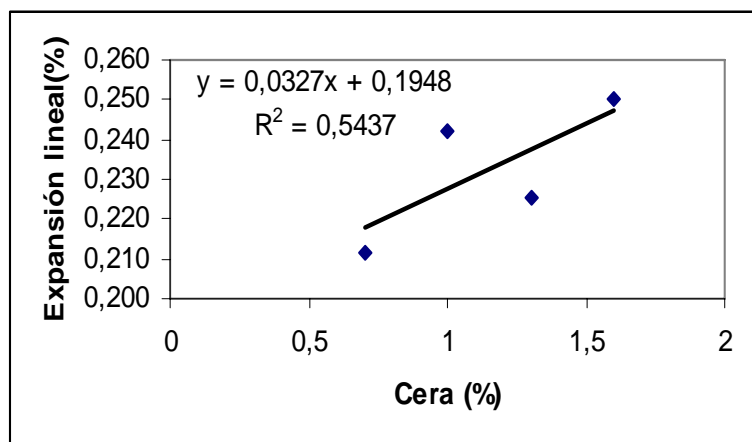
Efecto de la resina respecto a la expansión lineal para un clima de 65% HR



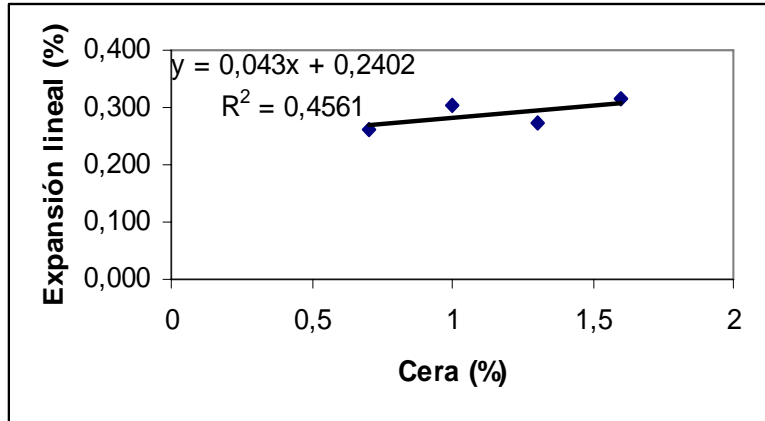
Efecto de la resina respecto a la expansión lineal para un clima de 72.5% HR



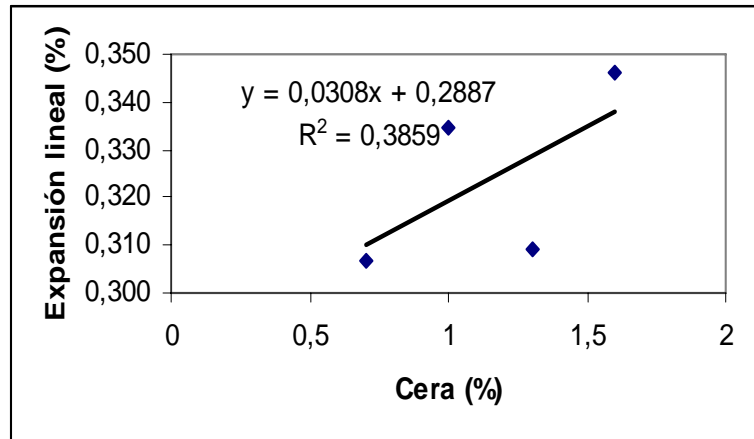
Efecto de la cera respecto a la expansión lineal para un clima de 40% HR



Efecto de la cera respecto a la expansión lineal para un clima de 52,5% HR



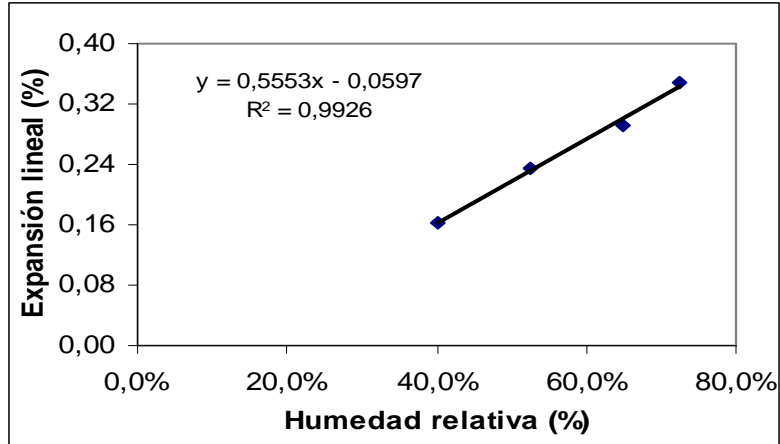
Efecto de la cera respecto a la expansión lineal para un clima de 65% HR



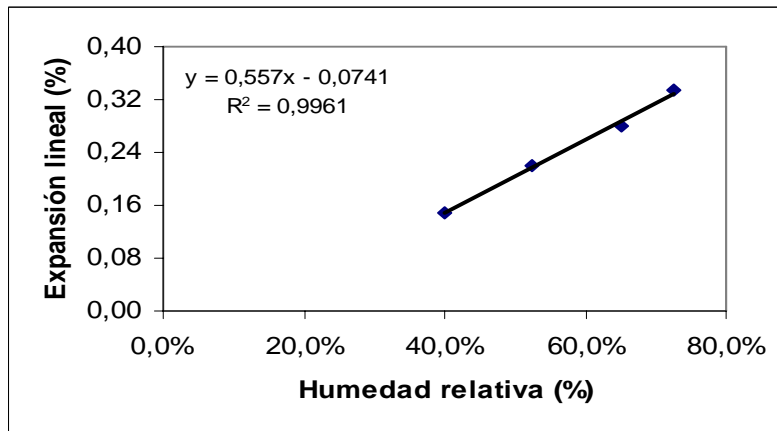
Efecto de la cera respecto a la expansión lineal para un clima de 72,5% HR

ANEXO 6

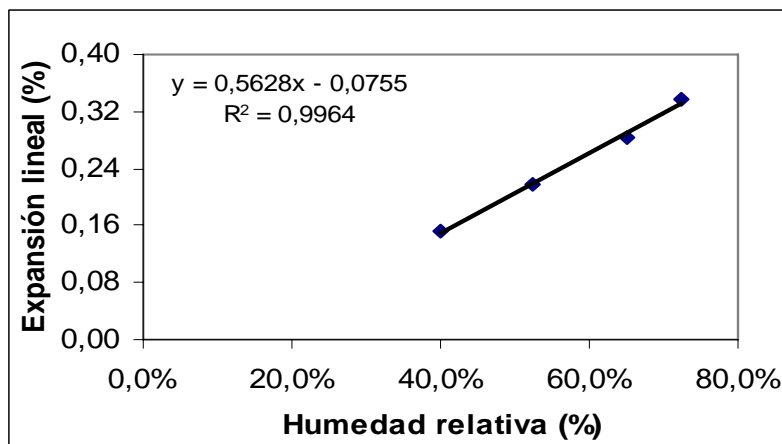
Gráficos regresiones de la expansión lineal en función de la humedad relativa



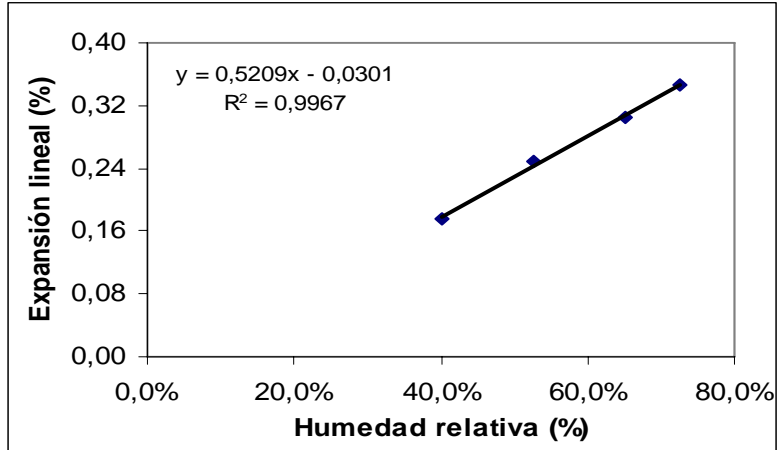
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 5,5% de resina



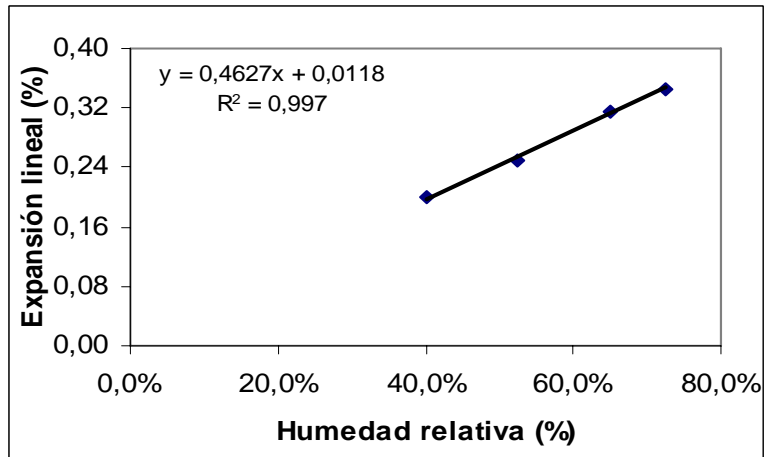
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 5,4% de resina



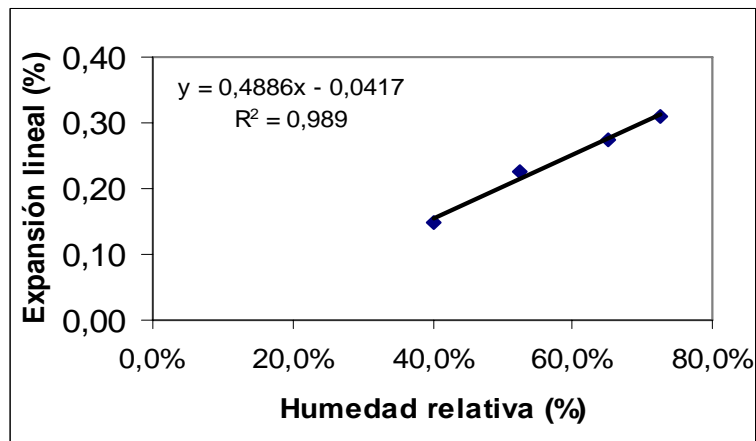
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 5,3% de resina



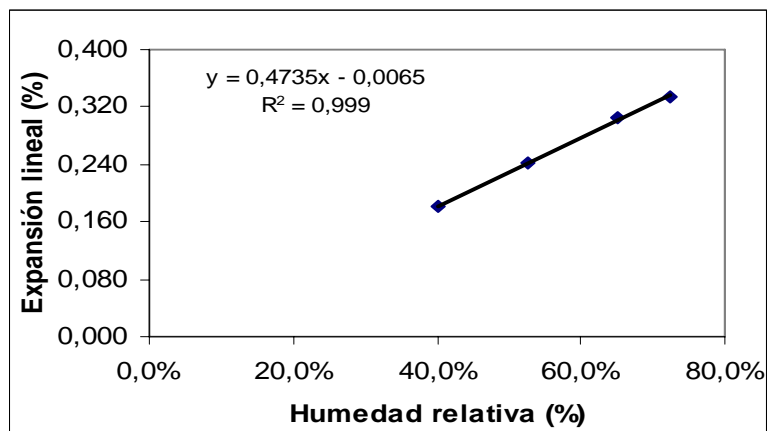
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 5,2% de resina



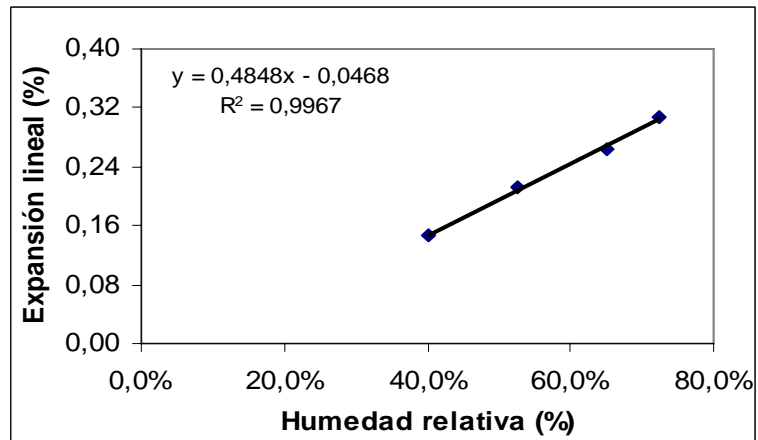
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 1,6% de cera



Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 1,3% de cera



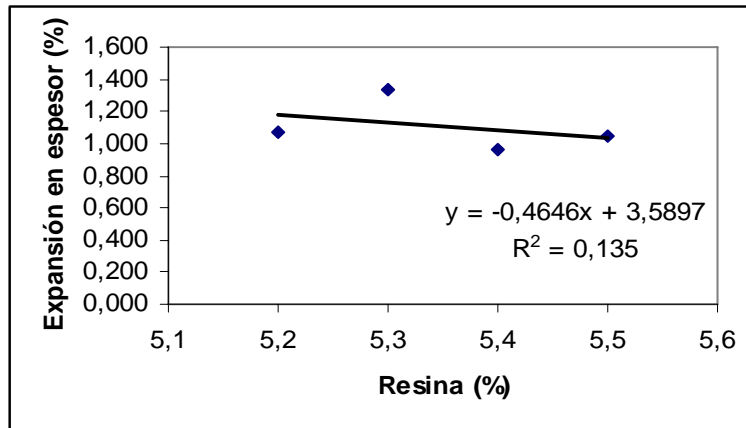
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 1,0% de cera



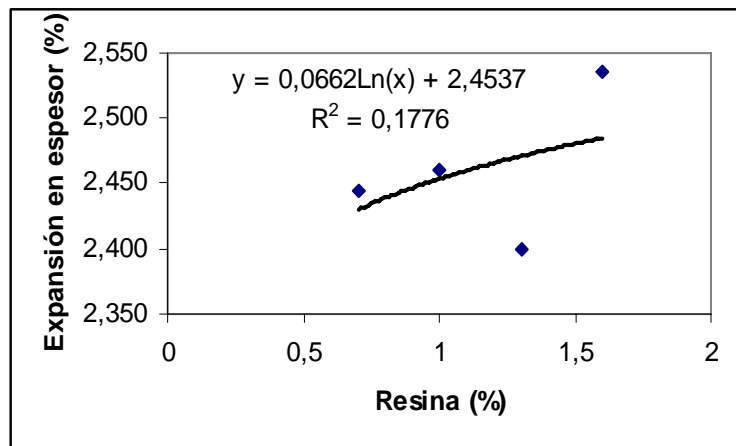
Efecto de la humedad relativa en la expansión lineal para un nivel de 0,7% de cera

Anexo 7

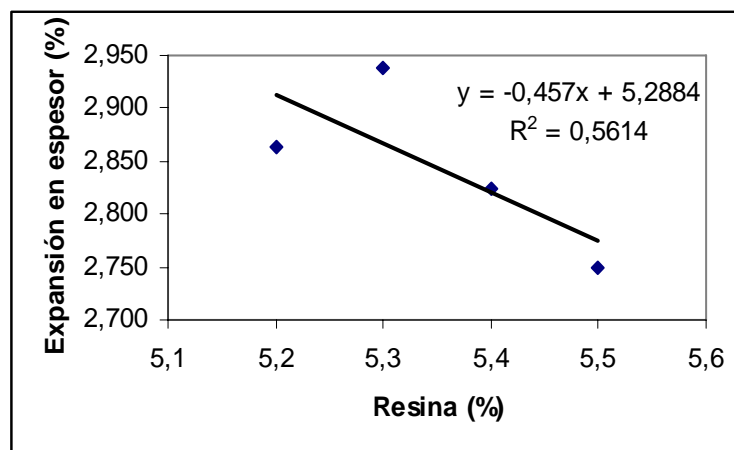
Gráficos de expansión en espesor v/s contenido de cera y resina para cada clima



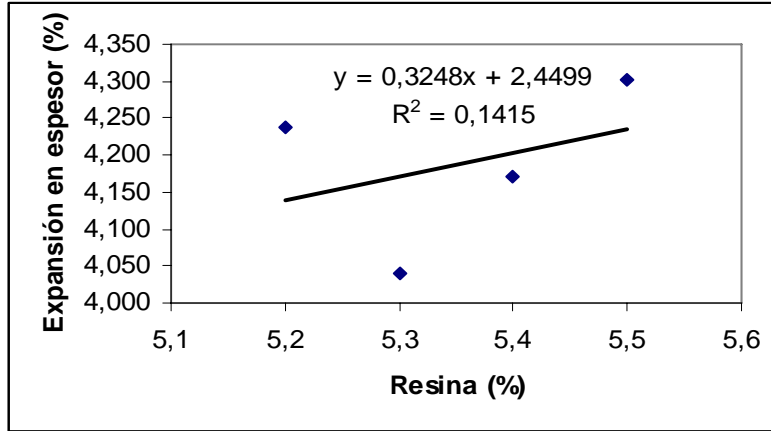
Efecto de la resina respecto a la expansión en espesor para un clima de 40% HR



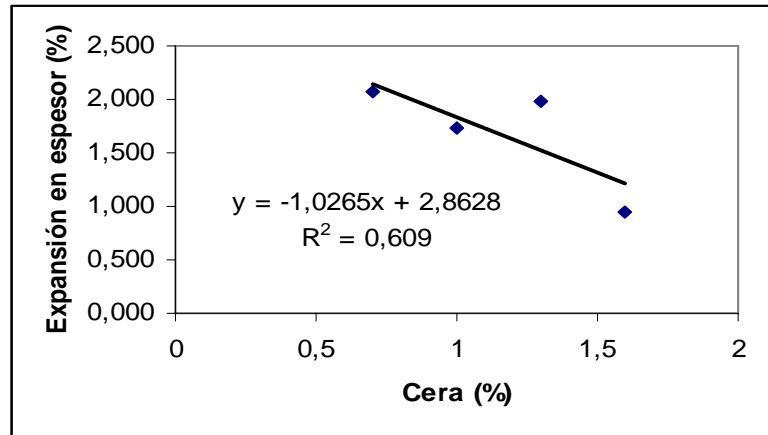
Efecto de la resina respecto a la expansión en espesor para un clima de 52,5% HR



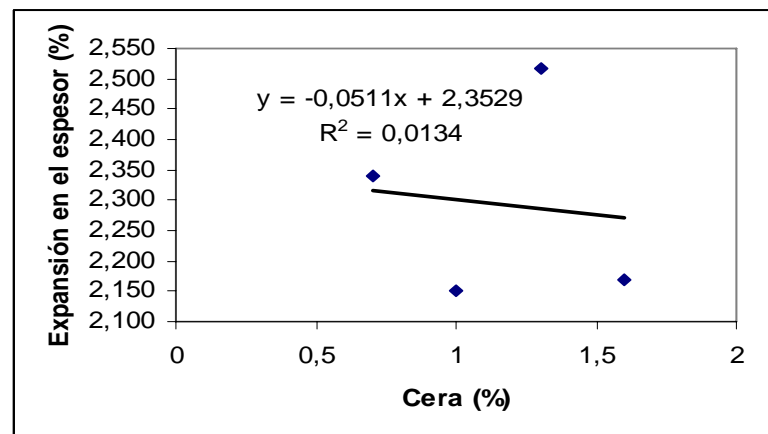
Efecto de la resina respecto a la expansión en espesor para un clima de 65% HR



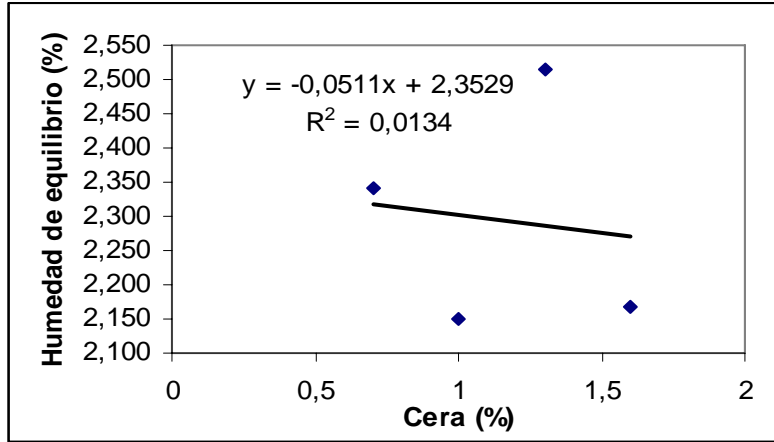
Efecto de la resina respecto a la expansión en espesor para un clima de 72,5% HR



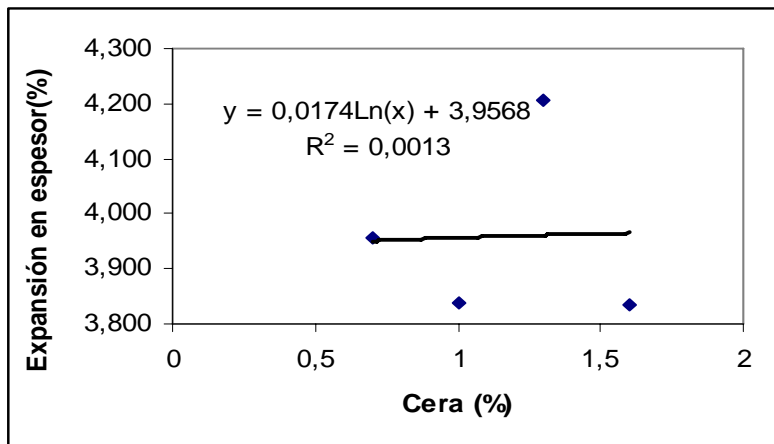
Efecto de la cera respecto a la expansión en espesor para un clima de 40% HR



Efecto de la cera respecto a la expansión en espesor para un clima de 52,5% HR



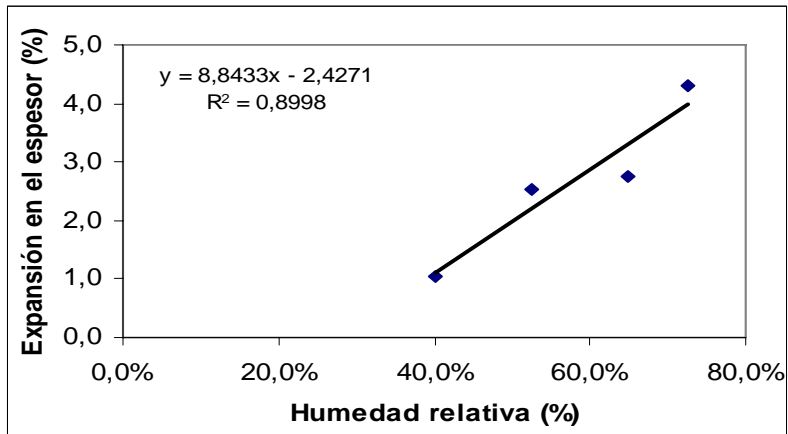
Efecto de la cera respecto a la expansión en espesor para un clima de 65% HR



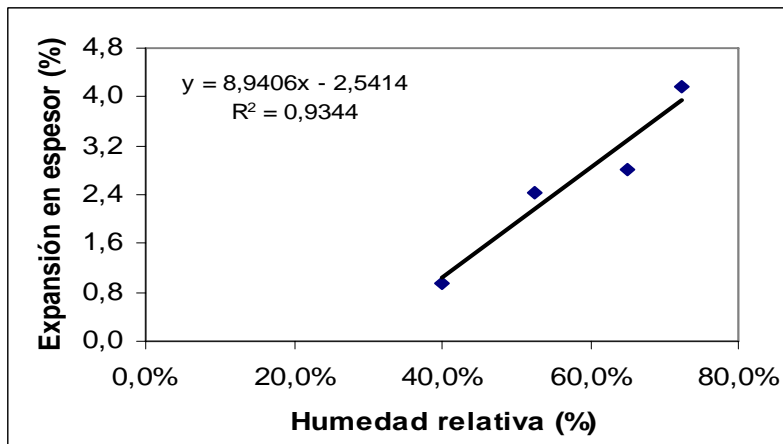
Efecto de la cera respecto a la expansión en espesor para un clima de 72,5% HR

ANEXO 8

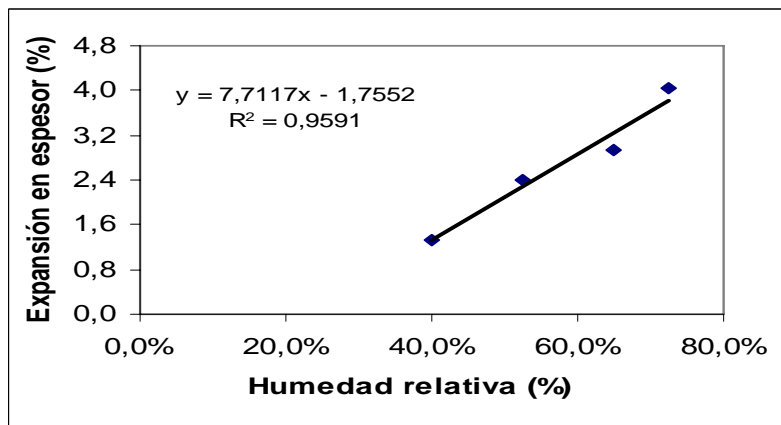
Gráficos regresiones de la expansión en espesor en función de la humedad relativa



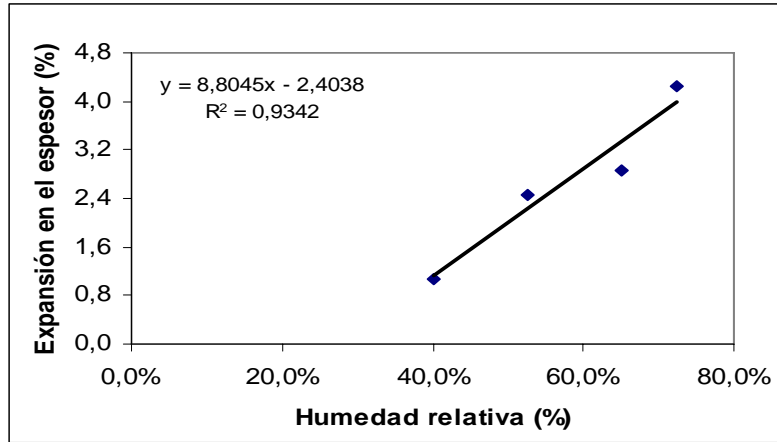
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 5,5% de resina



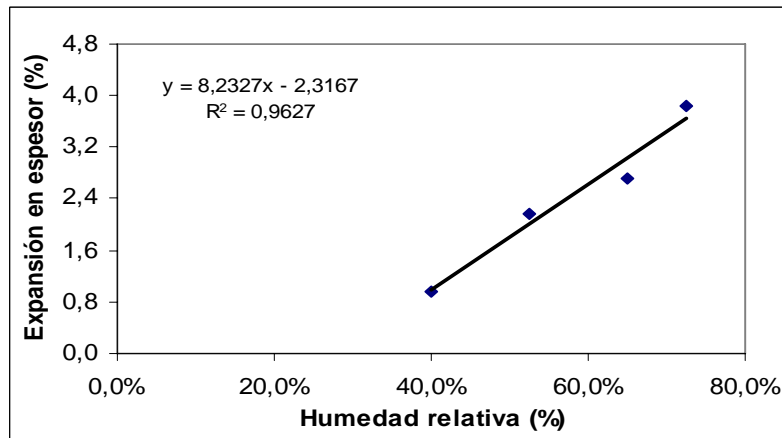
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 5,4% de resina



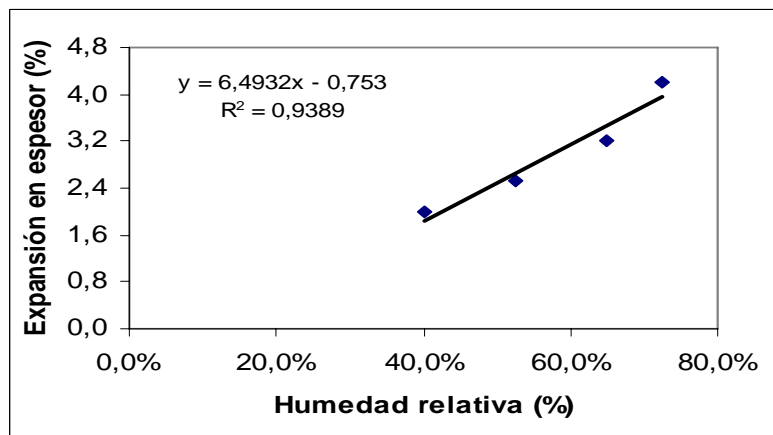
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 5,3% de resina



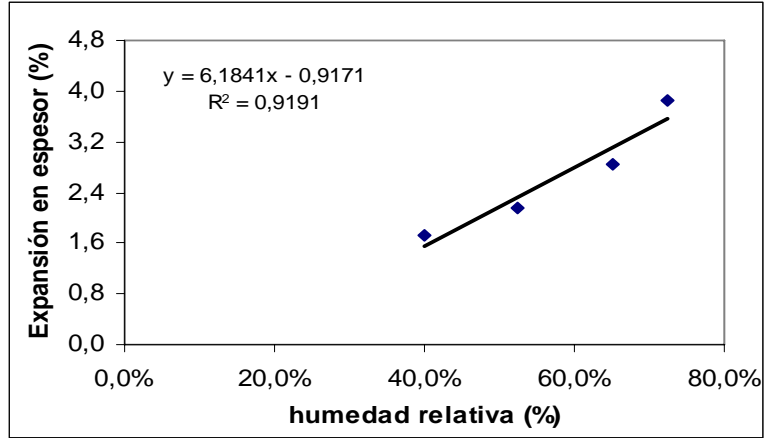
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 5,2% de resina



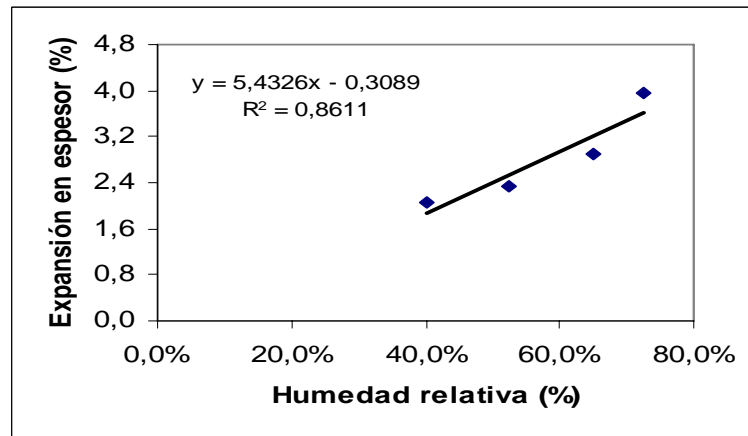
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 1,6% de resina



Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 1,3% de resina



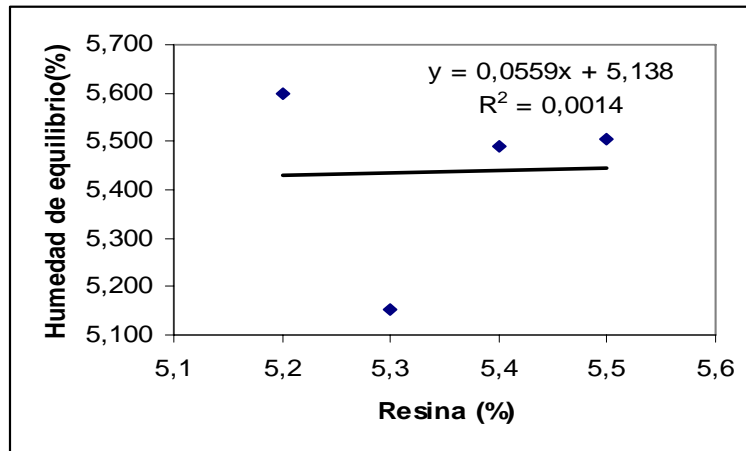
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 1,0% de resina



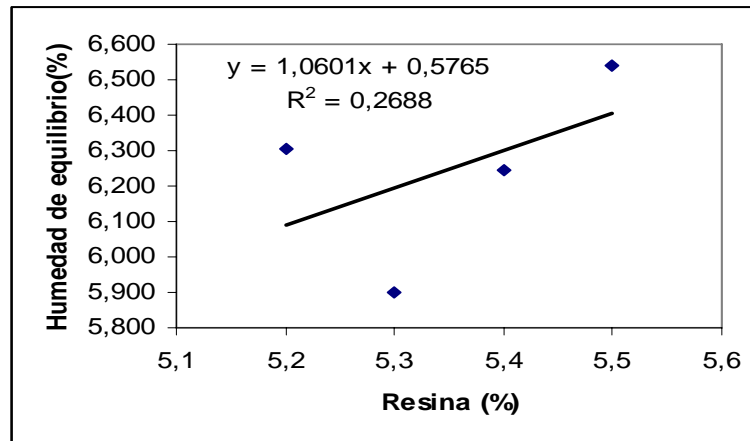
Efecto de la humedad relativa en la expansión en el espesor para un nivel de 0,7% de resina

ANEXO 9

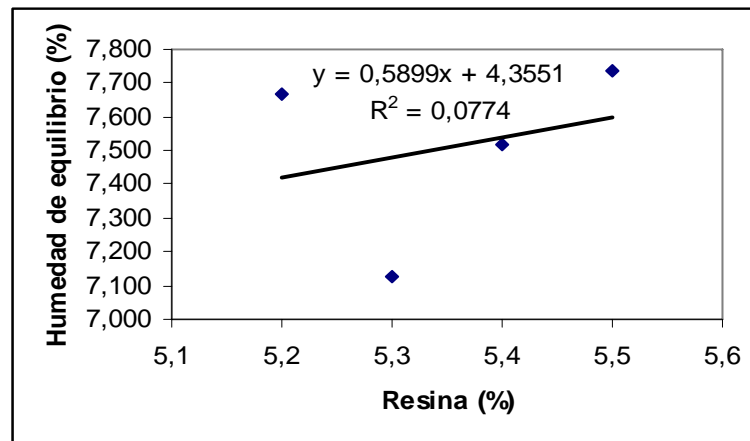
Gráficos de la humedad de equilibrio v/s nivel de cera y resina para cada clima



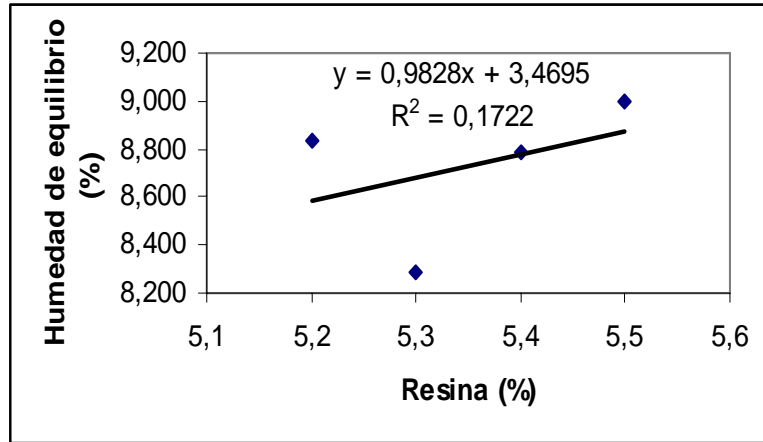
Efecto de la resina respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 40% HR



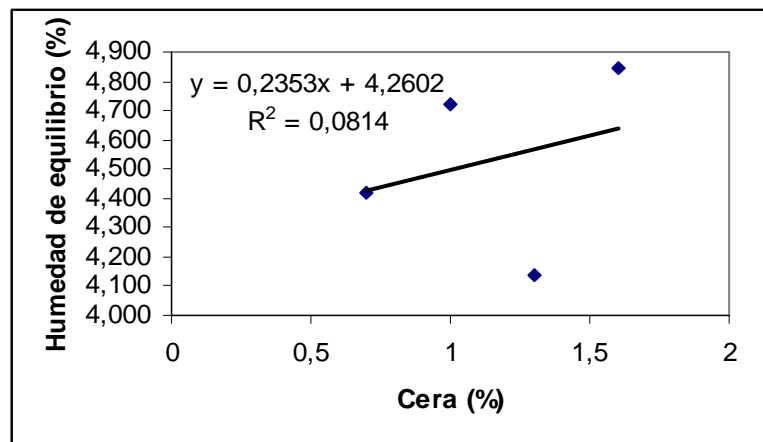
Efecto de la resina respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 52,5% HR



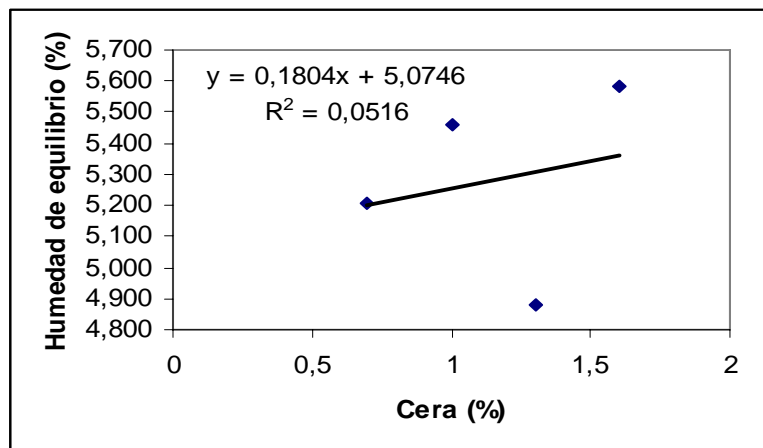
Efecto de la resina respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 65% HR



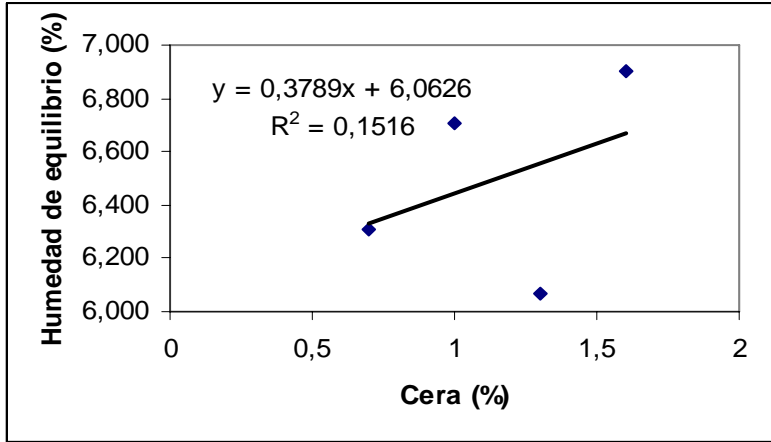
Efecto de la resina respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 72,5% HR



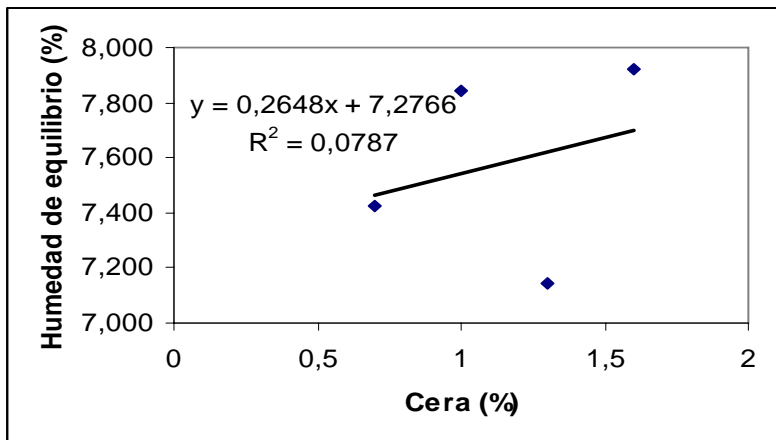
Efecto de la cera respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 40% HR



Efecto de la cera respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 52,5% HR



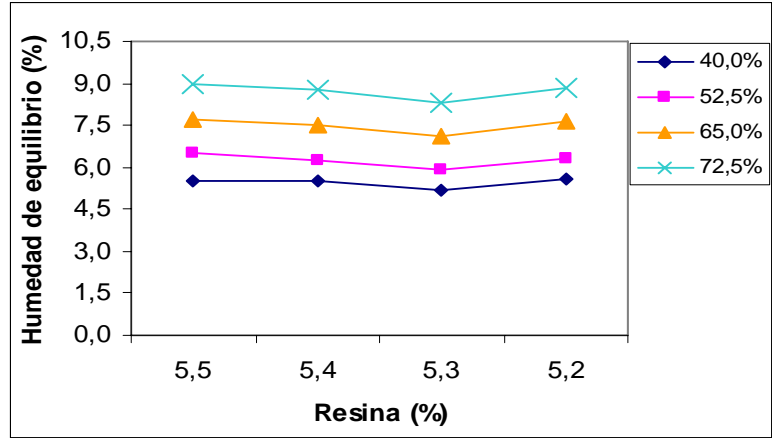
Efecto de la cera respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 65% HR



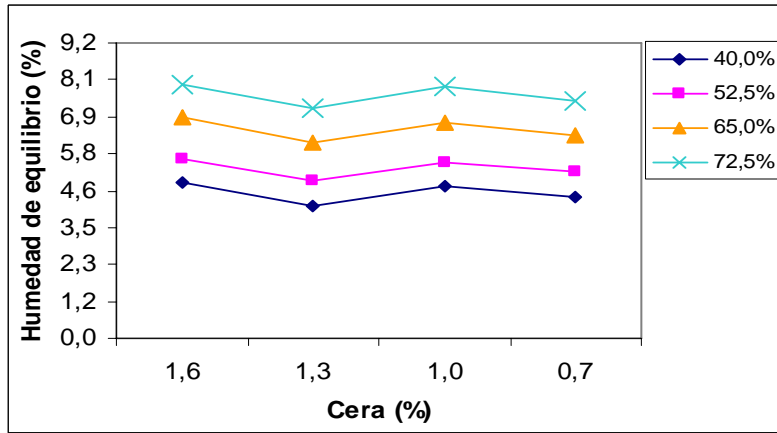
Efecto de la cera respecto a la humedad de equilibrio para un clima de 72,5% HR

ANEXO 10

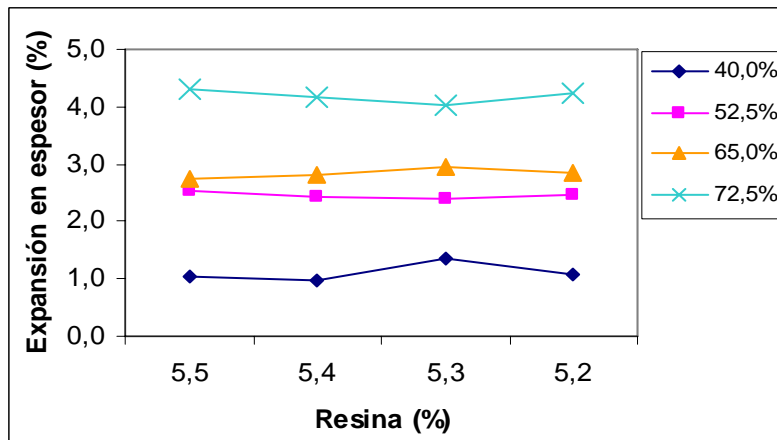
Gráficos de humedad de equilibrio, expansión en espesor y lineal según nivel de cera y resina para cada clima



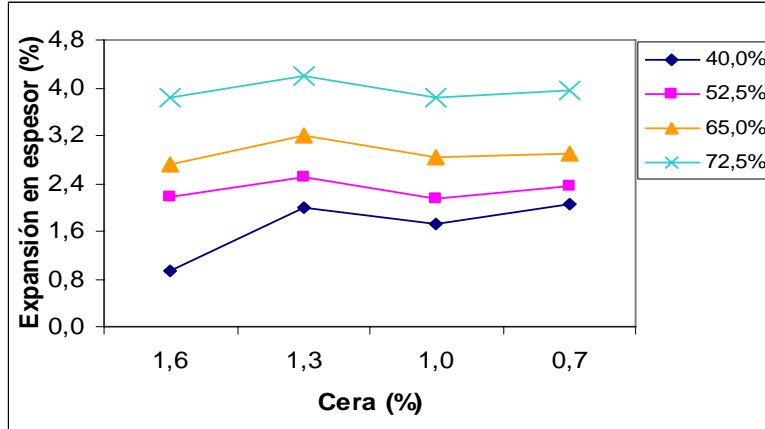
Variación de la humedad de equilibrio en función del nivel de resina para cada clima



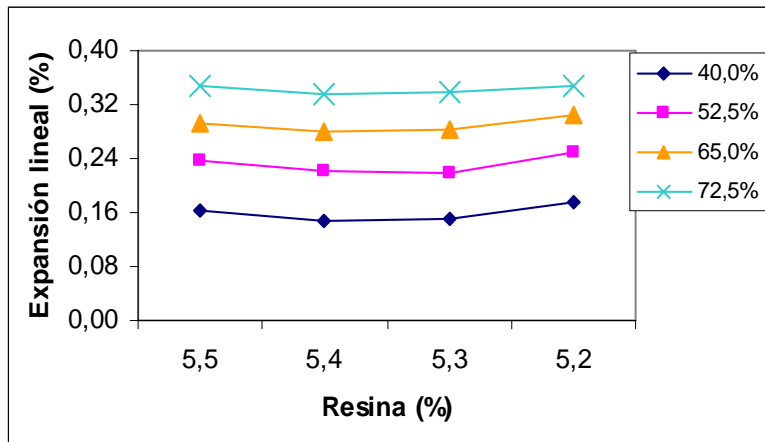
Variación de la humedad de equilibrio en función del nivel de cera para cada clima



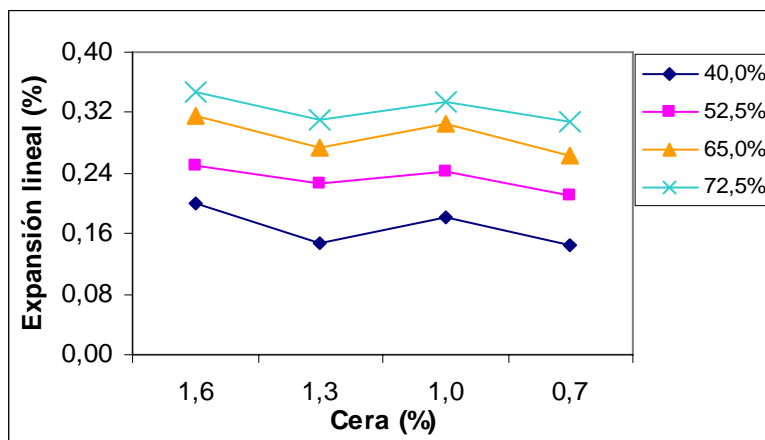
Variación de la expansión en espesor en función del nivel de resina para cada clima



Variación de la expansión en espesor en función del nivel de cera para cada clima



Variación de la expansión lineal en función del nivel de resina para cada clima



Variación de la expansión lineal en función del nivel de cera para cada clima