



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

***Efecto de la densidad y la cantidad de adhesivo sobre  
propiedades de tableros OSB***

Patrocinante:  
Sr. Hernán Poblete W.

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

**LORENA ALEJANDRA ORELLANA HIGUERAS.**

VALDIVIA  
2006

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Dr. Hernán Póblete W.	5.7
Informante:	Sr. Carlos Riquelme R.	6.5
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	5.5

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de 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 Wilson.

## Agradecimientos

*En primer lugar quiero agradecer a mis padres y hermanos por todo su apoyo, cariño y comprensión durante toda mi vida y durante estos años de estudio, sobretodo cuando he tenido que tomar decisiones siempre me han apoyado. Gracias los quiero mucho.*

*También agradecer a todas las personas que trabajan en el laboratorio de Louisiana Pacific, que estuvieron conmigo durante la realización de la tesis, a don Héctor Delgado, Sergio Muñoz y todos los chicos de control proceso. Y de manera especial a Cecilia sin la ayuda, trabajo y paciencia de ella, la realización de la tesis hubiese sido más difícil.*

*Agradezco a mi profesor patrocinante, don Hernán Poblete y a mis profesores informantes don Carlos Riquelme y don Héctor Cuevas, por su paciencia en el desarrollo de este estudio, por sus críticas y correcciones que fueron muy oportunas.*

*Por supuesto agradecer a don Moisés Rocha, don Marcelo Oyarzún, Alejandro Medina, don Héctor Lagos, Sergio Castillo... a todos ustedes gracias por su paciencia cuando tuve alguna consulta que hacer siempre me ayudaron y me dieron su apoyo.*

*Como voy a olvidar a mi gran amigo Walter, siempre me apoyaste y me sacaste una sonrisa, a la Cote que me ayudo a hacer ensayos.*

*A don Marcelo Peña, le doy las gracias por su paciencia y rebajas en las fotocopias durante todos los años de carrera.*

*A Luchita, Marcela Alfaro, Marcela Manríquez, Daniel, Juan Carlos, Jirleska a todos ustedes los quiero mucho, gracias Amigos....*

*No puedo dejar de recordar a un gran amigo que desde el cielo envía su alegría a ti Chelo siempre estas en mis recuerdos.*

*Y por último a mi pololo Javier... Te quiero mucho.*

*Muchas Gracias a Todos....*

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Páginas</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Aspectos generales de los Tableros OSB</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Proceso Productivo</b>	<b>4</b>
2.2.1 Patio de recepción y almacenamiento de materias primas	4
2.2.2 Descortezado	4
2.2.3 Generación de hojuelas	4
2.2.4 Almacenamiento de hojuelas verdes	4
2.2.5 Secado de hojuelas	4
2.2.6 Ciclón de separación	5
2.2.7 Clasificación por cribado	5
2.2.8 Almacenamiento de hojuelas secas	5
2.2.9 Encolado	5
2.2.10 Formadoras	6
2.2.11 Prensado	6
2.2.12 Escuadrado	6
2.2.13 Terminación	6
<b>2.3 Estabilidad dimensional y variables que afectan las propiedades de los tableros OSB</b>	<b>6</b>
2.3.1 Estabilidad dimensional de la madera	6
2.3.2 Hinchamiento y estabilidad dimensional en tableros	7
2.3.3 Efecto de la densidad	8
2.3.4 Expansión lineal en tableros OSB	9
<b>3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Materiales</b>	<b>10</b>
3.1.1 Tableros	10
<b>3.2 Equipo Experimental</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Metodología</b>	<b>15</b>
3.3.1 Fabricación de los tableros	15
3.3.2 Diseño de obtención de muestras	17
3.3.3 Métodos por ensayos	18
<b>Evaluación de la expansión total al vacío</b>	<b>18</b>
<b>Evaluación de la expansión lineal en cámara de clima</b>	<b>19</b>
<b>Humedad de equilibrio</b>	<b>19</b>
<b>Hinchamiento de espesor y absorción de agua</b>	<b>19</b>
<b>Expansión lineal (QMS II)</b>	<b>20</b>
<b>Resistencia interna (IB)</b>	<b>21</b>
<b>Momento máximo y módulo de elasticidad</b>	<b>21</b>
<b>D-4 MM húmedo</b>	<b>22</b>
<b>Ensayo de barras</b>	<b>22</b>

	<b>Método de prueba S-1 de APA desempeño bajo cargas y estática concentrada</b>	<b>23</b>
	<b>Procedimiento de pruebas de hojuelas (flaking test)</b>	<b>24</b>
3.3.4	Análisis de los resultados	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Expansión lineal</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Expansión Lineal en cámara de clima</b>	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Humedad de equilibrio</b>	<b>30</b>
<b>4.4</b>	<b>Hinchamiento y absorción de agua</b>	<b>32</b>
<b>4.5</b>	<b>Ensayos complementarios</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>40</b>

## **ANEXOS**

1. Abstract and Keywords
2. Gráficos de expansión lineal QMS II y total al vacío paralela y perpendicular.
3. Gráficos de expansión lineal en cámara de clima
4. Gráficos de humedad de equilibrio en relación a humedad relativa en cámara de clima paralela y perpendicular.
5. Gráficos de hinchamiento y absorción de agua.
6. Gráficos de ensayos complementarios.

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del trabajo fue determinar las propiedades de los tableros OSB de tipo nacional 100% nativos al variar densidad y contenidos de resinas. Se evaluó el comportamiento de 15 tipos de tableros distintos, variando las condiciones de producción. Este estudio se realizó en la empresa Louisiana Pacific Chile S.A., planta Panguipulli.

Se realizaron ensayos físicos y mecánicos en el laboratorio de la empresa, los cuales se efectuaron para certificar un producto, tales como expansión lineal total y QMS II, D-4, hinchamiento, IB, flexión entre otros. Además se estableció un procedimiento de obtención de probetas que se sometieron a un climatizado con 20° C y a diferentes humedades relativas entre 40% hasta 90%. Después de cada climatizado se determinó la humedad de equilibrio, expansión lineal paralela y perpendicular.

La expansión lineal en la cámara de clima aumentó a medida que se incrementó la humedad relativa del aire

En el ensayo de barras ninguna condición alcanzó el valor mínimo permitido por la norma.

En el ensayo de flexión MM y EI todas las probetas están sobre el promedio permitido por la APA y no presentan mayor diferencia estadística entre las condiciones.

En el MM D-4, se obtuvo mejores resultados en las condiciones al aumentar la densidad. No se aprecia mejora en el porcentaje de retención de la propiedad entre las condiciones de más alta densidad.

Para los resultados del test de ANOVA, para expansión lineal total, las condiciones de igual densidad y diferente porcentaje de adhesivo en la capa superior. Las condiciones de todos los grupos se comportaron de manera distinta por lo tanto presentaron diferencias estadísticas unas de otras.

Para las condiciones de igual densidad y diferente porcentaje de adhesivo en la capa central. Las condiciones estudiadas se comportaron de manera similar a pesar que eran diferentes en densidad y porcentaje de resina.

La humedad de equilibrio y las dimensiones aumentaron a medida que se incrementó la humedad de relativa de aire. Los resultados de la expansión lineal paralela y perpendicular, expansión total y QMS II obtenidos se encuentran de acuerdo a los valores de la empresa Louisiana Pacific S.A.

Palabras claves: Tableros, expansión lineal, hinchamiento, MM D-4, flexión, humedad relativa, APA.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La industria de los tableros ha experimentado cambios, con el fin de incorporar al mercado productos de calidad a menor costo. El tablero OSB (Oriented Strand Board) es un producto relativamente nuevo que compite en el mercado de tableros estructurales.

Los tableros OSB están constituidos por hojuelas alargadas, lo que permite orientarlas. Estos tableros están compuestos por tres capas (superior, centro, inferior).

Louisiana Pacific S.A., es la única empresa en Chile que fabrica tableros OSB. Los tableros son producidos con mezclas de especies Nativas (coigüe, roble, tino, radial, entre otras), *Pinus radiata*, híbridos de álamo y *Eucalyptus nitens*, siendo la combinación del pino y nativas una de las más importantes

La versatilidad de uso, su precio y la aplicación de moderna tecnología en su proceso de fabricación, hacen del tablero OSB un producto moderno cuyas características lo hacen apto para la construcción de viviendas.

Al trabajar con tableros OSB se debe considerar que ellos están sujetos a cambios dimensionales cuando varían las condiciones ambientales (temperatura y humedad). Importante es determinar la expansión lineal perpendicular y paralela al eje del tablero. Estas variaciones tienen su mayor efecto en el empalme del tablero, surgiendo así problemas en las construcciones.

Las variaciones dimensionales normalmente son afectadas por la cantidad de adhesivo y la densidad del tablero. Por lo tanto, una expansión excesiva o no deseada puede ser corregida cambiando uno de las anteriores. Sin embargo, al cambiar estos parámetros se afecta paralelamente a otras propiedades importantes desde el punto de vista estructural, como lo son las resistencias mecánicas y algunas propiedades físicas.

Siendo los tableros de OSB, hoy en día, el pilar fundamental en el área de la construcción, se hace absolutamente indispensable el estudio y desarrollo de procesos y técnicas que nos permitan tener ingerencia en el comportamiento de estos, manteniendo sus características y propiedades en el más alto nivel, de acuerdo con las exigencias propias de mercado.

Es por esto que la empresa Louisiana Pacific S.A. planteó la necesidad de realizar un estudio cuyo objetivo general es determinar el efecto de la cantidad de adhesivo y la densidad del tablero sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros.

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

- Determinar la relación existente entre la densidad y la cantidad de adhesivo y la expansión lineal de los tableros.
- Determinar como cambian las propiedades tracción, flexión, hinchamiento y carga (DEMCO) al variar la cantidad de resina en las capas superficiales.
- Determinar como cambian las propiedades tracción, flexión, hinchamiento y carga (DEMCO) al variar la cantidad de MDI en la capa central del tablero.



## **2. MARCO TEORICO.**

### **2.1 Aspectos generales de los tableros OSB.**

Los tableros OSB (Oriented Strand Board), son paneles de madera reconstituida, producidos con hojuelas las cuales después de ser secadas, encoladas con adhesivos resistentes al agua (fenol formaldehído y MDI), dispuestas en capas direccionadas, y finalmente prensadas. Como resultado de esto, se obtiene un tablero que por sus propiedades físico – mecánicas es apto para uso estructural ya sea para interior como en el exterior de las viviendas.

Los tableros OSB, es un producto relativamente nuevo. Las propiedades de estos tableros compiten directamente con los tableros contrachapados y los costos de producción son más bajos. Esto se debe a que en la fabricación se utiliza madera de menor calidad, con mezclas de especies y diámetros.

Para producir los OSB se requiere de partículas largas y anchas, aproximadamente 75 mm de largo por 25 mm de ancho, por lo que para el viruteado se emplean trozos. La obtención de partículas de buena calidad es fundamental para lograr buenas propiedades en el tablero. Para ello la madera se procesa descortezada y con un contenido de humedad de aproximadamente 60% (Poblete, 2001).

Se puede destacar también su bajo impacto ambiental en el proceso de fabricación. La tecnología utilizada permite un buen control de las emisiones al medio ambiente. Los adhesivos utilizados, Fenol formaldehído y MDI son completamente polimerizados en el proceso de prensado, lo que evita emisiones futuras de gases perjudiciales para la salud.

Entre sus aplicaciones industriales, se puede decir que su alta resistencia mecánica, la facilidad para ser trabajados, su versatilidad, el bajo costo y la no emisión de formaldehído, hacen de ellos excelentes alternativas para la construcción con respecto a la madera sólida y tableros contrachapados.

A este tipo de tableros se le puede dar diversos usos; en revestimientos, en la fabricación de embalajes, estructuras de muebles, cierres perimetrales de construcción, estanterías de locales comerciales, aplicaciones decorativas y muchos otros.

## **2.2 Proceso Productivo.**

Para la elaboración de los tableros OSB, Louisiana Pacific Chile S.A., planta Panguipulli, esta formada por las siguientes áreas de trabajo:

### *2.2.1 Patio de recepción y almacenamiento de madera.*

Esta es el área encargada de la recepción, estibamiento y abastecimiento de la materia prima, en este caso metro ruma (unidad volumétrica que corresponde a 2,44 m<sup>3</sup> de volumen estereo y aproximadamente 1,66 m<sup>3</sup> de madera sólida sin corteza) de todas las especies que pueden ser usadas para fabricar tableros OSB (nativas y exóticas).

El uso preferente y creciente de madera que se utiliza corresponde a renovales, con diámetros mínimos de trozos de 13 cm.

### *2.2.2 Descortezado.*

Todos los trozos deben ser descortezados antes de entrar al proceso, para lo cual se utiliza un descortezador de tambor rotatorio, el cual al girar provoca el roce de los trozos y como consecuencia de esto, la pérdida de corteza la cual es utilizada como combustible para la generación de transferencia térmica necesaria para el fraguado de los tableros.

### *2.2.3 Generación de hojuelas (viruteador).*

Este es el equipo encargado de transformar el metro ruma en hojuelas, está constituido por un disco rotatorio con 48 elementos de corte y otros dispositivos encargados de dar el largo, espesor y ancho de las virutas.

### *2.2.4 Almacenamiento de hojuelas verdes.*

Una vez generadas las hojuelas es necesario almacenarlas para mantener una alimentación constante hacia los secadores de centro y superficie los cuales tienen diferentes porcentajes de humedad. La capacidad en volumen de estos silos es de 140 m<sup>3</sup> cada uno.

### *2.2.5 Secado de hojuelas.*

Proceso en el cual a las virutas se les extrae el agua contenidas en ellas dejándolas entre un 3 a un 6% de contenido de humedad. Los secadores son equipos de tres pasos, en donde su necesidad de energía térmica puede ser a través de la combustión del polvo, que es un excedente no deseable en el proceso, y a falta de éste, por quemadores a gas.

### 2.2.6 Ciclón de separación.

Una vez producido el proceso de secado, la corriente de aire húmedo y hojuelas secas pasan a través de un ciclón primario, aquí la diferencia de presión interior en el ciclón sumado al peso específico de las hojuelas, logran decantar estas últimas y enviarlas a la etapa siguiente de tamizado. Por otra parte el aire húmedo rescatado es enviado a un sistema de precipitación electrostático, donde son separadas las impurezas para luego ser retornado a la atmósfera.

### 2.2.7 Clasificación por cribado.

Es el proceso mediante el cual, a través de harneros rotatorios, se realiza la separación de las hojuelas en función de su geometría. Separándose las hojuelas aptas para el proceso y no aptas por su tamaño pequeño, serán enviadas a molinos para su molienda y posterior almacenamiento para alimentar los quemadores de polvo.

### 2.2.8 Almacenamiento de hojuelas secas.

Las hojuelas ya separadas por su tamaño son almacenadas en los silos secos de centro y superficie según su humedad, siendo el de superficie (Fenol) 1 a 4%, y centro (MDI) de 4 a 7%. La capacidad de estos silos es de 70 m<sup>3</sup> estereo cada uno.

### 2.2.9 Encolado.

En esta etapa del proceso se realiza la humectación de las hojuelas con adhesivos, para lo cual éstas pasan a través de un tambor rotatorio provisto de cinco atomizadores que son los encargados de entregar el adhesivo (4) y cera (1) a las hojuelas. También aquí dependiendo del producto a fabricar, se aplican compuestos químicos contra termitas y hongos.

Los porcentajes de resinas aplicados por LP Chile se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Cantidad de adhesivo, dosificaciones de LP Chile.

<b>Tableros Recubiertos Siding</b>			
	<b>Resina %</b>	<b>Cera %</b>	<b>Borato Zinc</b>
Capa Superior	MDI 6%	1%	1.25 %
Capa Central	MDI 6%	1%	1.25%
<b>Tableros Standard OSB</b>			
	<b>Resina %</b>	<b>Cera %</b>	<b>Borato Zinc</b>
Capa Superior	Fenólica 4%	0.8%	No lleva
Capa Central	Fenólica 3.5%	0.8%	No lleva

### *2.2.10 Formadoras*

OSB (Oriented Strand Board).

Esta parte del proceso está constituido por tres equipos llamados Formadoras (inferior, media, superior). La función de estos equipos es constituir un tablero de tres capas orientadas, en donde la inferior y superior están orientadas en forma longitudinal y la interna o central en sentido transversal al largo del tablero. Esta formación se realiza sobre una malla metálica la cual sirve como medio de transporte de las hojuelas hacia la siguiente etapa del proceso.

### *2.2.11 Prensado.*

Proceso en el cual a través de temperatura y presión se realiza la solidificación del tablero con una densidad determinada. La temperatura de trabajo es de 220°C y la presión es de 40 Kg/cm<sup>2</sup>. Para la alimentación de los tableros a la prensa y descarga de los mismos, existen dos equipos denominados cargador y descargador respectivamente. La prensa está provista de ocho aberturas.

Las mallas de transporte, una vez cumplido el ciclo de prensado, retornan nuevamente a la línea de formación para seguir transportando hojuelas hacia la prensa.

### *2.2.12 Escuadrado.*

Proceso en el cual los tableros son escuadrados a formato comercial, es decir, los ocho tableros de la prensa (cuatro tableros por cada plato de la prensa) generan 32 tableros de formato de 2.44 \* 1.22 metros.

### *2.2.13 Terminación.*

Área en la cual se realiza el sellado de cantos de los paquetes y embalaje final con codificación del producto para posteriormente ser entregado a bodega de productos terminados.

## **2.3 Estabilidad dimensional y variables que afectan las propiedades de los tableros OSB.**

En este punto se hará una revisión en forma breve de los aspectos más importantes que pueden afectar las propiedades dimensionales de los tableros OSB.

### *2.3.1 Estabilidad dimensional de la madera.*

Para comprender el comportamiento de la madera en cuanto a su estabilidad dimensional, se debe tener presente que es un material sólido, poroso, heterogéneo, higroscópico y anisótropo.

De acuerdo con Díaz–vaz (2003) el carácter sólido de la estructura lignocelulósica lo proporcionan las células que la componen. Las células están formadas por una pared celular y un lumen. Por la existencia de los lúmenes y de los espacios intercelulares, la madera es un material poroso.

La característica de material heterogéneo, tan típica en la madera proviene de las células vegetales que la constituyen y que varían en cuanto a la forma, dimensión, orientación, composición química y ultra – estructura. La heterogeneidad de la madera se manifiesta tanto en el plano transversal, como longitudinal radial y longitudinal tangencial (Díaz–vaz, 2003).

La madera es anisótropa, vale decir, presenta un comportamiento desigual en el plano transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial. Esta característica se manifiesta en muchos de los productos fabricados con madera (Díaz–vaz, 2003). Por lo tanto los cambios dimensionales de la madera son una clara evidencia de la anisotropía.

La madera está compuesta en un 60 - 75 % de holocelulosa, un material higroscópico. Esta característica le da a la madera la capacidad de absorber o perder humedad en función de la humedad existente en el ambiente, lo cual produce cambios dimensionales a este material.

Los cambios de humedad en la madera se traducen en hinchamientos o contracciones. La contracción en la madera, se manifiesta al perder agua bajo el punto de saturación de las fibras, lo que provoca una reducción de las dimensiones.

Las contracciones en una sección transversal no son uniformes. Las contracciones radiales, es decir, en el sentido del radio del árbol, son menores que las contracciones tangenciales o sea, en el sentido de las tangentes de los anillos de crecimiento. Proporcionalmente, como un promedio de todas las especies, la contracción de las tres direcciones principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (Pérez, 1983).

### *2.3.2 Hinchamiento y Estabilidad dimensional en tableros.*

Ante cambios de humedad relativa del aire, la magnitud del cambio dimensional es mayor en lo tableros que en la madera.

Los tableros son higroscópica y dimensionalmente inestable cuando están expuestos al vapor de agua o agua líquida, porque el material con el que están contruidos (partículas, fibras, hojuelas) poseen las propiedades higroscópicas de la maderas sólida de la cual fueron fabricados, la mezcla de partículas de madera y adhesivo, transformadas en un tablero, al absorber humedad desde la atmósfera aumenta su volumen y al perder la humedad no retornan a su dimensión original.

Para controlar la inestabilidad 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).

Muchos han sido los esfuerzos que se han hecho para reducir la inestabilidad dimensional, particularmente del espesor, tanto en tableros de partículas como de otros tipos, estos intentos han sido enfocados directamente a dos fuentes básicas relacionadas con los cambios dimensionales de los tableros. La higroscopicidad y la liberación de fuerzas de compresión producidas por el prensado, conducen a una menor durabilidad del tablero (Moslemi, 1974).

El método más recurrido para disminuir la higroscopicidad de los tableros es agregar emulsiones de parafina (cera). Esta acción está limitada, puesto que al agregar demasiada cera las propiedades de los tableros disminuyen.

Se han realizado varios tratamientos para reducir la inestabilidad dimensional de los tableros. Los primeros estudios se realizaron en madera sólida, obteniéndose mejoras sustanciales. Estos tratamientos químicos evitan la pudrición, absorción de humedad y retardan la acción del fuego (Youngquist, *et al.* 1986).

Uno de los tratamientos aplicados es la Acetilación, que reemplaza los grupos hidroxilos de la madera por grupos acetilos, los cuales son menos higroscópicos.

Los tratamientos como la Acetilación, son prometedores, pero aun no aplicables a nivel industrial.

A diferencia de los distintos tipos de tableros (partículas, fibras), los tableros OSB sufren menores cambios dimensionales. Esto quiere decir que su estabilidad dimensional, el grado en que un material conserva sus dimensiones al quedar expuesto a distintas condiciones de temperatura y humedad, es mayor y esto se debe a la orientación que se le da las capas tanto perpendiculares como paralelas al eje en la etapa de formación, produciendo un mejoramiento en todas las propiedades del tablero.

### *2.3.3 Efecto de la densidad.*

La densidad de la madera no sólo afecta las propiedades del tablero, sino que además influye sobre el proceso en general (Poblete, 2001).

La densidad de la madera afecta también, junto con la compactación de la estera, a la densidad final del tablero. Al cambiar la densidad de la madera es necesario realizar un ajuste en la compactación de la estera si se desea mantener constante la densidad final del tablero. Sin embargo, la característica de los tableros

producidos con diferentes densidades de madera y grado de compactación serán distintas, aun cuando la densidad del tablero permanezca constante (Kelly, 1977).

Para relacionar la densidad de la madera con la densidad del tablero se determina la razón de compresión RC, que corresponde al cociente entre la densidad del tablero y la densidad de la madera. Una mayor compresión permite un mejor contacto entre las partículas y una mayor eficiencia del adhesivo. Sin importar la densidad de la especie empleada, la razón de compresión siempre debe ser mayor a 1. Cuando la razón de compresión es menor a 1, el tablero tiene una densidad menor a la densidad de la madera utilizada y no habrá compactación del material. En general es recomendable lograr valores entre 1.5 y 2.2 (Poblete, 2001).

En cuanto a la relación entre la densidad del tablero y las variaciones dimensionales tanto en el sentido lineal como en el espesor, un aumento de la densidad del tablero provoca un aumento en la expansión lineal.

#### *2.3.4 Expansión lineal en tableros OSB.*

Los tableros OSB, sufren un aumento de las dimensiones en el sentido paralelo y perpendicular al eje. El aumento de la longitud o ancho se denomina Expansión Lineal. En los tableros OSB es evaluada generalmente midiendo el aumento de la longitud, provocado por un cambio en la condición de la humedad (APA, 1994).

Cuando salen de la fábrica el contenido de humedad de los tableros es generalmente de 2 a 8%. Al ser expuestos a las condiciones de servicio, se provoca un aumento del contenido de humedad y una variación dimensional tanto en el aumento, como en la longitud y en el ancho.

En los tableros de partículas no existe una orientación definida, poseen una orientación al azar, las fibras están dispuestas en todos los ángulos posibles, pero paralelas a la superficie del tablero. Consecuentemente, la expansión lineal, paralela y perpendicular a la dirección de fabricación, no presenta diferencias importantes (Moslemi, 1974).

En los tableros OSB, la expansión lineal es mucho mayor en el sentido perpendicular debido a la orientación de las hojuelas, esta diferencia puede provocar problemas cuando los tableros ya instalados absorben humedad de la atmósfera aumentando sus dimensiones en el ancho y largo, causando desplazamientos en los empalmes. Las quejas más comunes por el uso de OSB son por estas causas.

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Para alcanzar los objetivos planteados se utilizaron los materiales y metodología que a continuación se detallan.

#### 3.1 Materiales.

##### 3.1.1 Tableros.

Para el estudio se emplearon tableros OSB del tipo nacional, fabricados en un 100% con especies nativas. En términos generales, los tableros tuvieron las siguientes características:

- Espesor : 7/16" (11.1 mm)
- Cera: 0.8% constante para todas las pruebas, tanto para superficie y centro.
- Tiempo de prensado: 125 seg.
- Temperatura de prensa: 220 °C.
- Razón de formación: 60:40.
- Velocidad de línea: 43.5 pies/min.

Las variables del estudio fueron la densidad del tablero y los contenidos de resina en las diferentes capas. Se trato de Fenol formaldehído en las caras, diluida al 43%, y de MDI en la capa central. Las densidades y cantidades de adhesivo se muestran en el cuadro 2. El total de tableros a estudiar fueron de 300.

Cuadro 2: Características de los tableros producidos para el estudio

Tipo de tablero	Clave de identificación	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resina superficie (%)	Resina centro (%)
1	A 1	640	3.7	2.0
2	A 2		4.0	2.0
3	A 3		4.3	2.0
4	A 4		4.0	1.7
5	A 5		4.0	2.3
6	B 1	670	3.7	2.0
7	B 2		4.0	2.0
8	B 3		4.3	2.0
9	B 4		4.0	1.7
10	B 5		4.0	2.3
11	C 1	700	3.7	2.0
12	C 2		4.0	2.0
13	C 3		4.3	2.0
14	C 4		4.0	1.7
15	C 5		4.0	2.3



### 3.2 Equipo experimental.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron equipos de la empresa Louisiana Pacific S.A. en conjunto con los del Laboratorio de Tableros del Instituto de Tecnología de Productos Forestales (TEIM) de la Universidad Austral de Chile.

Cámara de climatizado: Marca Heraeus, modelo HP2 50/S-DV, con rangos de humedad relativa de 40% hasta 90%. El rango de temperatura fluctúa entre 10 – 45 °C. Esta cámara tiene una precisión de  $\pm 3\%$ .

Estufa: Marca Heraeus, esta estufa posee un rango de temperatura que oscila entre 0° a 250° C.

Taladro: Para medir la expansión lineal se insertan en ambos extremos de las probetas vainas de metal “eyelettes”, para esto las probetas deben ser perforadas con un taladro a una pulgada de distancia desde los bordes. Para las probetas de este estudio se ocupó un dril de  $\frac{1}{4}$  de pulgada ya que es el recomendado para probetas con espesores hasta  $\frac{1}{2}$  de pulgada.

Vainas de metal “eyelettes”: Son ojales de relleno que se insertaron en las perforaciones hechas a las probetas. Sirven para posicionar el dial y llevar a cabo la medición de expansión lineal.



Figura 1: Vainas de metal “Eyelettes”.

Diales: El primer dial posee una barra de acero con dos puntos y un dial, consta con una precisión de 0.001 pulgadas, su función es medir la variación de expansión lineal.



Figura 2: Dial para medición de expansión lineal.

Plataforma de medición: Su función es aplanar y sujetar las probetas para llevar a cabo las mediciones de expansión lineal sin ningún error. Para su funcionamiento se necesita una presión de aire de 50 libras.



Figura 3: Plataforma de medición.

Estanque de vacío: Posee una capacidad de 100 litros, su presión puede llegar hasta 30 bar, con una máxima temperatura de 99 °C.

Estufa: Marca Memmert modelo ULM/SLM 400 – 800, estufa que posee un rango de temperatura de 0° a 220° C.

Balanza electrónica: Marca Sartorius, serie BL 3100, con una precisión de 0.1g. Se utiliza para tomar el peso a las probetas. Su unidad de medida es en gramos.

Máquina de ensayos de propiedades físico - mecánicas: Marca INSTRON 4466 modelo M22 – 12410 – 12(S), tiene una capacidad de 2250 libras. En ésta máquina se realizan ensayos de tracción, flexión, compresión y cizalle. Es monitoreado a través de un computador el cual utiliza un programa llamado Serie IX, este es un programa de captación, control y análisis de datos para el ensayo de materiales.



Figura 4: máquina Instron.

Mordazas: Platinas metálicas de dimensiones son de 2" \* 2". Se utilizan para hacer ensayos de tracción (IB) en la máquina Instron 4466.

Bandejas para hinchamiento: Son dos bandejas (superior e inferior), cada una tiene la capacidad de 73.5 litros, la cantidad de muestras que se pueden colocar en las bandejas son de 22 cada una.

Calibrador de espesor: Marca Mitutoyo modelo 223 – 125 rango 0-1", precisión 0.001", se utiliza para medir espesor, su unidad de medida es en pulgadas.

Pie de metro: Marca Mitutoyo modelo CD – 6" BS con una precisión de 0.001". Se utiliza para medir espesor su unidad de medida puede ser en pulgadas y en milímetros.

Máquina DEMCO: Modelo DEM – PTF 034, su carga máxima es de 2500 libras, incluye una celda de carga tipo S. En esta máquina se realizan los ensayos de deflexión, carga e impacto. Es monitoreada a través de un computador conectado a la máquina a través de un software.



Figura 5: máquina DEMCO.

Ensayo de barras: Las barras de carguío deben ser de 4 pies de largo, 1" – 1.5" de ancho. Una medida nominal de 2\*4" puede ser impuesta sobre su borde, se recomienda pesos de un rango de 5, 10 y 20 libras los pesos deberán ser conocidos con una exactitud de 0.1 libras.

El reloj indicador deberá tener un rango de medición de 0 – 2" y la graduación en incrementos de 0.001". Esto se realiza a 20 tableros escogidos al azar.



a.



b.



c.



d.

Figura 6: Ensayo de barras. a) Tablero dispuesto para el ensayo; b) Se observa el dial que mide la deflexión del tablero; c) Vista lateral; d) Vista superior

### 3.3 Metodología.

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la obtención de los tableros y la metodología para cada ensayo.

#### 3.3.1. Fabricación de los tableros.

Los tableros para el estudio se fabricaron en la línea de producción de Louisiana Pacific Chile S.A. en Panguipulli, con condiciones industriales. Debido a que la planta funcionó solamente para producir el material de este ensayo, se hicieron 5

prensadas por tipo de tablero. La quinta prensada correspondió a tableros que están en una fase intermedia de cambio de una de las variables, por lo tanto no se tomaron en consideración para la toma de muestras. El material producido y seleccionado se retuvo por 15 días, para asegurar un fraguado completo del adhesivo y el climatizado de los tableros.

De cada tipo de tablero se tomaron una muestra de 20 tableros de los que se extrajeron las probetas para ensayar.

El total de probetas para este estudio es de 5880 de las cuales 5280 se ensayaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Louisiana Pacific Chile S.A. y 600 probetas se llevaron a la cámara de clima que está ubicada en el Laboratorio de Tableros del Instituto de Productos Forestales que se encuentra en la Universidad Austral de Chile. El número de probetas por ensayo se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3: Probetas por ensayo sin humectar

TIPO DE ENSAYO	(a) TABLERO O MUESTRA (N°)	(b) PROBETAS POR TABLERO	(c) TOTAL PROBETAS POR PRUEBA (N°) (a*b)	(c*15) TOTAL PROBETAS A ENSAYAR	TIEMPO POR ENSAYO
Ensayo de barras	20	1	20	300	5 días
Deflexión y carga En máquina DEMCO	10	1	10	150	5 días
<b>Ensayos en máquina Instron</b>					
S-14 flexión seca paralela	20	2	40	600	5 días
S-14 flexión seca perpend.	20	2	40	600	5 días
Resistencia a la tracción (IB)	10	5	50	750	18 días
D-4 MM húmedo	20	2	40	600	15 días
Expansión lineal total Expansión lineal QMS II Paralela	20	2	40	600	15 días
Expansión lineal total Expansión lineal QMS II Perpendicular	20	2	40	600	
Contenido de humedad (%)	20	1	20	300	8 días
Hinchamiento 2 hrs., 24 hrs.	20	2	40	600	17 días
Flaking test	3	4	12	180	4 días
<b>Ensayos en cámara de clima</b>					
Expansión lineal paralela	10	2	20	300	2 meses y 15 días
Expansión lineal perpendicular	10	2	20	300	

### 3.3.2 Diseño de obtención de muestras.

Antes de obtener las probetas para los ensayos, se debió realizar al tablero completo el ensayo de barras, en donde se obtuvo el índice de elasticidad. Una vez que se realizó éste ensayo, se procedió a cortar el tablero en la mitad y se realizó el ensayo de deflexión y carga en la máquina Demco, utilizando para éste estudio sólo una mitad del tablero. Una vez que se realizaron ambos ensayos se procedió a cortar el tablero y obtener las muestras (figura 7), que fueron evaluadas posteriormente.

En la figura 7 se presenta el diseño de la toma de probetas de un tablero.

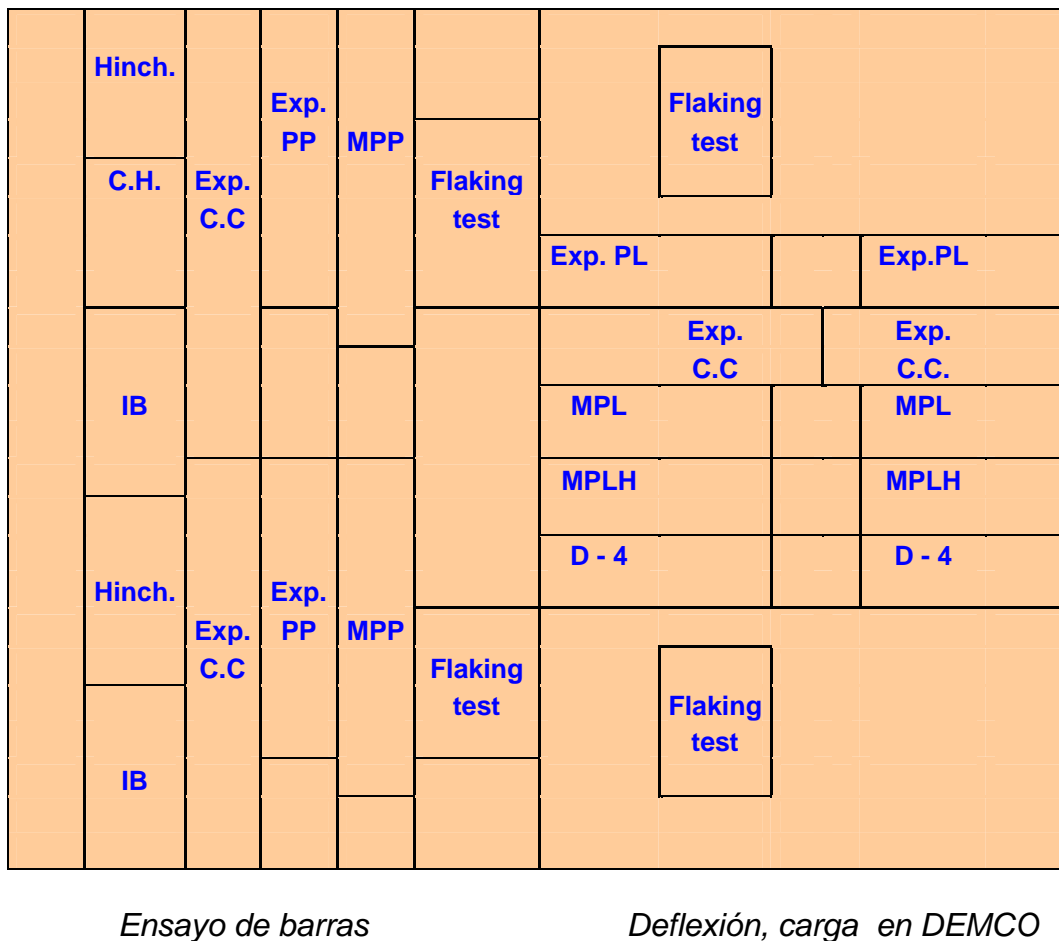


Figura 7: Diseño para la obtención de probetas

En el cuadro 4 se entrega un listado con las dimensiones de las diferentes probetas que se ensayaron.

Cuadro 4: Dimensiones de las probetas

Ensayo de barras	2.44 mt * 1.22 mt
Carga y deflexión DEMCO	1.22 mt * 1.22 mt
Expansión lineal paralela	12" * 3"
Expansión lineal perpendicular	12" * 3"
Expansión lineal cámara de clima paralela	24" * 3"
Expansión lineal cámara de clima perpendicular	24" * 3"
Hinchamientos	6" * 6"
Contenido de humedad	6" * 6"
Resistencia a la tracción (IB)	2" * 2"
Flexión seca paralela (MPL)	14" * 4.5"
Flexión seca perpendicular (MPP)	14" * 4.5"
D-4	14" * 4.5"
Flaking test	10" * 14"

### 3.3.3 Métodos por ensayo.

Los ensayos se realizaron en general de acuerdo con las normas APA. La descripción se entrega a continuación.

**Evaluación de la Expansión total al vacío.** Las probetas de ensayo son colocadas en estufa a  $103 \pm 2$  °C por 24 horas, luego de transcurrido este tiempo se mide el espesor, el peso y su expansión lineal para poder obtener los valores correspondientes al estado seco.

Después se colocan en el estanque al vacío en agua por 1 hora con una presión de 25 mm Hg. y una temperatura de  $18 \pm 5$  °C. Las probetas se dejan por 2 horas más sumergidas en el estanque sin presión, luego se retiran y estilan para su medición.

La expansión total se obtiene en porcentaje y es calculada con la siguiente ecuación:

$$Expansión (\%) = \left( \frac{L_w - L_d}{10} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

$L_w$  = dimensión saturada.

$L_d$  = dimensión seca.

10 = distancia entre los eyelettes.



**Evaluación de expansión lineal en cámara de clima.** En este ensayo las probetas serán expuestas en la cámara de clima a cambios de humedad relativa de 40% - 52,5% - 65% - 77,5% - 90% con una temperatura constante de 20 °C.

Para realizar los cambios de humedad relativa en la cámara de clima se realizaran controles de peso a determinadas probetas hasta llegar a un peso constante, luego de esto se realizara el cambio de humedad relativa manteniendo constante cada 15 días.

Se evaluaran 1200 probetas de 24" de largo 3" de ancho y el espesor de 11.1 mm. La expansión lineal para el estudio será calculada con la siguiente ecuación:

$$Exp.Lineal(\%) = \left( \frac{L_w - L_d}{22} \right) * 100 \quad (2)$$

Donde:

$L_d$ = dimensión seca.

$L_w$ = dimensión saturada (clima).

22 = distancia entre los "eyelettes".

**Humedad de equilibrio.** Para determinar la humedad de equilibrio se controlará el peso seco de cada una de las probetas y luego en cada clima cada 15 días, obteniendo un promedio, calculando el contenido de humedad correspondiente.

Además esta formula se utilizará para calcular el contenido de humedad de las probetas en los ensayos en la empresa Louisiana Pacific Chile S.A.

El contenido de humedad se calculará con la siguiente ecuación:

$$C.H(\%) = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

$P_s$ = peso seco.

$P_h$ = peso húmedo

**Hinchamiento de espesor y absorción de agua.** El hinchamiento de espesor y absorción de agua son determinados desde una muestra de 6" \* 6" tomada del tablero de prueba. Se mide espesor a media distancia a lo largo de cada lado y a 25 mm (1") desde el canto de la muestra, para determinar el promedio

de espesor de las cuatro medidas. La muestra es sumergida horizontalmente bajo 25 mm (1") de agua a  $18 \pm 5^\circ \text{C}$ . Después de dos horas la muestra es pesada y es determinado el espesor nuevamente, después de la medición la muestra es sumergida nuevamente por otras 22 horas, tiempo después de la cual la muestra es drenada, pesada y determinado el promedio de espesor. Una vez que las mediciones son tomadas, la muestra es ubicada en un horno a  $103 \pm 2^\circ \text{C}$  por 24 horas hasta peso constante.

La fórmula para determinar hinchamiento y absorción de agua son las siguientes:

Hinchamiento de espesor.

$$TS \% = 100 (T_s - T_i)/T_i \quad (4)$$

Donde:

$T_s$  = promedio de espesor después de 2 horas o 24 horas.

$T_i$  = promedio de espesores antes de sumergir.

Absorción de agua.

$$\% \text{ Absorción} = 100 (WT_s - WT_{od})/WT_{od} \quad (5)$$

Donde:

$WT_s$  = peso después de sumergir 2 o 24 horas.

$WT_{od}$  = peso después de secado en horno.

**Expansión lineal (QMS II).** El testeado será llevado a cabo en equipos construidos bajo las especificaciones de APA. La expansión lineal es determinada de muestras 3" \* 12". Las asideras de bronce están localizadas en hoyos hechos con anterioridad que están localizados en la línea central y 1" dentro del extremo. Las muestras están localizadas en una plataforma plana y la distancia de las asideras es medida lo más cercano a 0.001" con una barra tipo compás. Después de la medición las muestras son localizadas en forma suelta en una cámara de presión al vacío, completamente sumergido con agua a  $65^\circ - 75^\circ \text{F}$ , y sometido a un vacío de 25 – 29 pulgadas/Hg. por una hora.

Después de una hora, el vacío es liberado y las muestras quedan sumergidas por dos horas a presión ambiente. Después de dos horas las muestras son sacadas del agua y re-medidas en la plataforma plana.

El porcentaje (%) LE será calculado con la siguiente fórmula.

$$\% LE = 100 (L_d - L_w)/10 \quad (6)$$

Donde:

$L_w$  = mediciones cuando el panel esta mojado

$L_d$  = mediciones cuando el panel esta seco

10 = distancia inicial entra las asideras

**Resistencia interna (IB, tracción perpendicular).** La resistencia interna es determinada utilizando una máquina de ensayos INSTRON 4466. Cinco muestras de 2" \* 2" son cortadas desde un panel a ensayar, según el listado de corte de muestra. Las muestras deben ser exactamente de 2" \* 2", para la precisión de los resultados obtenidos. Las muestras son pegadas a unas platinas metálicas por un adhesivo termo fundente, el cual debe estar uniformemente esparcido sobre la superficie de la cara de la muestra y minuciosamente enfriado. La velocidad de avance para el cabezal de la máquina de testeo es de 0.08 mm/mm de espesor/minuto.

El máximo valor (punto de quiebre) dividido por cuatro determina el valor de la resistencia interna en libras por pulgadas cuadradas (Psi). La ubicación del quiebre es categorizada en cinco áreas:

1. Punto de quiebre de la superficie superior
2. Punto de quiebre de la interfase superficie superior/centro
3. Punto de quiebre en la parte central
4. Punto de quiebre en la interfase central/superficie inferior
5. Punto de quiebre de la superficie inferior

Se debe documentar la información respecto al lugar donde se produce la falla, además de cualquier anomalía en el quiebre, tal como hojuela doblada o corteza.

La fórmula para calcular la resistencia interna es la siguiente:

$$IB = \frac{P_{max.}}{b * l} \quad (7)$$

Donde:

IB = Internal bond (Mpa)

Pmax = carga máxima de falla (newtons)

b = ancho muestra (mm)

l = largo muestra (mm)

**Momento máximo (MM) seco y módulo de elasticidad.** Las muestras de ensayo deben tener 4.5" de ancho por 14" (20", 26") de largo dependiendo de su espesor. Las muestras deben presentar la dirección paralela y perpendicular de la formación del tablero. La luz del ensayo así como las velocidades en la aplicación de la carga va a depender del producto a ensayar. La muestra y el cabezal deben ser centrados entre los brazos de soporte para entregar resultados exactos. Una vez que la muestra a sido quebrada o el valor de ruptura no se incremente más, el test esta completo. La computadora Instron es programada para calcular el máximo momento y el valor EI.

La fórmula para el máximo momento (MM), módulo de ruptura (MOR), (EI) y módulo de elasticidad (MOE) son los siguientes:

MM (Lb-pulg./pies) = 3 PL/b	P = máxima carga en libras
MOR (Psi) = 1.5 PL/bd <sup>2</sup>	L = espaciado en pulgadas
MOR (Psi) = MM/2d <sup>2</sup>	G = promedio de cambio de carga sobre la porción lineal de la curva.
EI (lb-pulg <sup>2</sup> /pie) = GL <sup>3</sup> /4yb	y = flecha sobre porción lineal de la curva.
MOE (Psi) = GL <sup>3</sup> /4ybd <sup>3</sup>	b = ancho en pulgadas.
MOE (Psi) = EI/d <sup>3</sup>	d = espesor en pulgadas.

**D – 4 MM húmedo.** Para este ensayo las muestras tiene las siguientes dimensiones 14" \* 4.5". la muestras van a ser totalmente sumergidas en agua a 145° - 155°F dentro de una cámara de presión/ vacío sellada. Un vacío de 14 - 16 pulgadas/Hg. es localizado en las muestras por 30 minutos. Después de 30 minutos, se libera el vacío y se permite que las muestras se remojen por 30 minutos a presión ambiente. Después del remojo en ambiente, el agua es drenada y las muestras son secadas por 15 horas a 175° - 185°F en un horno circulación de aire forzado con ventilador de 45 a 50 intercambios de aire por minuto. Después del secado, las muestras son testeadas usando seteos de espaciado y velocidades de crucetas. La muestra y la cruceta deben ser centradas entre los brazos de soporte para dar resultados precisos. La muestra es testeadada con el timbre hacia abajo. Una vez que la muestra se ha roto o el valor de ruptura y ano aumenta, la prueba esta completa. La computadora de la prueba esta programada para calcular el momento máximo. El promedio de los dos especimenes individuales de un panel será registrado como un punto de datos.

**Ensayo de barras.** Las barras de carguío deben ser de 4 pies de largo y de 1" – 1.5" de ancho. Una medida nominal de 2\*4" puede ser impuesta sobre su borde, los pesos deben ser adicionados a las barras de carguío se recomienda pesos de un rango de 5, 10, 20 libras. Los pesos deberán ser conocidos con una exactitud de 0.1 libras.

Se debe medir el espesor del panel en 4 puntos. El espesor debe ser medido a una pulgada desde el borde del panel. Las medidas deben ser hechas en la mitad del panel en cada lado del largo y ancho. El panel de prueba debe ser colocado sobre los caballetes u otro aparato de soporte. Las líneas previamente marcadas deben quedar sobre la superficie superior del panel. Las líneas previamente marcadas a 6" y 90" deben coincidir con el fin del borde de los caballetes (ambos lados). Si esto no es así, realinear los soportes o chequear si el panel fue correctamente marcado.

Se coloca el atril del reloj indicador bajo el panel de prueba. La aguja del reloj indicador debe estar directamente bajo la marca "X" previamente establecida.

Se verifica que el reloj indicador este perpendicularmente al panel de ensayo. Una escuadra carpintera puede ser utilizada para ello. Si el reloj indicador esta encorvado se podría leer un largo de deflexión y obtener resultados erróneos.

Luego se coloca la barra de carguío transversalmente en la línea central sobre la superficie superior del panel. Se ubica la precarga sobre la barra de carguío. La precarga es aplicada para asentar el espécimen transversalmente a los soportes.

La precarga recomendada para el espesor 7/16" (11.1 mm) es de 10 libras. El conocimiento exacto del peso de la precarga no es necesario. Adicione otra precarga para asegurar el contacto completo transversalmente en el ancho del espécimen. Colocar la aplicación de la precarga, leer el reloj indicador inmediatamente, registrar la lectura (D1) con una precisión de 0.001". Asegurándose que el reloj indicador tiene escala disponible para hacer la próxima medida. Si no es posible que el reloj entregue resultados exactos de 0.001", esto es importante para el procedimiento y puede dar resultados erróneos, cuando aplique cargas y registre las deflexiones de prueba use dos personas si es posible. Tan pronto como las lecturas del reloj son registradas, adicionar la segunda carga a la barra de carguío. Aplicada la segunda carga, leer el reloj indicador inmediatamente, registrar la lectura (D2) con una precisión de 0.001".

La fórmula para calcular el EI es la siguiente.

$$EI = \frac{P*L*L*L}{192*(D2-D1)} \quad (8)$$

Donde:

EI = rigidez (lb.-in<sup>2</sup>/ft)

P = carga aplicada entre D1 y D2 (lb.)

L = espaciado o luz

D1 = lectura del reloj después de la precarga (in)

D2 = lectura del reloj después de la carga (in)

**Método de prueba S-1 de APA desempeño bajo cargas de impacto y estática concentrada.** Los especímenes de prueba son especificados en ASTM E-661, con la cantidad requerida dada en la política de calificación. Los especímenes también pueden ser ciclados para la humedad en la medida que sea requerido.

Estática concentrada: los procedimientos de ASTM E-661, son seguidos excepto que el marco de prueba puede ser de acero en vez de madera, usando las sujeciones que simulan clavos. La tasa de carga va a ser de 100

libras por 30 segundos a falla de producción dentro de 5 minutos si usado un sistema de carga hidráulico bombeado a mano.

Impacto concentrado: se siguen los procedimientos de ASTM E-661 método A, excepto:

- 1) El marco de la prueba puede ser de acero en vez de madera usando sujeciones que simulen clavos.
- 2) Para las clasificaciones de espaciado mayores que 24oc la bolsa de impacto debe ser de no menos de 24 pulgadas por clasificación de espaciado hasta 24oc y 48 pulgadas para mayores clasificaciones de espaciado.

**Procedimiento de pruebas de hojuelas (Flaking test).** El tamaño de las probetas es de 10" \* 14" y el de probetas de un panel terminado es de cuatro.

Se colocan las muestras en un tanque de mojado al vacío lleno con agua a 125°F (±5°F). El mojado al vacío a 27 pulg./Hg. (±2 pulg./Hg.) por 30 minutos y después siga con mojado a presión atmosférica por otros 30 minutos. Seque las probetas mojadas en el horno del laboratorio a 220°F (± 5°F) por 2 horas.

Cuente y encierre cualquier fibra suelta (una fibra que se levanta en las orillas o que tiene una burbuja) en el lado de la criba y al lado del plato. No se cuentan las fibras sueltas que son mas pequeñas que 0.25 in<sup>2</sup> o fibras en las orillas (a menos que sea un pliegue). Multiplique la cantidad de fibras sueltas de las cuatro probetas por 8 para determinar el total para un panel. El total del panel es registrado como un punto de dato. Registre los datos del lado de malla y plato en forma separada.

#### *3.3.4 Análisis de los resultados.*

Los resultados se analizaron considerando los métodos estadígrafos básicos con el programa Microsoft Excel, como valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar para poder realizar una comparación entre cada una de las mezclas que se realizaron.

Se hizo también análisis de correlación y de varianza ANOVA con el programa Statgraphic, entre las variables de densidad y contenido de adhesivo con las diferentes propiedades físicas y mecánicas que se realizaron a los tableros.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presentan los resultados y análisis de los ensayos realizados en el laboratorio de Louisiana Pacific planta Panguipulli y laboratorio de tableros de la Universidad Austral de Chile. En este estudio se presentarán los ensayos más relevantes, dentro de ellos se encuentran; la expansión lineal QMS II y total; expansión lineal en cámara de clima; D-4; hinchamiento y absorción de agua a las 24 horas; humedad de equilibrio y otras propiedades complementarias tales como IB, MM flexión, EI flexión, EI barras y carga DEMCO. Además se muestran los estadígrafos básicos para cada condición.

### 4.1 Expansión lineal.

La Norma APA posee métodos diferentes para evaluar la expansión lineal según el tipo de producto. Para los tableros estructurales como es el caso del OSB nacional 100% nativo se utiliza el Test P-1 procedimiento B, que evalúa desde un 50% de humedad relativa hasta vacío presión, teniendo como valor referencial un 0,5% de expansión lineal. Como la Norma APA procedimiento B, va de 50% de humedad relativa a saturación y la empresa no cuenta con una cámara de clima, se utiliza el método QMS II que trabaja con la humedad inicial del tablero, vale decir, depende de la humedad de este. El contenido de humedad de los tableros al salir de la planta varía entre 4 y 5%, lo que obtendría con un 40% de humedad relativa. Por lo tanto el ensayo QMS II va del contenido de un 5% a saturación.

El cuadro 5 muestra los valores promedios de las expansiones lineales para cada condición.

Cuadro 5: Expansión lineal paralela y perpendicular, QMS II y Total.

Condición	EXPANSION LINEAL (%)				C.H. Inicial (%)
	QMSII Par.	QMSII Perp.	Total Par.	Total Perp.	
A 1	0,213	0,470	0,365	0,694	5,1
A 2	0,226	0,492	0,382	0,718	5,4
A 3	0,205	0,436	0,342	0,644	5,0
A 4	0,212	0,468	0,352	0,682	5,7
A 5	0,185	0,406	0,333	0,616	5,5
B 1	0,210	0,417	0,359	0,623	4,7
B 2	0,208	0,442	0,348	0,640	4,6
B 3	0,219	0,456	0,365	0,666	5,3
B 4	0,227	0,479	0,393	0,720	5,3
B 5	0,230	0,451	0,407	0,690	5,5
C 1	0,233	0,454	0,393	0,682	5,3
C 2	0,211	0,450	0,382	0,667	5,4
C 3	0,205	0,443	0,371	0,664	5,5
C 4	0,202	0,445	0,356	0,657	5,2
C 5	0,199	0,401	0,354	0,639	4,9

Se observa en el cuadro 5 que la expansión lineal total perpendicular varía entre 0,616% y 0,720%, siendo la condición B4 la que presenta la mayor expansión lineal con un valor de 0,720%. La condición A5 fue la que obtuvo la expansión más baja con un 0,616%. Al seleccionar las expansiones más altas (30% del total), se encuentran A2 (0,718%), A1 (0,694%), B5 (0,690%), A4 y C1 (tienen el mismo valor, 0,682%).

En cuanto a la expansión lineal total paralela los valores obtenidos varían entre 0,333% y 0,407%, siendo la condición B5 la que presenta el mayor expansión con un 0,407%. La condición A5 fue la que obtuvo la expansión más baja con un 0,333%. Entre las expansiones más altas registradas, se encuentran B4 y C1 con un 0,393%, A2 y C2 con un 0,382%.

En ambas mediciones, paralela y perpendicular, la condición A5 es la que presenta los valores más reducidos.

La expansión lineal total paralela registra valores inferiores a lo exigido por la norma, todas las condiciones cumplen las exigencias de APA.

La expansión lineal total perpendicular está sobre la exigencia de la norma, siendo esta propiedad crítica al momento de tomar decisiones de corrección al proceso.

Los resultados del análisis de varianza ANOVA utilizando el método Duncan. Se puede decir que en el caso de distinta densidad pero igual resina, para A1, B1, C1 en la expansión total paralela y perpendicular hubo diferencia estadística entre A1-C1 y B1-C1, la expansión más alta la obtuvo A1 lo cual se puede atribuir al pegado del tablero, se esperaba que al aumentar la densidad aumenta la expansión en este caso no sucedió mostrando que la condición B1 obtuvo la menor expansión. Para A2, B2, C2 la expansión total paralela y perpendicular tuvo diferencia estadística entre A2-C2 y A2-B2 mostrando que A2 fue la expansión más alta esto se puede relacionar con el pegado del tablero. Para A3, B3 y C3 en la expansión total paralela y perpendicular los grupos (B3 y C3) fueron homogéneos con un 95% de confianza, A3 fue la condición que obtuvo la menor expansión. Para A4, B4, C4 y A5, B5, C5 la expansión total paralela y perpendicular, los grupos no mostraron una tendencia en forma clara a pesar que aumentó el MDI e la capa central para el caso de A5,B5,C5 (Ver Anexo 2).

En el caso de la misma densidad pero diferente porcentaje de adhesivo en la capa superficial en el caso de A1, A2, A3 para la expansión lineal total paralela y perpendicular los grupos son homogéneos fueron A1-A2 con un 95% de confianza, con respecto A3 tuvo una disminución en la expansión puede estar relacionado con el aumento de fenol. Para la expansión lineal total paralela y perpendicular B1, B2, B3 los grupos homogéneos fueron B1-B2 con un 95 % a 99% de confianza, B3 presentó el un valor levemente más alto al aumentar el fenol. Para la expansión lineal total paralela y perpendicular C1, C2, C3 no hubo diferencia estadística (Ver Anexo 2).



La expansión lineal paralela y perpendicular teniendo una misma densidad pero distinto porcentaje de adhesivo en la capa central, para A4, A2, A5 la condición A4-A2 son grupos homogéneos con un 95% de confianza y A2 fue la que obtuvo la mayor expansión, en el caso de la paralelas los grupos fueron homogéneos. Para B4, B2, B5 en la expansión total paralela y perpendicular los grupos fueron homogéneos con un 95% de confianza, se observa que al aumentar la resina disminuye la expansión. En el caso de C4, C2, C5 en el caso de la expansión total paralela los grupos C4-C5 son homogéneos con un 95% de confianza, en el caso perpendicular no hubo diferencia estadística con un 95% de confianza (Ver anexo 2).

Con respecto a la expansión según QMS II perpendicular, los valores obtenidos varían entre 0,401% y 0,492%, siendo la condición A2 la que presenta la mayor expansión con un 0,492%. Las condiciones B4 y A1 (0,479% y 0,470% respectivamente) presentan valores altos de expansión. La condición C5 registra el valor más bajo (0,401%).

En cuanto a la expansión paralela, esta varía entre 0,185% a 0,233%, valores cercanos al promedio normal determinado en la industria.

Todos los resultados del ensayo de expansión lineal QMS II (paralela y perpendicular) están bajo el 0,5% permitido por la norma. Todas las condiciones cumplen con las exigencias de la norma.

En el Anexo 2 se presenta un detalle, en forma gráfica, de este ensayo de expansión lineal QMS II y Total, para cada condición (Ver anexo 2).

#### **4.2 Expansión lineal en cámara de clima.**

En el cuadro 6 se observa la expansión lineal en cámara de clima para cada condición. La cámara se trabajó a diferentes climas, a diferentes humedades relativas del aire desde 40% hasta 90% con una temperatura constante de 20° C. Las mediciones se realizaron para cada clima y las probetas se mantuvieron en la cámara hasta que se obtuvo peso constante.

Al examinar los valores que se presentan en el cuadro 6, se puede observar que a medida que aumenta la humedad relativa de los diferentes climas aumenta la expansión lineal paralela y perpendicular. Como era de esperar la expansión lineal perpendicular es mayor en comparación con la paralela.

Cuadro 6: Expansión lineal en cámara de clima

Condición	EXPANSIÓN LINEAL EN CÁMARA DE CLIMA A 20° C									
	40		52,5		65		77,5		90	
	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.
<b>A 1</b>	0,155	0,230	0,175	0,266	0,209	0,329	0,251	0,413	0,309	0,548
<b>A 2</b>	0,163	0,256	0,186	0,278	0,221	0,336	0,268	0,416	0,326	0,551
<b>A 3</b>	0,144	0,215	0,161	0,247	0,197	0,307	0,240	0,386	0,300	0,491
<b>A 4</b>	0,147	0,222	0,165	0,255	0,198	0,313	0,235	0,392	0,308	0,494
<b>A 5</b>	0,163	0,228	0,175	0,250	0,206	0,305	0,246	0,379	0,283	0,462
<b>B 1</b>	0,169	0,206	0,175	0,244	0,212	0,306	0,251	0,398	0,312	0,512
<b>B 2</b>	0,137	0,197	0,168	0,240	0,200	0,299	0,243	0,372	0,300	0,482
<b>B 3</b>	0,152	0,219	0,175	0,257	0,211	0,317	0,255	0,395	0,305	0,494
<b>B 4</b>	0,174	0,250	0,194	0,287	0,231	0,349	0,280	0,430	0,325	0,526
<b>B 5</b>	0,180	0,246	0,222	0,283	0,284	0,345	0,288	0,423	0,332	0,507
<b>C 1</b>	0,165	0,234	0,193	0,276	0,235	0,343	0,281	0,418	0,336	0,520
<b>C 2</b>	0,171	0,215	0,202	0,261	0,240	0,324	0,282	0,389	0,323	0,478
<b>C 3</b>	0,172	0,232	0,195	0,289	0,232	0,329	0,273	0,398	0,312	0,483
<b>C 4</b>	0,160	0,213	0,178	0,255	0,220	0,318	0,258	0,384	0,294	0,468
<b>C 5</b>	0,166	0,247	0,178	0,277	0,228	0,340	0,261	0,407	0,302	0,483

Se puede destacar que la condición que obtuvo la expansión lineal perpendicular más baja fue A5 (densidad de 640, resina de superficie 4,0% y centro 2,3%) con un 0,462%. Cabe destacar que esta condición también presenta los valores mas bajos de expansión total (ver cuadro 5).

En el caso de la condición A2 (densidad 640, resina superficie 4,0% y centro 2,0%) fue la que obtuvo la expansión lineal perpendicular más alta con un 0,551%. Esto se puede atribuir a que disminuyó el porcentaje de adhesivo en la capa central.

A medida que se aumentó la densidad se obtuvo una menor expansión lineal perpendicular.

Al comparar A1, B1, C1 a pesar que tiene distinta densidad pero el mismo porcentaje de resina obtuvo valores similares sobre el 0,5%.

También se calculó la función exponencial de la expansión lineal en cámara de clima paralela y perpendicular para cada condición, donde “y” como variable independiente representa la expansión lineal (%), “x” representa la humedad de equilibrio en (%). Estas ecuaciones se muestran en los cuadros 7 y 8 respectivamente.

Cuadro 7: Relación entre expansión lineal paralela y humedad de equilibrio.

Condición	Función de Expansión Lineal de 40% al 90%	Coef. Correlación
A1	$y = 0,1263e0,1743x$	$R^2 = 0,9926$
A2	$y = 0,1335e0,175x$	$R^2 = 0,9943$
A3	$y = 0,1152e0,186x$	$R^2 = 0,9882$
A4	$y = 0,1172e0,1834x$	$R^2 = 0,98$
A5	$y = 0,1359e0,1446x$	$R^2 = 0,9846$
B1	$y = 0,1356e0,1583$	$R^2 = 0,9597$
B2	$y = 0,113e0,1934x$	$R^2 = 0,9991$
B3	$y = 0,1251e0,1771x$	$R^2 = 0,998$
B4	$y = 0,1445e0,1615x$	$R^2 = 0,9934$
B5	$y = 0,1639e0,1479x$	$R^2 = 0,9318$
C1	$y = 0,1363e0,1801x$	$R^2 = 0,9992$
C2	$y = 0,1467e0,1602x$	$R^2 = 0,9983$
C3	$y = 0,1461e0,1528x$	$R^2 = 0,9973$
C4	$y = 0,134e0,1597x$	$R^2 = 0,9912$
C5	$y = 0,138e0,1574x$	$R^2 = 0,9801$

Cuadro 8: Función Exponencial de expansión lineal perpendicular.

Condición	Función de Expansión Lineal de 40% al 90%	Coef. Correlación
A1	$y = 0,1769e0,2178x$	$R^2 = 0,9873$
A2	$y = 0,1972e0,1941x$	$R^2 = 0,9659$
A3	$y = 0,1678e0,2096x$	$R^2 = 0,991$
A4	$y = 0,1747e0,2032x$	$R^2 = 0,9913$
A5	$y = 0,1814e0,1826x$	$R^2 = 0,9836$
B1	$y = 0,1577e0,2312x$	$R^2 = 0,994$
B2	$y = 0,1554e0,2223x$	$R^2 = 0,9977$
B3	$y = 0,1741e0,2053x$	$R^2 = 0,996$
B4	$y = 0,2012e0,1896x$	$R^2 = 0,9949$
B5	$y = 0,2001e0,1849x$	$R^2 = 0,9964$
C1	$y = 0,1879e0,2015x$	$R^2 = 0,9982$
C2	$y = 0,176e0,1998x$	$R^2 = 0,9995$
C3	$y = 0,1963e0,1786x$	$R^2 = 0,9958$
C4	$y = 0,1737e0,1983x$	$R^2 = 0,9992$
C5	$y = 0,2028e0,1725x$	$R^2 = 0,9939$

En el Anexo 3 se presenta en forma gráfica el comportamiento de cada condición en cámara de clima.

La expansión lineal aumenta a medida que se incrementa la humedad de equilibrio.

Los valores de  $R^2$  son cercanos a 1, quiere decir que tiene mejor correlación en forma lineal con respecto a otra condición y son casi perfectas.

### 4.3 Humedad de equilibrio.

La mayoría de los paneles estructurales de madera son utilizados en interior o en condiciones de humedad baja, donde el contenido de humedad de los tableros en servicio es menor al 16%. Sin embargo, ocasionalmente los tableros son sometidos a altos contenidos de humedad, cuando son instalados en zonas donde la humedad relativa es de 90% o más por largos periodos de tiempo. Los tableros OSB, cuando están sometidos a contenidos de humedad mayores al 16%, sufren reducciones de sus propiedades mecánicas. Esta disminución puede llegar a 25% para resistencia y 15% para su rigidez (APA, 2002).

En el cuadro 9 se pueden observar los valores promedios de la humedad de equilibrio que se registraron en cada condición de climatizado.

Cuadro 9: Humedad de equilibrio (%) de cada condición.

Condición	HUMEDAD RELATIVA DE CLIMATIZADO A 20° C									
	40		52,5		65		77,5		90	
	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.	Paralelo	Perp.
A 1	1,48	1,02	1,96	2,27	3,83	4,30	7,19	7,79	14,51	15,61
A 2	3,43	3,55	4,30	4,40	6,22	6,33	9,65	9,87	16,82	18,16
A 3	4,77	5,23	5,59	6,06	7,51	7,97	10,98	11,58	17,53	18,16
A 4	4,99	4,76	5,86	5,64	7,79	7,60	11,34	11,20	16,75	17,15
A 5	5,59	5,58	6,82	7,51	8,29	8,40	11,78	11,95	17,73	17,73
B 1	4,34	4,48	5,17	5,32	7,09	7,28	10,23	10,51	16,88	17,44
B 2	5,45	5,66	6,28	6,50	8,15	8,39	11,27	11,59	17,75	18,32
B 3	2,21	2,37	3,01	3,19	4,72	4,93	7,60	7,86	13,04	13,40
B 4	4,91	5,06	5,81	5,98	7,63	7,82	11,09	11,21	16,17	16,59
B 5	5,57	5,41	6,41	6,37	8,17	8,17	11,25	11,31	16,28	16,26
C 1	2,08	0,46	2,92	1,32	4,48	3,02	7,25	5,76	12,44	10,99
C 2	1,36	1,52	2,17	2,34	3,80	3,93	6,51	6,73	11,03	11,18
C 3	2,96	2,97	3,80	3,83	5,40	5,52	8,14	8,23	12,36	12,64
C 4	4,96	4,86	5,73	5,57	7,39	7,39	10,17	10,29	14,70	14,68
C 5	1,58	1,42	2,39	2,26	3,91	3,71	6,38	6,33	10,85	10,88

En la tabla anterior las 5 condiciones más relevantes, se puede observar que al someter las probetas perpendiculares a la humedad relativa más alta (90%) los tableros que presentaron una humedad de equilibrio más elevada fueron los de la condición B2 (18,32%) y las condiciones A2 y A3 con 18,16%. También registran humedades altas la condición A5 (17,73%) y B1 (17,44%).

En cuanto a las probetas paralelas se repiten las mismas condiciones con algunas diferencias. La condición B2 muestra nuevamente el valor más alto con un 17.75%. Con humedades de equilibrio algo más bajas está la condición A5 (17,73%), A3 (17,53%), B1 (16,88%) y A2 (16,82%).

Se aprecia que al aumentar la densidad disminuye la humedad de equilibrio en las probetas paralelas y perpendiculares, siendo la condición C la que presenta los valores más bajos. A pesar que el adhesivo fenólico atrae agua del ambiente no se aprecia gran diferencia de los valores entre las condiciones.

Además se puede observar en la tabla valores bajos o dispares en la humedad de equilibrio como son las condiciones A1, B3, C1, C2, C3 y C5.

Debido a que algunos valores de humedad de equilibrio son muy bajas, por ejemplo 0,46% en C1 perpendicular, se compararon las desviaciones estándar de cada una de ellas. Una selección de estos parámetros se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10: Desviaciones estándar de la condiciones de fabricación que registran los promedios de humedad de equilibrio más bajos.

Condición	HUMEDAD RELATIVA DE CLIMATIZADO A 20° C									
	40		52,5		65		77,5		90	
	Paralelo	Perpend.	Paralelo	Perpend.	Paralelo	Perpend.	Paralelo	Perpend.	Paralelo	Perpend.
A1	1,58	1,53	1,76	2,31	1,80	2,41	1,86	2,51	1,83	3,05
B3	1,07	0,95	1,08	0,96	1,09	0,97	1,21	1,07	1,53	1,54
C1	3,17	0,50	3,22	0,51	3,30	0,54	3,38	0,61	3,55	0,77
C2	0,75	1,49	0,79	1,52	0,82	1,55	0,81	1,59	1,22	2,05
C3	0,95	1,00	0,96	1,01	0,97	1,05	0,99	1,13	1,22	1,35
C5	0,86	0,72	0,86	0,72	0,96	0,67	0,93	0,68	1,26	1,35

Se observa que los valores están sobre o muy cerca del valor promedio. Esta disparidad se produjo después del último clima (90%) al secar las probetas. Es probable que el secado en la estufa no fue homogéneo y que algunas probetas no llegaron a 0% de contenido de humedad. Esta situación puede haber ocurrido por la cantidad de probetas que se colocaron a estufa, por la ubicación de estas dentro de la estufa y por el tiempo necesario para la disposición del equipo

En el Anexo 4 se presenta un detalle con la variación de la humedad de equilibrio de los tableros a medida que aumenta la humedad relativa en la cámara de clima.

Cabe mencionar que el contenido de humedad de los tableros al iniciar el estudio estaba en un rango de 4,6 a 5,7%. Además es importante destacar que las quince condiciones se climatizaron en un mismo tiempo.

#### 4.4 Hinchamiento y absorción de agua.

El hinchamiento refleja la estabilidad dimensional del tablero ante variaciones de las condiciones de humedad ambiental. Se calcula midiendo el espesor antes y después de un baño en agua a temperatura ambiente por 2 y 24 horas. La absorción se determina por la diferencia de peso luego de los tratamientos y también se expresa en porcentaje.

Louisiana Pacific utiliza la Norma QMS II, la cual evalúa el hinchamiento espesor en el espesor a las 24 horas. La norma exige un promedio de 25% y un máximo de 35% para este ensayo.

En el cuadro 11, se muestra los parámetros estadísticos para el hinchamiento y la absorción de agua a las 24 horas, para cada condición.

Cuadro 11: Hinchamiento y absorción de agua a las 24 horas.

Condición	Parámetro	Hincham. 24hr	Abs. agua 24hr	Condición	Hincham. 24hr	Abs. agua 24hr	Condición	Hincham. 24hr	Abs. agua 24hr
<b>A1</b>	Promedio	13,1	32,0	<b>B1</b>	13,9	32,1	<b>C1</b>	15,2	30,9
	Máximo	16,1	38,4		16,2	38,8		21,3	37,8
	Mínimo	11,8	28,9		12,0	25,5		9,6	23,3
<b>A2</b>	Promedio	14,0	34,4	<b>B2</b>	15,1	30,1	<b>C2</b>	14,3	29,5
	Máximo	15,9	39,7		17,5	34,1		19,7	35,1
	Mínimo	11,2	26,5		13,1	26,2		9,3	21,0
<b>A3</b>	Promedio	12,9	34,8	<b>B3</b>	11,4	27,8	<b>C3</b>	15,5	30,2
	Máximo	15,3	39,4		14,1	31,1		19,8	36,3
	Mínimo	9,9	31,6		9,2	24,0		5,7	19,5
<b>A4</b>	Promedio	11,4	31,8	<b>B4</b>	14,7	31,7	<b>C4</b>	12,5	27,8
	Máximo	14,9	37,6		16,9	35,3		14,6	30,8
	Mínimo	9,9	26,5		12,8	27,8		10,8	24,3
<b>A5</b>	Promedio	12,2	30,5	<b>B5</b>	12,9	33,0	<b>C5</b>	14,9	31,8
	Máximo	15,8	42,2		15,8	43,4		19,5	40,1
	Mínimo	10,0	25,5		11,1	27,6		10,3	23,3

Como se puede observar en la condición A, el tablero que obtuvo el mayor hinchamiento fue la condición A2 (densidad 640, resina superficie 4,0% y centro 2,0%) con un 14,0%. La condición A4 fue la que obtuvo el valor más bajo con un 11,4%. En cuanto a la absorción la condición A3 presento la mayor absorción de agua con un 34,8%, el resto de las condiciones e mueven casi en los mismo valores.

En la condición B, el tablero que obtuvo el mayor porcentaje de hinchamiento fue la condición B2 (densidad 670, resina superficie 4,0% y centro 2,0%) con un 15,1%. La condición B3 fue la que obtuvo el porcentaje mas bajo con un 11,4%.

Con respecto a la absorción B5 fue la que obtuvo el mayor valor con un 33,0%, el resto de las condiciones se mueven en casi en los mismos valores.

En la condición C, el tablero que obtuvo el mayor porcentaje de hinchamiento fue la condición C3 (densidad 700, resina superficie 4,3% y centro 2,0%) con un 15,5%. La condición C4 obtuvo el porcentaje más bajo con un 12,5%. Referente a la absorción la condición C5 tuvo el mayor porcentaje con un 31,8%.

Por lo tanto se puede apreciar claramente que la condición C obtuvo los valores más altos en hinchamiento. Por otro lado la absorción de agua los valores estuvieron similares para las tres condiciones A, B y C respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza ANOVA utilizando el método Duncan, para el caso de distinta densidad pero igual resina, A1,B1,C1 hay diferencia estadística entre A1-C1 y B1-C1, en la absorción de agua los grupos son homogéneos con un 95% de confianza. Para A2, B2, C2 en el hinchamiento los grupos son homogéneos con un 99% de confianza, en la absorción hubo diferencia estadística entre A2-C2 y A2-B2, se puede decir que a menor densidad mayor absorción de agua. Para A3, B3, C3 el hinchamiento todos los grupos fueron distintos entre ellos con un 95% de confianza, lo mismo ocurrió con la absorción. Para A4, B4, C4 el hinchamiento los grupos fueron diferentes según Duncan con un 99% de confianza, en la absorción los grupos homogéneos fueron A4-B4 con un 99% de confianza. Para A5, B5, C5 el hinchamiento los grupos homogéneos fueron A5-B5 con un 99% de confianza, la absorción todos los grupos son homogéneos con un 99% de confianza.

En el caso de la misma densidad pero distinto porcentaje de adhesivo en la capa superficial, se puede decir que A1, A2, A3 en el hinchamiento los grupos homogéneos fueron A1-A2 con un 95% de confianza, la absorción los grupos homogéneos fueron A2-A3 con un 95% de confianza. Para B1, B2, B3 en el hinchamiento los grupos homogéneos fueron B1-B2, en la absorción todos los grupos fueron diferentes con un 95% de confianza. Para C1, C2, C3 en el hinchamiento y la absorción todos los grupos fueron homogéneos con un 95% de confianza.

En el caso de la misma densidad pero distinto porcentaje de adhesivo en la capa central, se puede decir que A4, A2, A5 en el hinchamiento y la absorción de agua presento que los grupos homogéneos fueron A4-A5 con un 95% de confianza. Para B4, B2, B5 en el hinchamiento los grupos homogéneos son A4-A2, en la absorción los grupos homogéneos fueron A4-A5 con un 95% de confianza respectivamente. Para C4, C2, C5 en el hinchamiento los grupos homogéneos fueron C4-C5 con un 95% de confianza, en la absorción hubo diferencia estadística entre C4-C5 esto muestra que al aumentar la densidad y el porcentaje de resina de centro la absorción aumentó.

Para ver el comportamiento gráfico de estos ensayos (Ver Anexo 5).

#### 4.5 Ensayos complementarios.

En forma complementaria se realizaron una serie de ensayos cuyos resultados se presentan en el cuadro 12. Los ensayos complementarios, muestra la condición con las mejores propiedades, para ello se indica en celeste los ensayos que pasaron los promedios y con color rosado los ensayos que no estuvieron dentro del valor permitido por la APA.

Cuadro12: Resumen de ensayos complementarios por condición.

Condición	IB	MM par	MM perp	EI par	EI perp	D-4	Fallas D-4 (%)	Carga Demco	Fallas Demco (%)	EI barras	QMS II par	QMS II perp	Total par	Total perp
A1	53,1	1996,8	<b>1040,0</b>	67766,1	<b>67766,1</b>	828,8	70	459,8	0	<b>87378,2</b>	0,213	0,470	0,365	<b>0,694</b>
A2	50,9	1865,3	994,7	66390,5	29158,5	<b>648,1</b>	100	444,2	10	76829,0	0,226	0,492	0,382	<b>0,718</b>
A3	59,0	1867,7	928,1	63689,1	27475,4	800,7	75	<b>495,0</b>	0	74608,6	0,205	0,436	0,342	<b>0,644</b>
A4	54,1	1913,4	933,8	65703,5	27641,0	722,3	95	448,1	0	75416,1	0,212	0,468	0,352	<b>0,682</b>
A5	56,7	1959,4	1009,8	68127,2	29910,0	983	45	480,1	0	84885,3	<b>0,185</b>	0,406	<b>0,333</b>	<b>0,616</b>
B1	52,7	1967,1	996,1	68857,2	30389,5	803	80	466,7	0	82319,3	0,210	0,417	0,359	<b>0,623</b>
B2	53,5	2003,3	1019,1	70438,1	30918,3	758	95	465,4	0	82145,4	0,208	0,442	0,348	<b>0,640</b>
B3	<b>74,1</b>	<b>2031,0</b>	1026,7	<b>71705,7</b>	31790,7	962,2	55	463,8	0	82680,7	0,219	0,456	0,365	<b>0,666</b>
B4	60,8	1789,5	881,2	61126,2	26570,1	905,5	55	442,7	0	74410,4	0,227	0,479	0,393	<b>0,720</b>
B5	59,5	1789,5	928,6	62078,8	27564,9	991,8	25	435,0	0	74357,9	0,230	0,451	0,407	<b>0,690</b>
C1	63,4	1899,6	1065,0	64394,8	30355,0	<b>1128,3</b>	20	451,0	0	80984,2	0,233	0,454	0,393	<b>0,682</b>
C2	55,7	1949,7	1071,9	65129,8	30947,6	1050,1	25	483,6	0	74253,1	0,211	0,450	0,382	<b>0,667</b>
C3	66,8	1927,6	1016,8	68432,1	31357,0	938,5	55	414,9	0	76785,3	0,205	0,443	0,371	<b>0,664</b>
C4	58,6	1876,1	986,7	66635,8	30216,2	996,6	40	460,3	0	82351,5	0,202	0,445	0,356	<b>0,657</b>
C5	61,0	1960,2	1017,4	68829,9	31176,9	986,5	40	462,1	0	80439,8	0,199	<b>0,401</b>	0,354	<b>0,639</b>

El ensayo a la **Tracción (IB)** se realizó para ver el pegado en la capa central del tablero. Un detalle de esta información se presenta en el Anexo 6.

Los valores estaban dentro de los obtenidos diariamente por el laboratorio de LP.

La norma establece como valor mínimo permitido para este ensayo 30 PSI y todas las condiciones cumplen con la norma.

En el ensayo de **Flexión (momento máximo) MM D-4**, el valor exigido por la Norma APA es de 950 lb-pulg/pie.

<sup>1</sup>: Retención de la propiedad, es la división entre el promedio de MM ciclado (D-4) con respecto al promedio de MM seco (flexión paralela), medida en porcentaje.

<sup>2</sup>: El porcentaje de fallas, esta relacionado a la cantidad de probetas defectuosas dividido por el total de probetas ensayadas, medida en porcentaje.



Cuadro 13: Ensayo de D-4 MM paralelo.

Condición	MM Promedio Lb-pulg/pie	Retención de la propiedad <sup>1</sup> (%)	Fallas <sup>2</sup> (%)
A1	828,8	41,5	70
A2	648,1	34,7	100
A3	800,7	42,9	75
A4	722,3	37,8	95
A5	983,0	50,2	45
B1	803,0	40,8	80
B2	758,0	37,8	95
B3	962,2	47,4	55
B4	905,5	50,6	55
B5	991,8	55,4	25
C1	1128,3	59,4	20
C2	1050,1	53,9	25
C3	938,5	48,7	55
C4	996,6	53,1	40
C5	986,5	50,3	40

Se puede ver en el cuadro 13, ensayo D-4 (MM), que a medida aumenta la densidad del tablero las propiedades del pegado aumentan. Siendo la condición C1 la que obtuvo el mayor valor con un 1128,3 lb-pulg/pie. La condición C1 tiene la mejor retención de la propiedad y el menor porcentaje de fallas.

La condición que obtuvo el menor valor fue la condición A2 con un 648,1 lb-pulg/pie, eso quiere decir que el pegado fue deficiente y obtuvo el menor porcentaje de retención de la propiedad. La condición A2 tuvo un 100% de fallas, eso quiere decir que ninguna probeta pasó el ensayo.

Se puede apreciar que las condiciones A5, B5 y C5 a pesar de tener distintas densidades pero a la vez el mismo porcentaje de resinas están sobre el valor mínimo. Demostrando esto en el porcentaje de retención y el porcentaje de fallas siendo la condición B5 la mejor de estas tres con un 991,8 lb-pulg/pie, 55,42% en retención de la propiedad y 25% de fallas.

En el plano general la condición A, fue la que obtuvo los valores más bajos, siguiéndole la condición B y por último la condición C fue la que presentó las mejores propiedades en este ensayo de estrés.

Los resultados del análisis de varianza ANOVA utilizando el método Duncan, para diferentes densidades y el mismo porcentaje de resina para los grupos A1, B1, C1 y A2, B2, C2 tuvo diferencia estadística entre(A1-C1 y B1-C1) y (A2-C2 y B2-C2), lo cual se relaciona que al aumentar la densidad mejora las propiedades del

pegado. Para los grupos A3, B3, C3 y A4, B4, C4 muestra los grupos homogéneos (B3-C3) y (B4-C4) con un 95% y 99% de confianza, al aumentar la resina de superficie con menor densidad disminuye el pegado en A3 y a disminuir el porcentaje de resina en la capa central con menor densidad en A4 la propiedad del pegado también disminuyó. Para A5, B5, C5 todos los grupos fueron homogéneos con un 99% de confianza.

Para la misma densidad pero diferente porcentaje de resina en la capa de superficie, muestra que para A1, A2, A3 los grupos homogéneos fueron A1-A3 con un 95% de confianza. Para B1, B2, B3 los grupos homogéneos B1-B2 con un 95% de confianza. Para C1, C2, C3 todas las condiciones presentan diferencia estadística con un 95% de confianza.

Para la misma densidad pero diferente porcentaje de adhesivo en la capa central, para A4, A2, A5 son grupos homogéneos A4-A2 con un 95% de confianza. Para B4, B2, B5 son grupos homogéneos B4-B5 con un 95% de confianza. Para C4, C2, C5 todos los grupos son homogéneos con un 95% de confianza.

En el Anexo 6 se presentan los gráficos para este ensayo.

En el ensayo de **Flexión seca paralela y perpendicular**, método S-14 de APA, se midió el momento máximo (MM) y el índice de elasticidad (EI).

El promedio exigido por la norma para el MM paralelo es de 1216 lb-pulg/pie y para el MM perpendicular es 646 lb-pulg/pie. Con respecto el índice de elasticidad el valor exigido para el EI paralelo es de 46750 lb-pulg/pie y de 17000 lb-pulg/pie para el EI perpendicular.

Teniendo como referencia estos valores se puede afirmar que en el MM paralelo y perpendicular todas las condiciones están dentro de estos valores promedios permitidos, por lo tanto pasan el ensayo al igual que para el EI paralelo y perpendicular.

En el Anexo 6 se presentan gráficos de este ensayo de cada condición.

En el caso del **Ensayo de Carga DEMCO**, este ensayo se realiza con la mitad del tablero (1,22 \* 1,22), la cantidad de tableros ensayados fueron 10 por condición. El cuadro 12 se muestra los valores promedios para cada condición.

El valor de la carga mínima exigida por la norma es de 400 libras. Por lo tanto se puede afirmar que todas las condiciones cumplen con la norma.

La condición A3 fue la que soportó la mayor carga con 495 lb, le sigue la condición C2 con una carga de 483,6 lb y A5 con una carga de 480 lb. La condición C3 fue la que soportó menos carga con 414,9 lb.

En cuanto al porcentaje de fallas sólo la condición A2 mostró un 10%, con respecto a las otras condiciones el porcentaje de fallas fue de 0%.

En el Anexo 6 se presentan gráficos en los que se incluyen los resultados de un análisis de varianza ANOVA utilizando el método Duncan. Se puede decir que al variar la densidad teniendo un mismo porcentaje de adhesivo para cada condición, este ensayo mostró que los grupos son homogéneos según este método con un 95 % a 99% de confianza. Para igual densidad pero distinto porcentaje de resina de superficie, los grupos fueron homogéneos con un 95% a 99% de confianza para la condición A y B, no así la condición C que sus grupos homogéneos según el método Duncan fueron 3.7 y 4.3 % con un 95% de confianza. Para igual densidad con diferente porcentaje de resina en la capa central, los grupos son homogéneos para la condición A y B con un 95% de confianza, la condición C muestra que los grupos distintos fueron 1.7 y 2.3 con un 95% de confianza.

Para el **Ensayo de Barras** se utiliza el tablero completo (1,22 \* 2,44) determinándose el módulo de elasticidad. En este caso se ensayaron 20 tableros por condición.

El valor mínimo permitido por la norma para este ensayo es de 88000 lb/pulg<sup>2</sup>.

Como se puede apreciar en el cuadro 12, ninguna condición alcanzó este valor. Sin embargo la más cercana a este valor fue la condición A1 con 87378,2 lb/pulg<sup>2</sup>, y la condición que obtuvo el valor más bajo fue la C2 con un 74253,1 lb/pulg<sup>2</sup>.

En el Anexo 6 se muestra información grafica para este ensayo.

Se puede decir, que las condiciones A5, B3, B5, C1, C2, C4 y C5, fueron las que obtuvieron las mejores propiedades en los ensayos complementarios.

Además se puede observar que a medida que se aumento la densidad se obtuvo mejores propiedades como es el caso de la condición C.

## 5. Conclusiones.

La expansión lineal en la cámara de clima aumentó a medida que se incrementó la humedad relativa del aire.

En la humedad relativa y humedad de equilibrio, se reflejan valores bajos o dispares, esto se produjo al secar las probetas en estufa después del último clima (90%). Es probable que el secado no fuera homogéneo y algunas probetas no llegaron al 0% de contenido de humedad. Esta situación puede haber ocurrido por la cantidad de probetas que se colocaron a estufa, por la ubicación de estas dentro de la estufa, por la circulación de aire dentro de esta y por el tiempo necesario para la disposición del equipo. La desviación estándar para las condiciones que mostraron los valores más bajos o dispares, reflejo que los valores estaban muy cerca o sobre el promedio, esto quiere decir que hay una variación significativa dentro de las condiciones.

La humedad de equilibrio de los tableros aumentó a medida que se incrementó la humedad relativa del aire.

Además se demuestra que la expansión lineal QMS II (paralela y perpendicular) y la expansión lineal total paralela se encuentran de acuerdo con los valores obtenidos por la empresa, no así, la expansión lineal total perpendicular que presentó valores superiores al 0,5%.

En la expansión lineal total al vacío (paralela y perpendicular), la condición A5 es la que presentó valores más reducidos.

La expansión lineal total paralela registra valores inferiores a lo exigido por la norma, todas las condiciones cumplen las exigencias de APA.

La expansión lineal total perpendicular está sobre la exigencia de la norma, siendo esta propiedad crítica al momento de tomar decisiones de corrección al proceso.

En el hinchamiento a las 24 horas la condición C obtuvo los valores más altos en este ensayo. En la absorción de agua los valores estuvieron similares para las tres condiciones A, B y C respectivamente.

En el ensayo de tracción (IB), los valores obtenidos de este ensayo para cada condición están sobre el valor mínimo permitido por la norma, la mayoría de las condiciones se comportaron como grupos similares.

En el ensayo de flexión MM y EI todas las probetas están sobre el promedio permitido por la APA y no presentan mayor diferencia estadística entre las condiciones.

En el MM D-4, se obtuvo mejores resultados en las condiciones al aumentar la densidad. No se aprecia mejora en el porcentaje de retención de la propiedad

entre las condiciones de más alta densidad. La condición C obtuvo mejores resultados en este ensayo.

En el ensayo de barras ninguna condición alcanzó el valor mínimo permitido por la norma.

Las condiciones A5, B3, B5, C1, C2, C4 y C5, fueron las que obtuvieron las mejores propiedades en los ensayos complementarios.

Con respecto a el análisis de ANOVA para la expansión lineal total las condiciones de distinta densidad y el mismo porcentaje de resina. Las condiciones A1,B1,C1 y A2,B2,C2 se comportaron como grupos similares a pesar que la densidad y el adhesivo eran diferentes lo mismo ocurrió con A4,B4,C4 y A5,B5,C5. En el caso de A3,B3,C3 tuvo diferencia estadística con respecto a las otras condiciones.

Para las condiciones de igual densidad y diferente porcentaje de adhesivo en la capa superior. Las condiciones A1,A2,A3; B1,B2,B3; C1,C2,C3 todos los grupos se comportaron de manera distinta por lo tanto presentaron diferencias estadísticas unas de otras.

Para las condiciones de igual densidad y diferente porcentaje de adhesivo en la capa central. Las condiciones A4,A2,A5 y C4,C2,C5 se comportaron de manera similar a pesar que eran diferentes en densidad y porcentaje de resina. En el caso de B4,B2,B5 tuvo diferencia estadística en relación a las otras condiciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

APA. 1994. *Moisture Exposure Recommendations for Wood Structural Panels*. APA TECHNICAL TOPICS.7p.

APA, 2002. *Dimensional Stability*. APA Technical Topics. 5 p.

Diaz-Vaz, J. 2003. *Anatomía de la madera*. 1º edición. Editorial Marisa Cuneo ediciones. Valdivia. Chile. 155 p.

Kelly, M. 1977. *Critical literature review of relationships between processing parameter and physical properties of particleboard*. General technical report FLP.10. Madison. p.64

Louisiana Pacific Chile. 2004. *Manual de control de calidad (QMS II)*. Documento interno de la empresa Louisiana Pacific Chile. 47p.

Louisiana Pacific Chile. 2003. *Programa de APA para QMS OSB ACQT (PRP 108)*. Documento interno de la empresa Louisiana Pacific Chile. 56p.

Louisiana Pacific Chile. 2003. *Manual de control de calidad planta Panguipulli*. Documento interno de la empresa Louisiana Pacific Chile. 59p.

Louisiana Pacific Chile. 2005. *Programa de control de calidad planta Panguipulli*. Documento interno de la empresa Louisiana Pacific Chile. 59p.

Moslemi, A.1974. *Particleboard*. Southern Illinois University pres.Vol.1pp. 137-160

Pérez, V. 1983. *Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas*. Investigación y desarrollo forestal. Documento de trabajo N° 47.pp. 9-16.

Poblete, H. 2001. *Tablero de partículas*. 1º edición. Editorial El Kultrún volumen 1. Valdivia. Chile. 177 p.

Youngquist, J.; Kzysik, A.; Rowell, R, 1986. *Dimensional stability of acetylated aspen flake board*. Vol. 18 (1).pp.90-98.

## **ANEXOS 1**

### ***Abstract and Keywords***

## ABSTRACT

The objective of the work was to determine the properties of the boards OSB from type national 100% native when varying density and contents of resins. The behavior of 15 types of different boards was evaluated, varying the production conditions. This study was carried out in the company Louisiana Pacific Chile CORP., Panguipulli plants.

Physical rehearsals and mechanics were carried out in the laboratory of the company, which were made to certify a product, such as total lineal expansion and QMS II, D-4, thickness, IB, flexion among others. A procedure of obtaining of test tubes that they underwent also settled down to an acclimatized with 20° C and to different relative humidities among 40% up to 90%. after each acclimatized you determines the balance humidity, parallel and perpendicular lineal expansion.

The lineal expansion in the climate camera increased as the relative humidity of the air was increased

In the rehearsal of bars no condition reached the minimum value allowed by the norm.

In the rehearsal of flexion MM and EI all the test tubes are on the average allowed by the APA and they don't present bigger difference statistic among the conditions.

In the MM D-4, was obtained better results under the conditions when increasing the density. Improvement is not appreciated in the percentage of retention of the property among the conditions of higher density.

For the results of the test of ANOVA, for total lineal expansion, the conditions of same density and different adhesive percentage in the superior layer. The conditions of all the groups behaved therefore in a different way they presented statistical differences some of others.

For the conditions of same density and different adhesive percentage in the central layer. The studied conditions behaved from a similar way to weigh that they were different in density and percentage of resin.

The balance humidity and the dimensions increased as the humidity was increased of relative of air. The results of the parallel and perpendicular lineal expansion, total expansion and QMS II obtained they are according to the values of the company Louisiana Pacific CORP.

**Key words:** Boards, lineal expansion, thickness, MM D-4, flexion, relative humidity, APA.

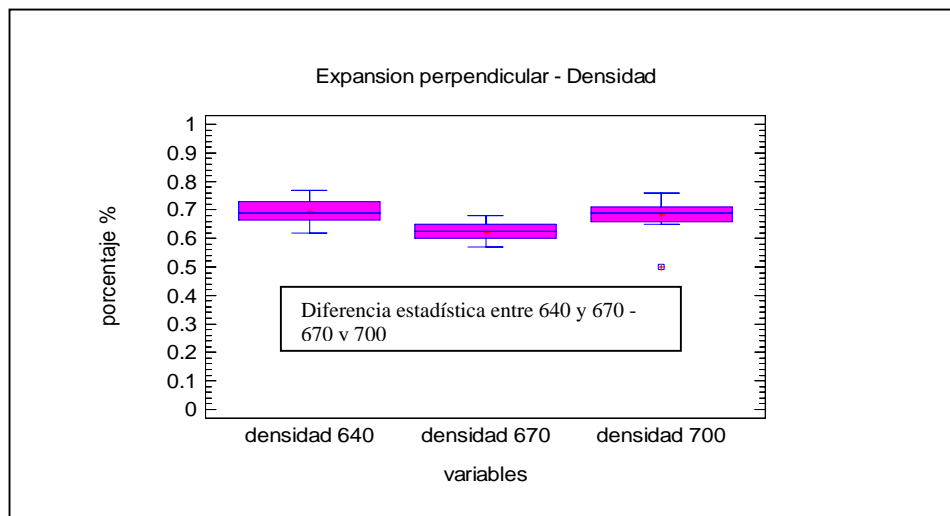
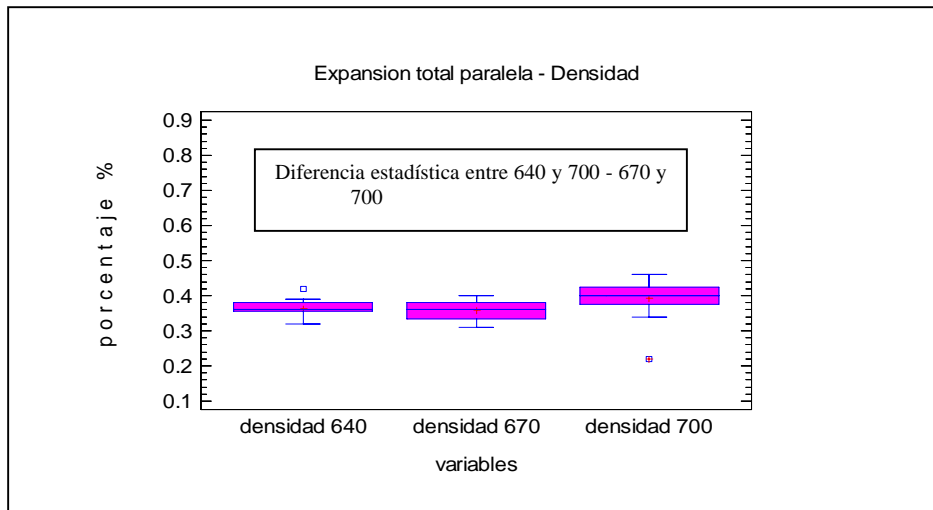


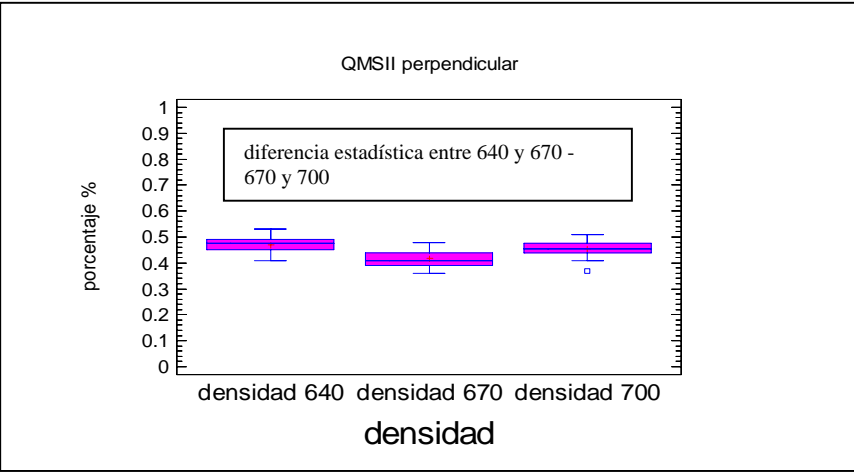
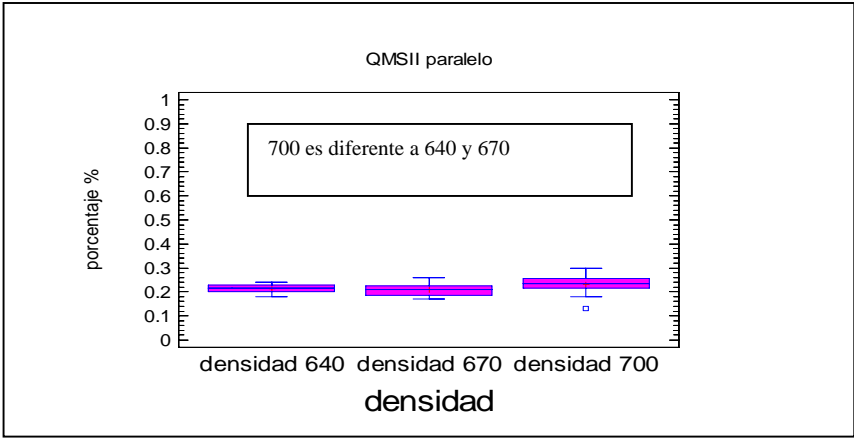
## **ANEXOS 2**

**Gráficos de expansión lineal QMS II y total al vacío paralela y perpendicular.**

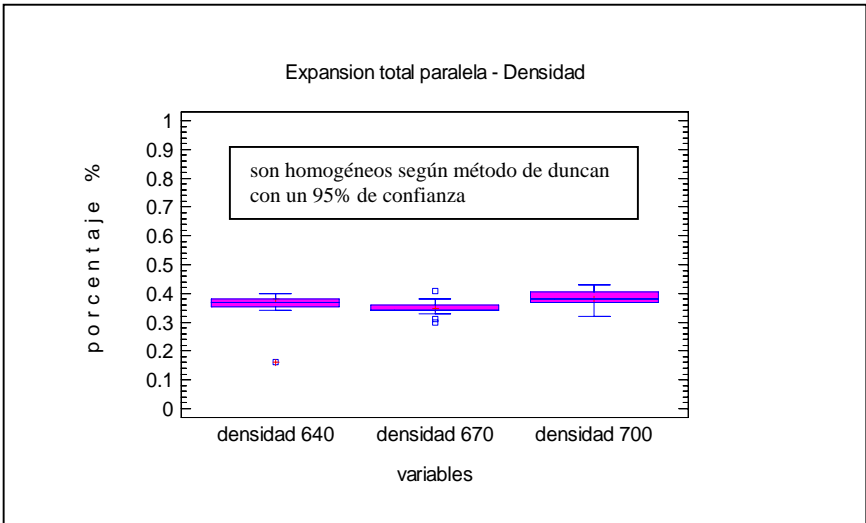
## DIFERENTE DENSIDAD IGUAL PORCENTAJE DE RESINA

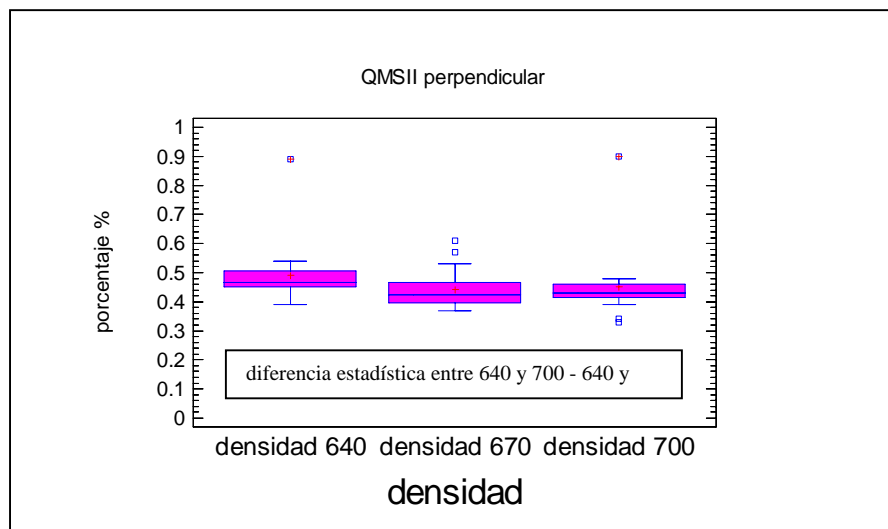
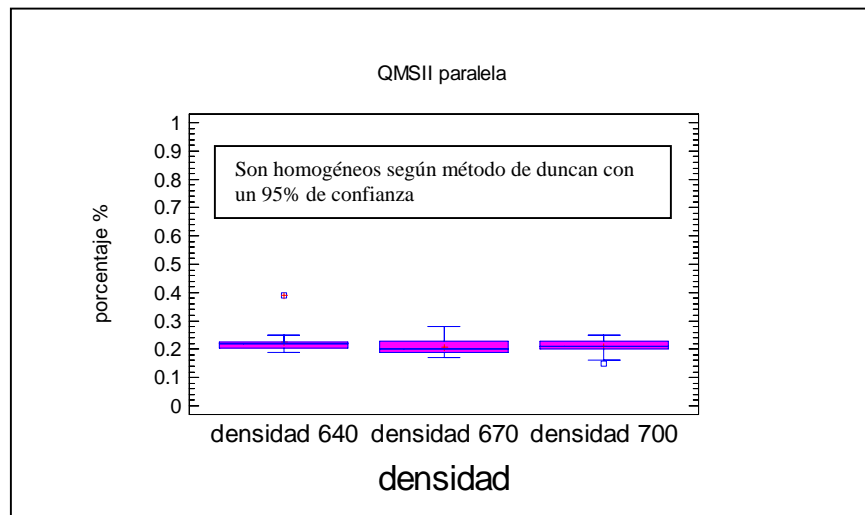
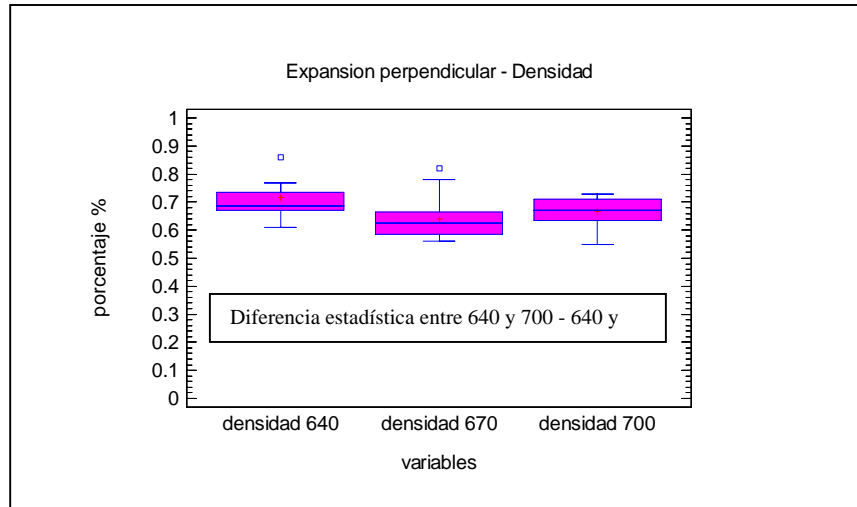
Distinta densidad (640,670, 700) igual porcentaje de resina (A1,B1,C1)



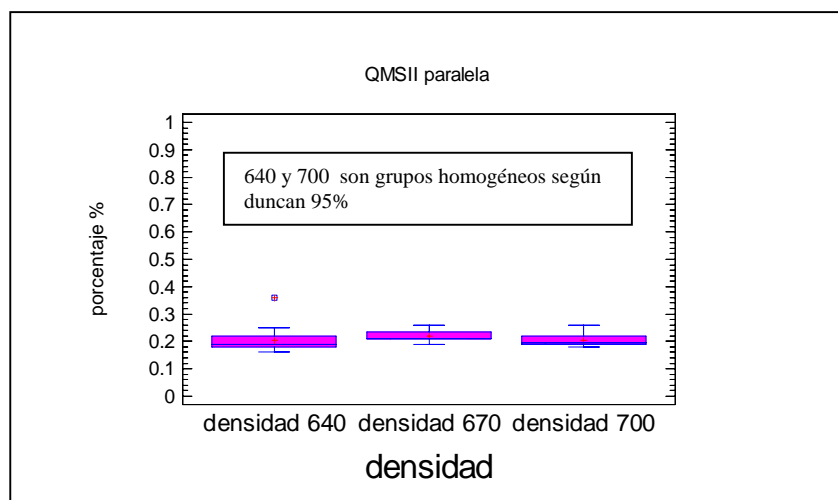
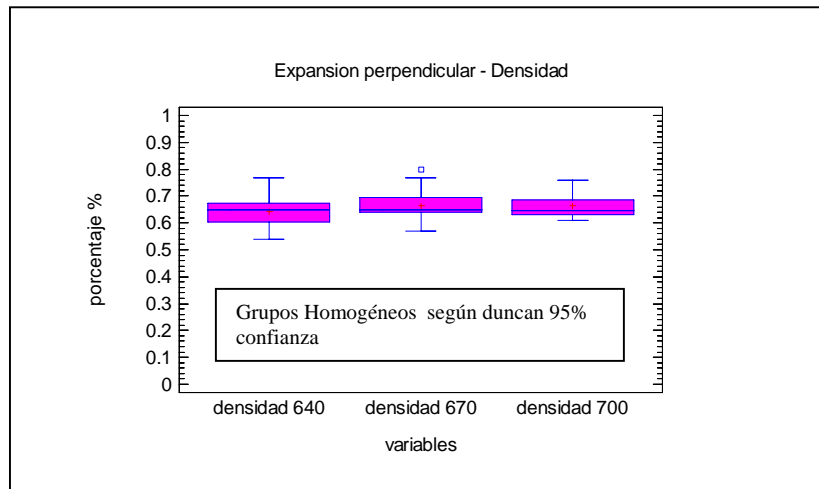
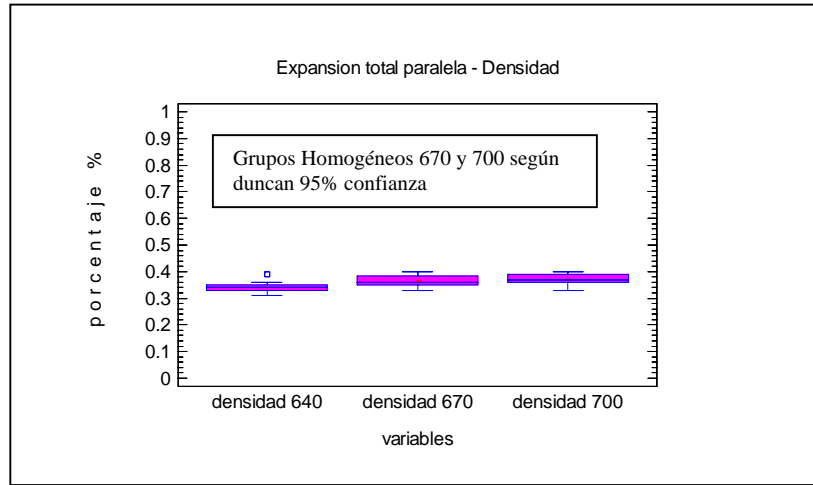


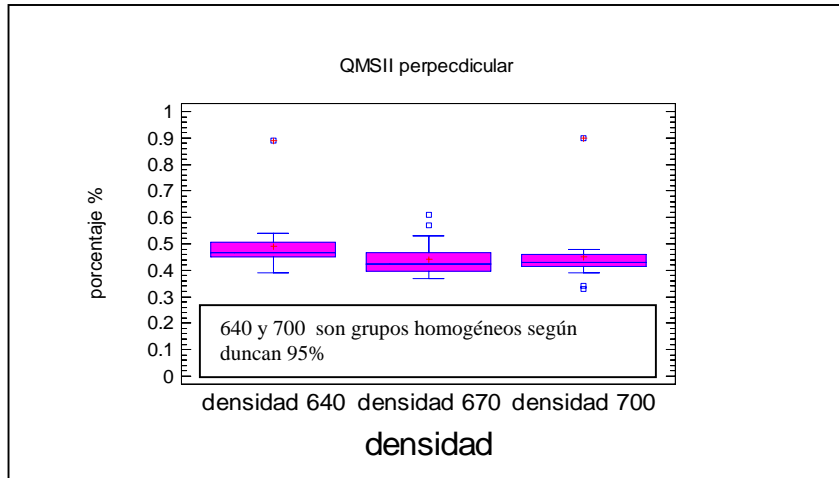
**Distinta densidad (640,670, 700) igual porcentaje de resina (A2, B2, C2)**



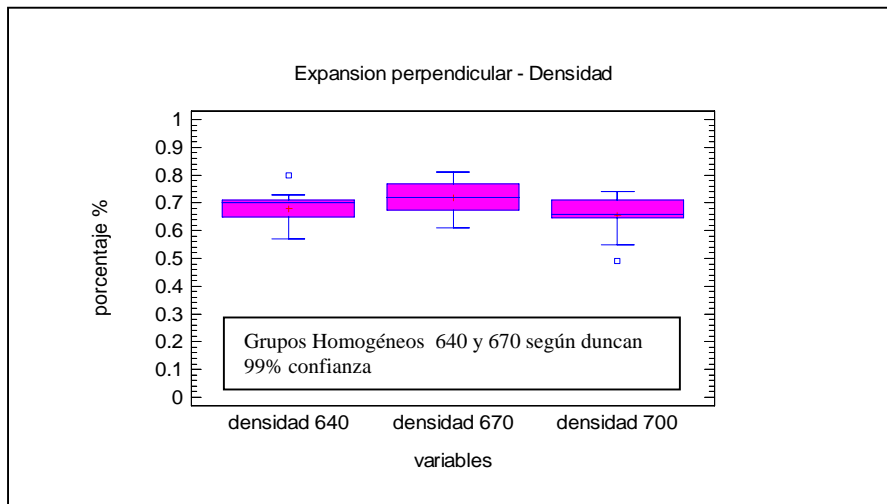
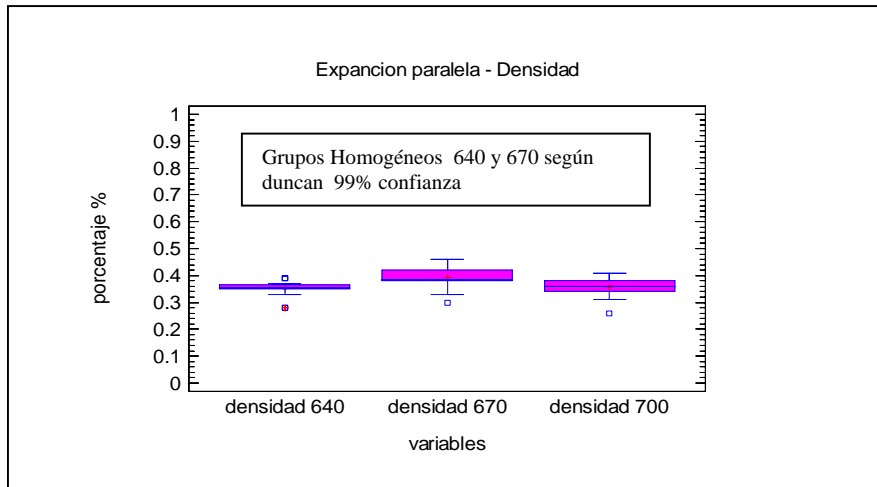


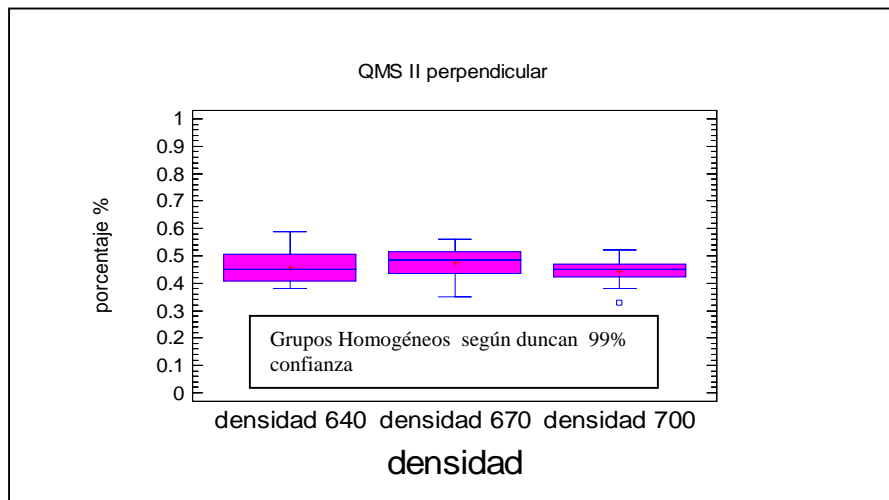
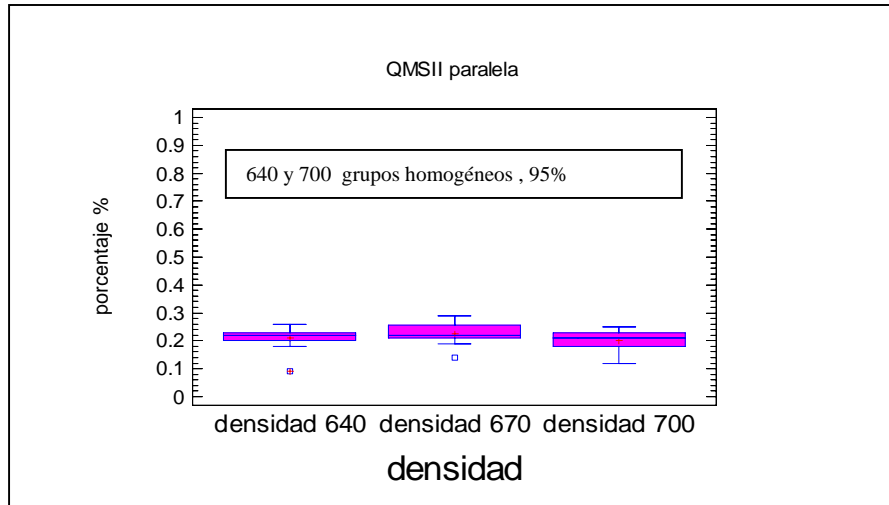
## Distinta densidad (640,670, 700) igual porcentaje de resina (A3, B3, C3)



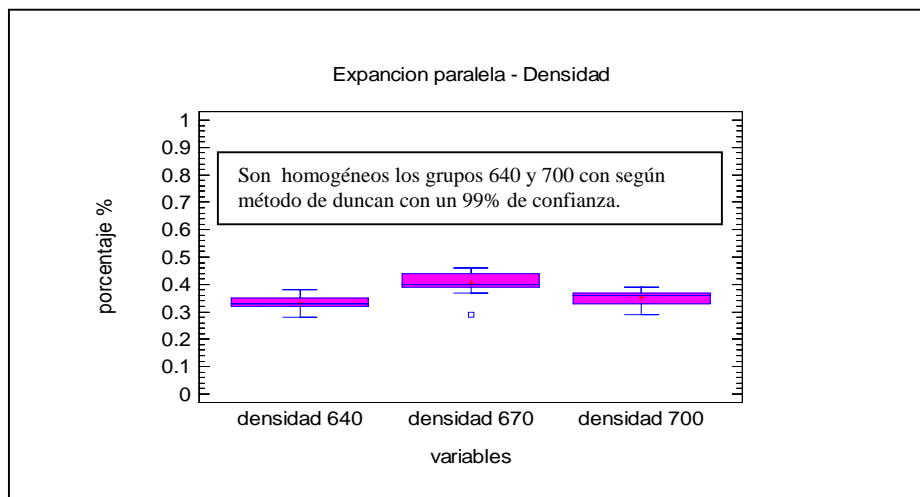


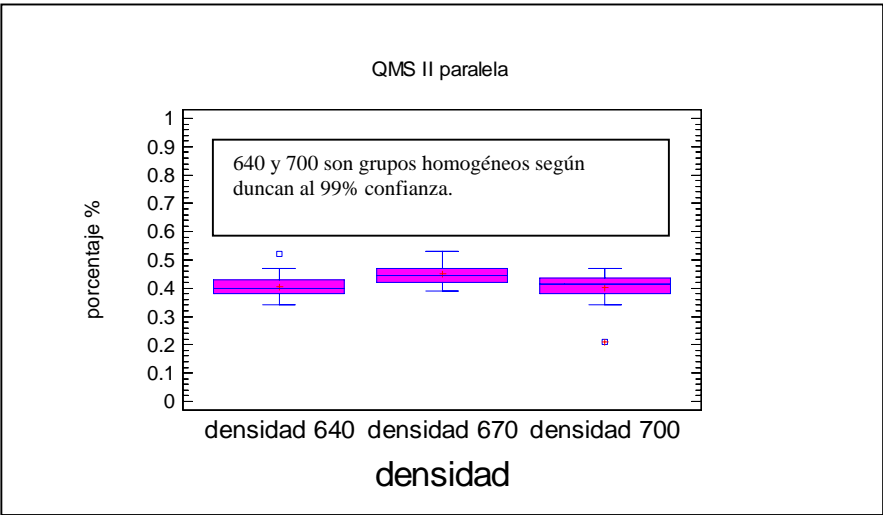
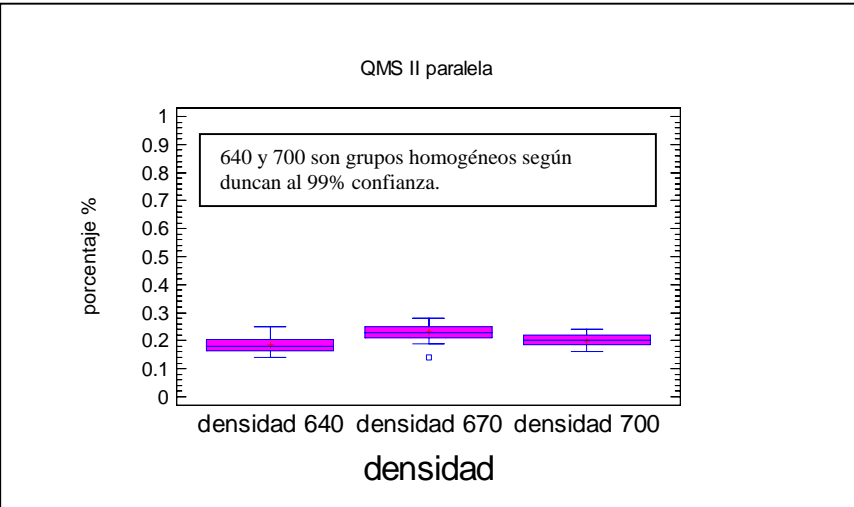
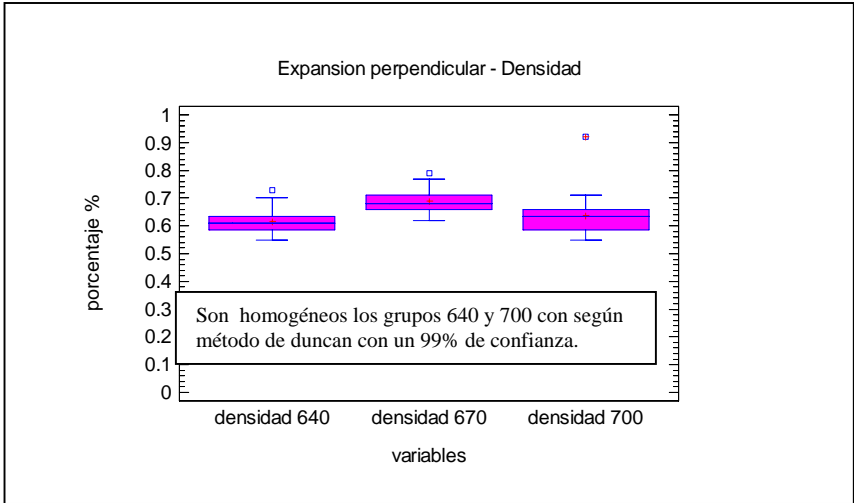
**Distinta densidad (640,670, 700) igual porcentaje de resina (A4, B4, C4)**





**Distinta densidad (640,670, 700) igual porcentaje de resina (A5, B5, C5)**

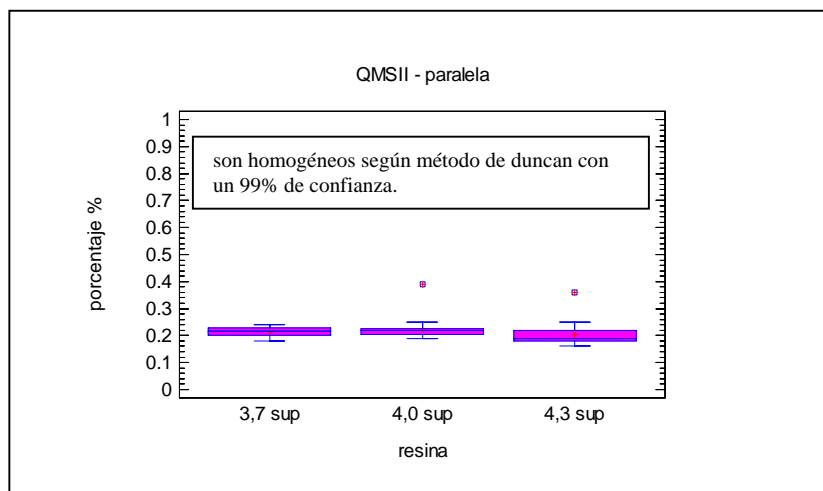
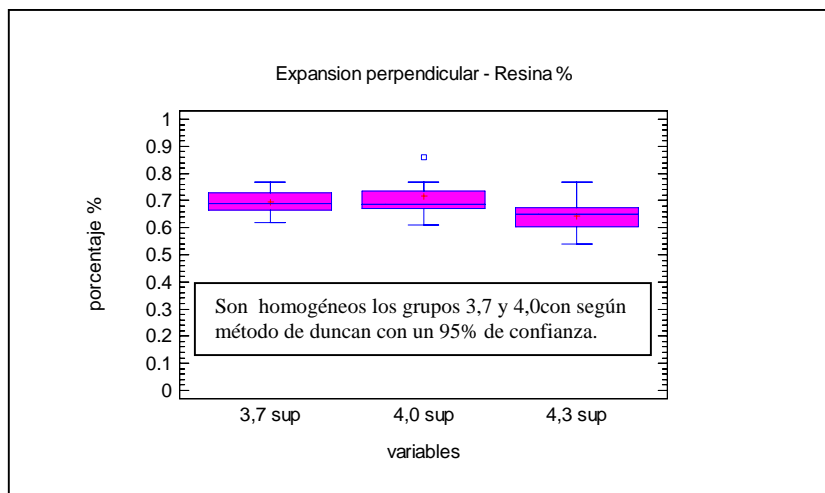
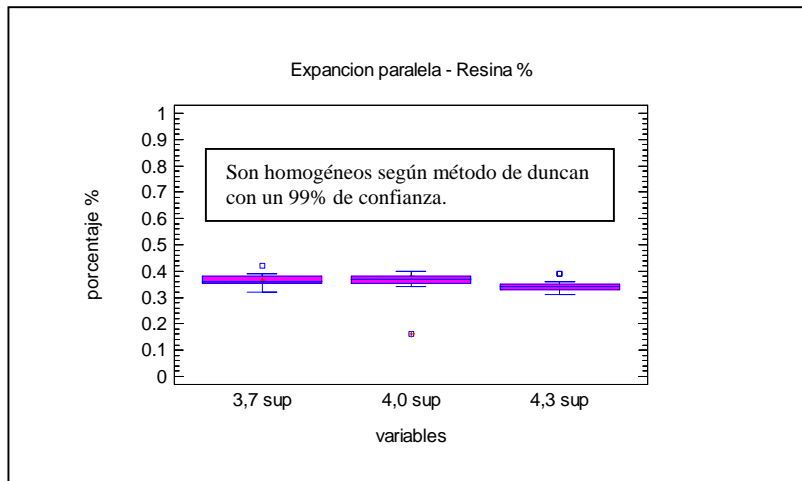


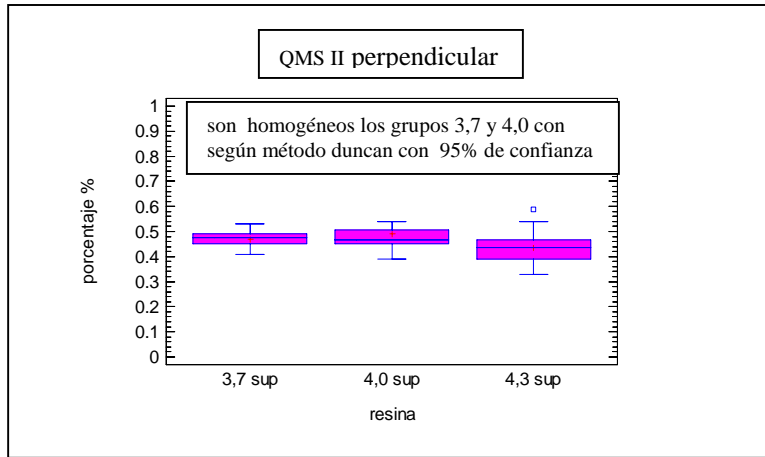




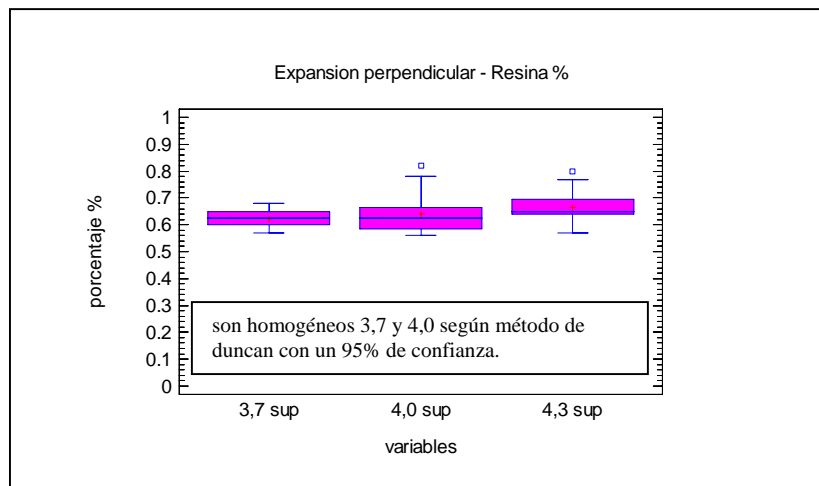
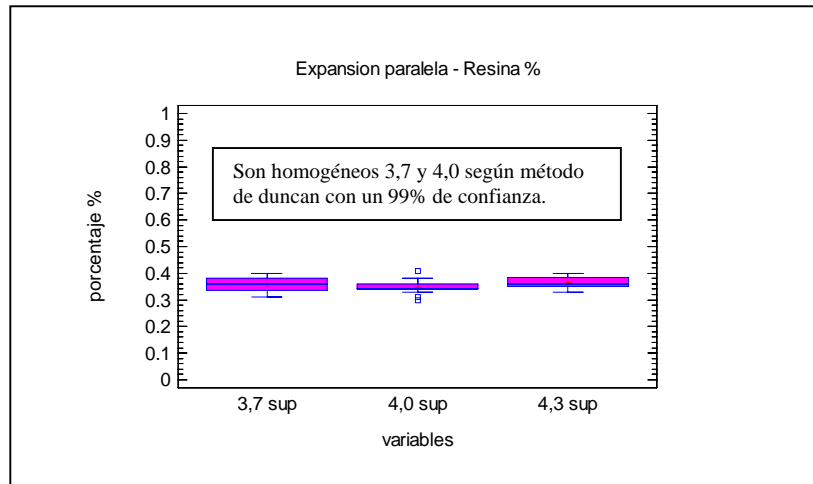
## IGUAL DENSIDAD DIFERENTE % DE RESINA SUPERFICIE.

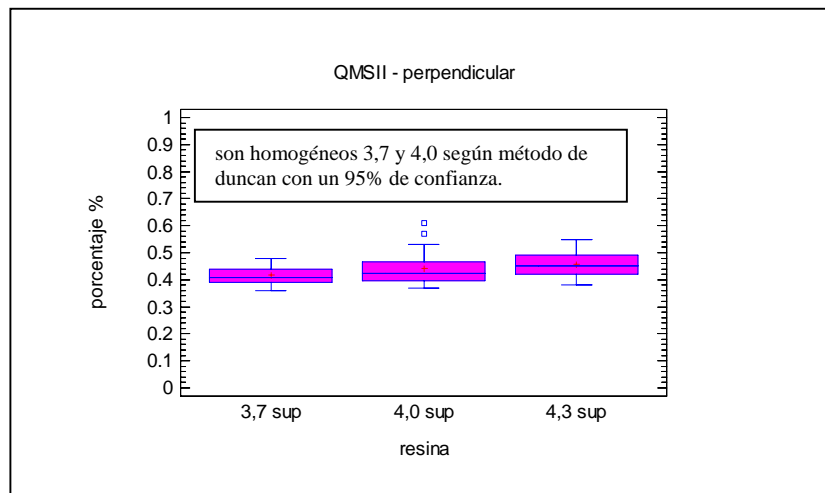
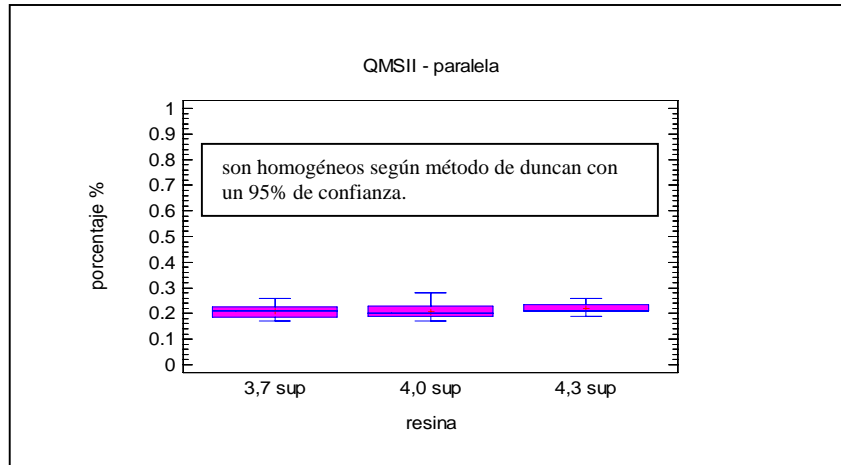
Igual densidad (640) igual porcentaje de resina Superficie (A1,A2,A3)



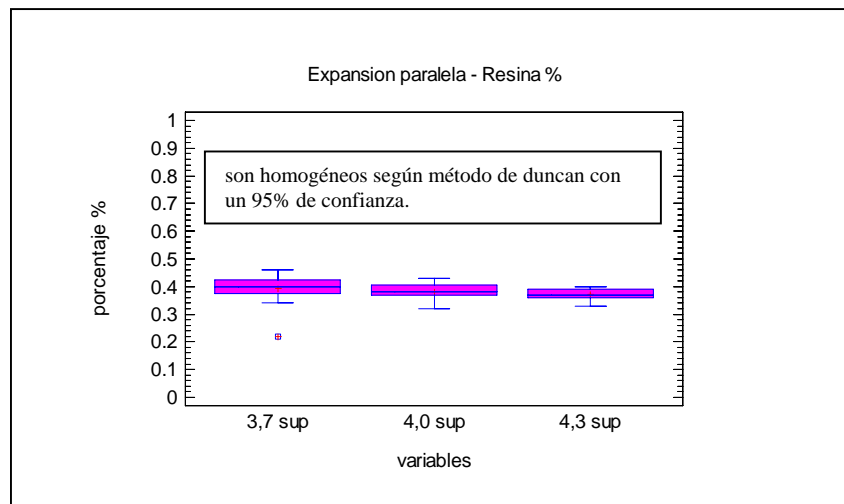


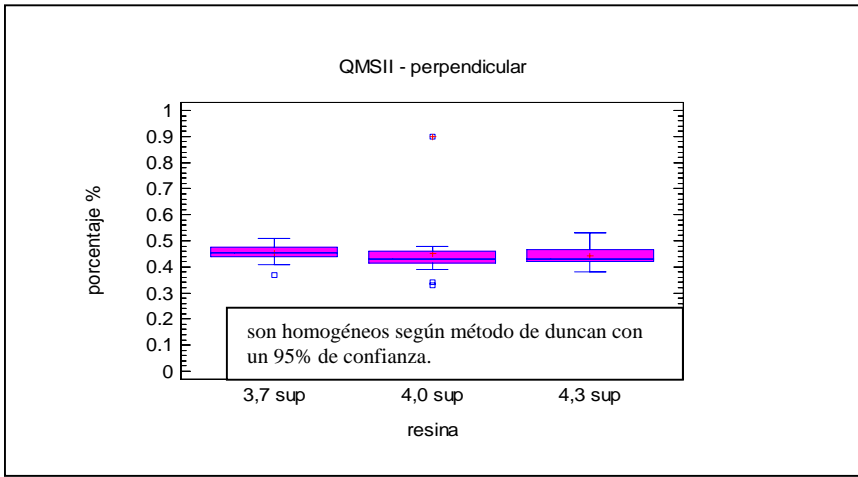
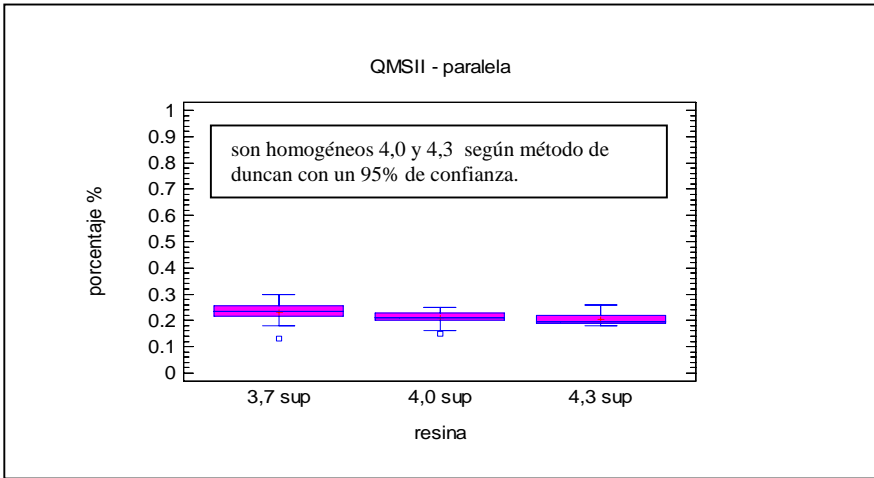
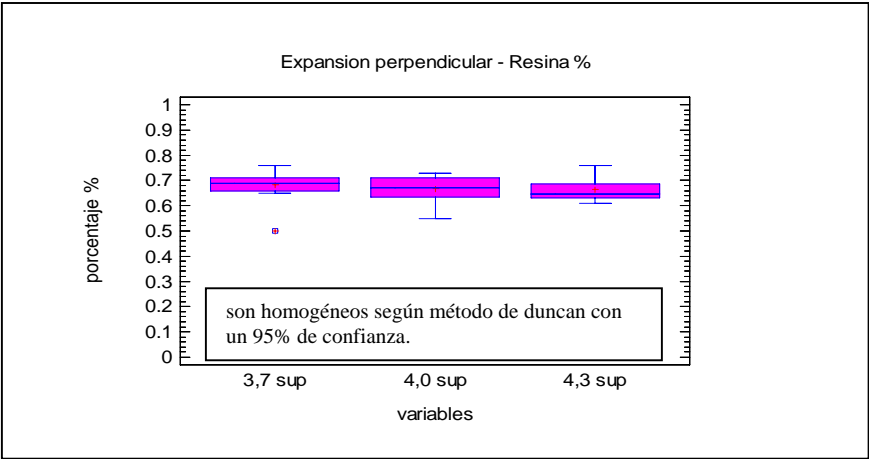
**Igual densidad (670) igual porcentaje de resina Superficie (B1,B2,B3)**





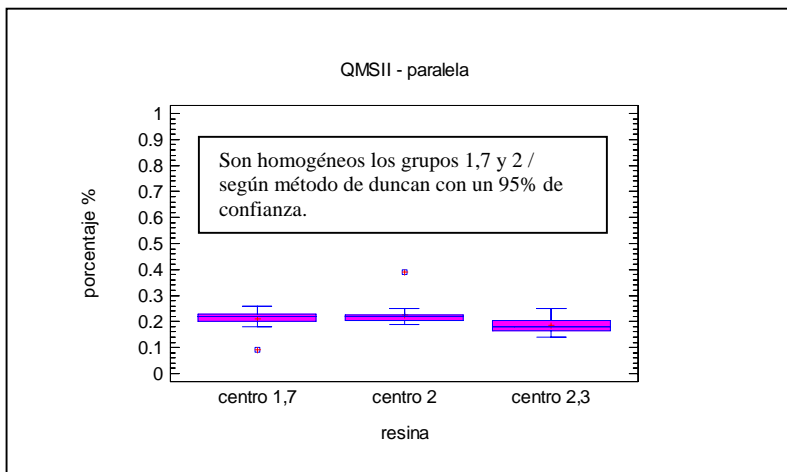
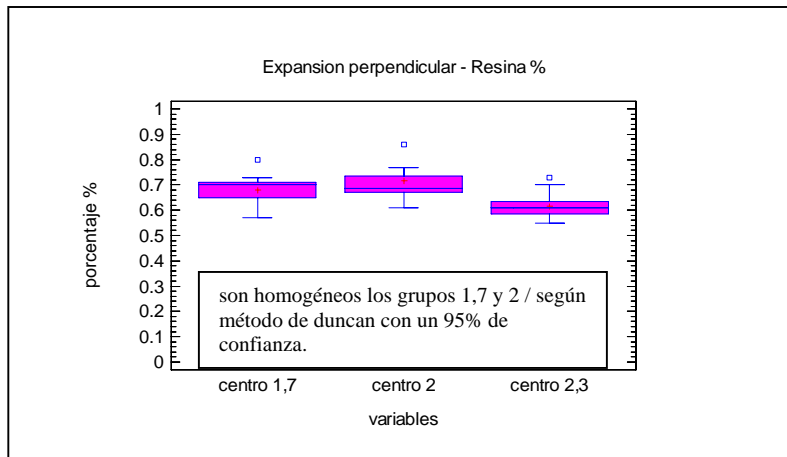
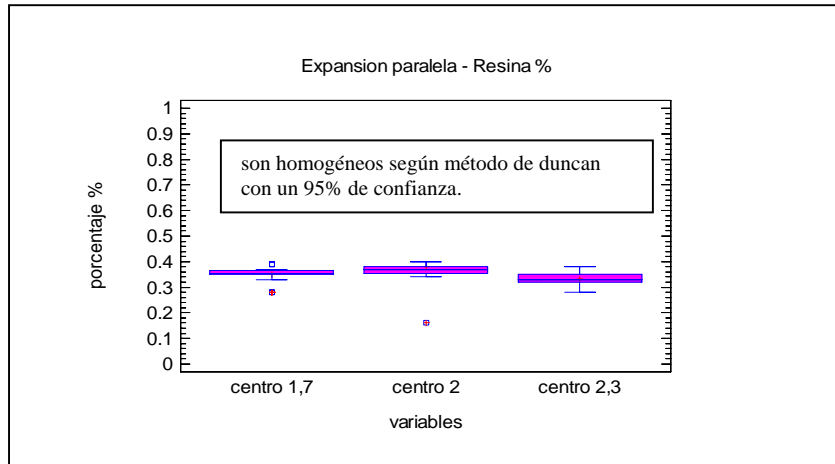
**Igual densidad (700) igual porcentaje de resina Superficie (C1,C2,C3)**

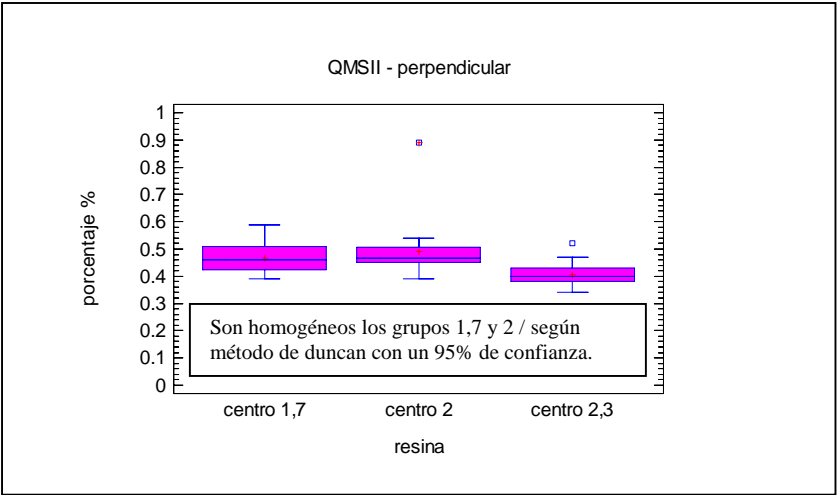




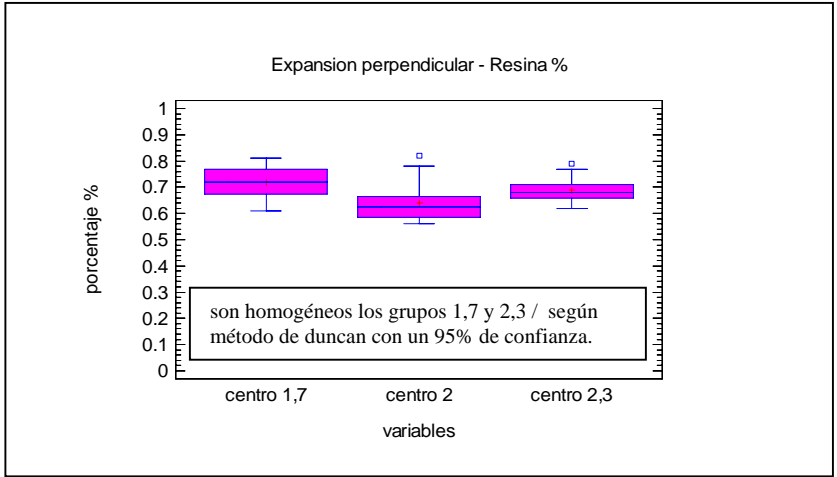
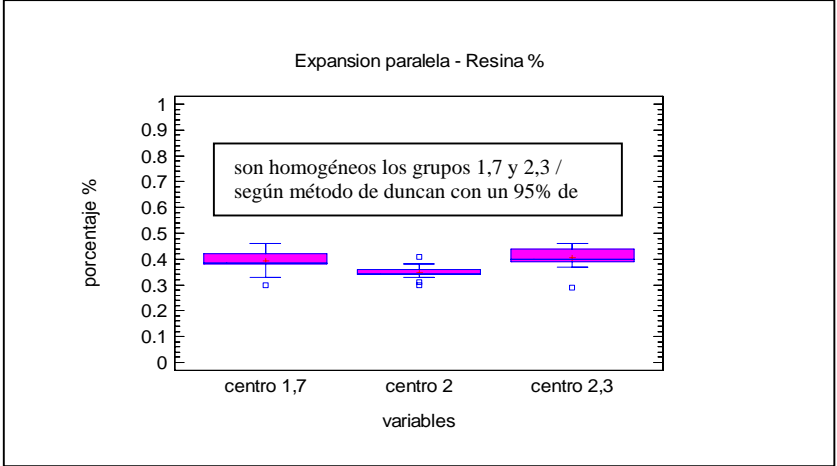
## IGUAL DENSIDAD DIFERENTE % DE RESINA CENTRO

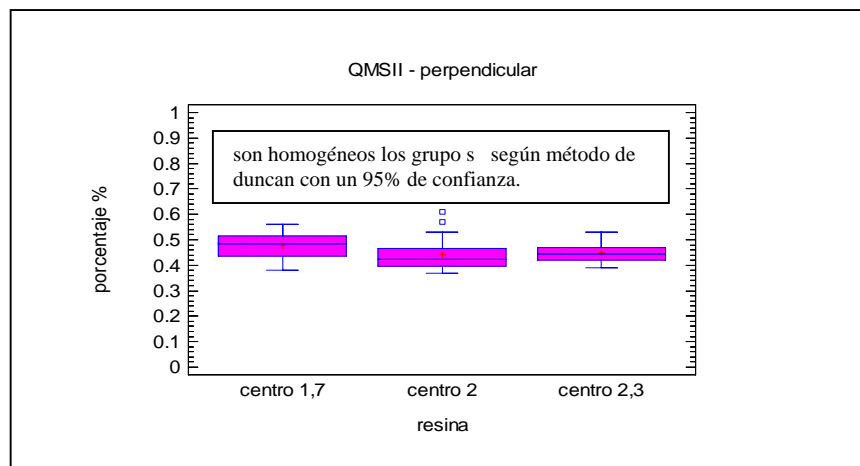
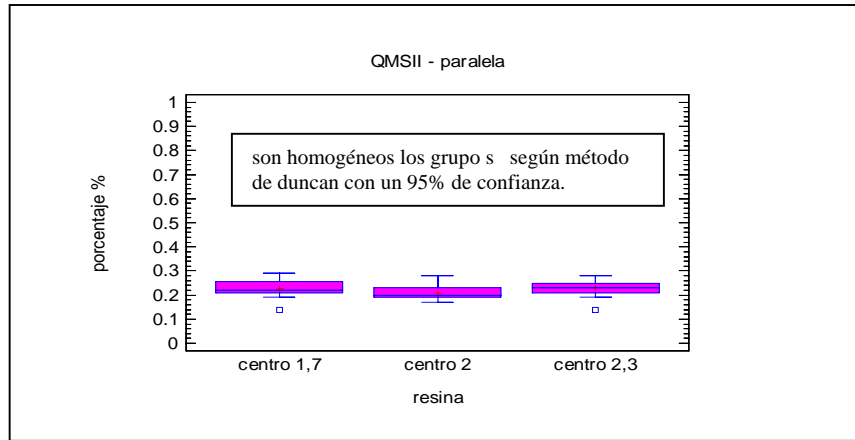
Igual densidad (640) igual porcentaje de resina Centro (A4,A2,A5)



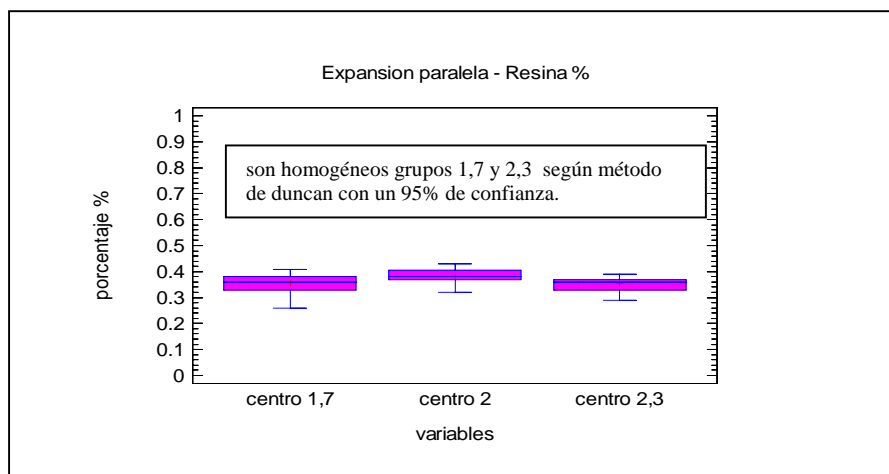


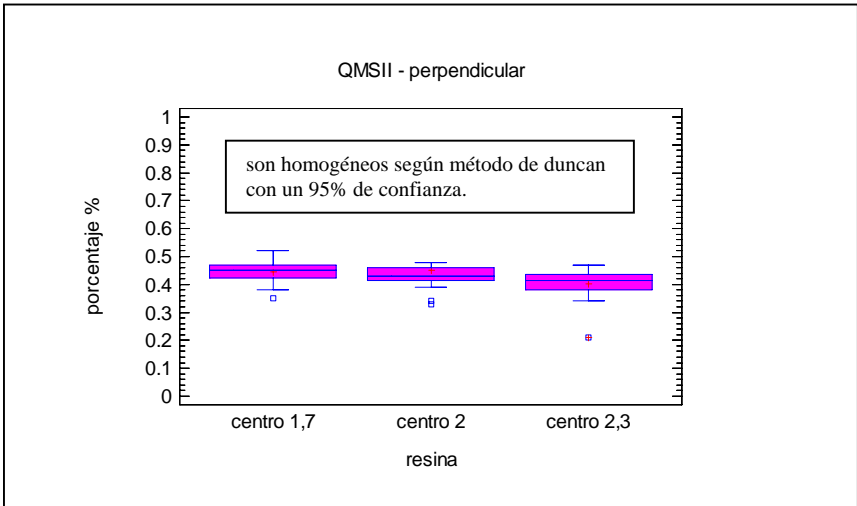
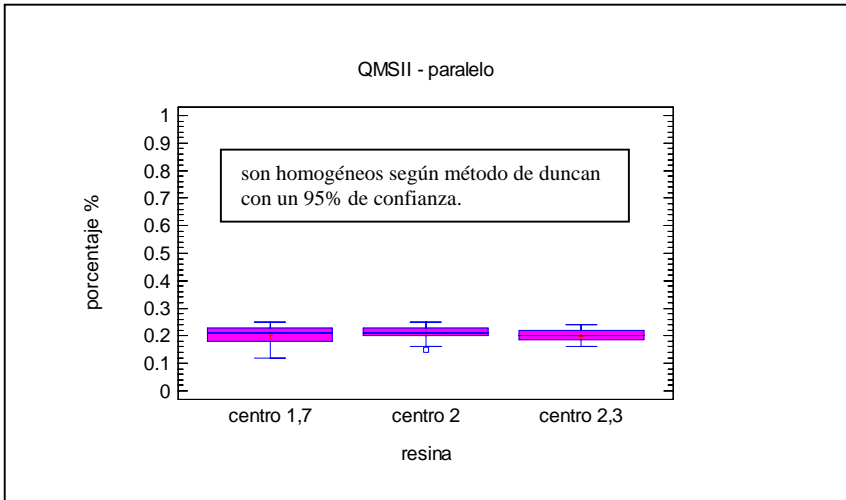
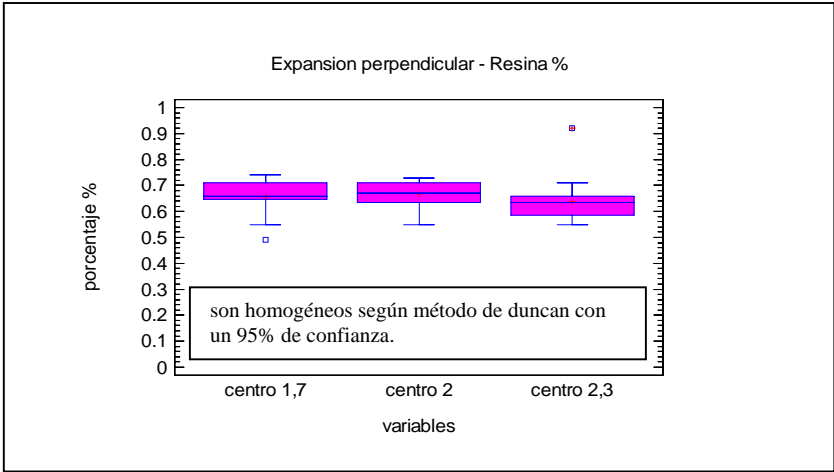
**Igual densidad (670) igual porcentaje de resina Superficie (B4,B2,B5)**





**Igual densidad (700) igual porcentaje de resina Superficie (C4,C2,C5)**





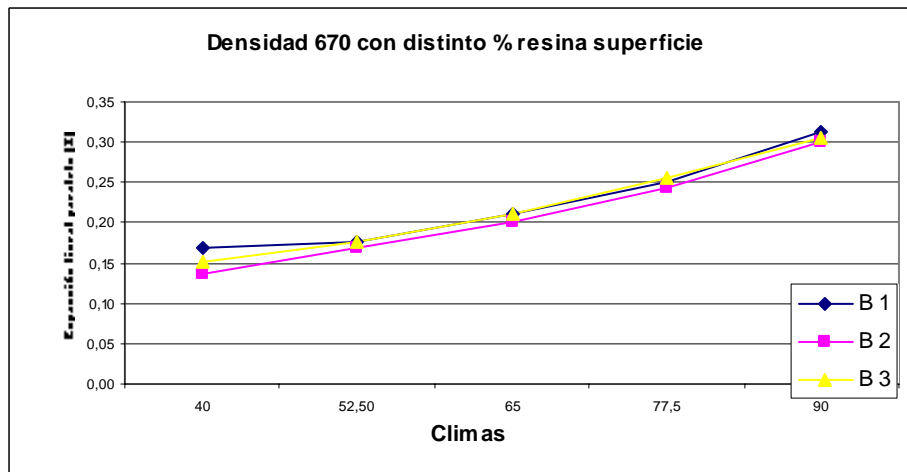
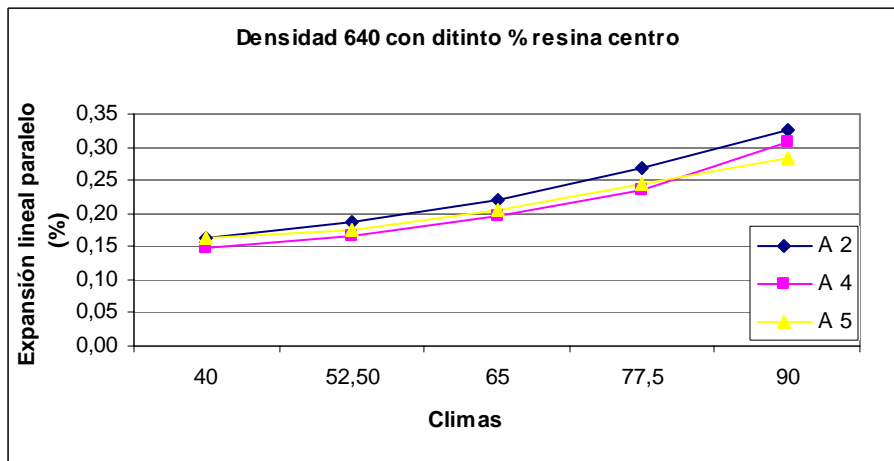
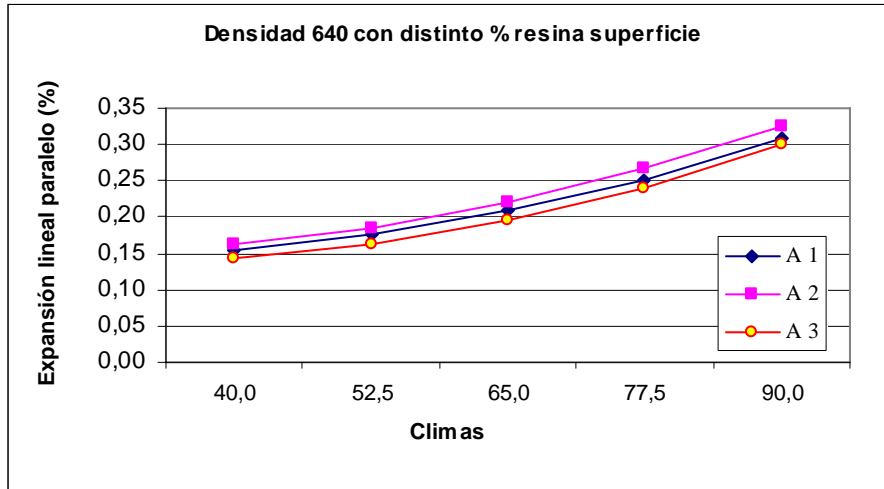


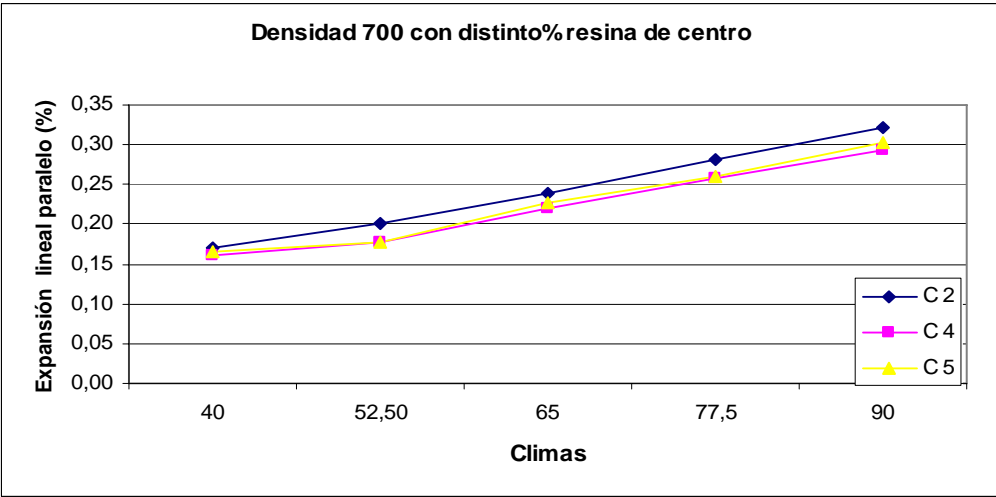
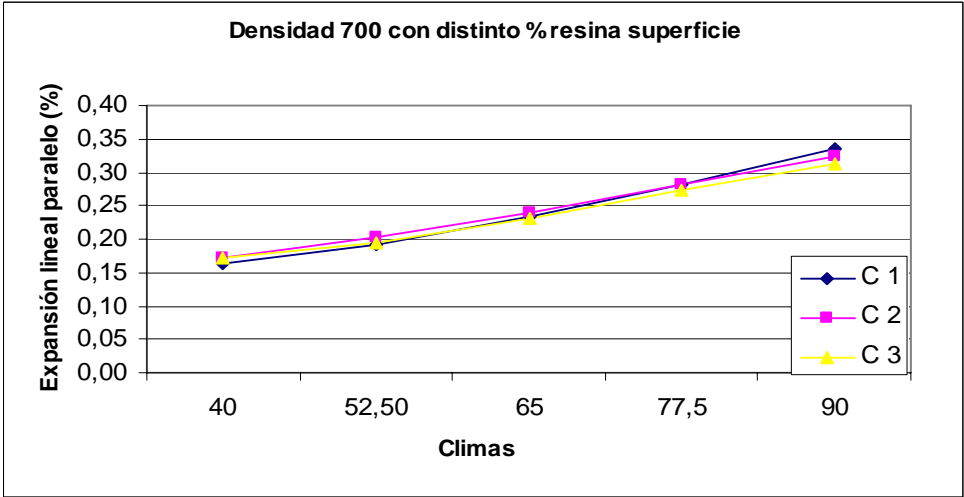
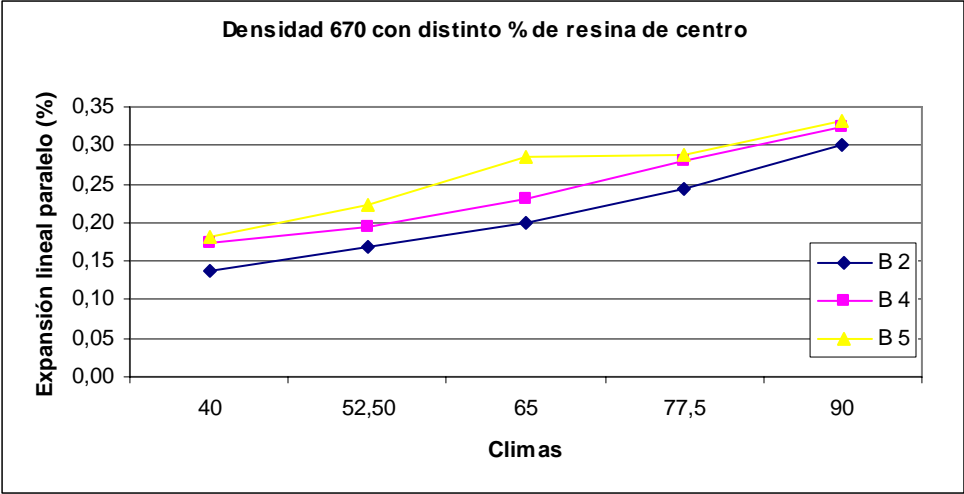
## **ANEXOS 3**

**Gráficos de expansión lineal en cámara de clima**

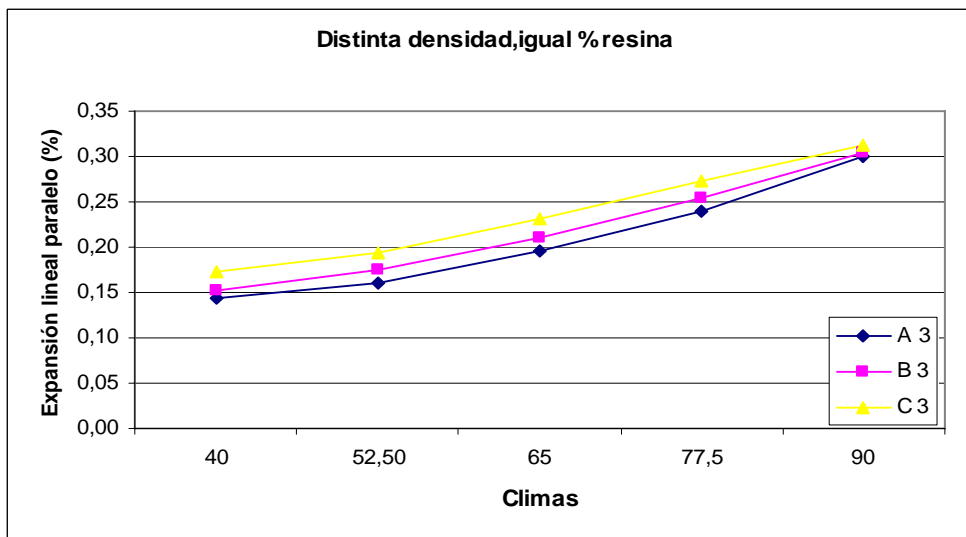
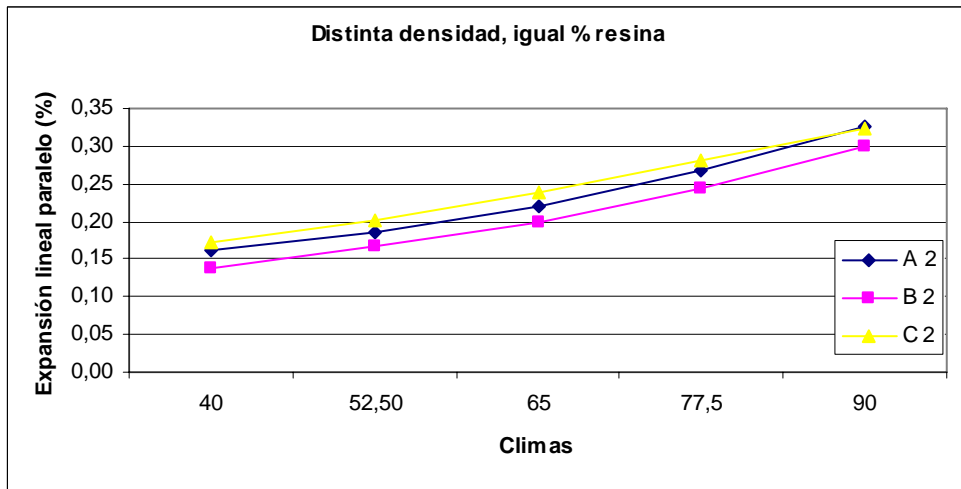
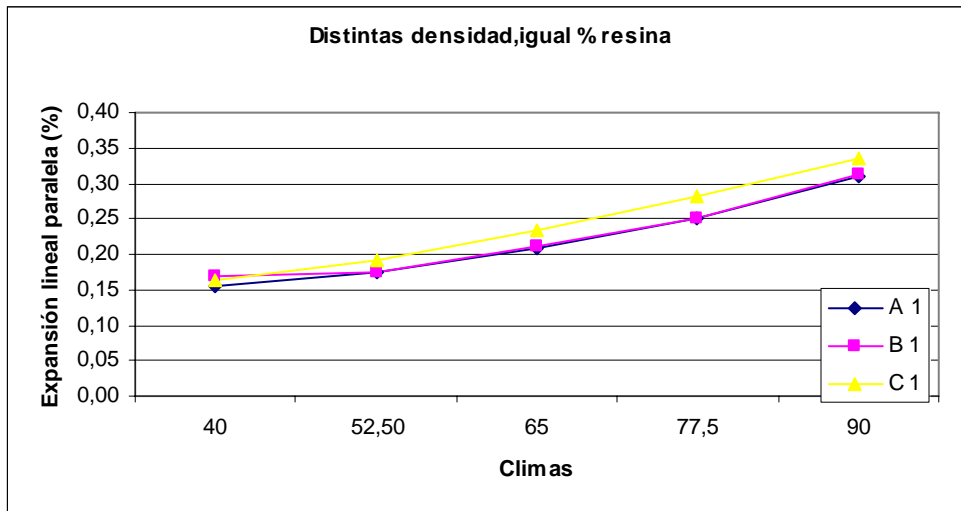
## EXPANSIÓN LINEAL PARALELA

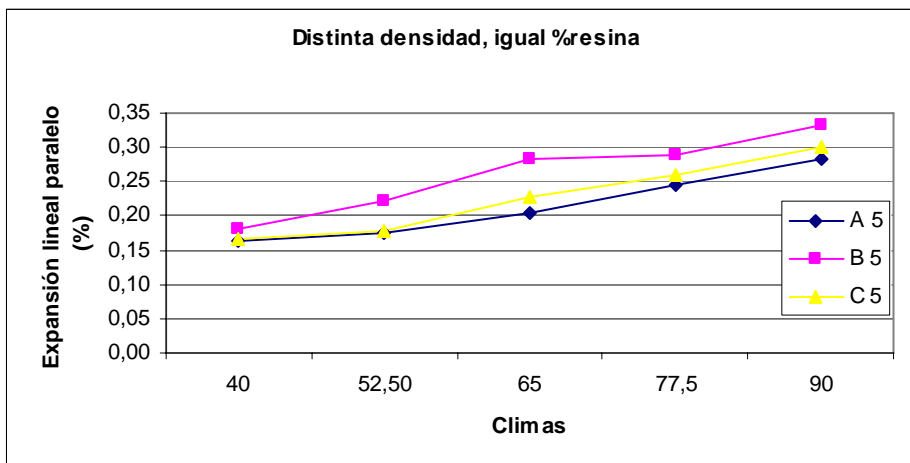
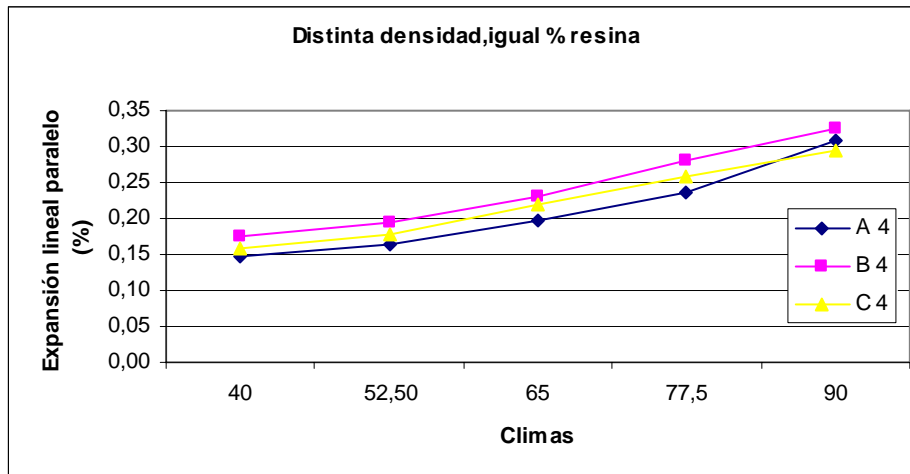
IGUAL DENSIDAD, DISTINTO % RESINA DE SUPERFICIE Y CENTRO





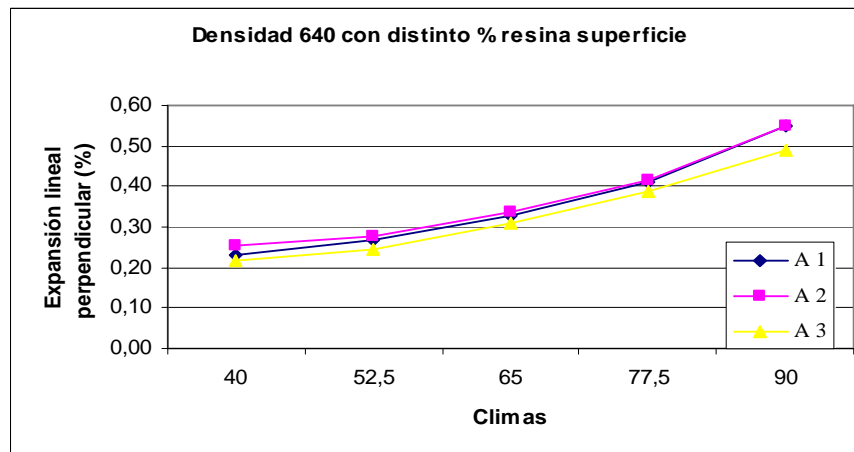
## DIFERENTE DENSIDAD IGUAL % RESINA

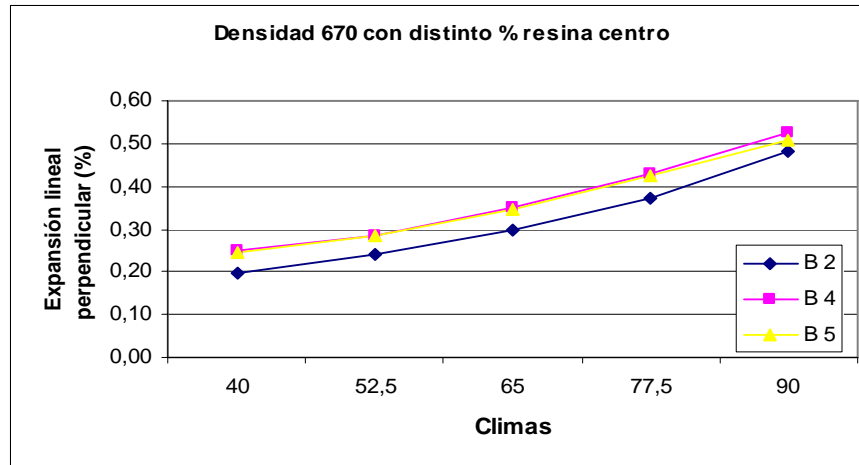
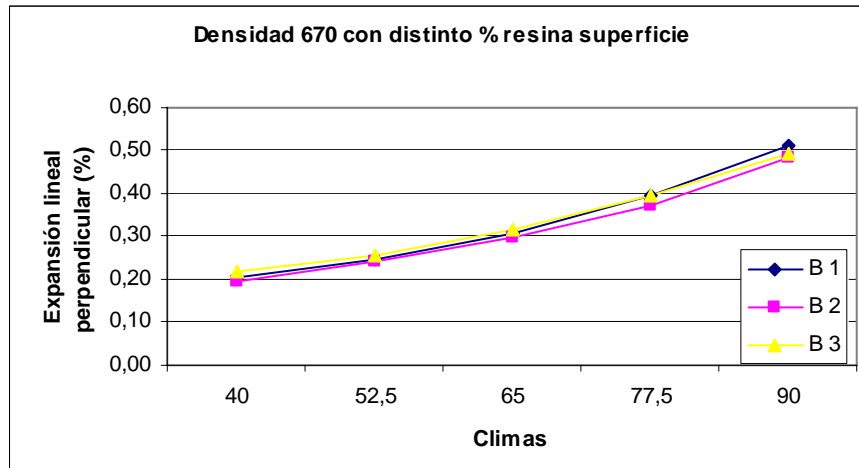
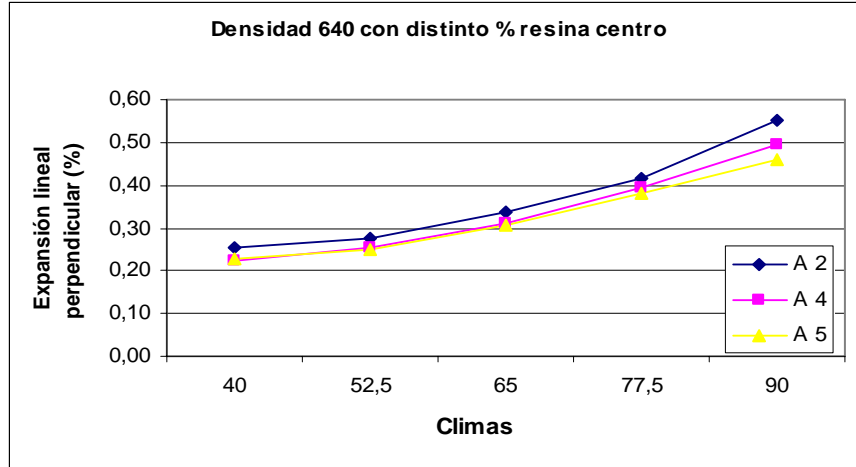


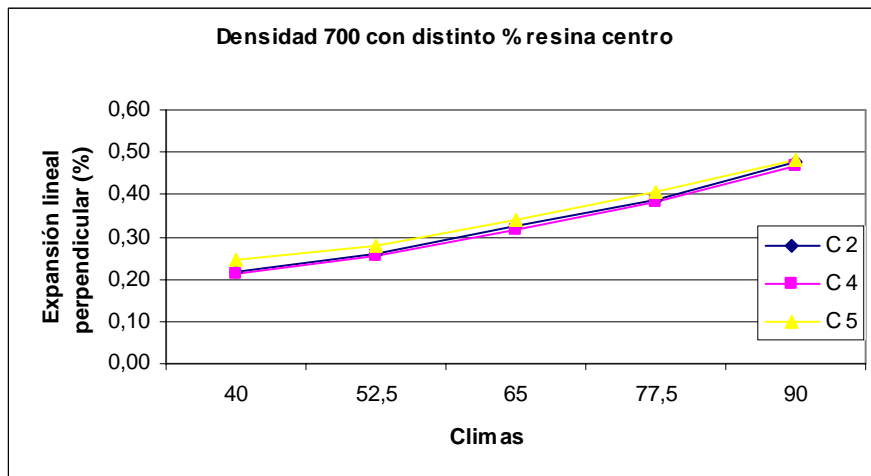
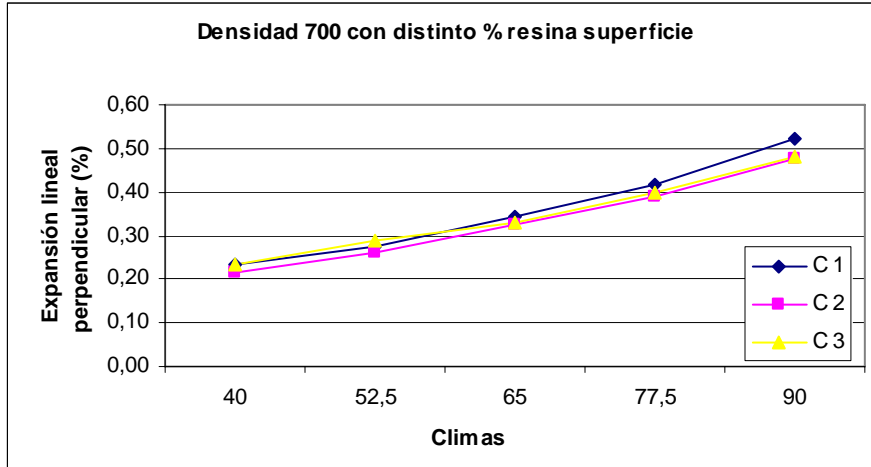


### EXPANSIÓN LINEAL PERPENDICULAR

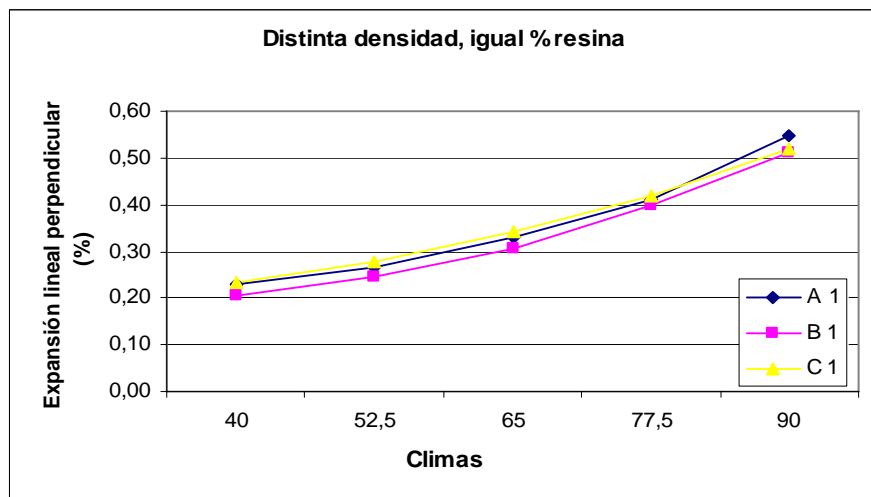
#### IGUAL DENSIDAD, DISTINTO % RESINA DE SUPERFICIE Y CENTRO

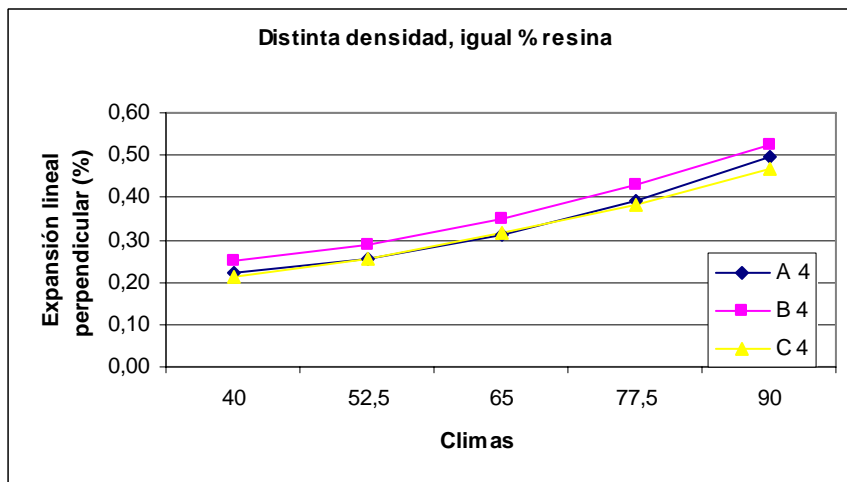
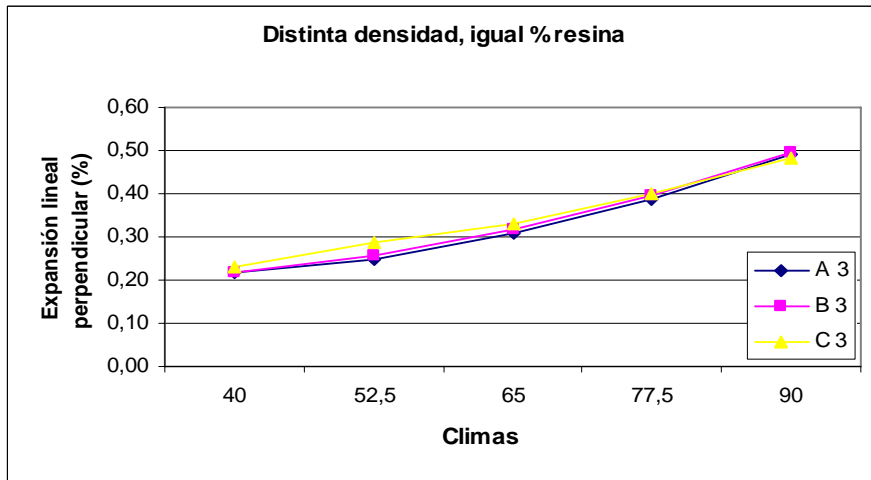
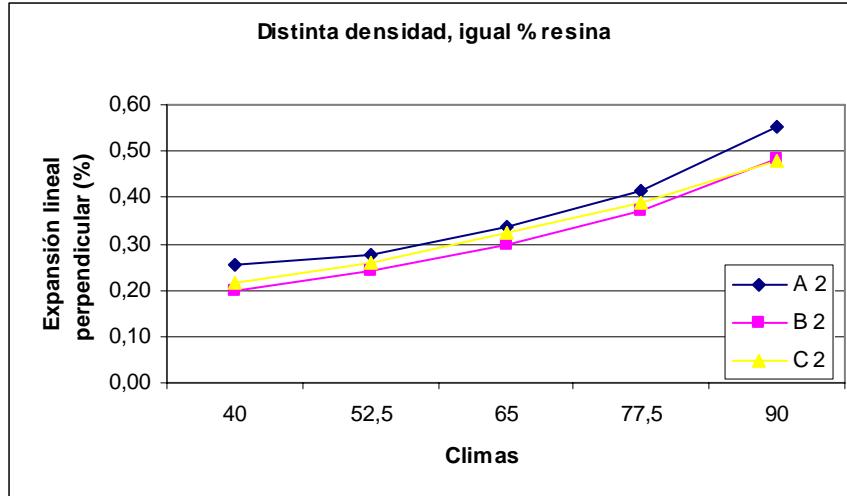




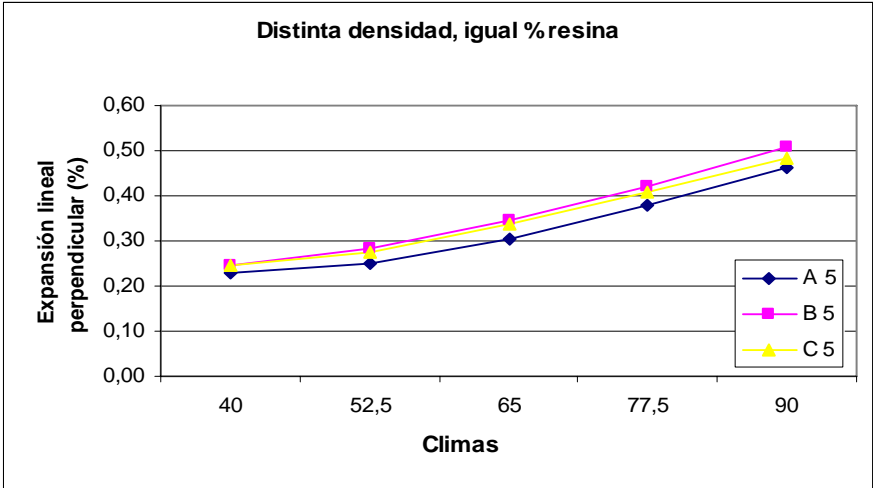


## DIFERENTE DENSIDAD IGUAL % RESINA





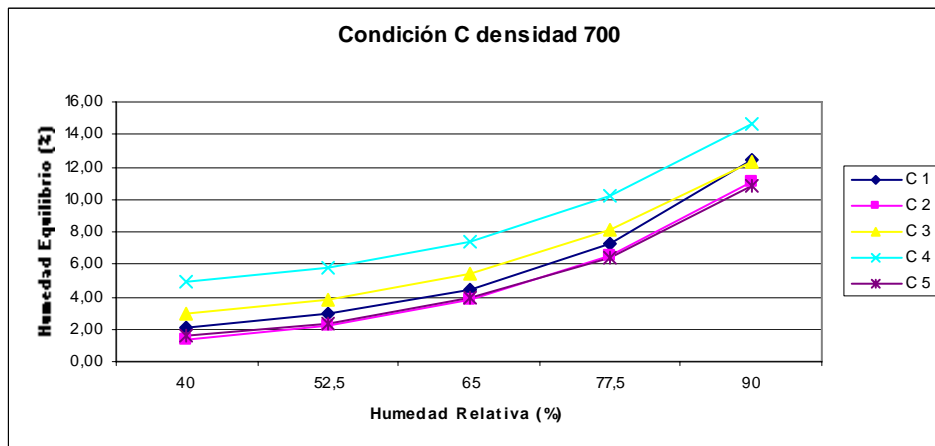
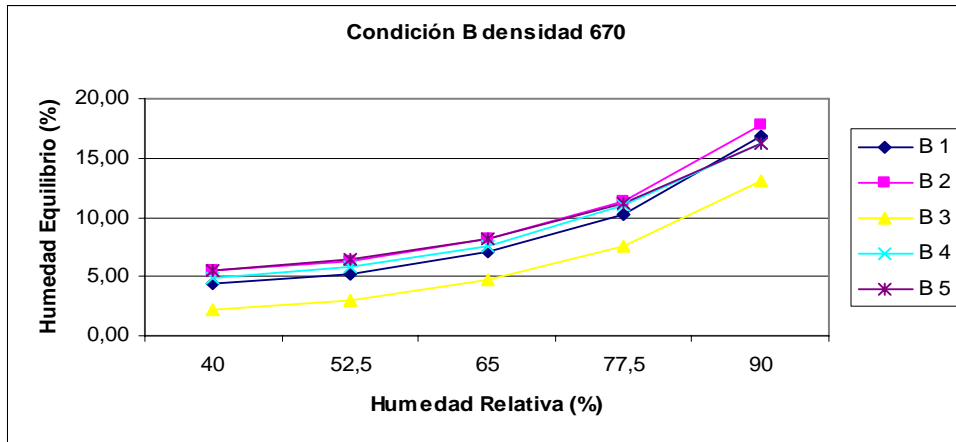
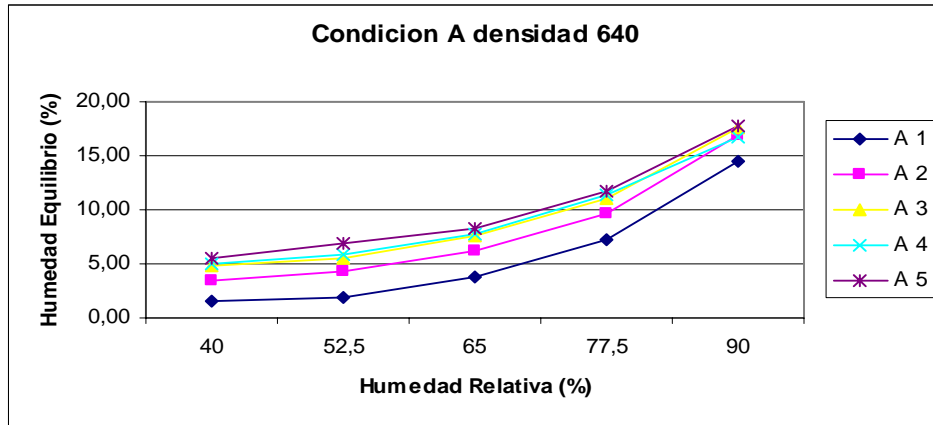




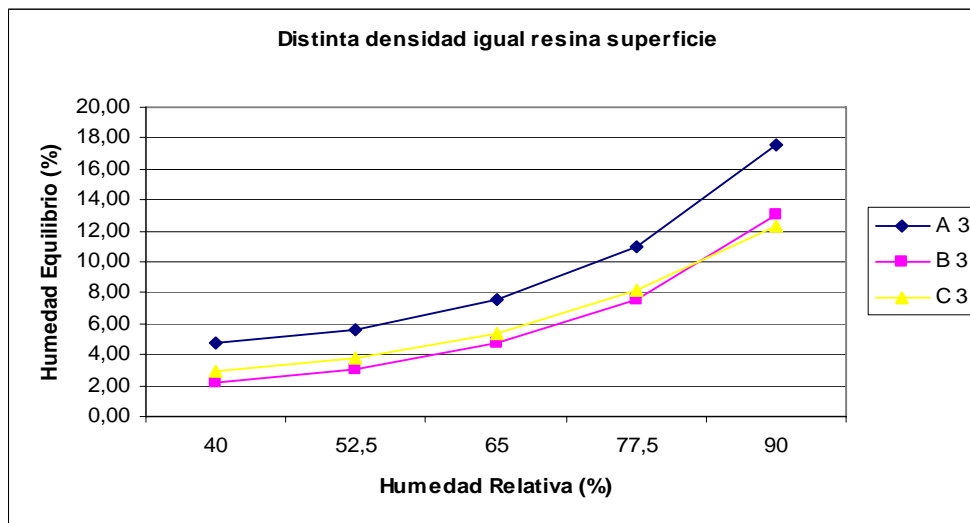
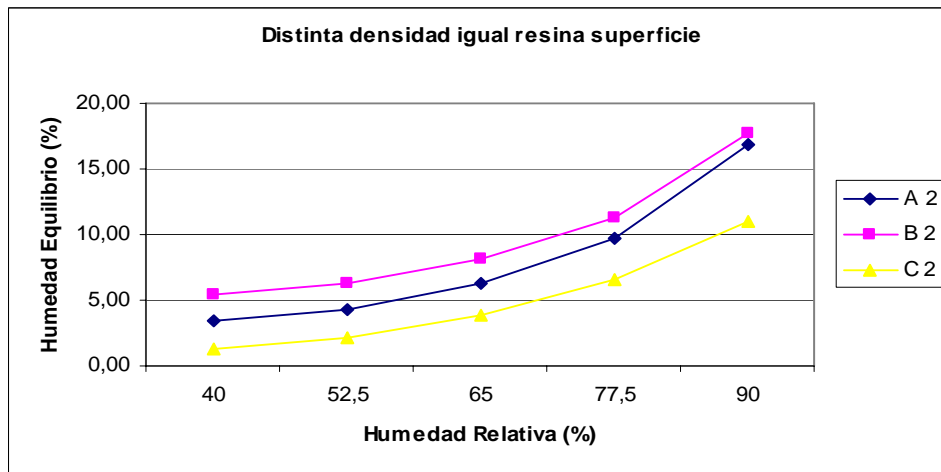
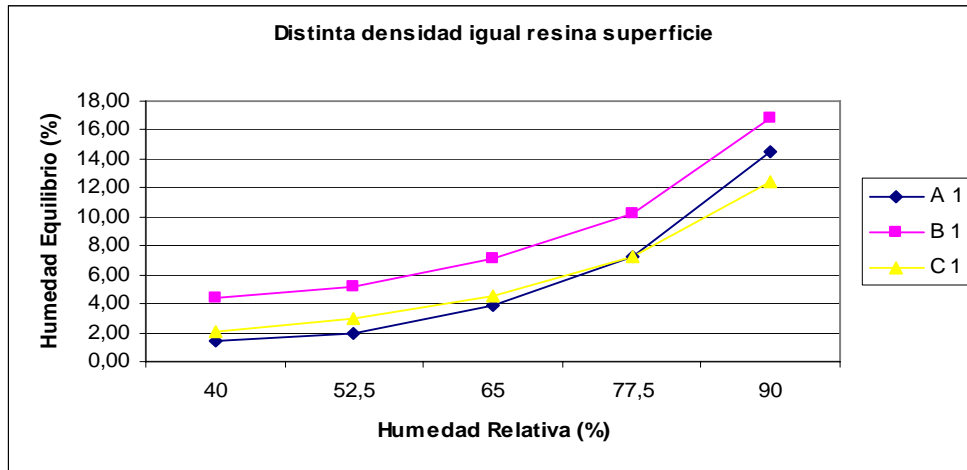
## **ANEXOS 4**

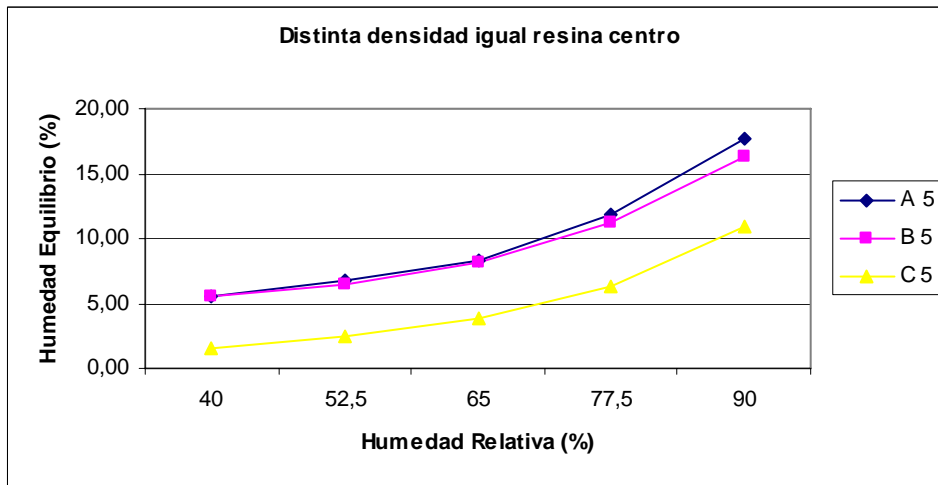
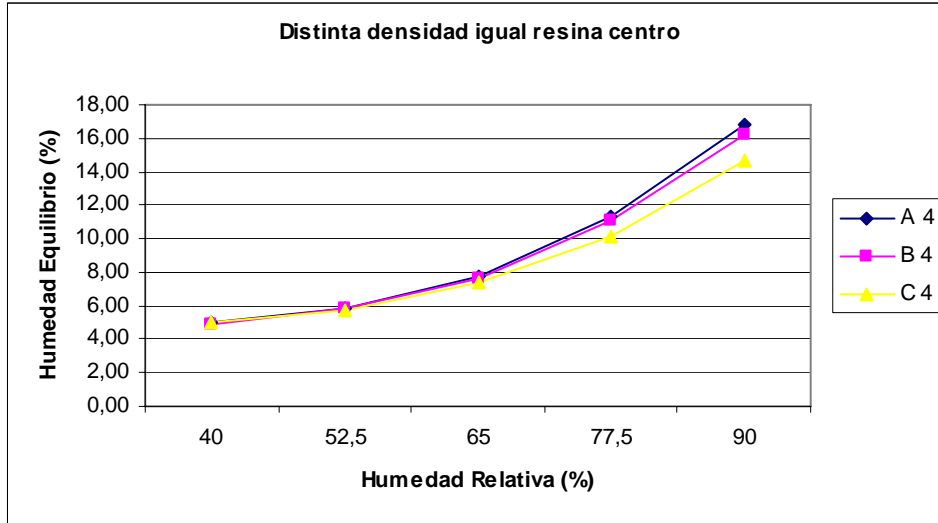
**Gráficos de humedad de equilibrio en relación a humedad relativa en cámara de clima paralela y perpendicular.**

## HUMEDAD DE EQUILIBRIO POR CONDICIÓN (PARALELA).

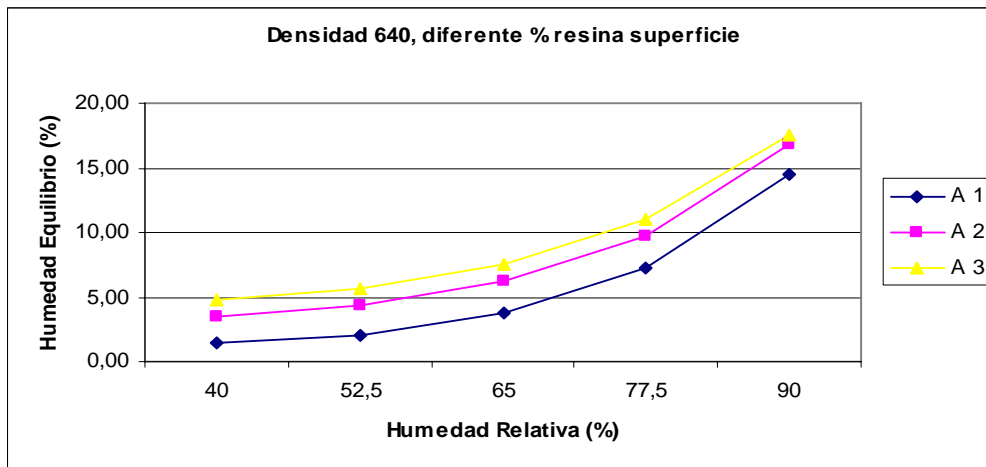


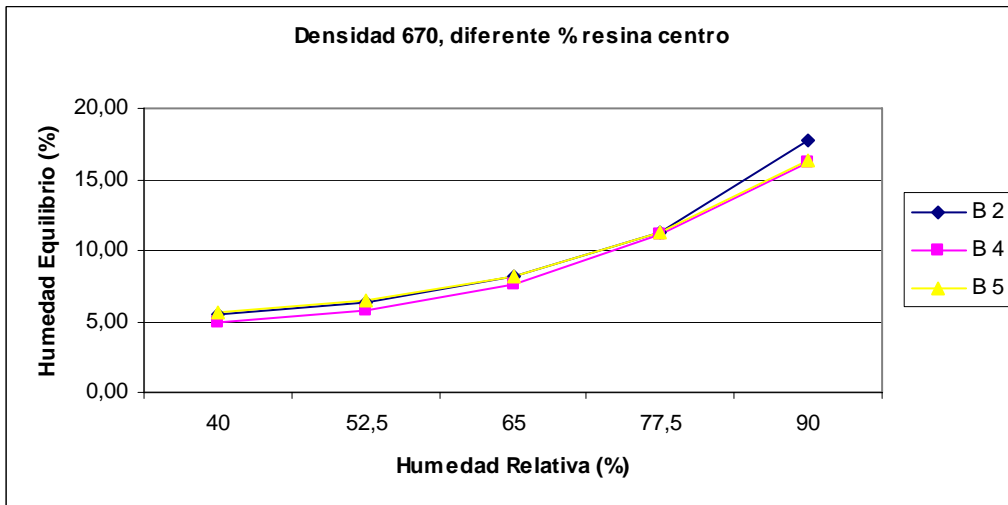
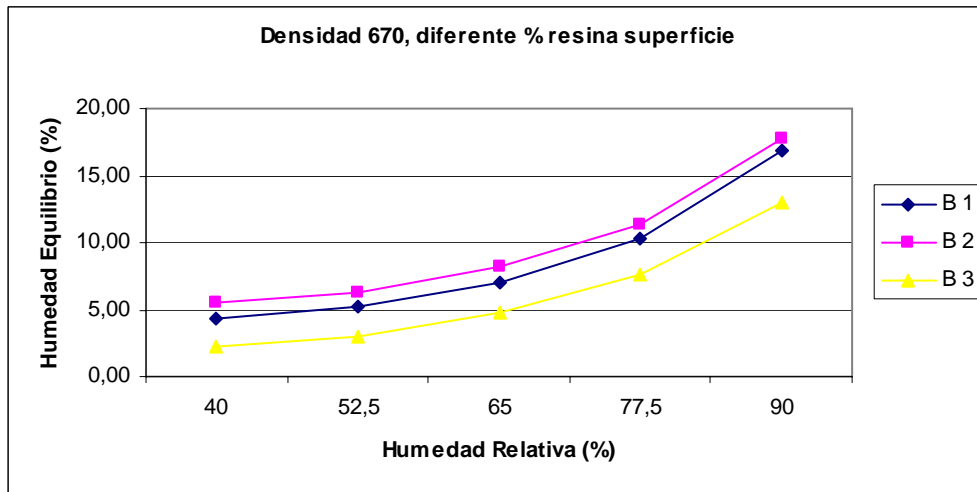
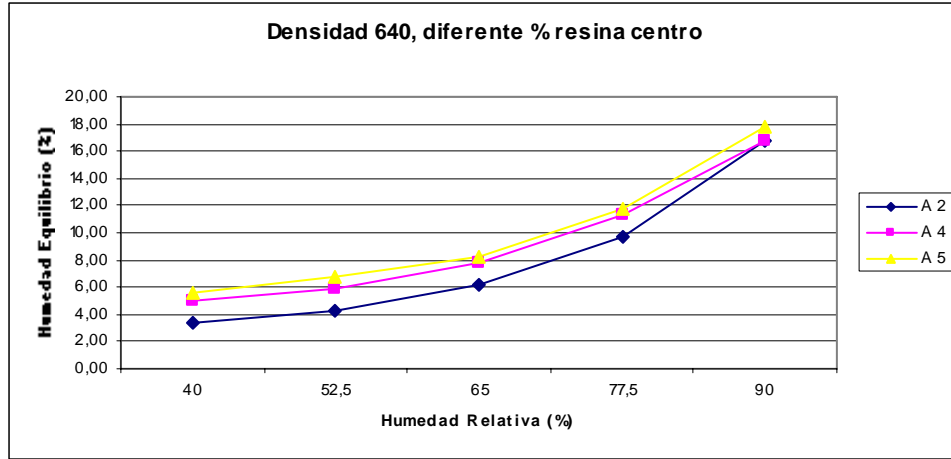
## HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA DISTINTA DENSIDAD, IGUAL % RESINA (SUPERFICIE Y CENTRO)

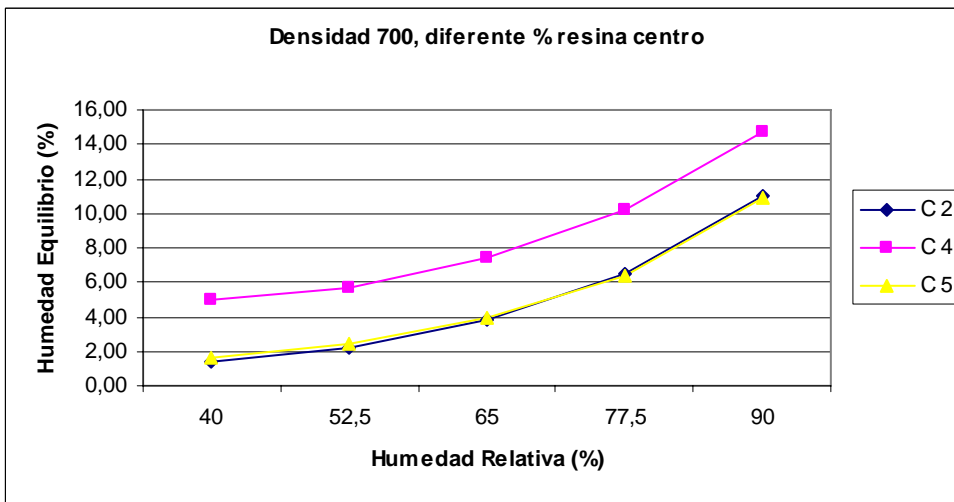
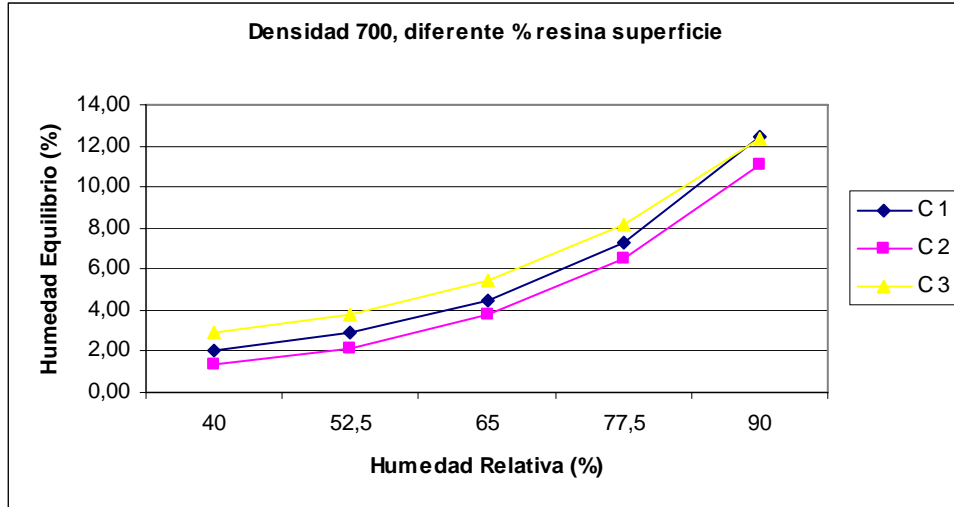




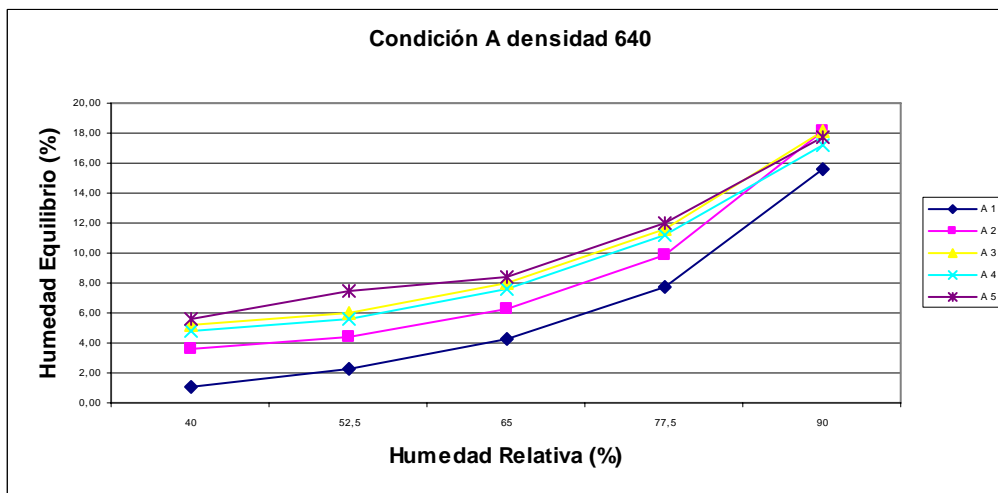
**HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA IGUAL DENSIDAD, DISTINTO % RESINA (SUPERFICIE Y CENTRO)**

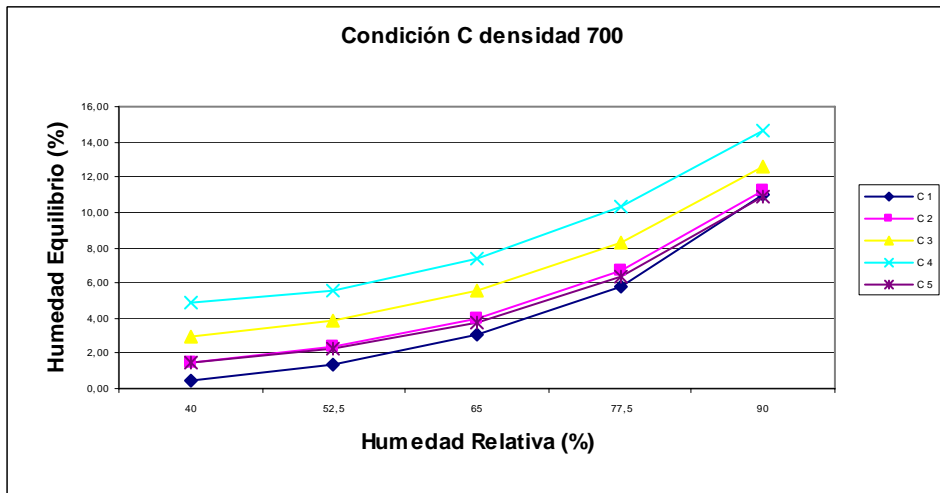
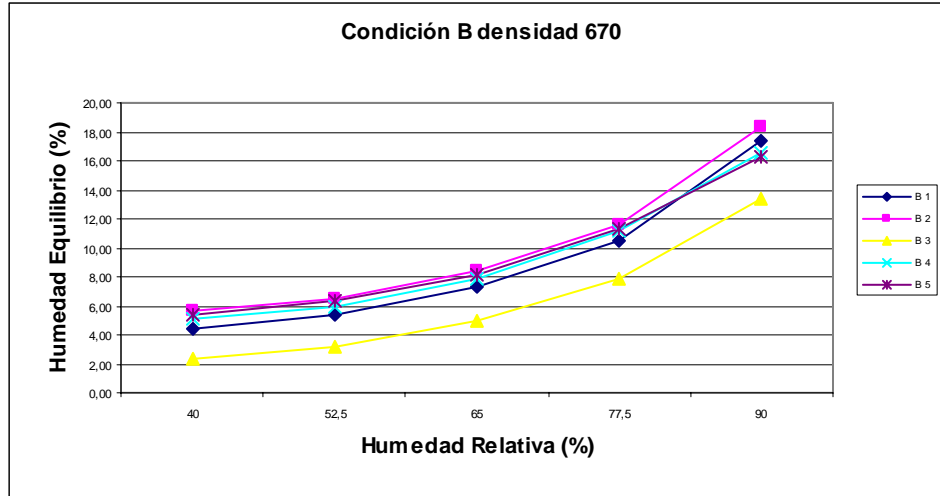




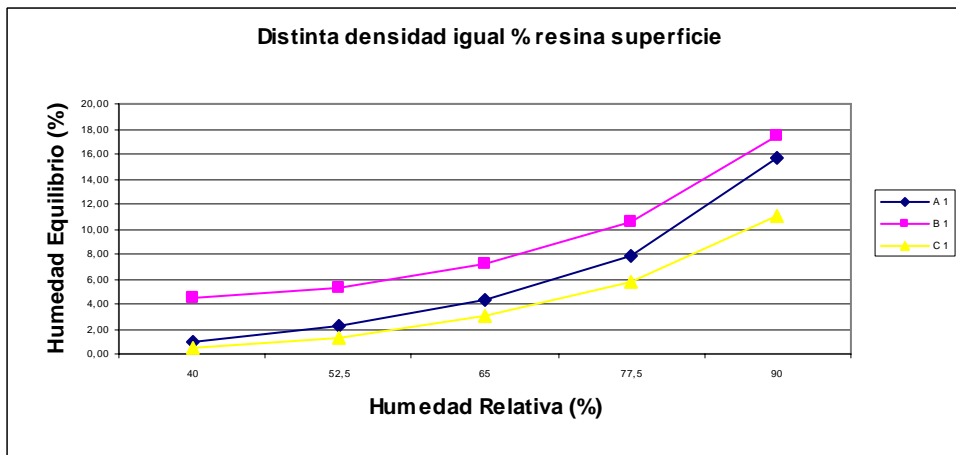


## HUMEDAD DE EQUILIBRIO POR CONDICIÓN (PERPENDICULAR).

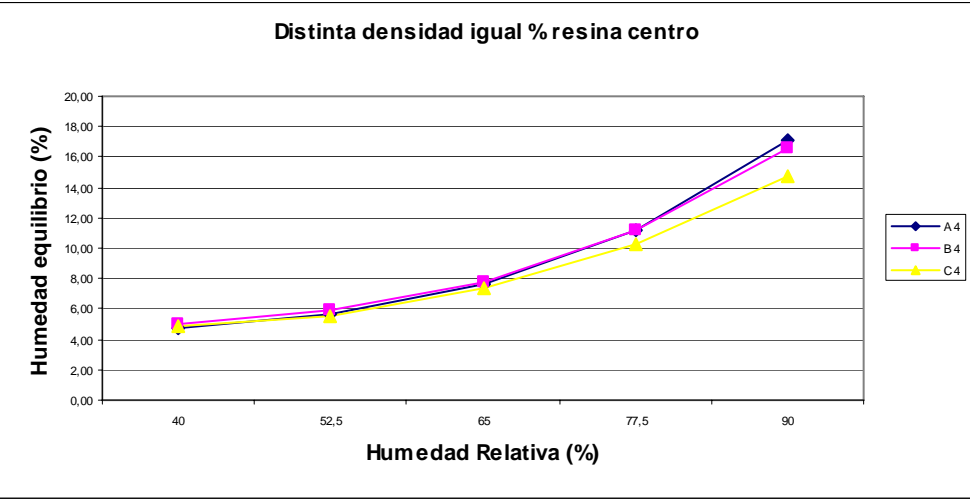
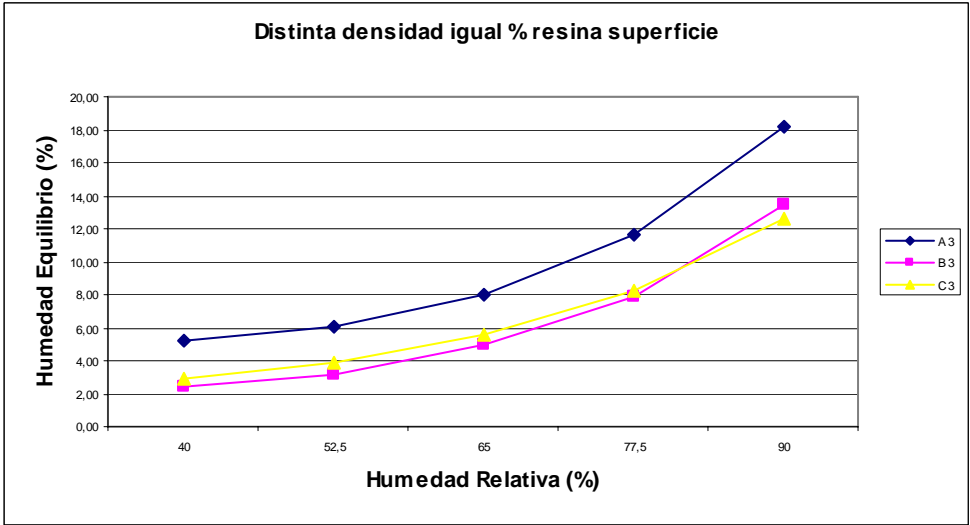
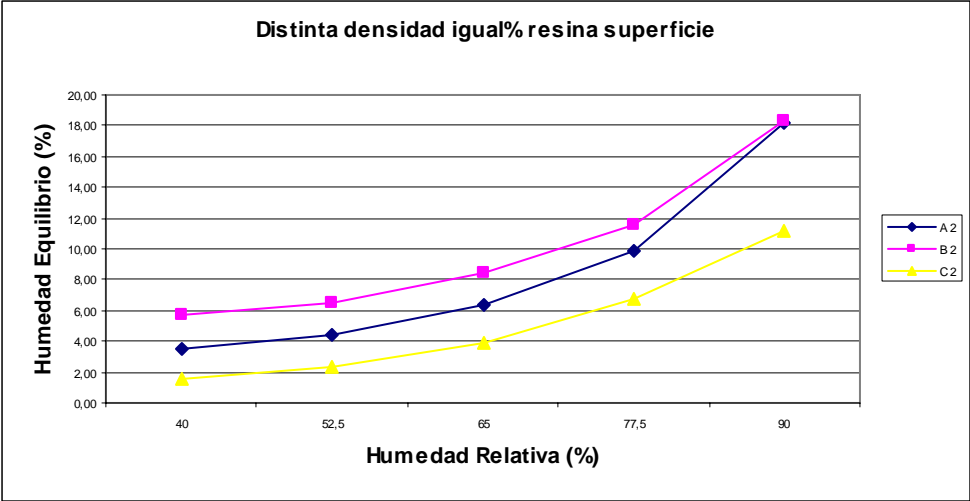


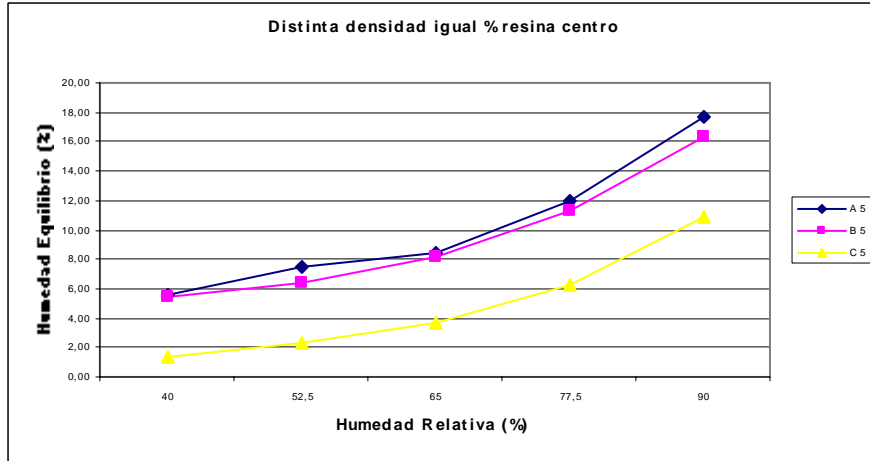


## HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA DISTINTA DENSIDAD, IGUAL % RESINA (SUPERFICIE Y CENTRO)

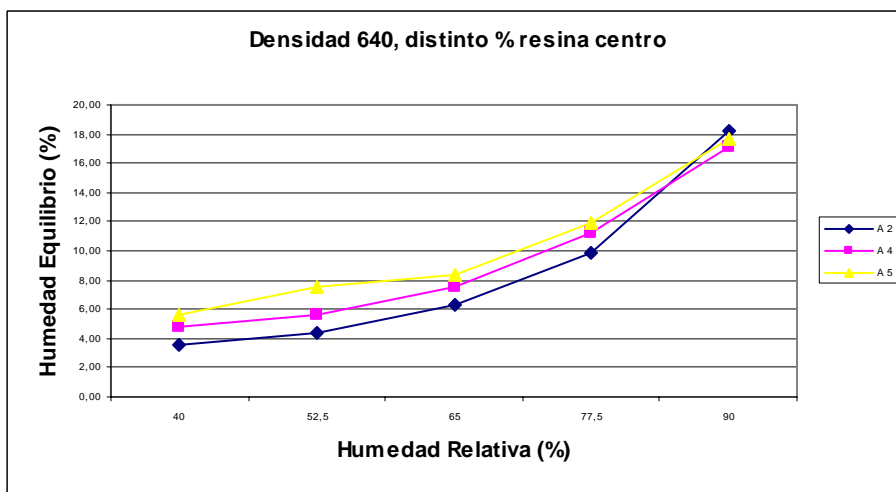
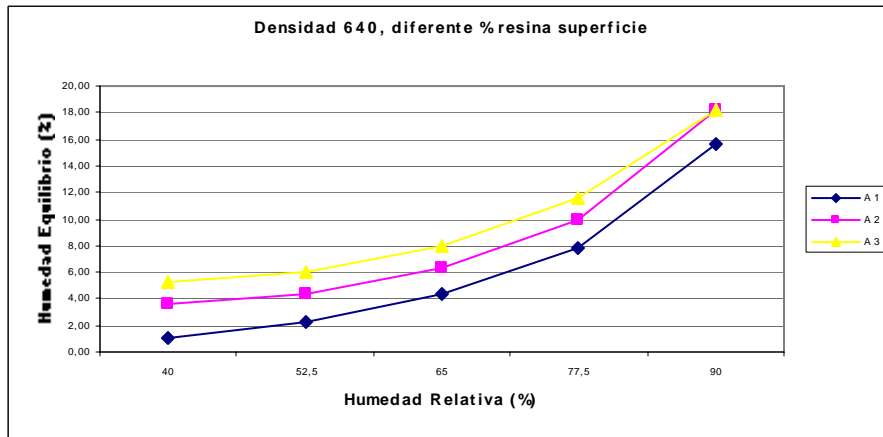


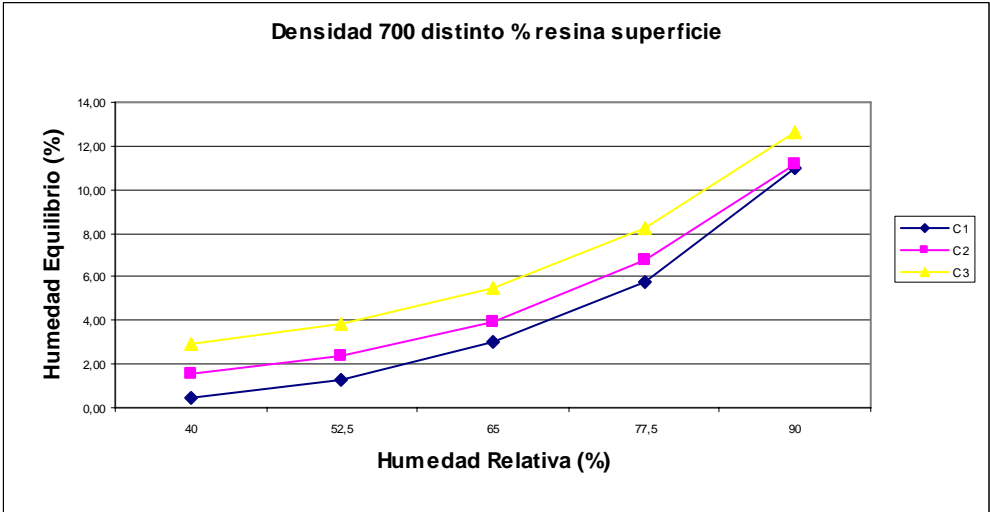
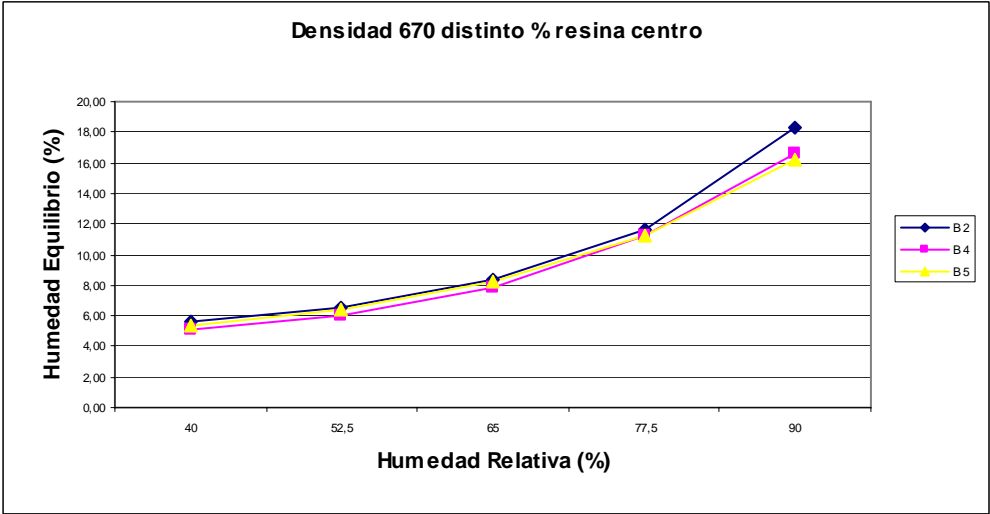
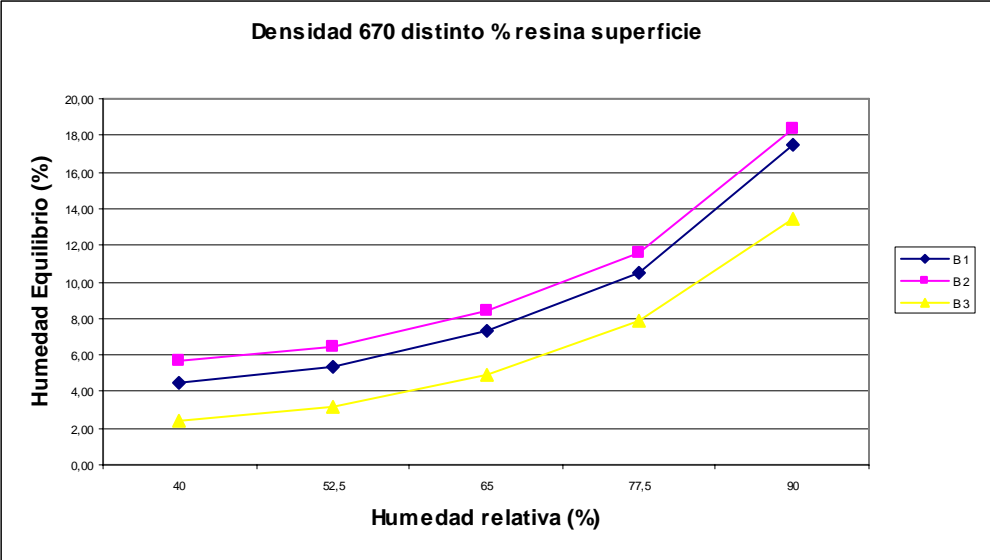




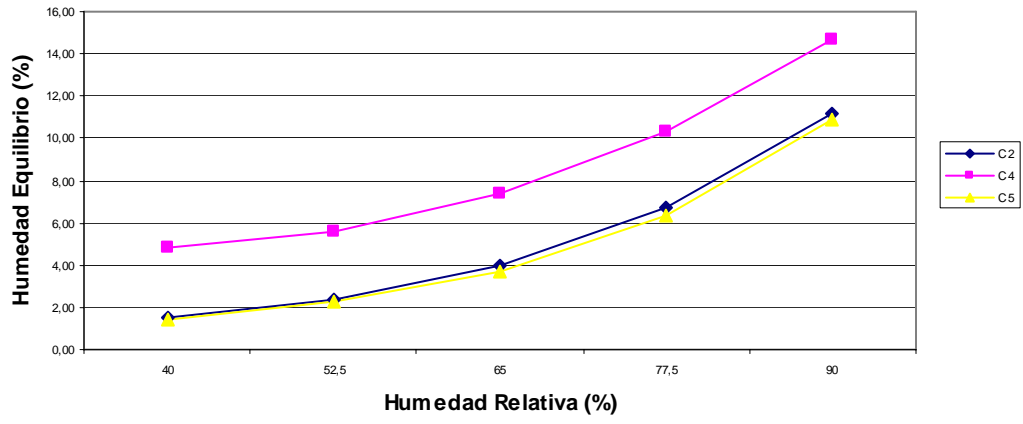


**HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA IGUAL DENSIDAD, DISTINTO % RESINA (SUPERFICIE Y CENTRO)**





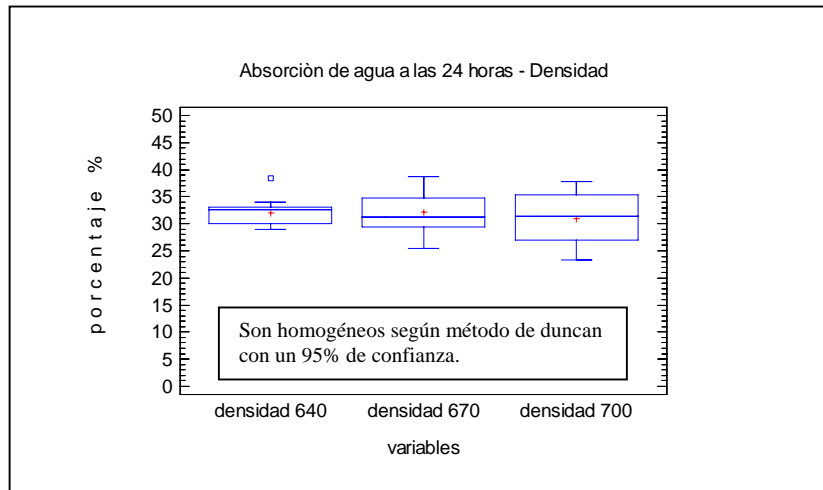
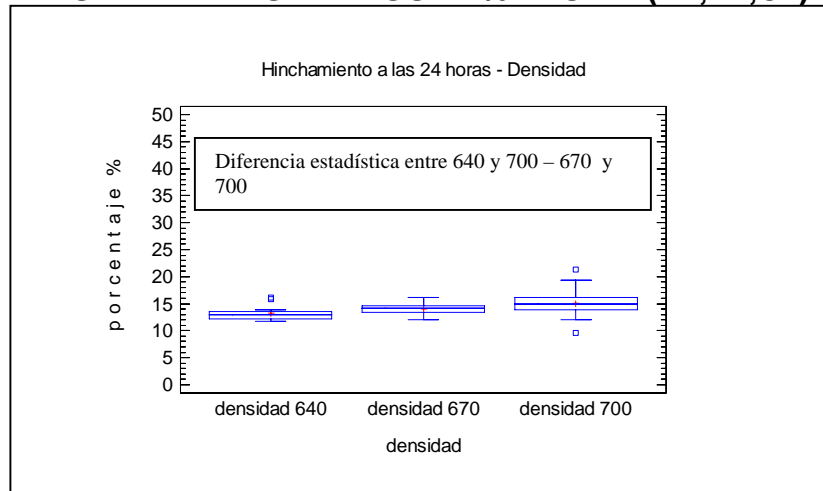
Densidad 700 distinto % resina centro



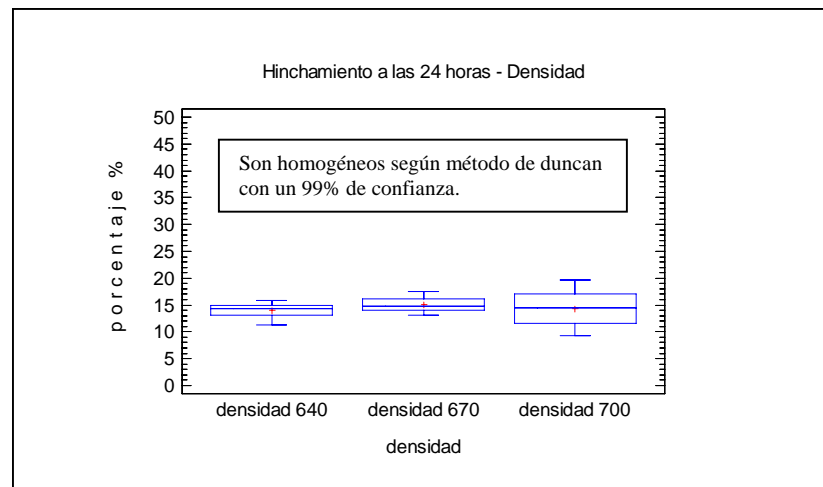
## **ANEXOS 5**

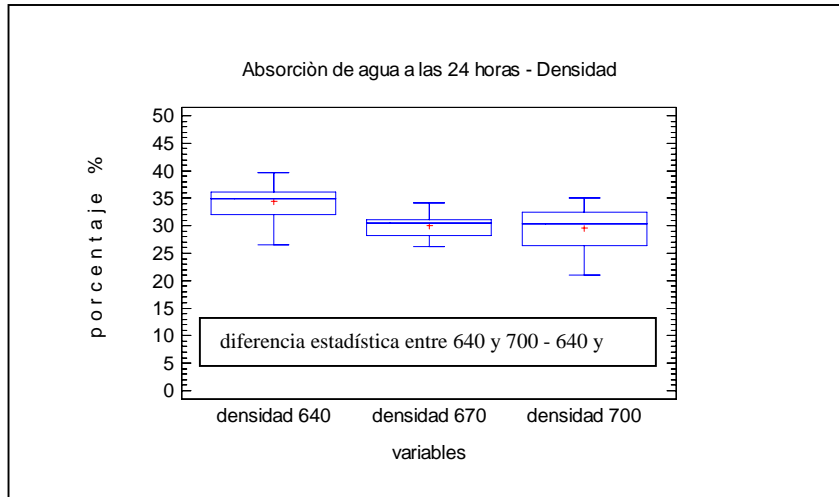
**Gráficos de hinchamiento y absorción de agua a las 24 horas.**

## DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA (A1,B1,C1)

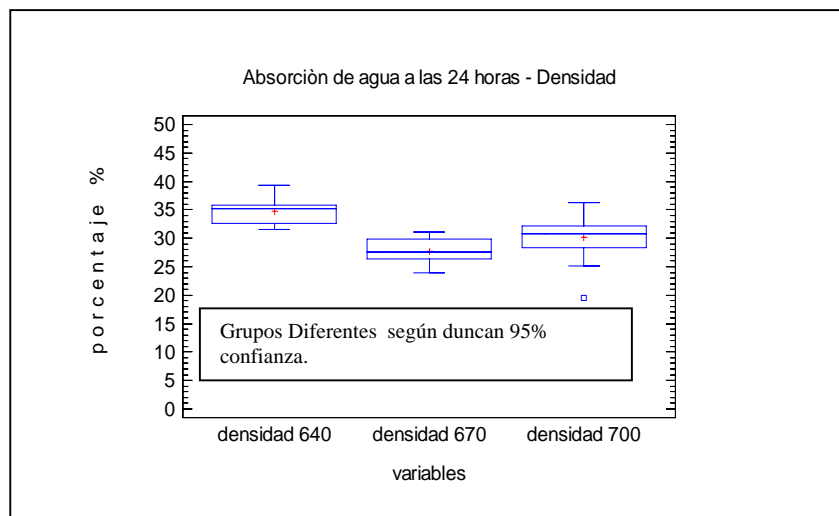
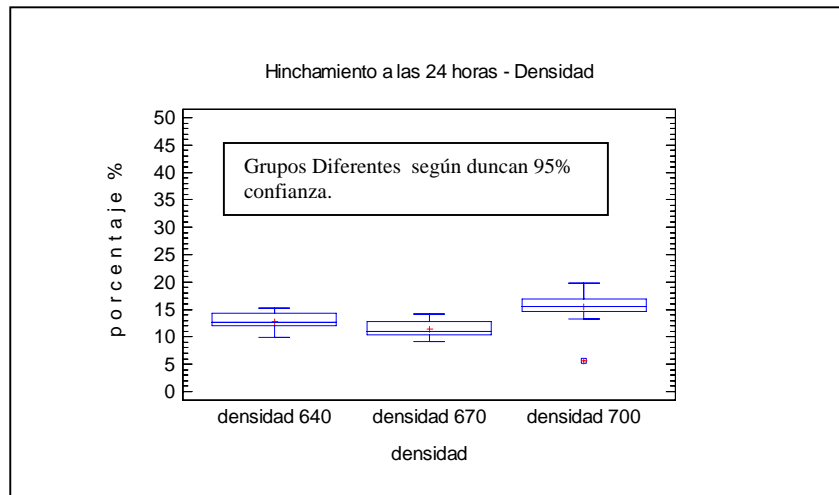


## DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA (A2,B2,C2)

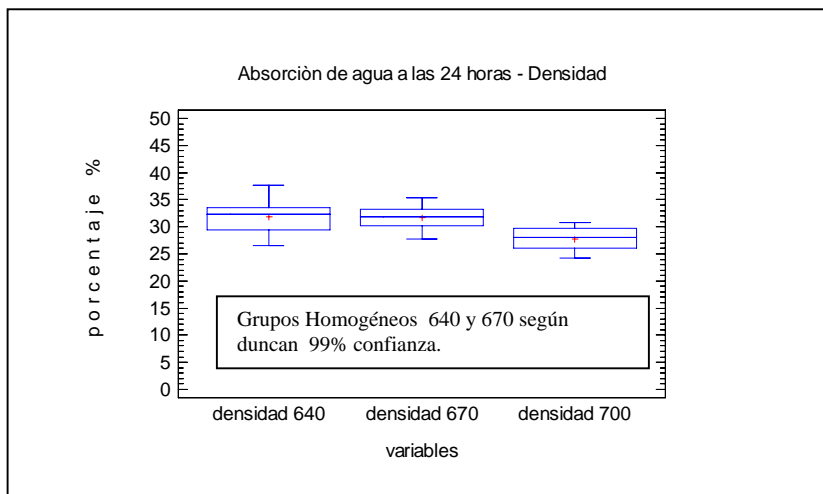
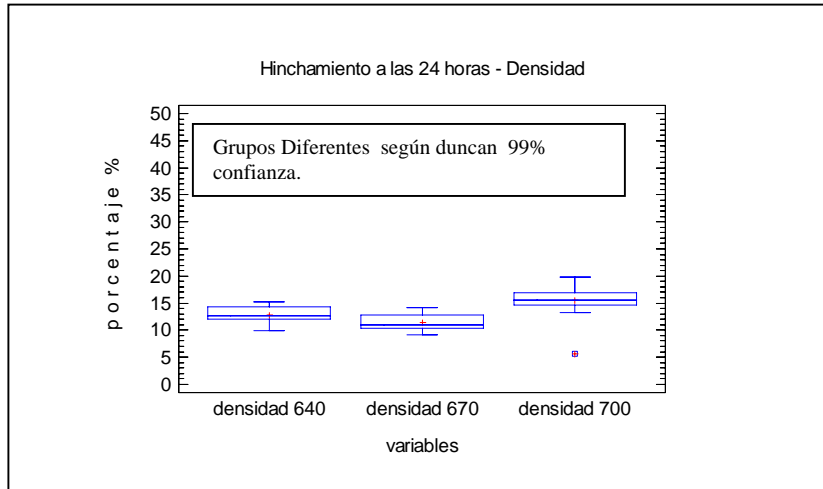




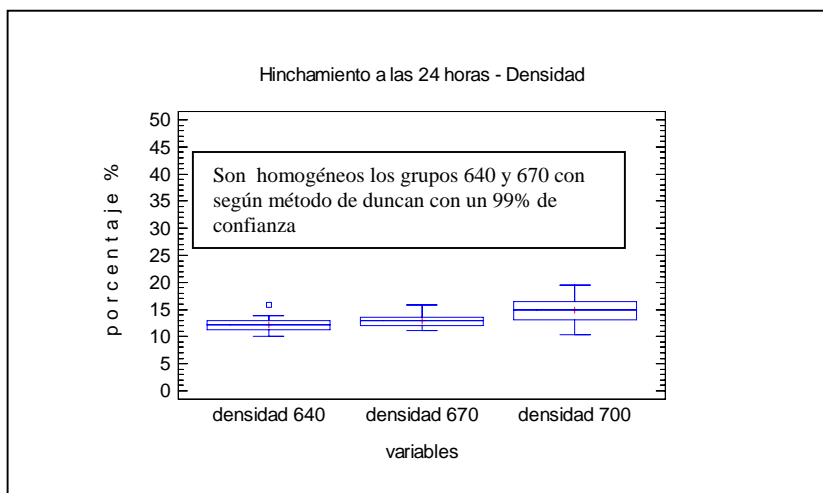
**DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA (A3,B3,C3)**



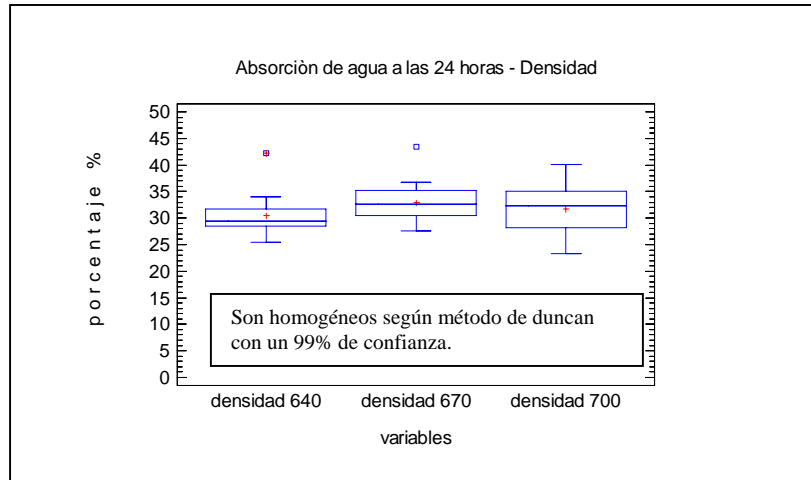
## DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA (A4,B4,C4)



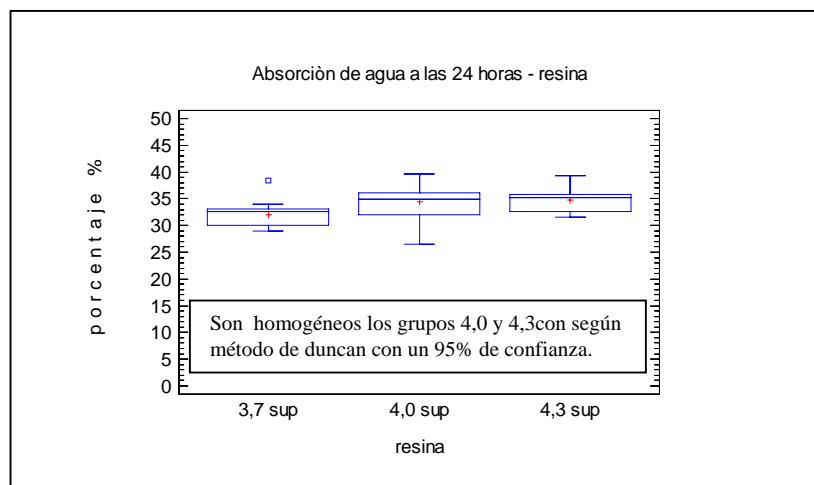
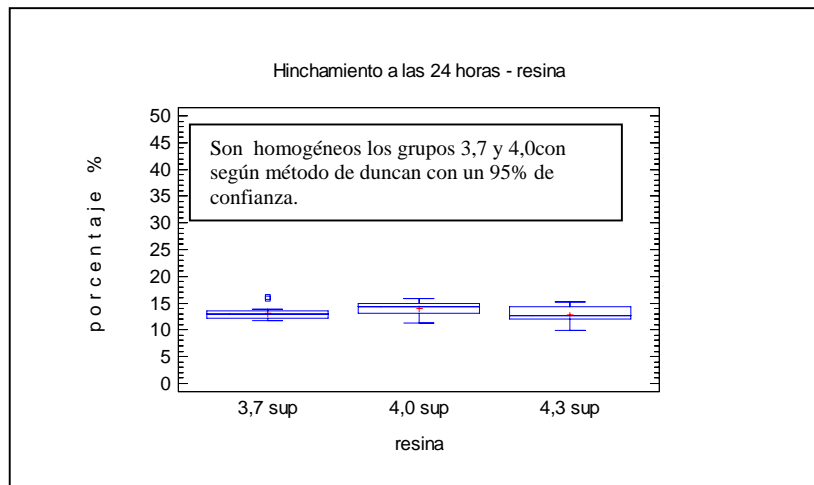
## DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA (A5,B5,C5)



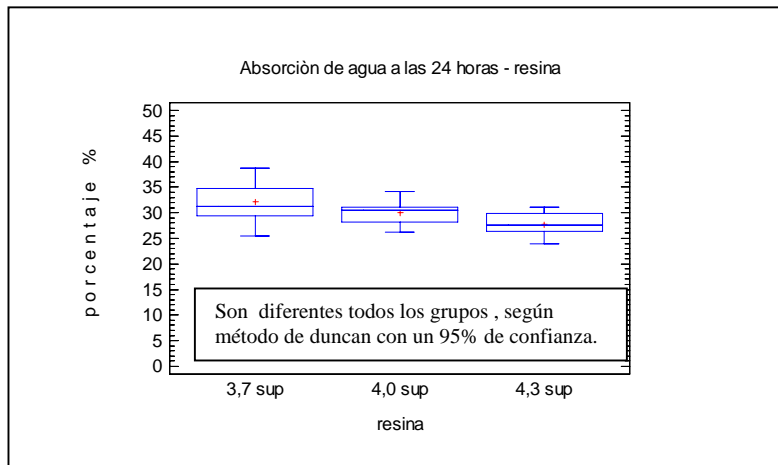
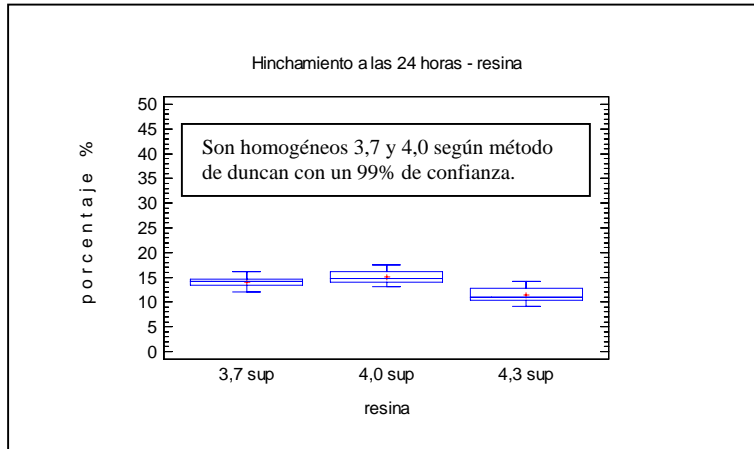




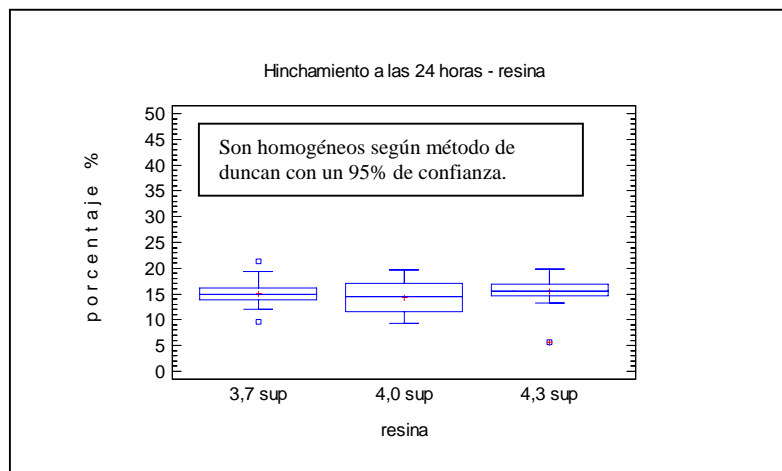
### IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE SUPERFICIE A1,A2,A3

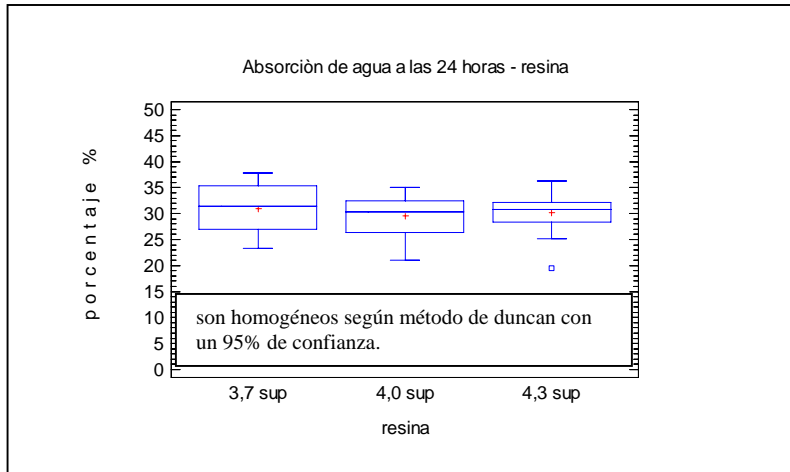


## IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE SUPERFICIE B1,B2,B3

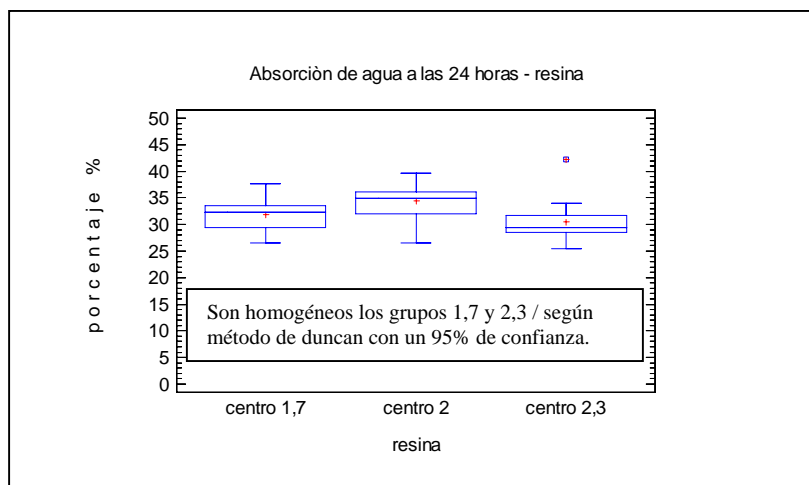
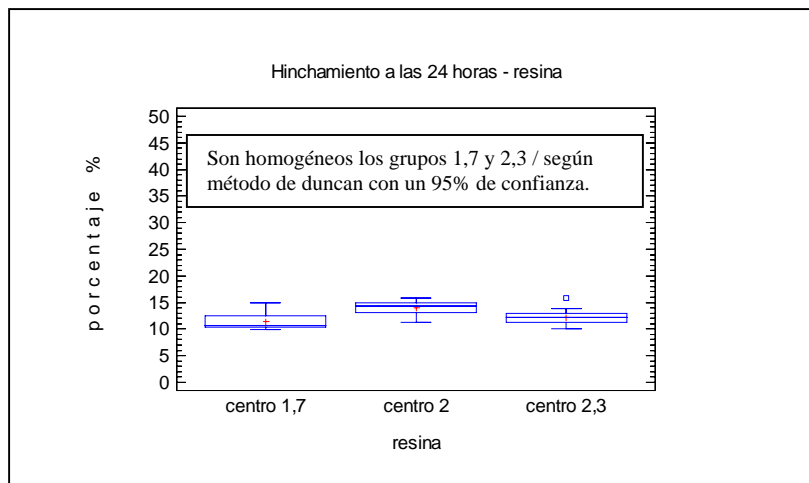


## IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE SUPERFICIE C1,C2,C3

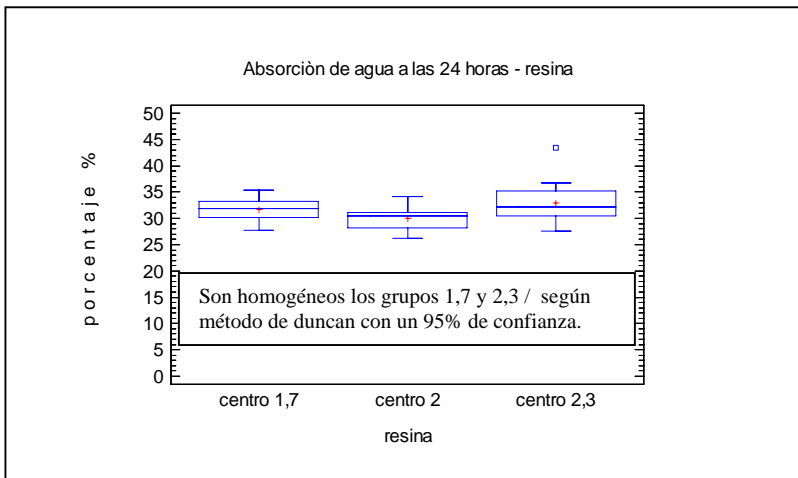
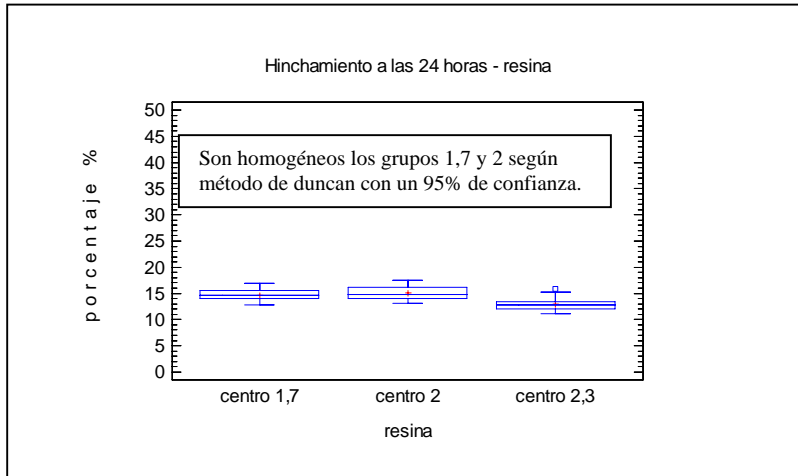




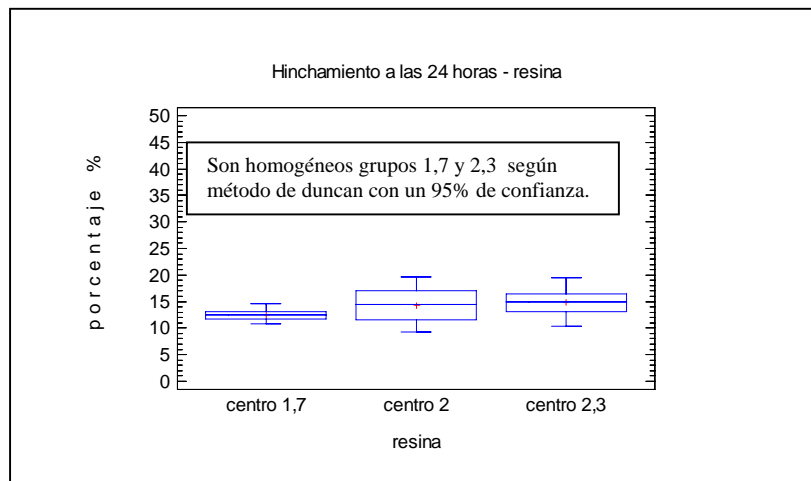
**IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE CENTRO A4,A2,A5.**



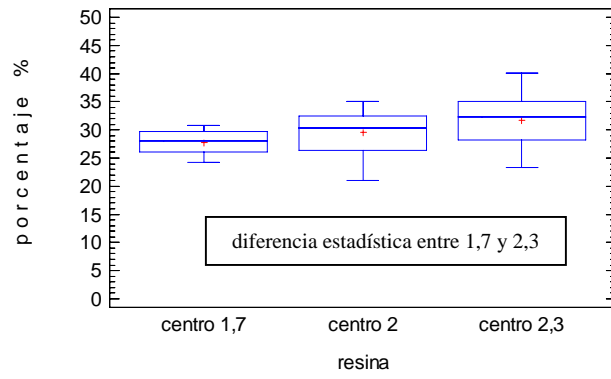
## IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE CENTRO B4,B2,B5.



## IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA DE CENTRO C4,C2,C5.



Absorción de agua a las 24 horas - resina

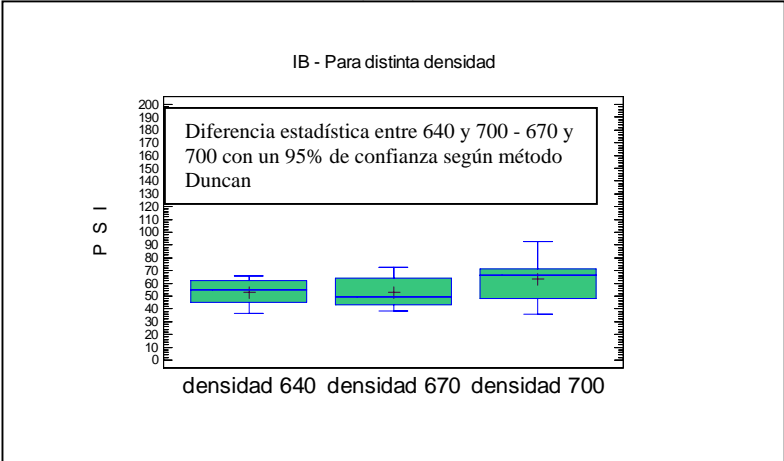


## **ANEXOS 6**

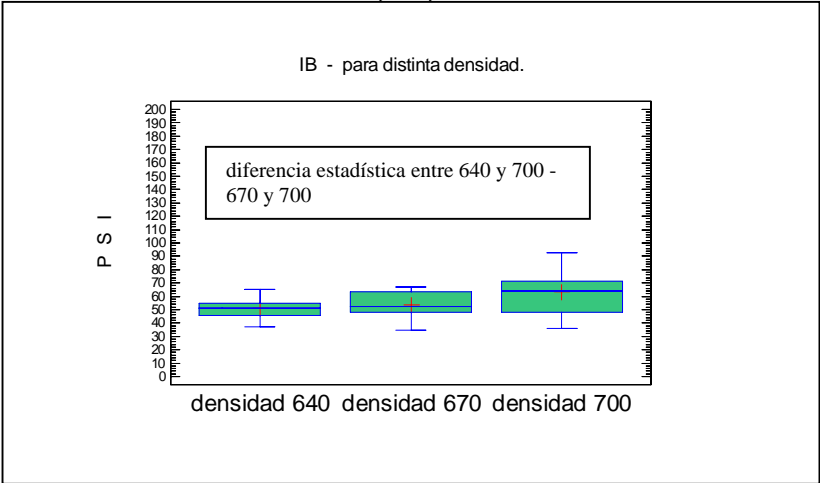
### **Gráficos de ensayos complementarios**

**ENSAYO DE TRACCIÓN (IB). DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA .**

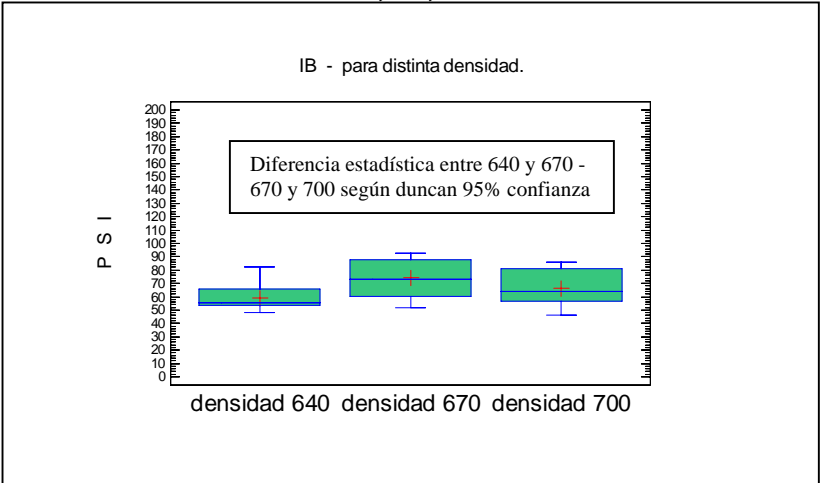
**A1,B1,C1.**



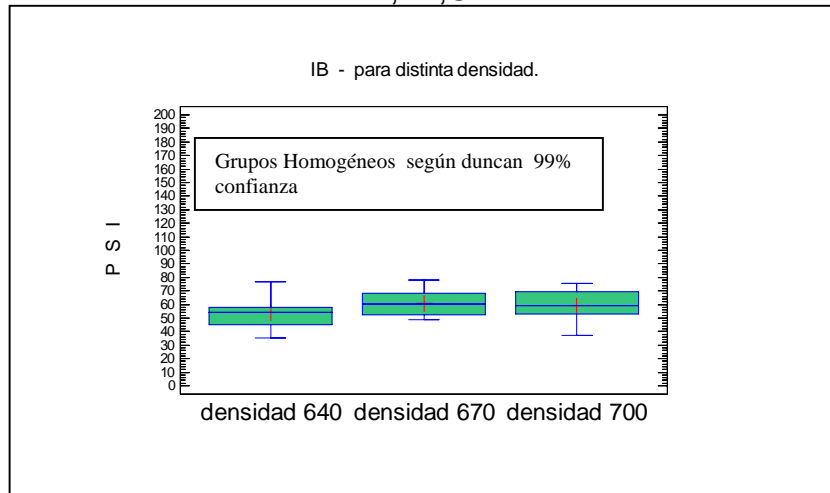
**A2,B2,C2.**



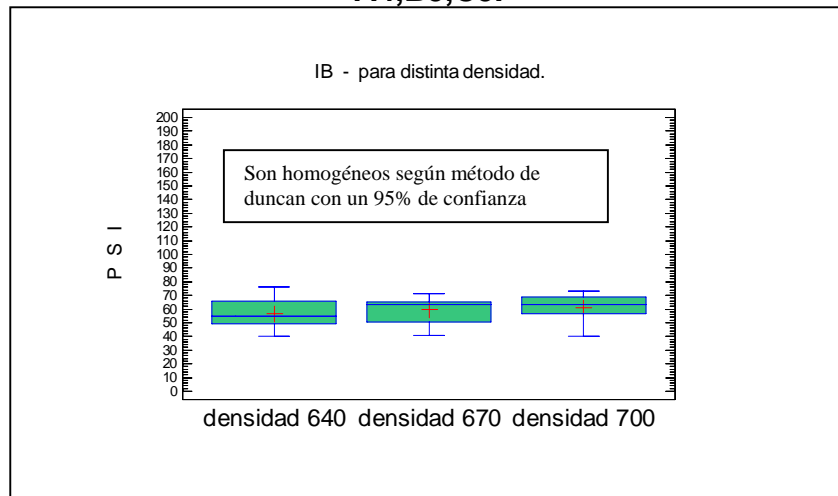
**A3,B3,C3.**



### A4,B4,C4.

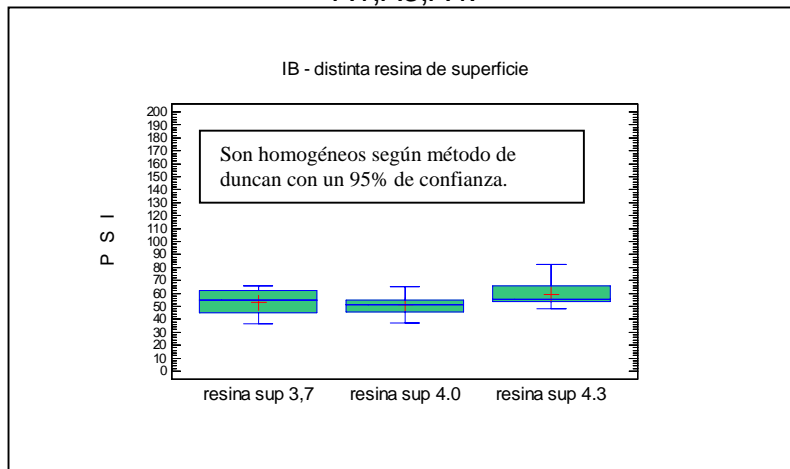


### A4,B5,C5.



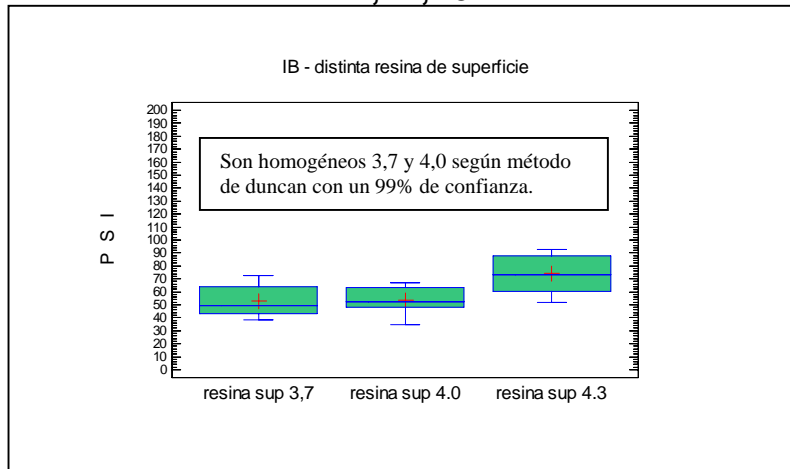
### IGUAL DENSIDAD DISTINTO % DE RESINA DE SUPERFICIE.

### A1,A3,A4.

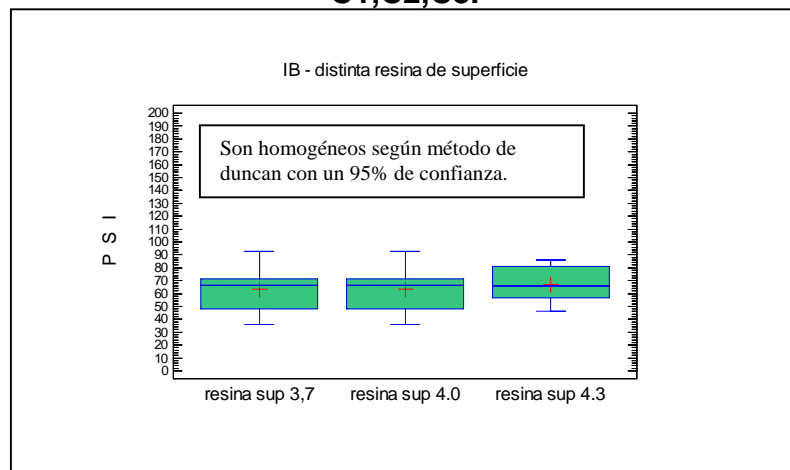




### B1,B2,B3.

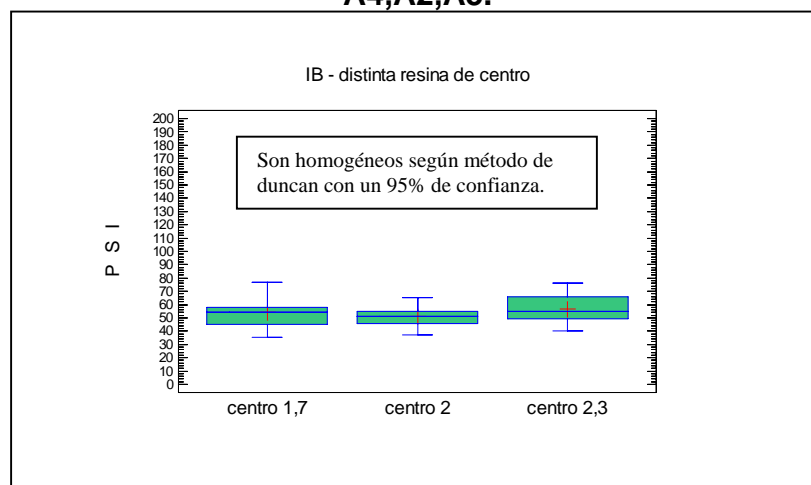


### C1,C2,C3.

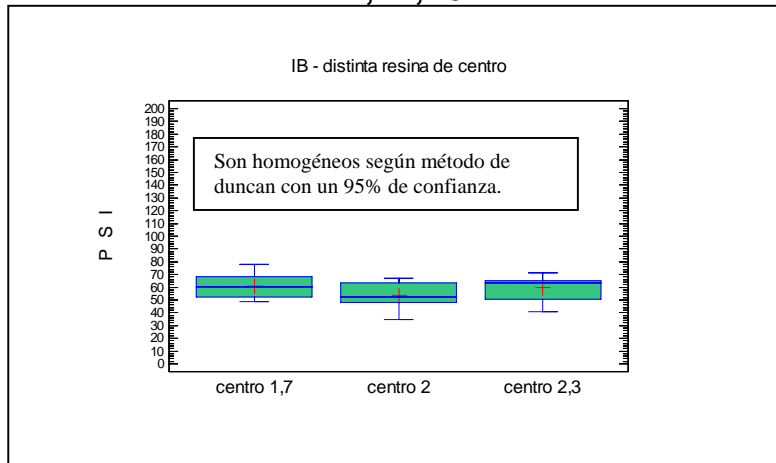


IGUAL DENSIDAD DISTINTO % DE RESINA DE CENTRO.

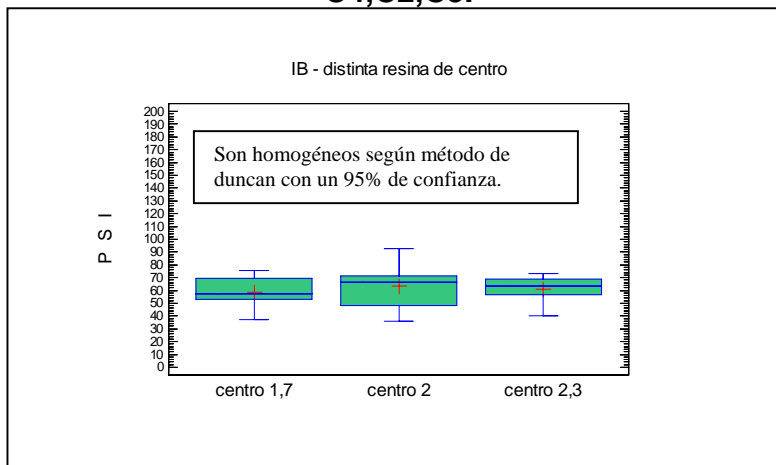
### A4,A2,A5.



### B4,B2,B5.

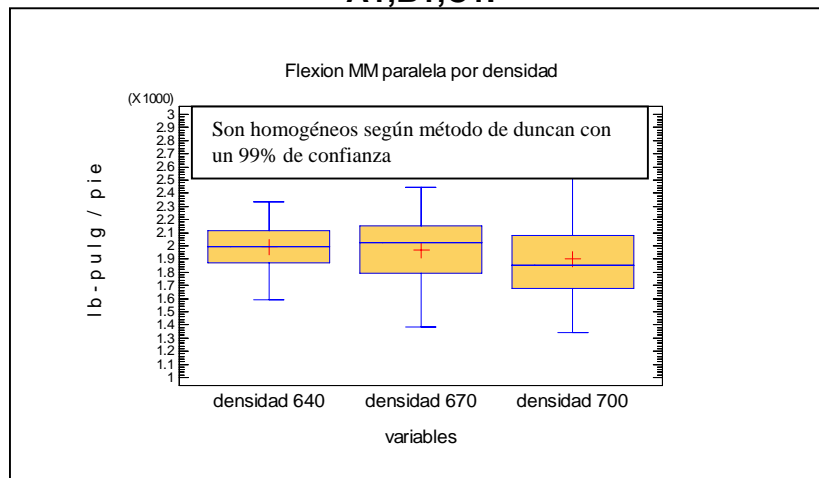


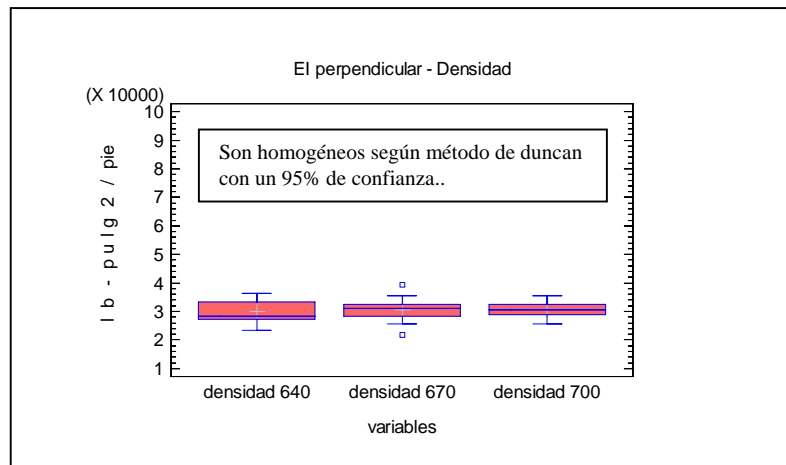
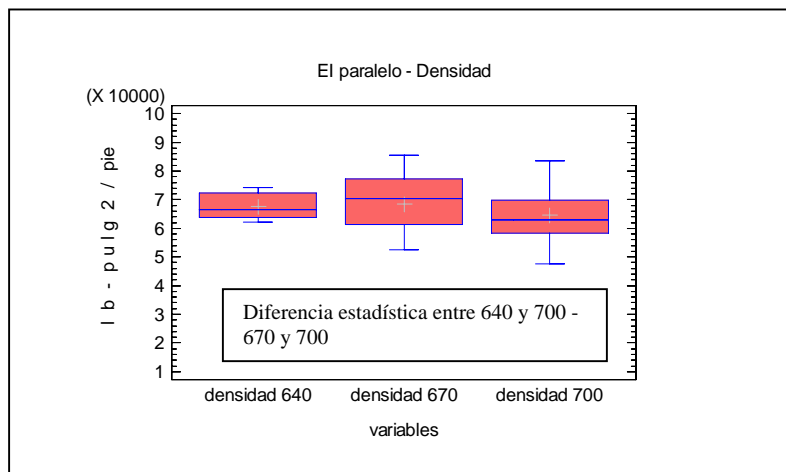
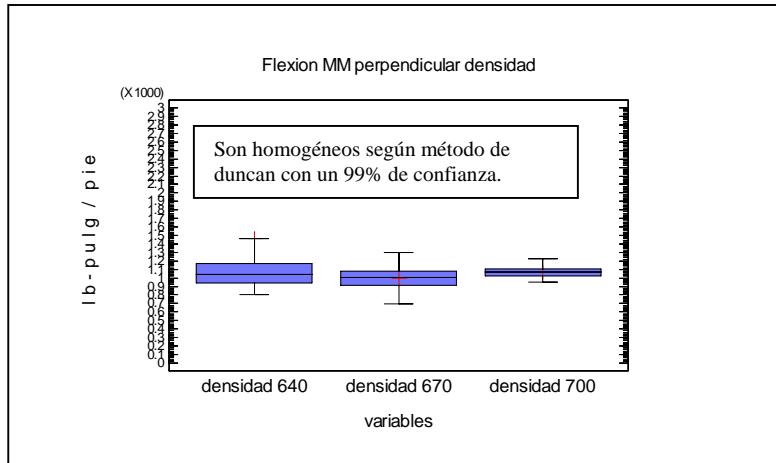
### C4,C2,C5.



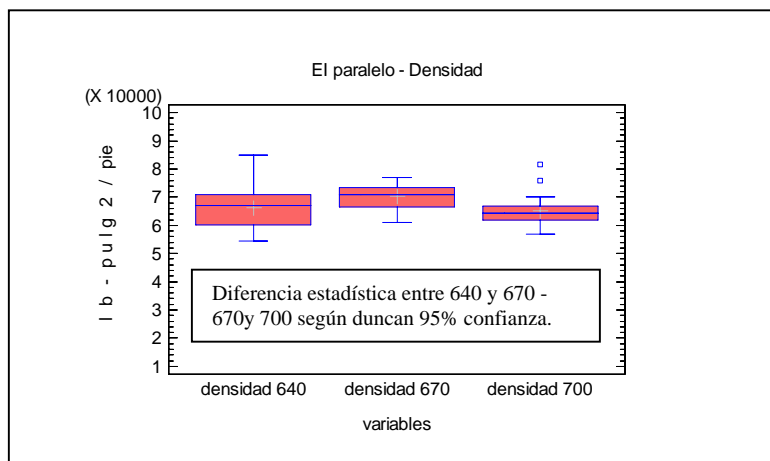
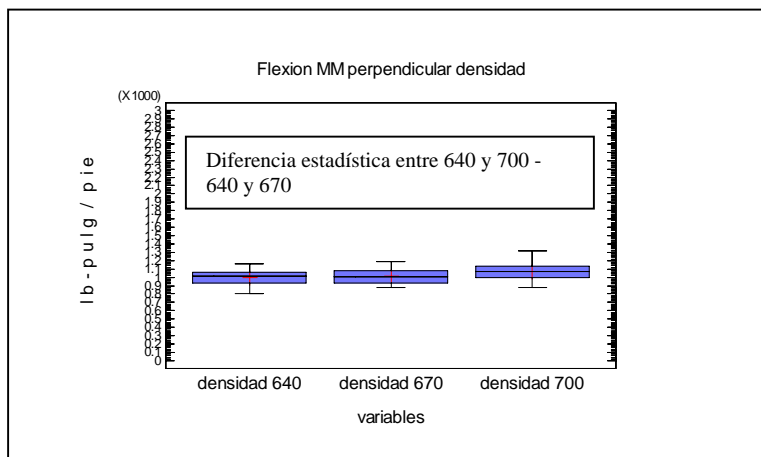
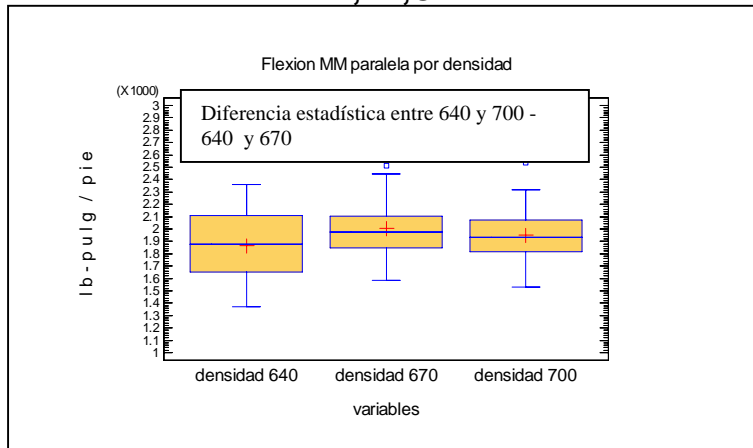
## ENSAYO DE FLEXIÓN EI Y MM (PARALELO Y PERPENDICULAR) DISTINTA DENSIDAD IGUAL RESINA

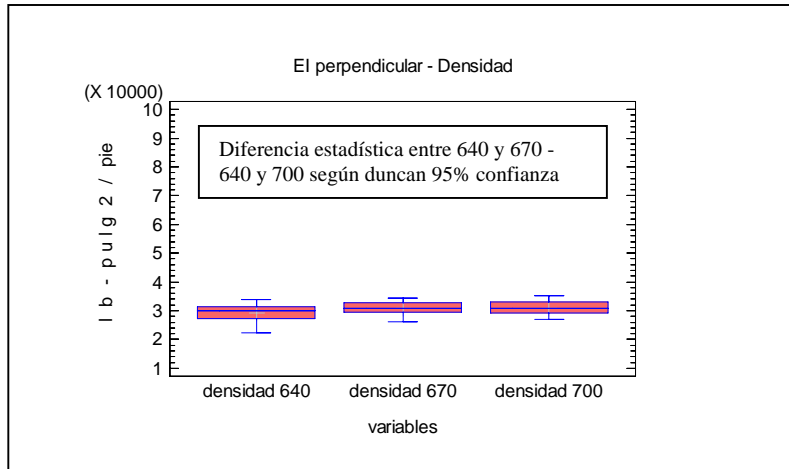
### A1,B1,C1.



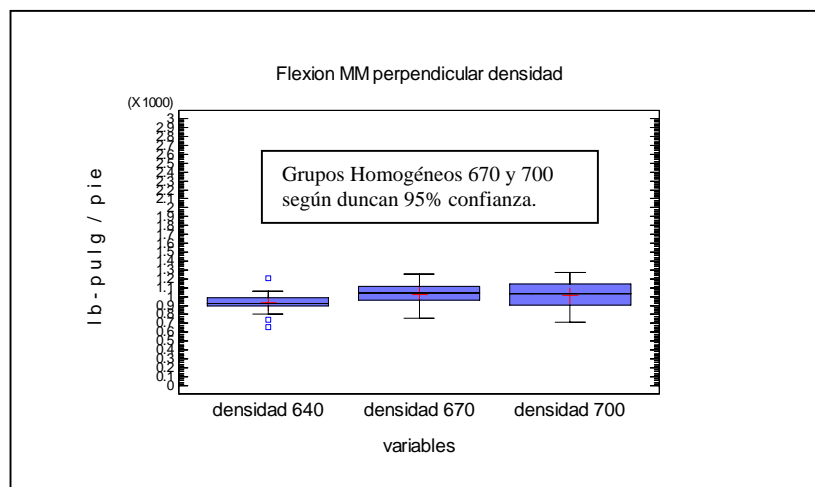
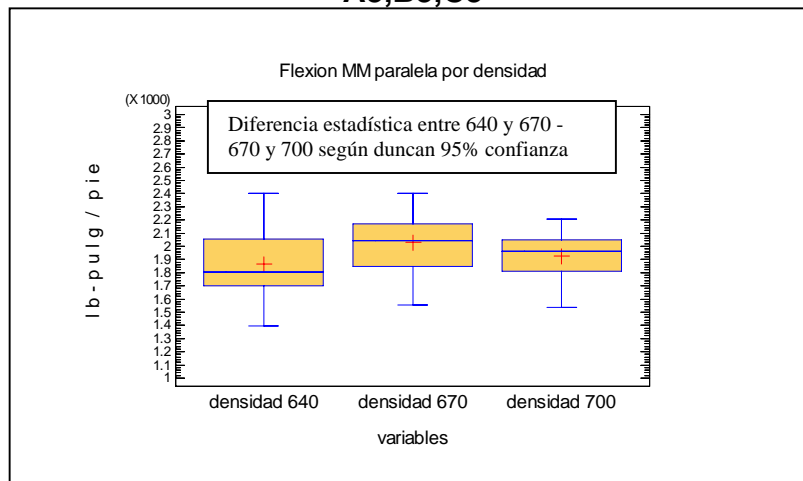


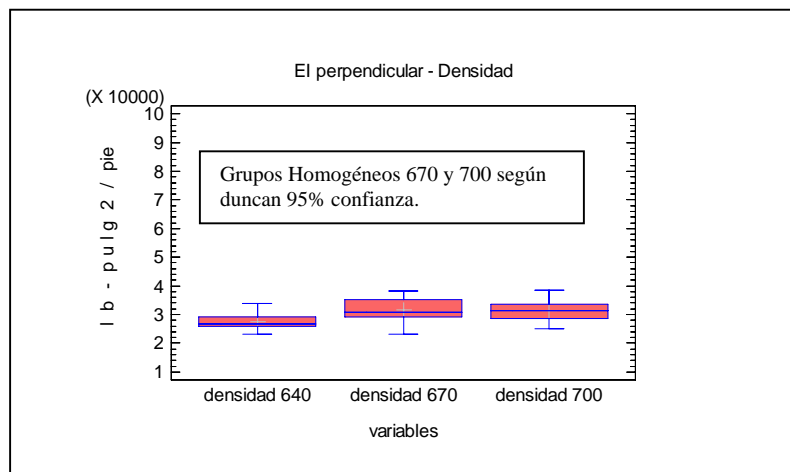
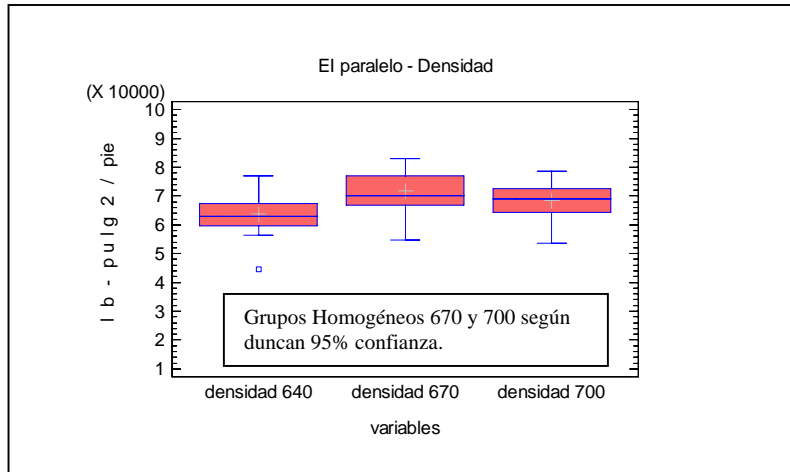
## A2,B2,C2.



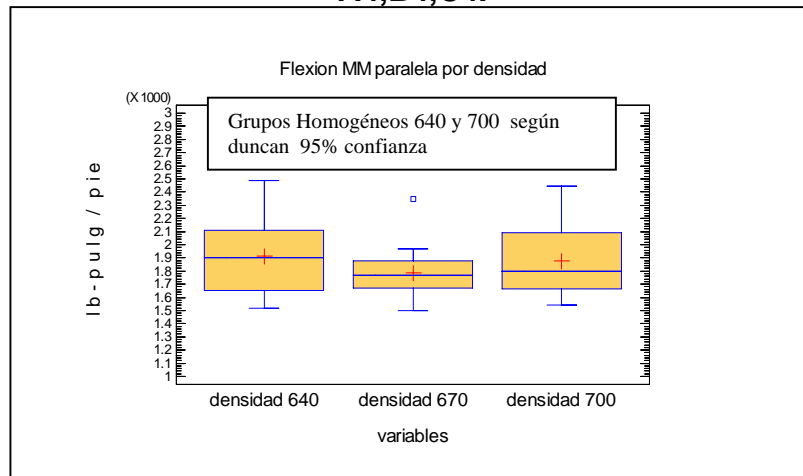


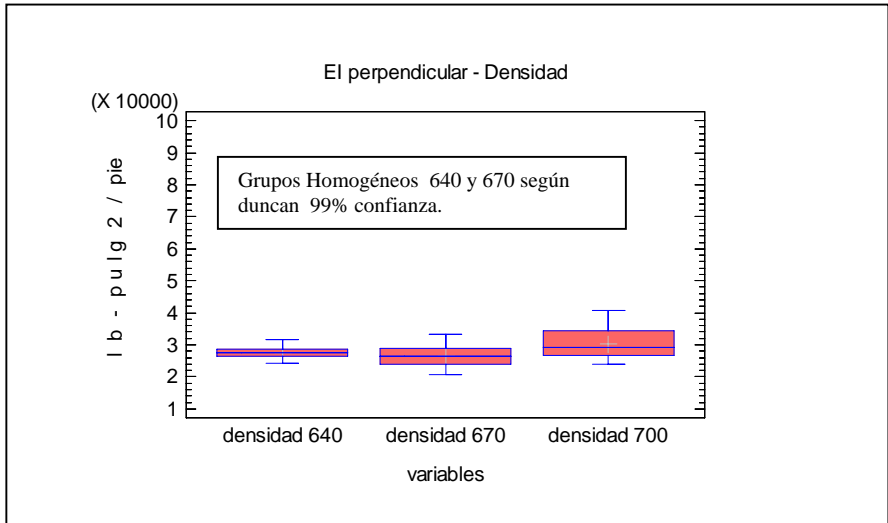
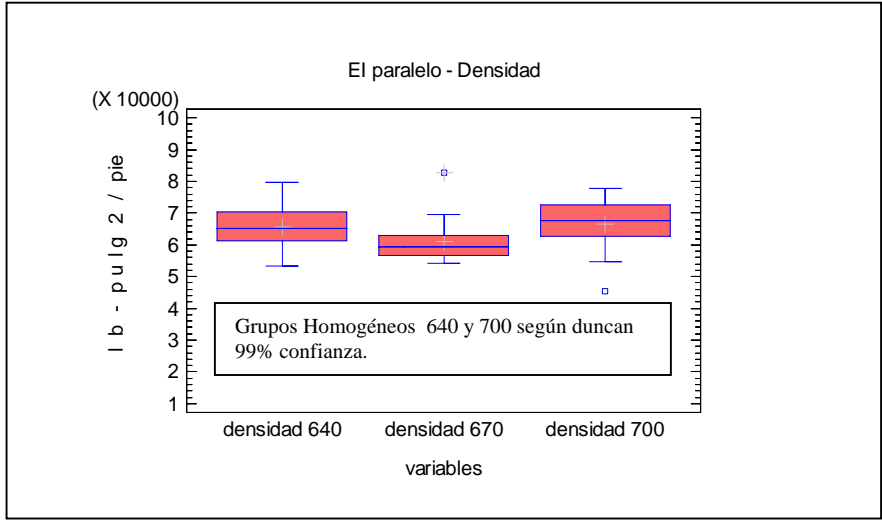
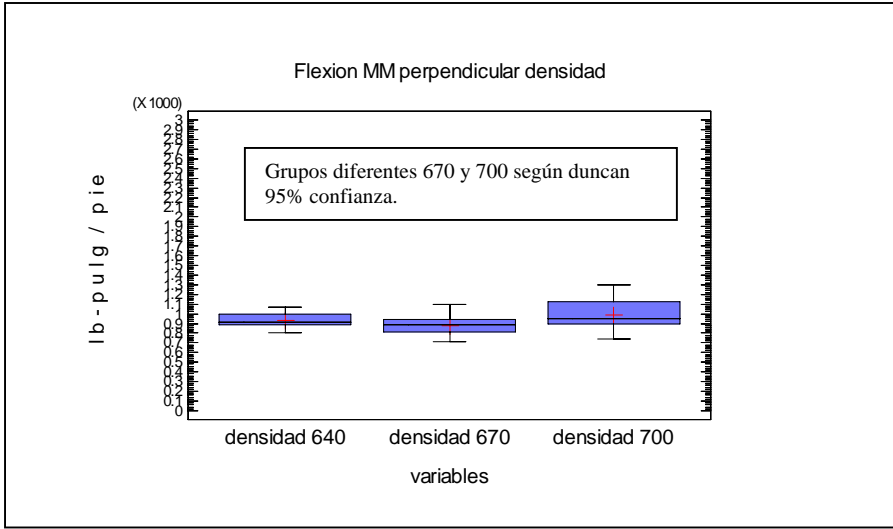
### A3,B3,C3



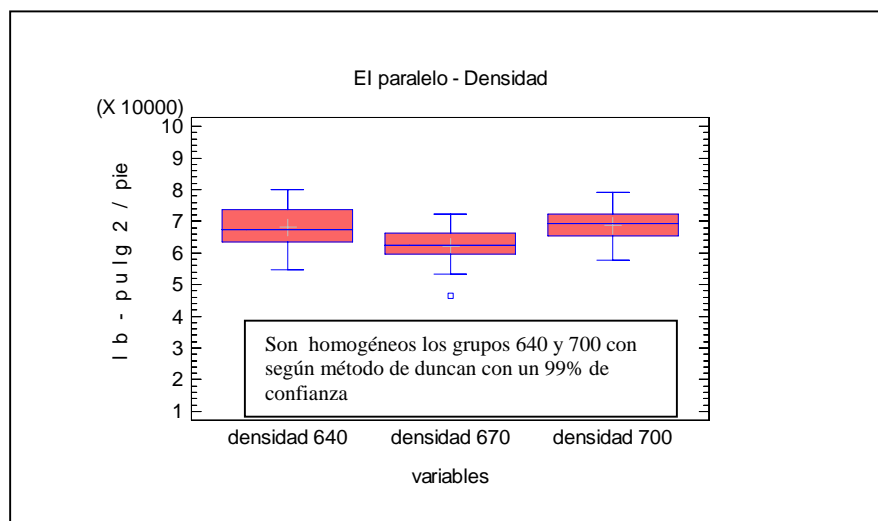
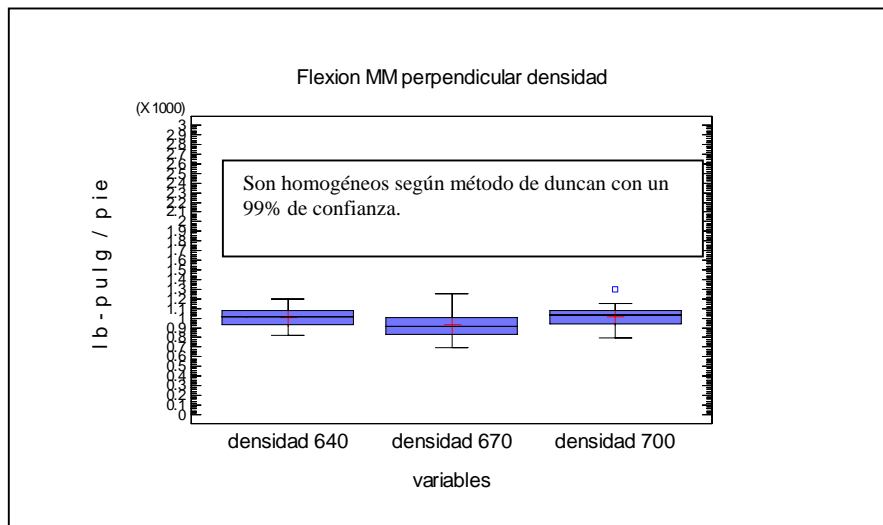
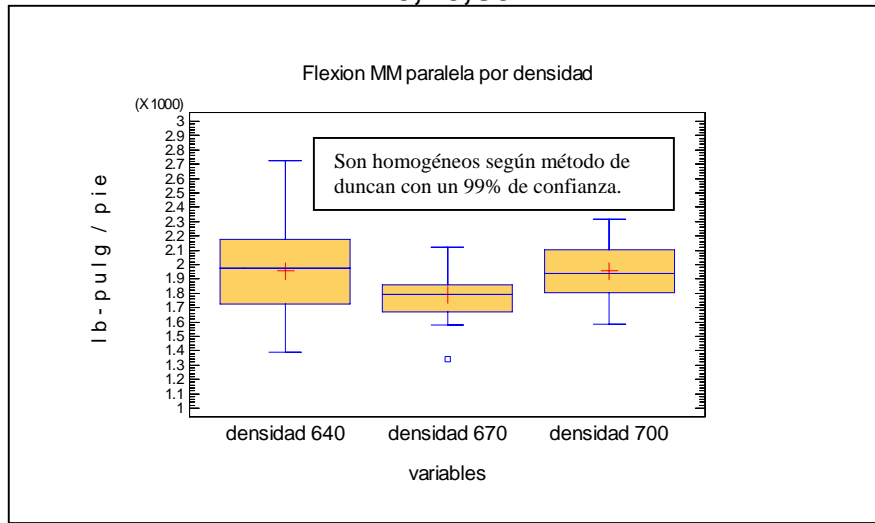


**A4,B4,C4.**

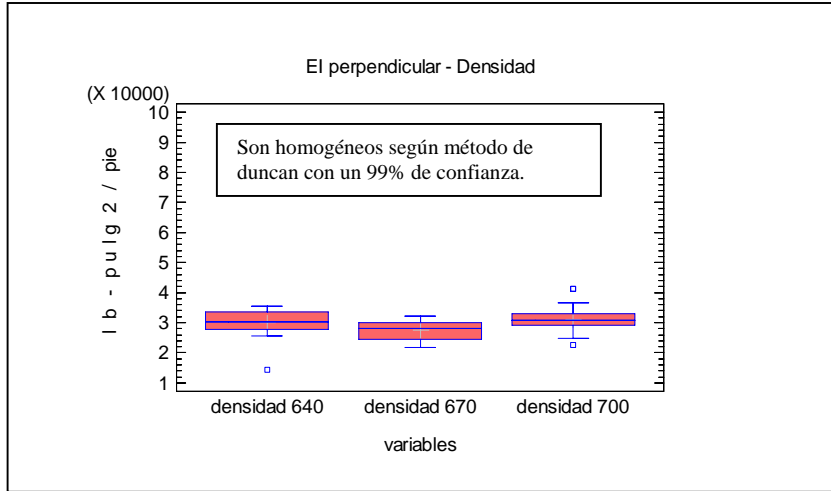




### A5,B5,C5.

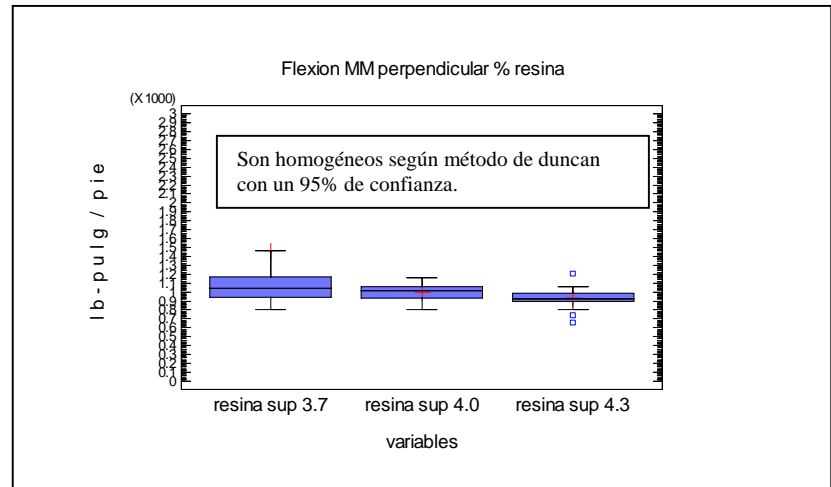
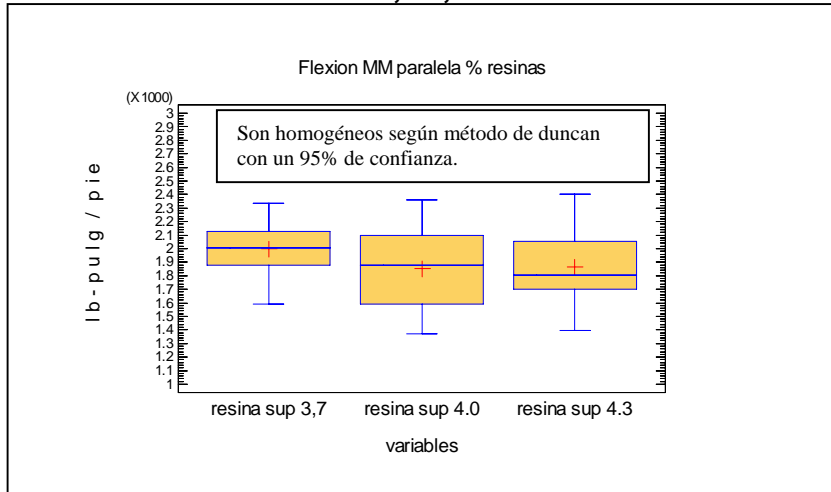


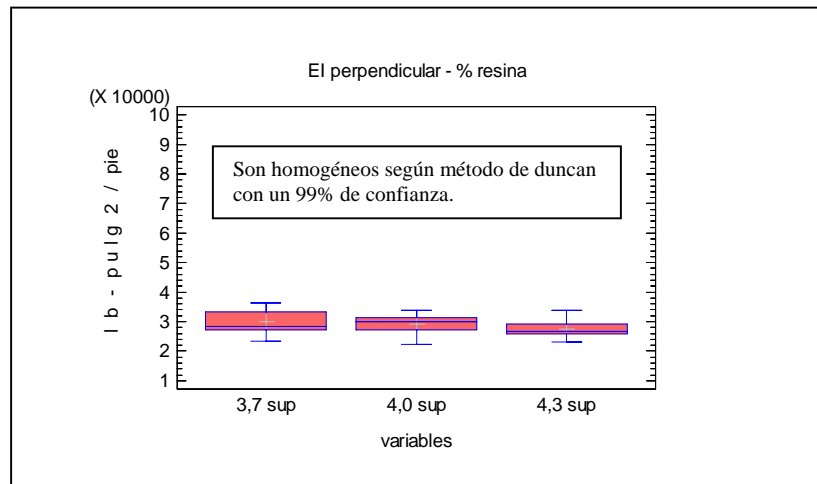
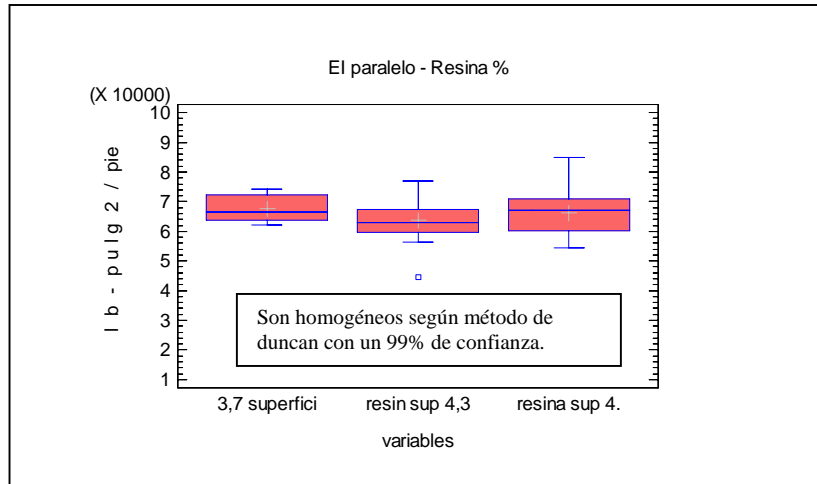




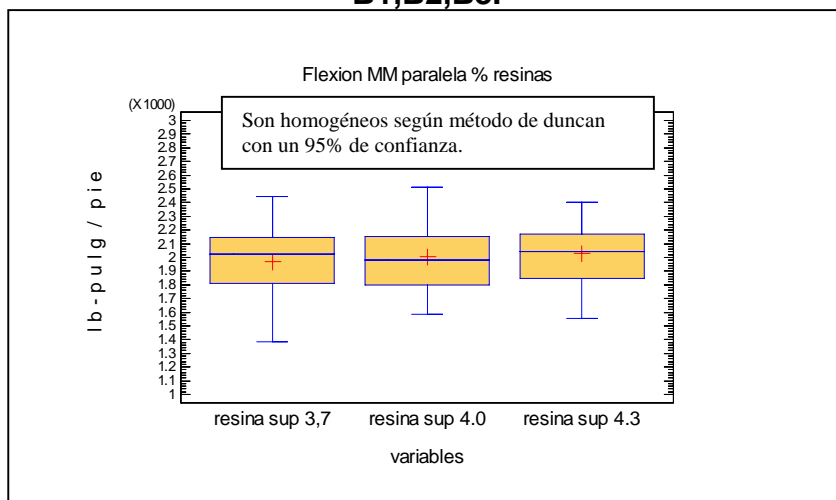
**IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA SUPERFICIE.**

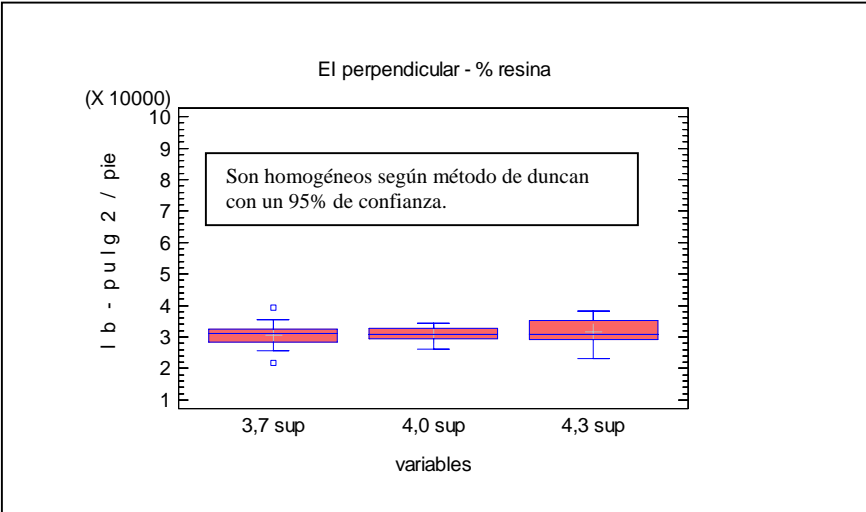
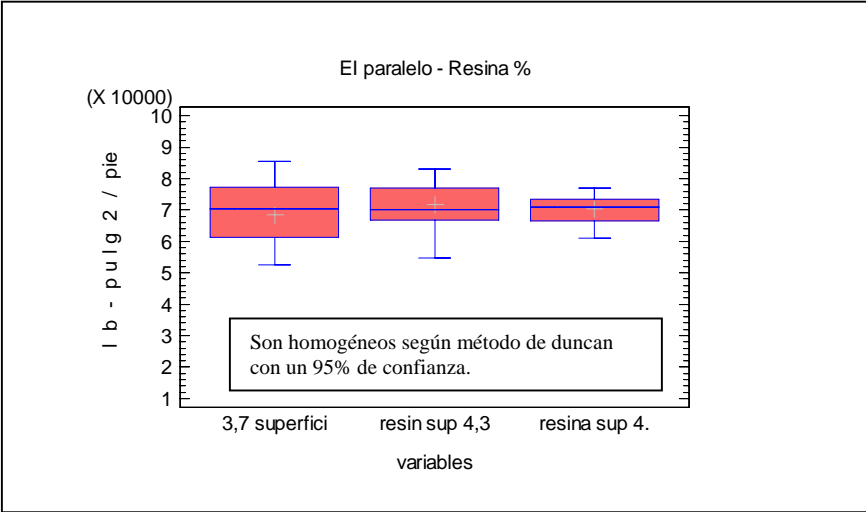
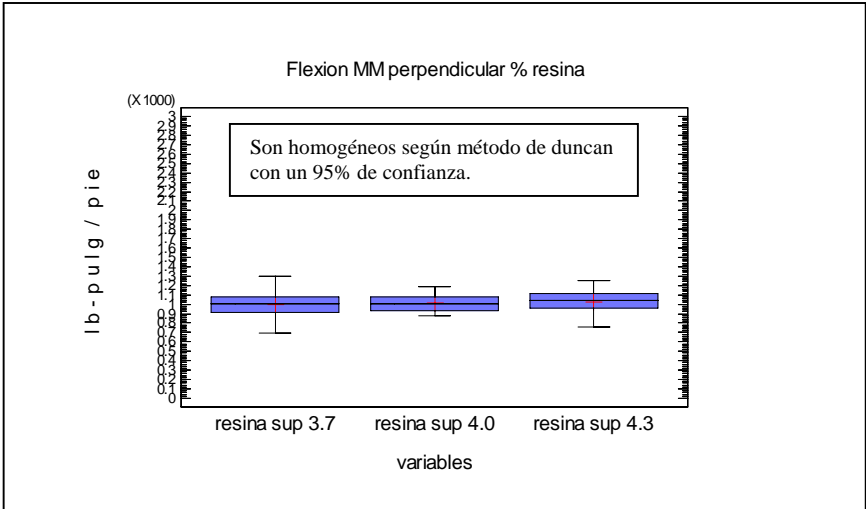
**A1,A2,A3**



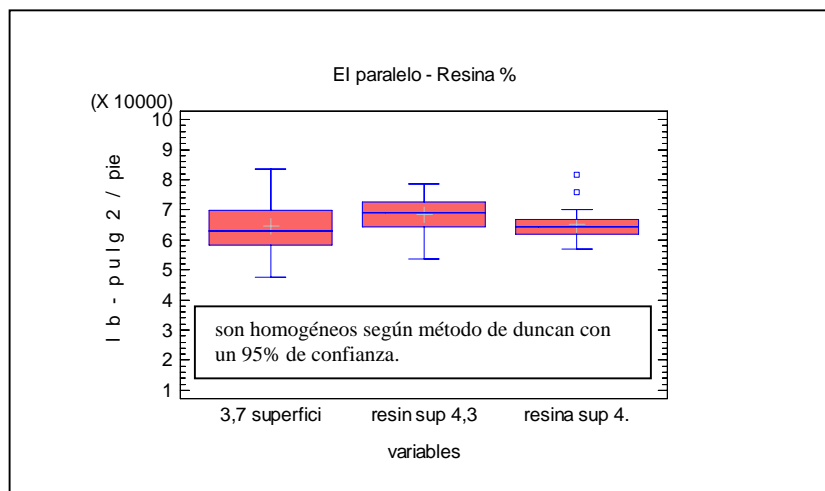
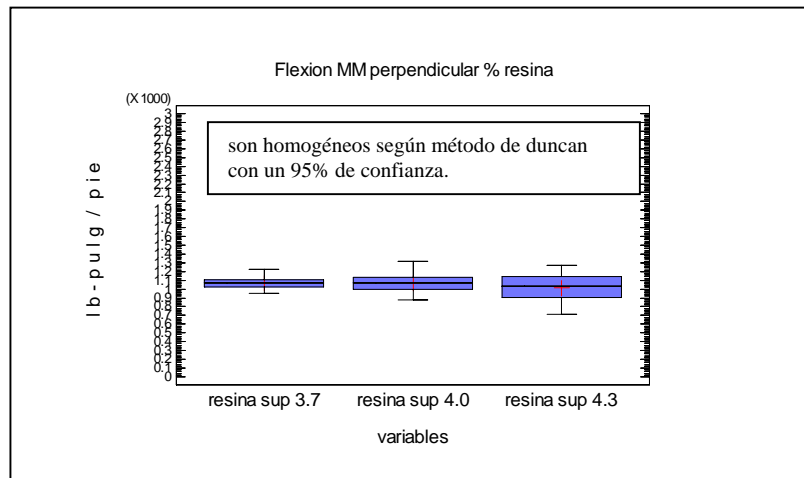
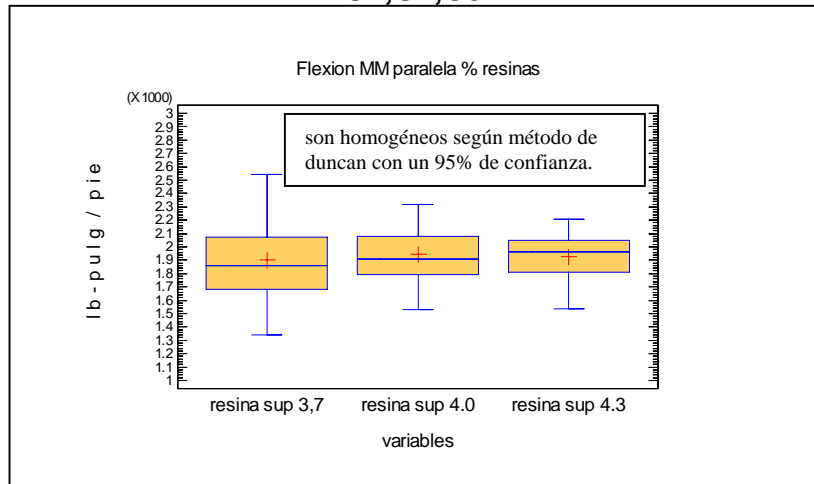


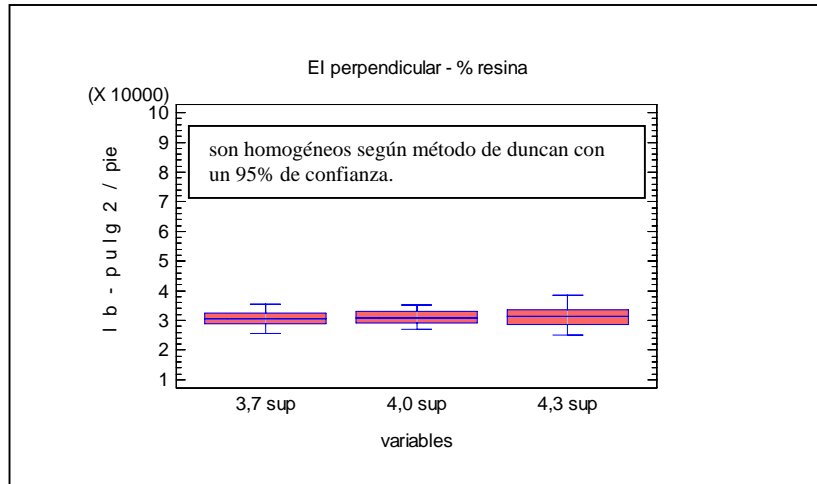
**B1,B2,B3.**





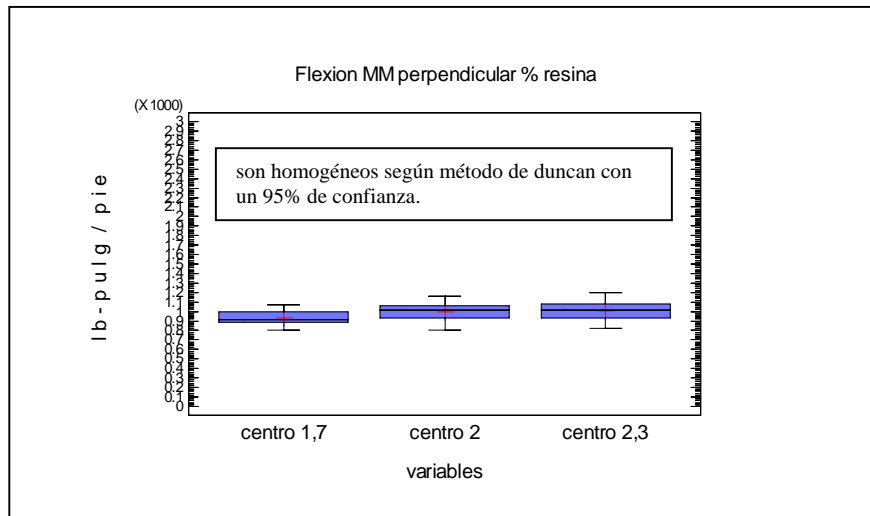
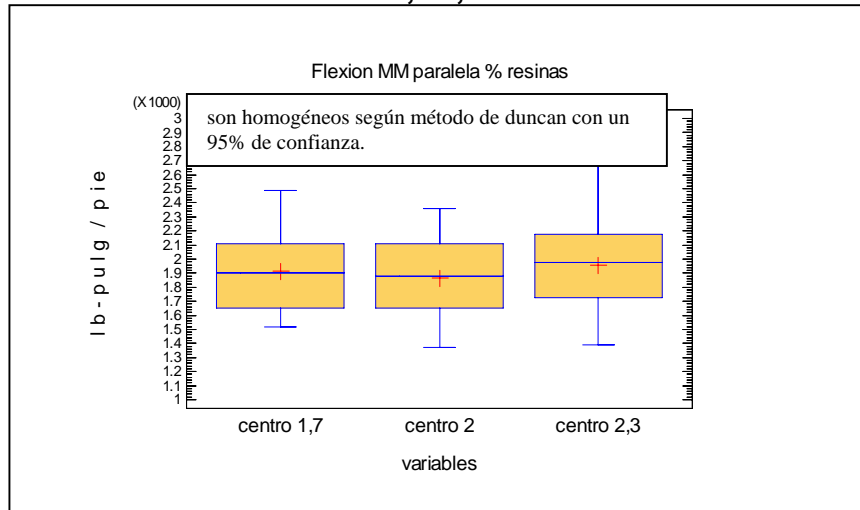
### C1,C2,C3.

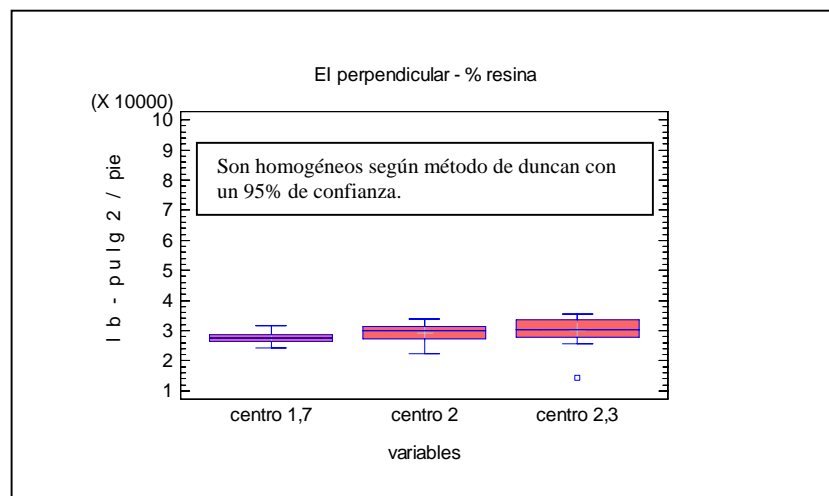
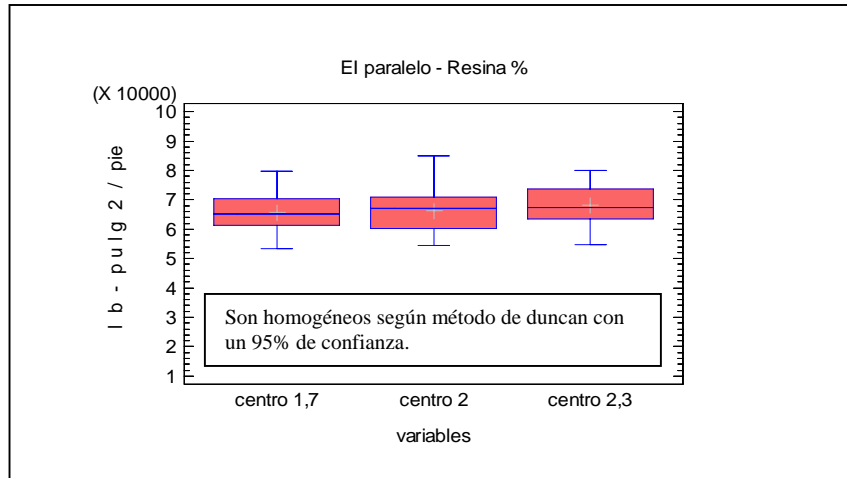




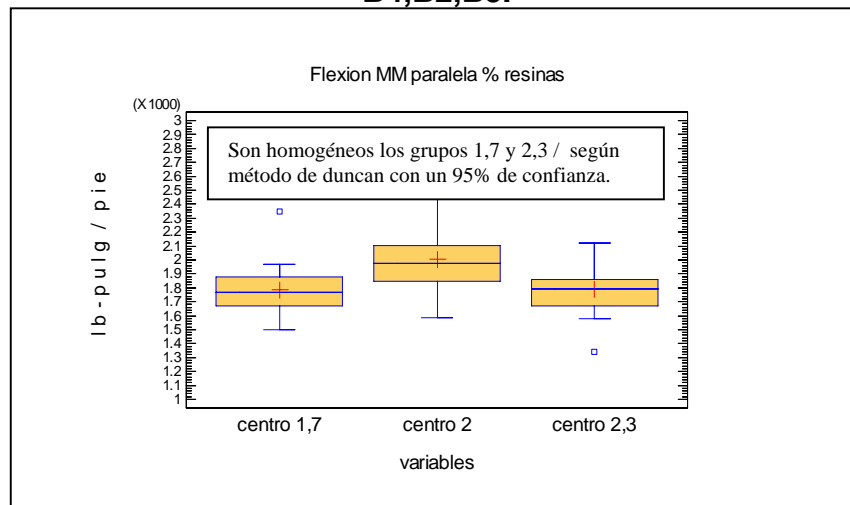
**IGUAL DENSIDAD DISTINTO % DE RESINA CENTRO.**

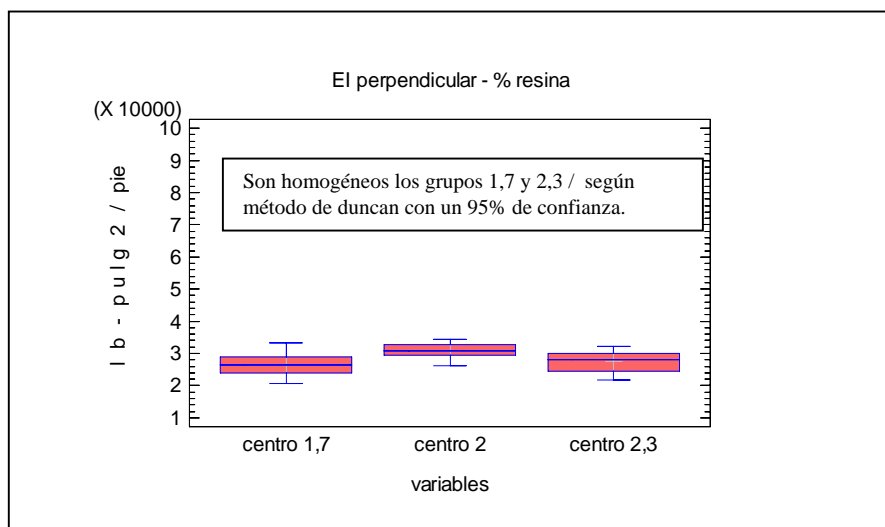
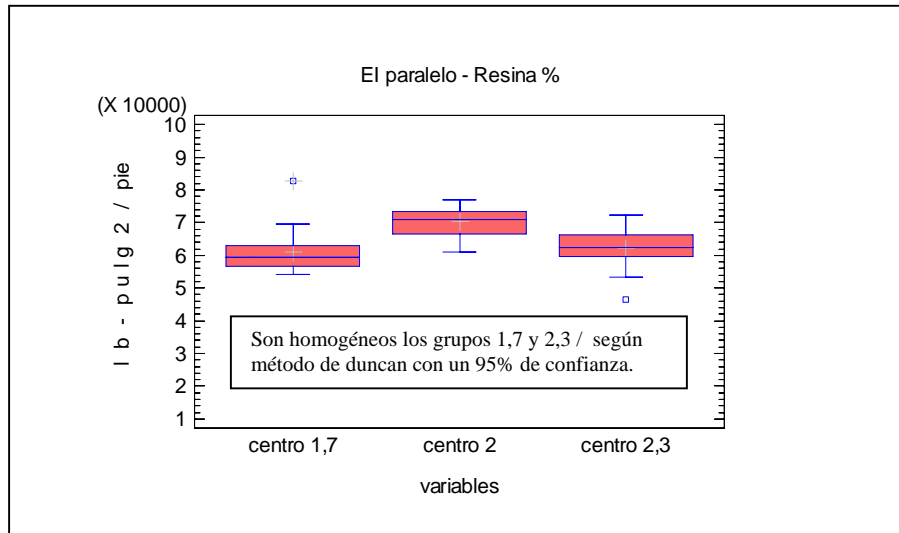
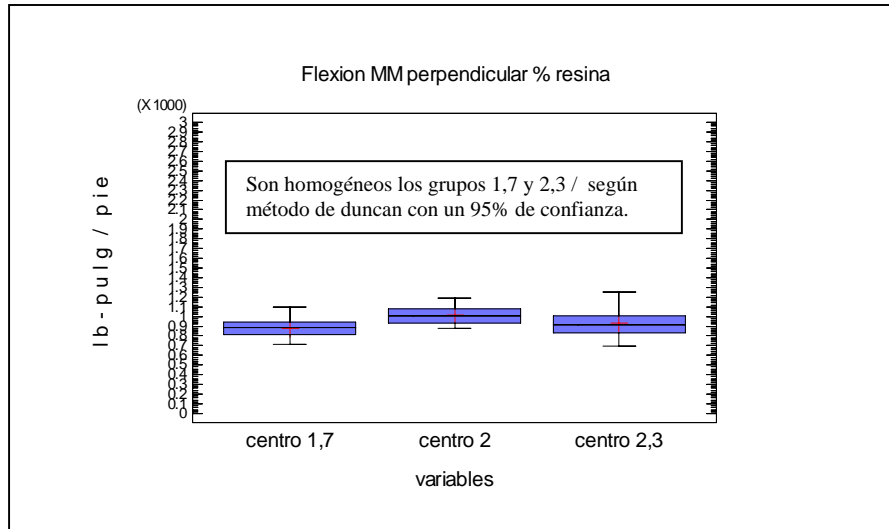
**A4,A2,A5.**



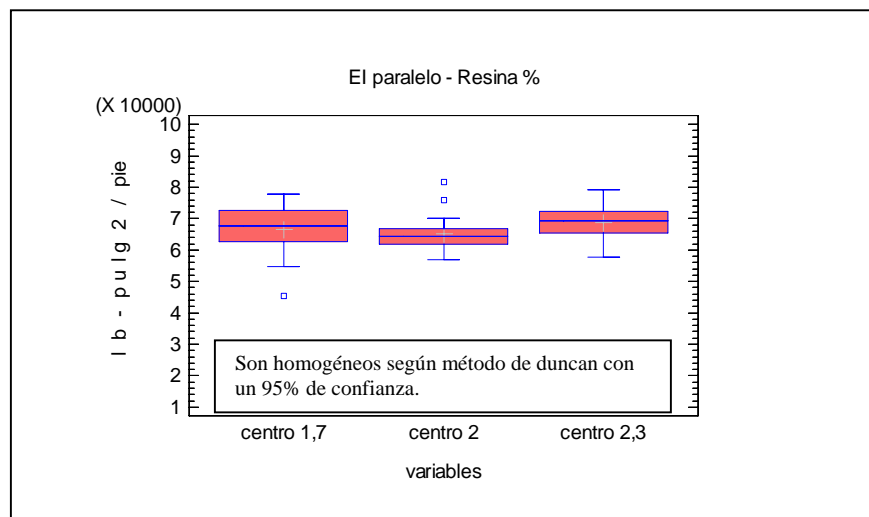
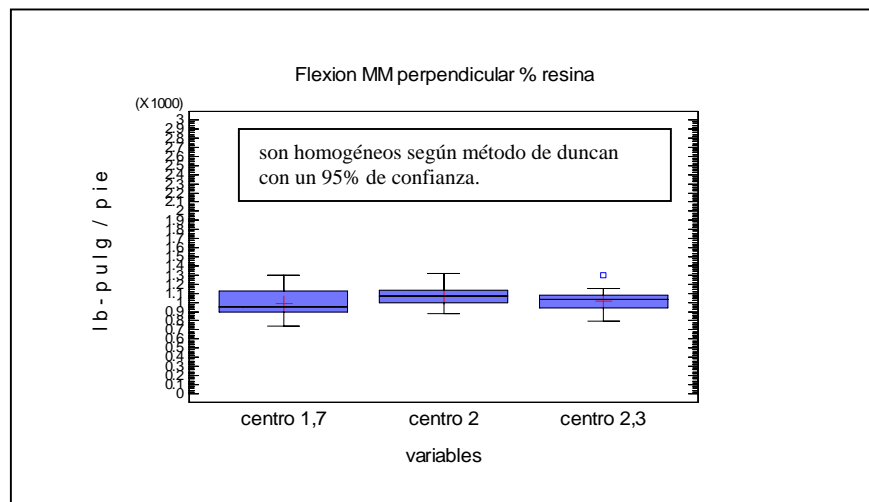
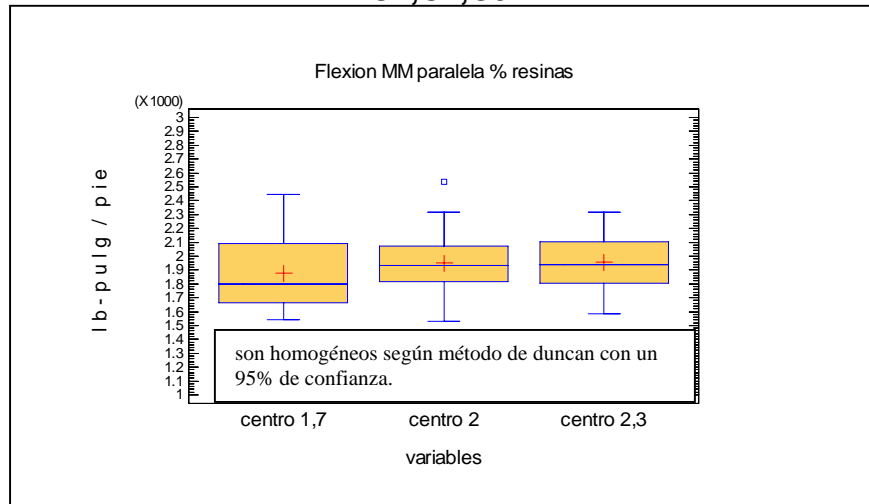


**B4,B2,B5.**

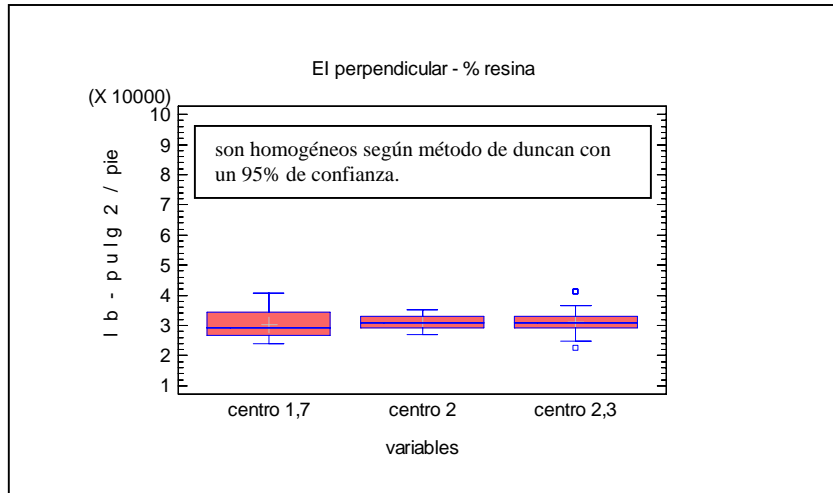




### C4,C2,C5.

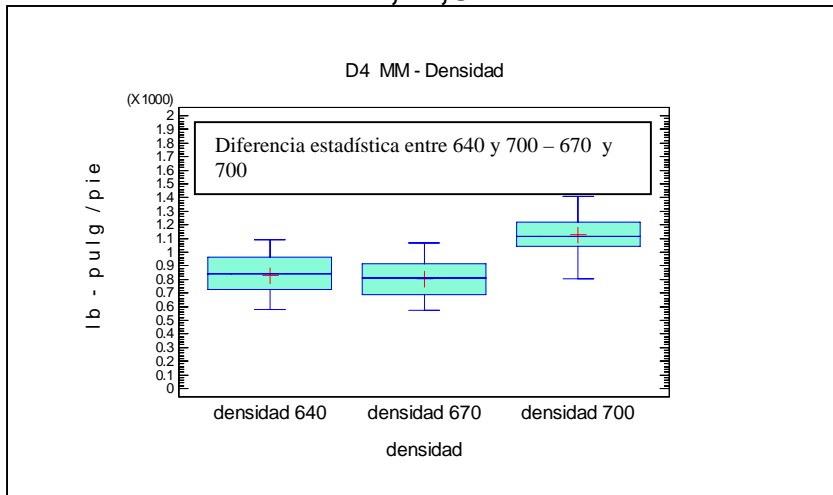




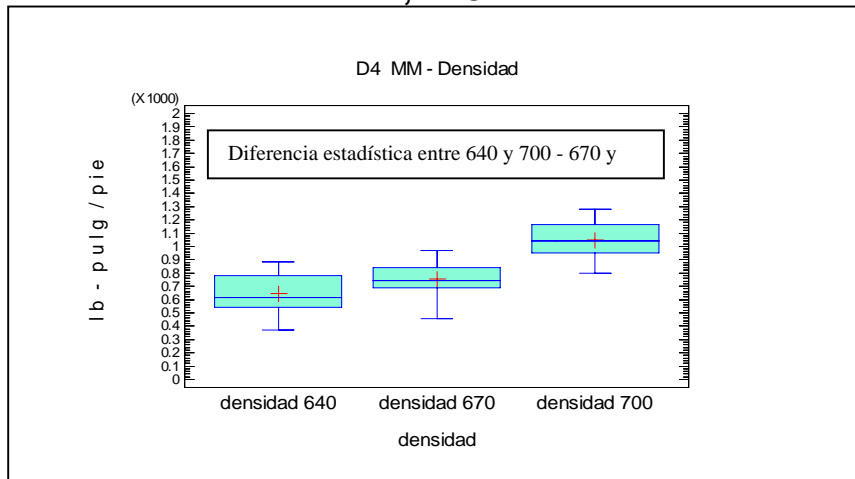


**ENSAYO MM D-4.**  
**DISTINTA DENSIDAD IGUAL % DE RESINA.**

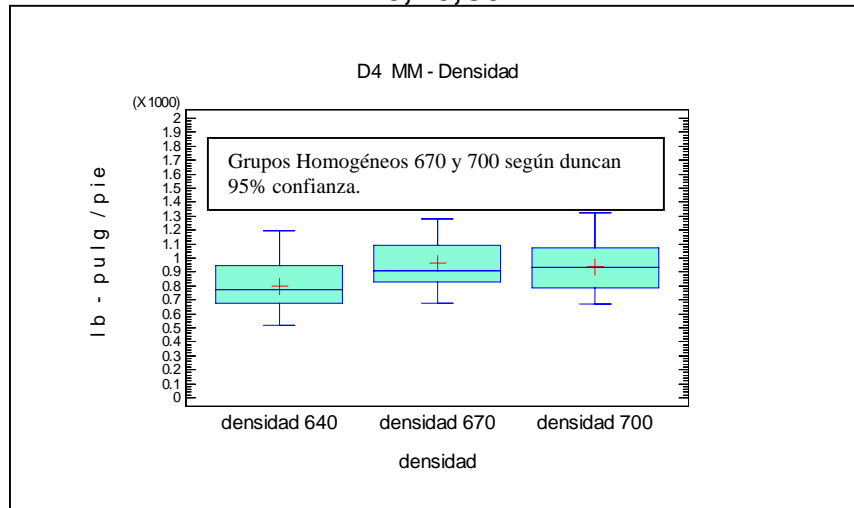
**A1,B1,C1.**



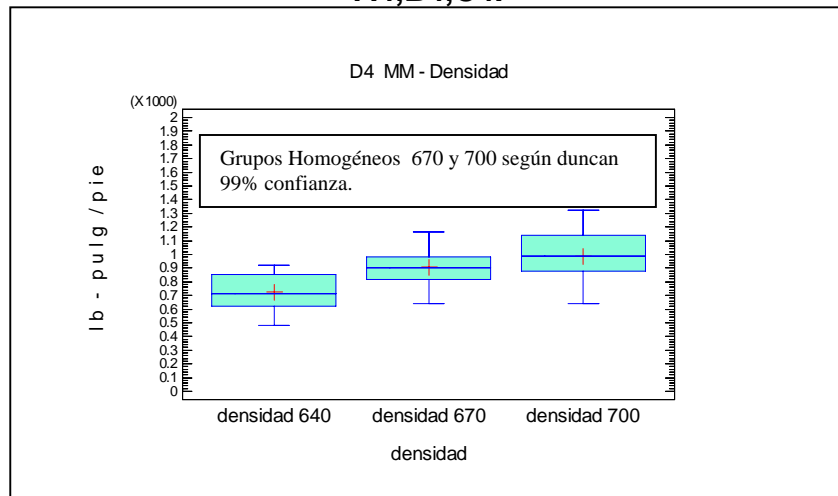
**A2,B2.C2.**



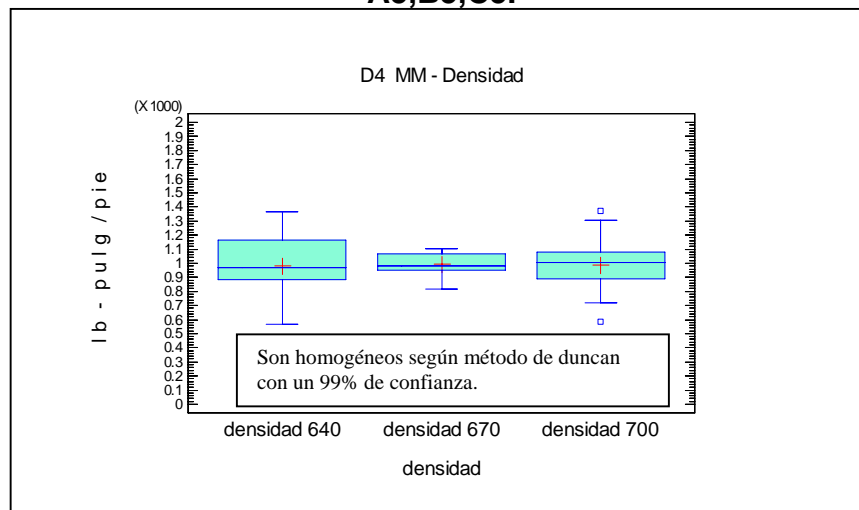
### A3,B3,C3.



### A4,B4,C4.

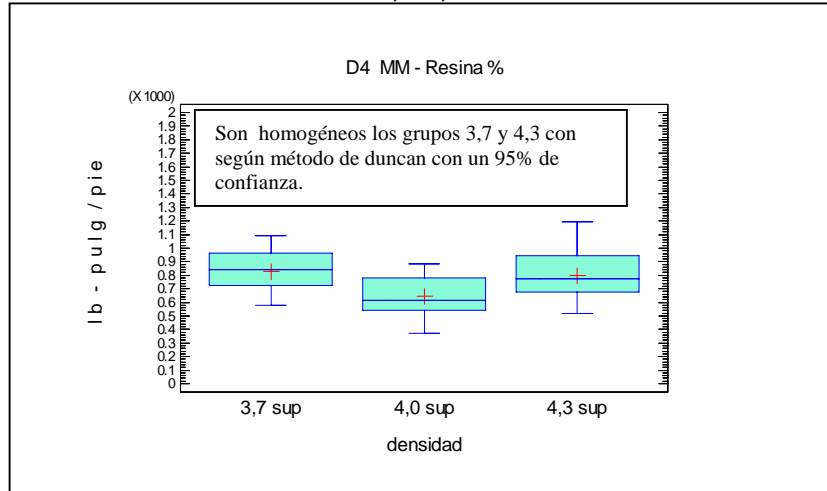


### A5,B5,C5.

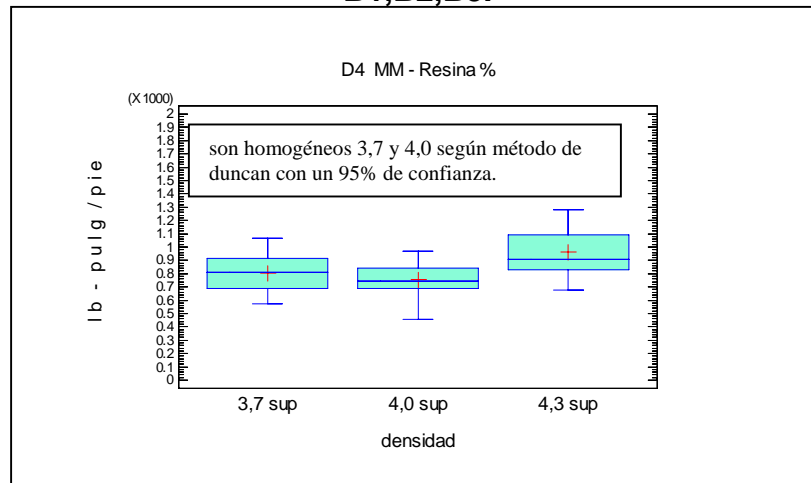


# IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA SUPERFICIE.

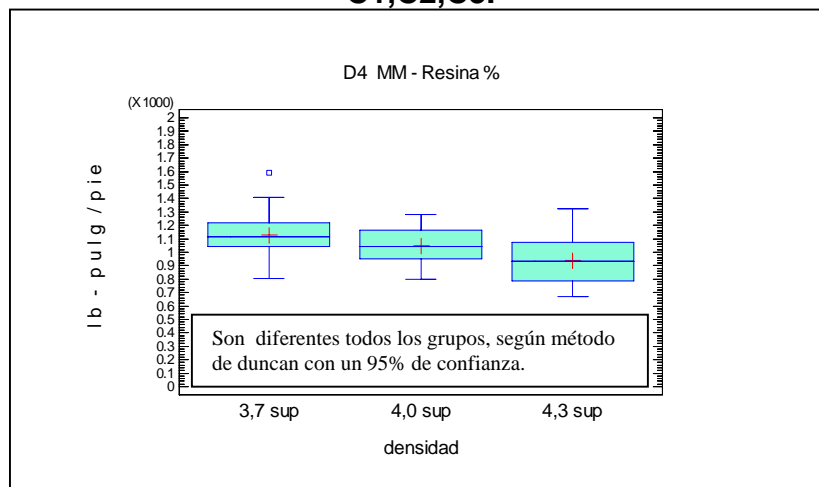
## A1,A2,A3.



## B1,B2,B3.

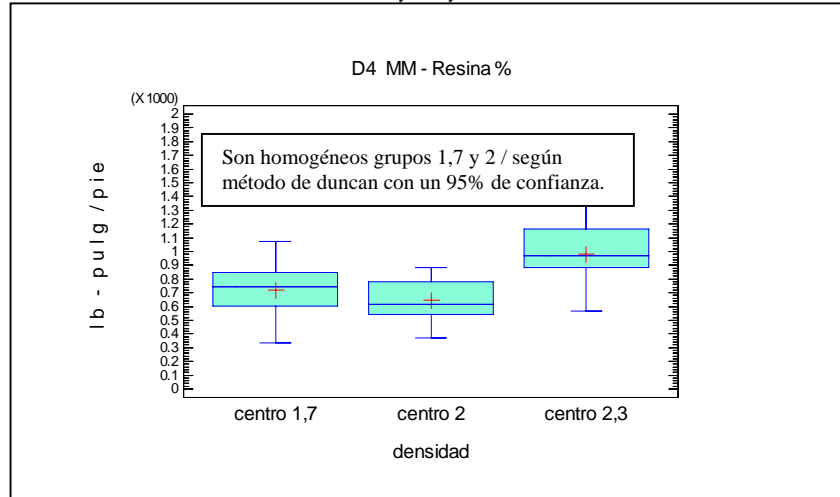


## C1,C2,C3.

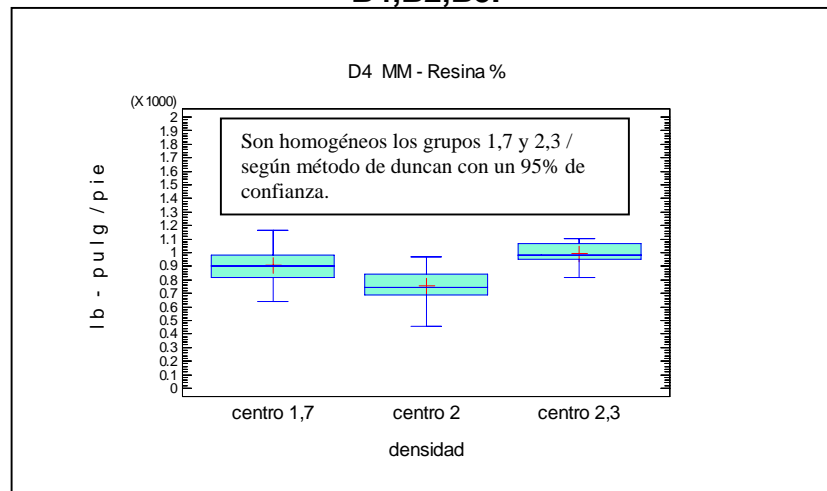


# IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA CENTRO.

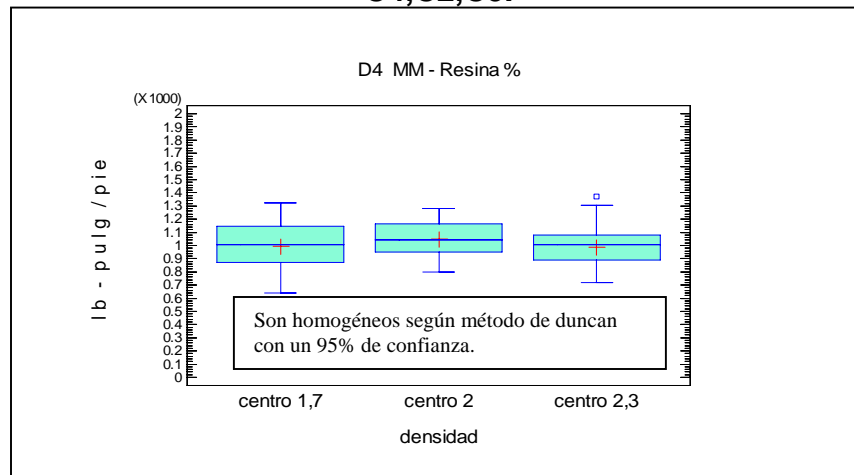
## A4,A2,A5.



## B4,B2,B5.

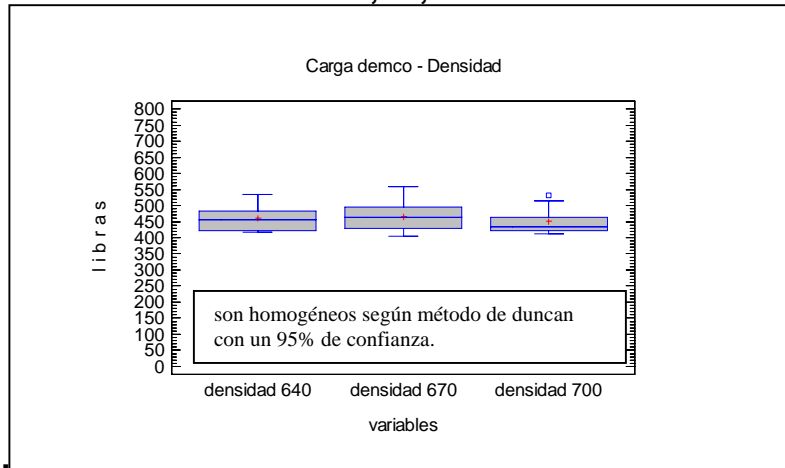


## C4,C2,C5.

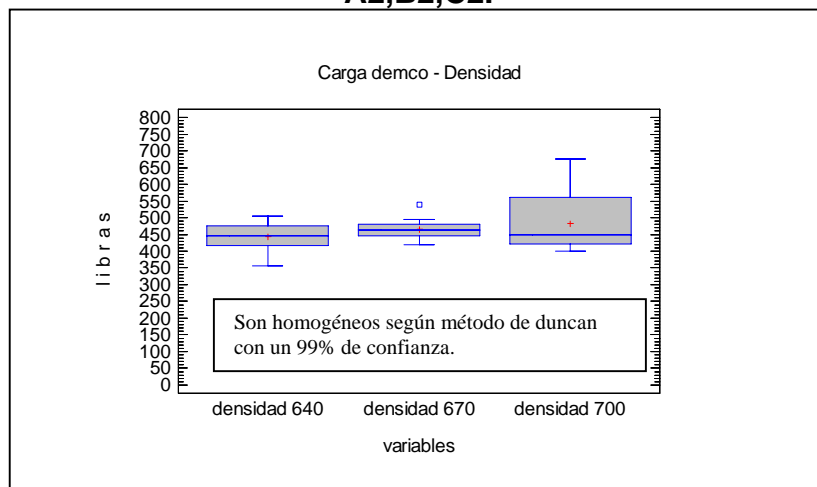


# ENSAYO CARGA DEMCO. DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA.

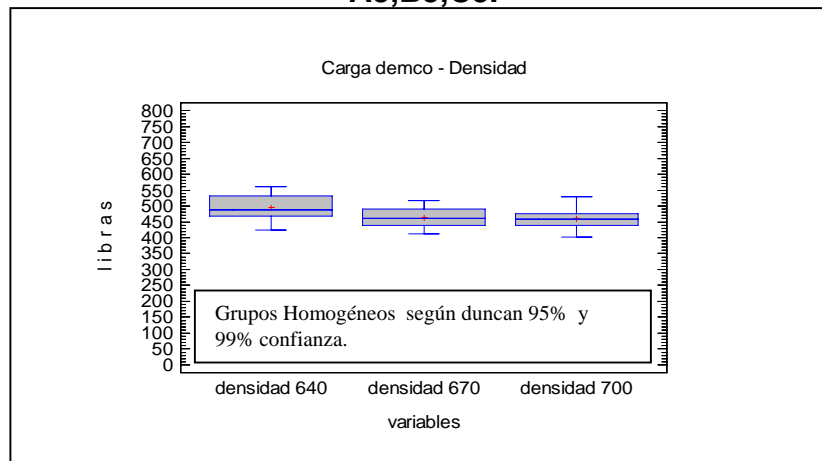
## A1,B1,C1



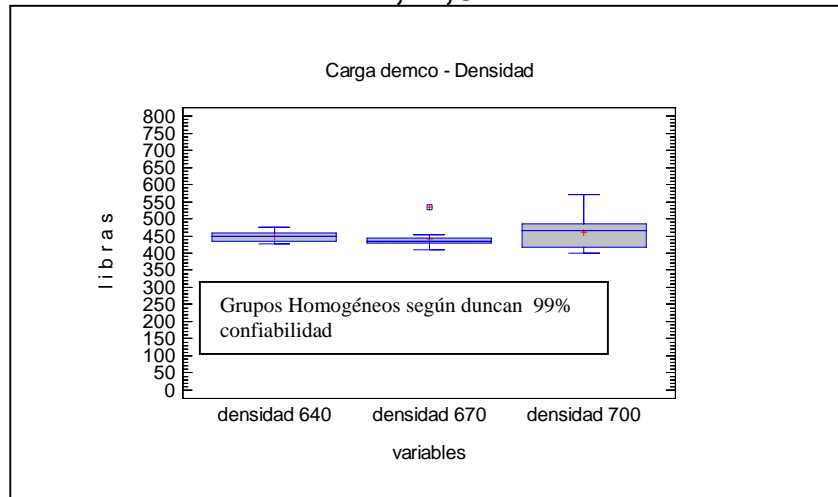
## A2,B2,C2.



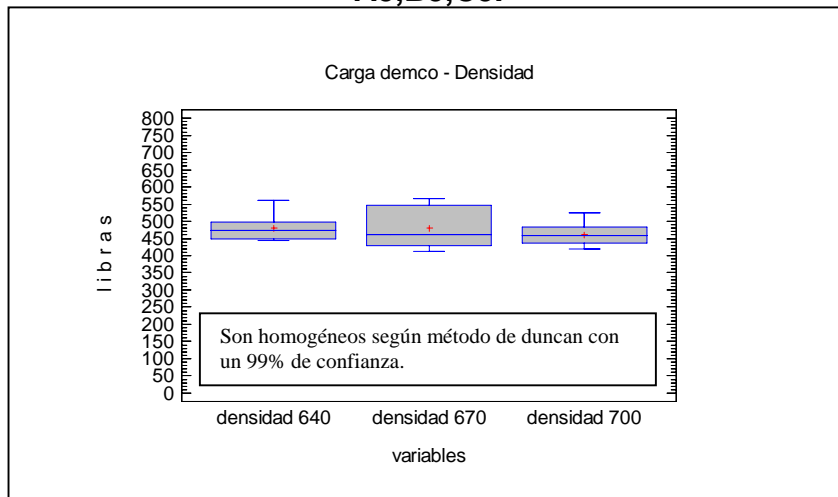
## A3,B3,C3.



### A4,B4,C4.

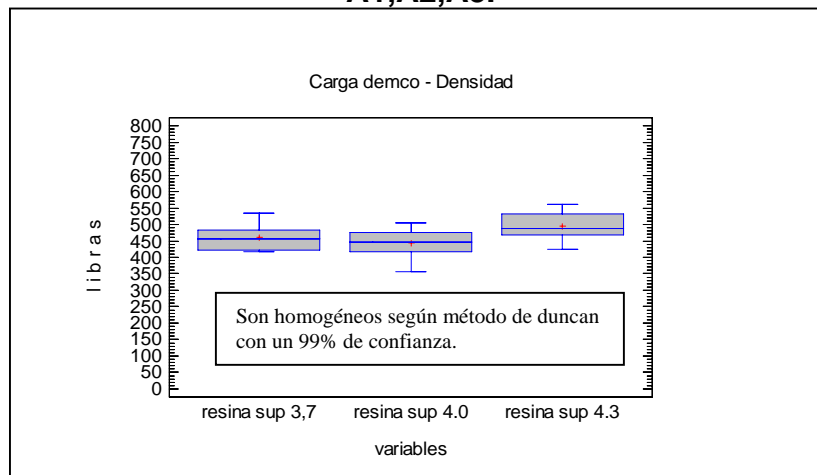


### A5,B5,C5.

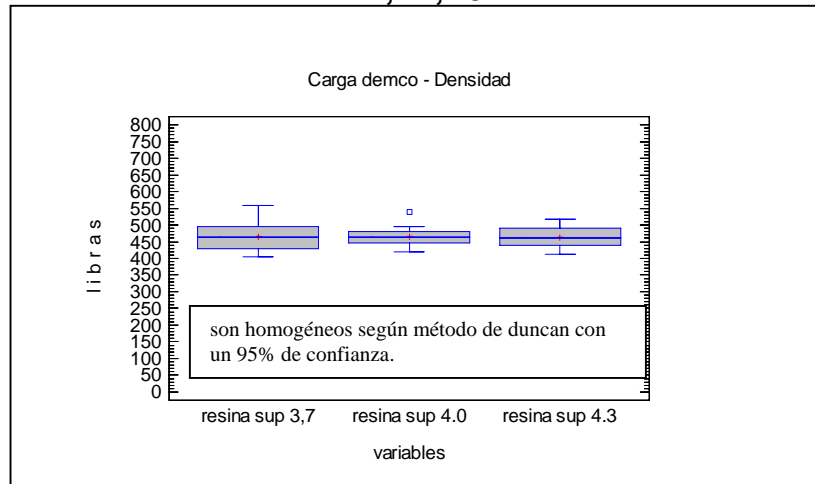


IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA SUPERFICIE.

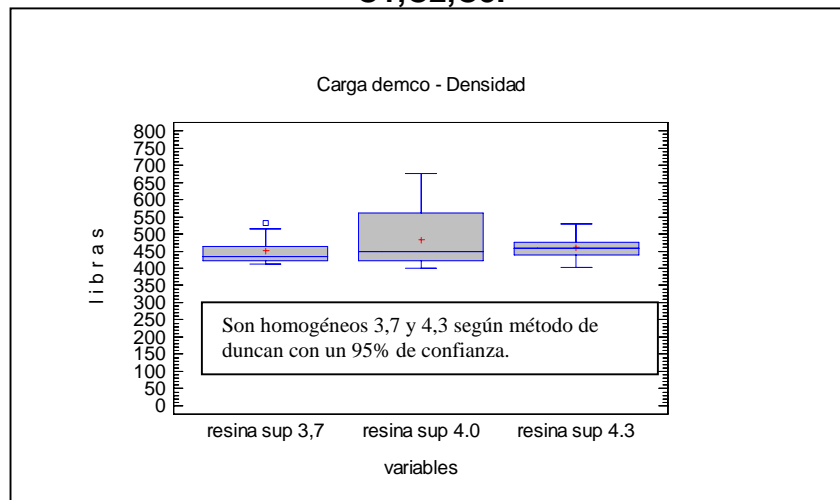
### A1,A2,A3.



### B1,B2,B3.

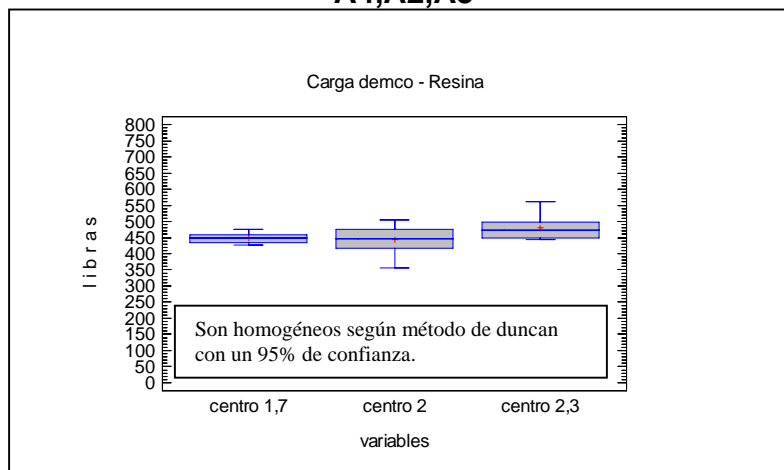


### C1,C2,C3.

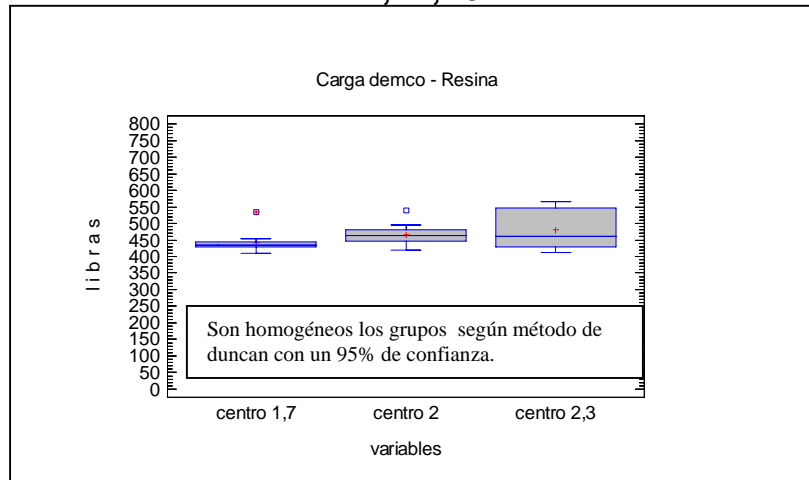


IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA CENTRO.

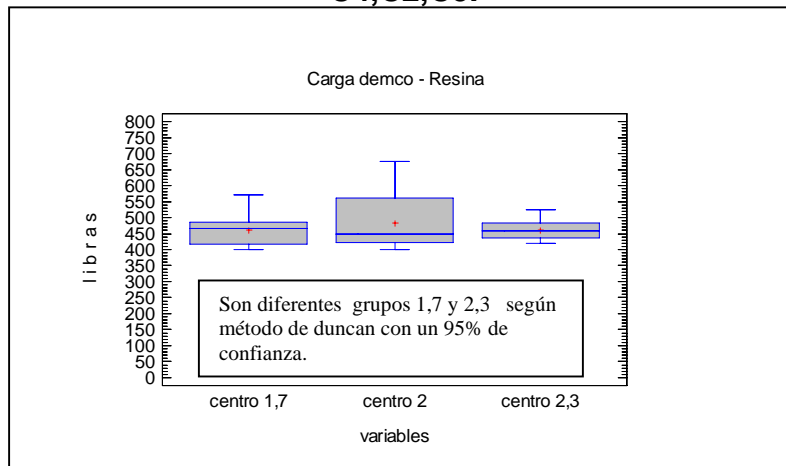
### A4,A2,A5



### B4,B2,B5.

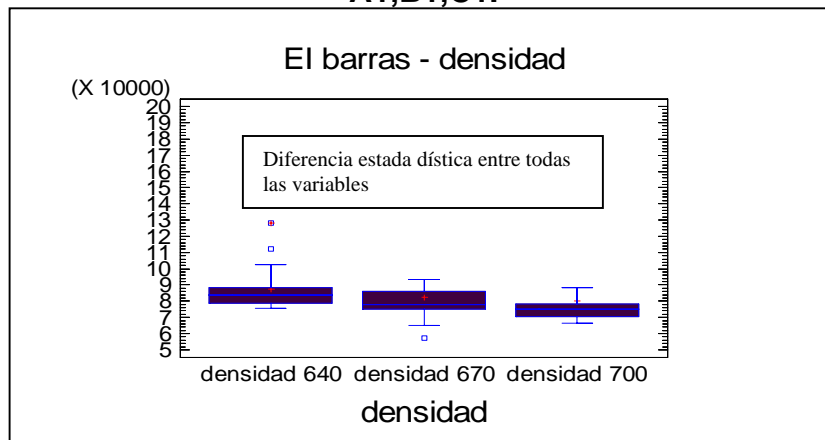


### C4,C2,C5.



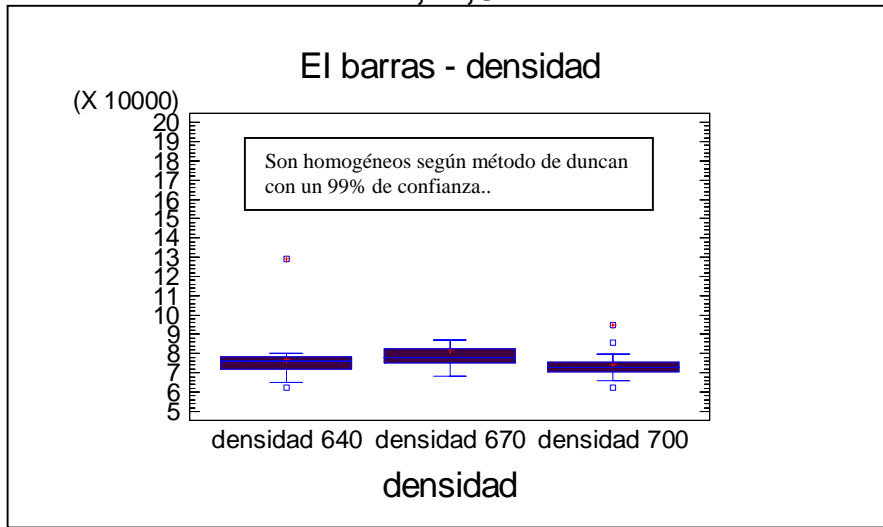
### ENSAYO EI BARRAS. DISTINTA DENSIDAD IGUAL % RESINA.

### A1,B1,C1.

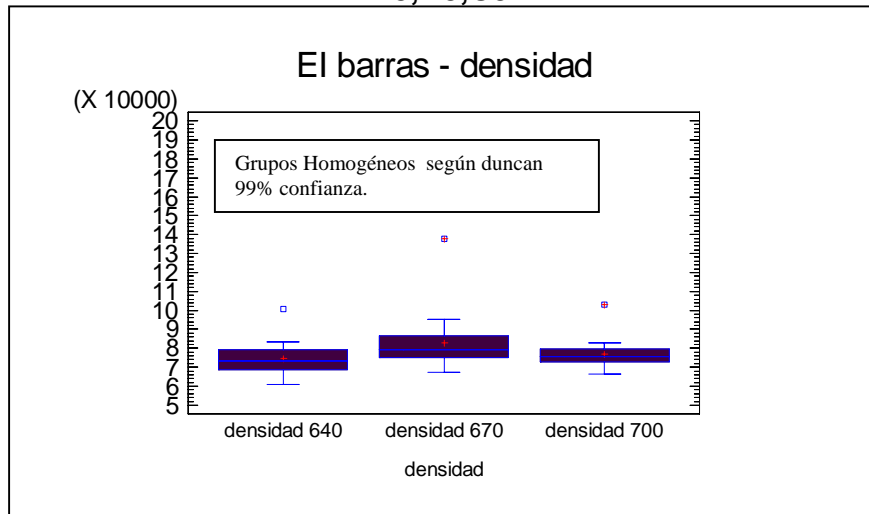




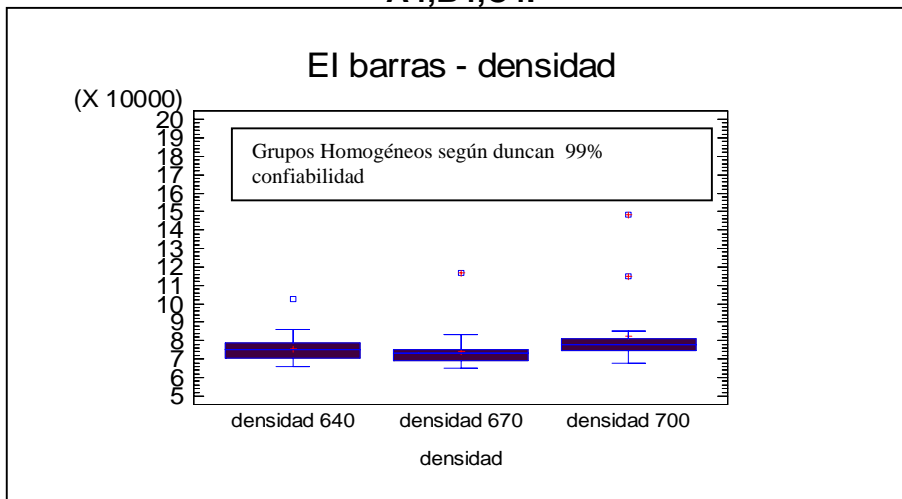
**A2,B2,C2.**



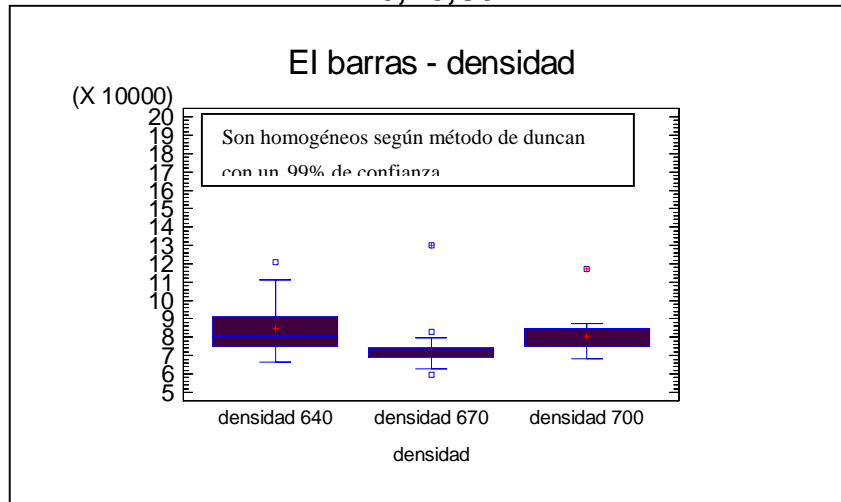
**A3,B3,C3.**



**A4,B4,C4.**

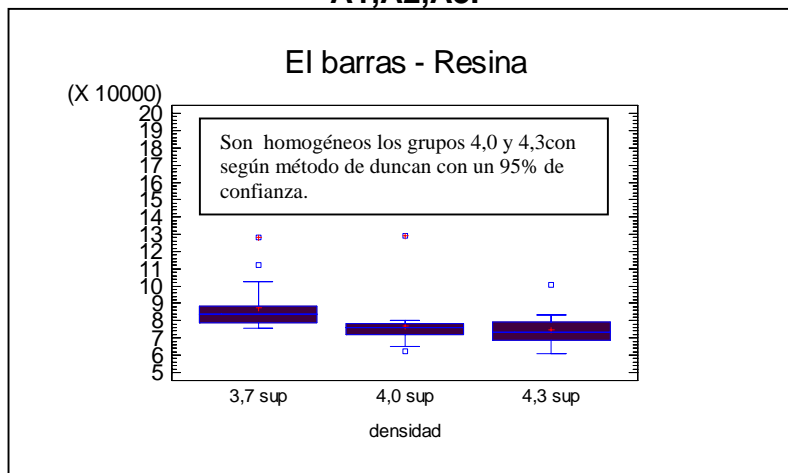


**A5,B5,C5.**

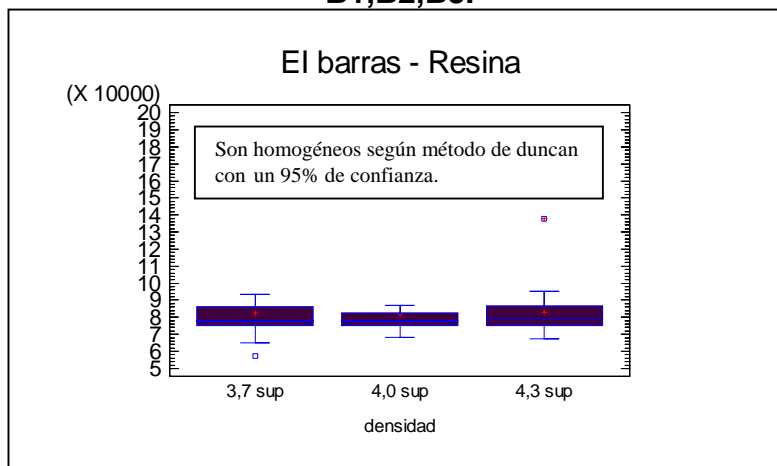


IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA SUPERFICIE.

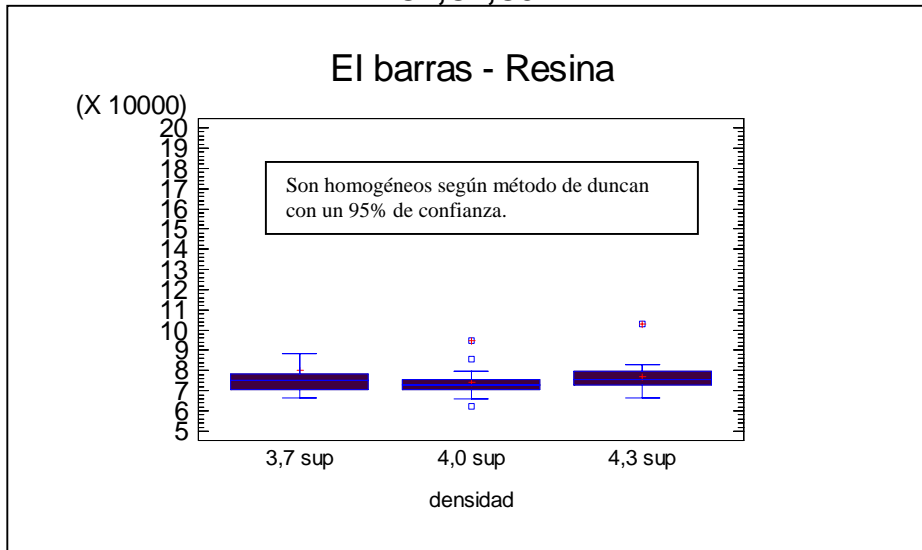
**A1,A2,A3.**



**B1,B2,B3.**

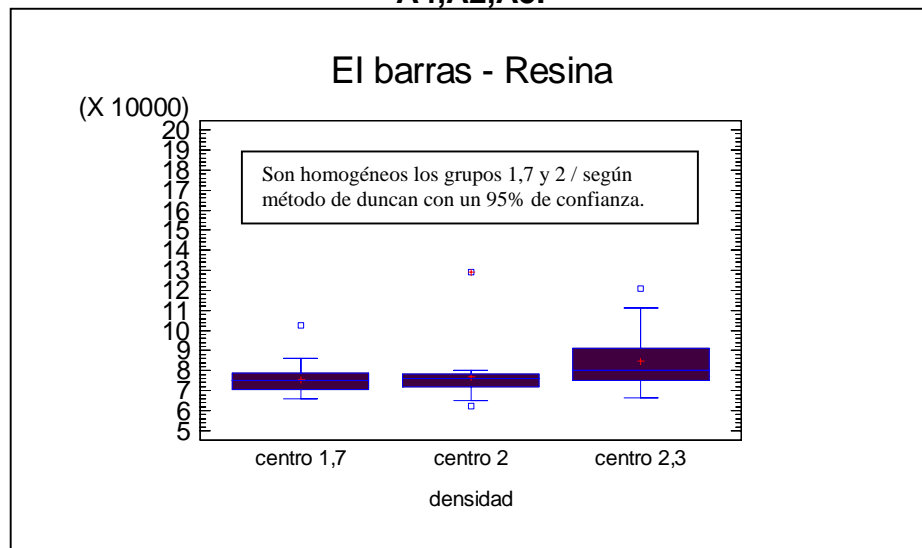


**C1,C2,C3.**

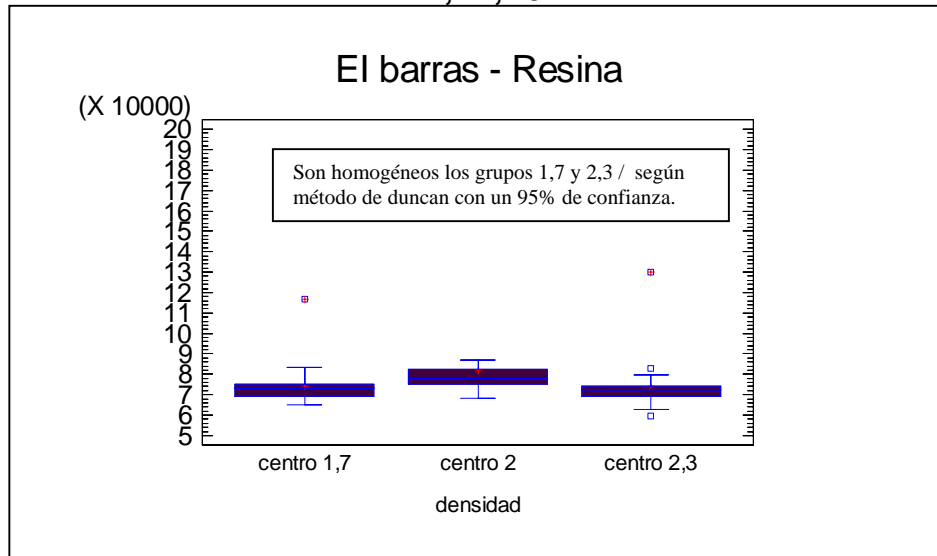


**IGUAL DENSIDAD DISTINTO % RESINA CENTRO.**

**A4,A2,A5.**



**B4,B2,B5.**



**C4,C2,C5.**

