



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

## **Efecto de la proporción de las capas en las propiedades de los tableros OSB**

Patrocinante: Sr. Hernán Poblete W.

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

**GABRIEL JOSÉ DURÁN GRAS**

VALDIVIA  
2007

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Dr. Hernán Poblete W.	6,9
Informante:	Sr. Carlos Riquelme R.	6,9
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	6,8

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 que en forma muy especial me han guiado y apoyado en toda mi vida y sobre todo en la universidad, a mis hermanos por la paciencia que me han tenido.

También de manera muy especial a mi polola Loreto, que siempre ha estado a mi lado dándome el apoyo necesario para seguir adelante y aconsejándome siempre de forma muy acertada.

Por supuesto agradecer a todos mis profesores, sobretodo a la gente del Instituto de Tecnología que gracias a ellos la formación que recibimos los estudiantes, es de primera calidad.

A todos ellos Mucha Gracias.

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de cinco razones de formación sobre las propiedades de los tableros OSB fabricados en la planta de Louisiana Pacific S.A.

Se estableció evaluar cinco razones de formación, partiendo de la más utilizada en la planta para la fabricación de los tableros que es 60/40, lo que significa que el 60% de las hojuelas se distribuyen entre las capas superior e inferior del tablero y que el 40% de las hojuelas se distribuyen en la capa central. La proporción de las capas superior e inferior fue disminuyendo y la central aumentando, hasta llegar a la última razón de formación que fue 50/50. Otras variables como son la densidad, el espesor del tablero y la mezcla de hojuelas utilizada, se mantuvieron constantes.

Las probetas obtenidas se sometieron a un climatizado con 20 °C y a diferentes humedades relativas del aire, entre 40% y 90%. Después de cada climatizado se determinó la expansión lineal paralela y perpendicular.

La humedad de equilibrio y las dimensiones aumentaron a medida que se incrementó la humedad relativa del aire. Los valores de expansión lineal perpendicular obtenidos, fueron superiores a la expansión lineal paralela.

Se evaluaron también propiedades de flexión, como son D-4 húmedo, flexión seca y ensayo en máquina Demco, encontrándose variaciones a medida que se aumento la capa central del tablero, pero en todos los casos, los valores promedio se encontraron dentro de los rangos exigidos por la norma APA.

Al evaluar la expansión lineal total y QMS II, paralela y perpendicular, los valores obtenidos se encontraron dentro de la norma, a excepción de la expansión total perpendicular, en donde los valores no cumplieron con la norma en ninguna de las cinco razones de formación estudiadas.

Palabras clave: tableros OSB, razón de formación, expansión lineal, propiedades de flexión.

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Páginas</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
2.1 Corte para la producción de Partículas	2
2.2 Formación y Orientación de Tableros OSB	3
2.3 Estabilidad dimensional en Tableros	4
2.4 Influencia del largo y espesor de las hojuelas sobre las propiedades	5
2.5 Expansión lineal en Tableros OSB	5
2.6 Formación de la Estera	5
2.6.1 Formadoras de capas exteriores	6
2.6.2 Formadora de centro	7
<b>3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>8</b>
3.1 Materiales	8
3.2 Equipo Experimental	10
3.3 Metodología	15
3.3.1 Obtención de Probetas	15
3.3.2 Métodos por ensayo	16
3.3.7 Análisis de los resultados	19
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>20</b>
4.1 Expansión lineal en cámara de clima	20
4.2 Humedad de equilibrio	22
4.3 D-4 Húmedo	24
4.4 Expansión lineal	25
4.5 Hinchamiento y absorción de agua	27
4.6 Flexión seca	28
4.7 Ensayo Demco	31
4.8 Ensayo de Barras	32
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>33</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>34</b>

### ANEXOS

1. Abstract and Keywords
2. Gráficos y cuadros de expansión lineal y humedad relativa en cámara de clima
3. Gráficos de propiedades evaluadas para cada razón de formación
4. Análisis estadístico ANOVA realizado con el programa Statgraphic

## 1. INTRODUCCIÓN

Los tableros OSB (*Oriented Strand Board*) comenzaron a desarrollarse a fines de los años '70 en Norteamérica.

Los OSB son paneles de madera reconstituida de excelentes propiedades físicas y mecánicas, son únicos, donde sus largas hojuelas de madera están orientadas, no distribuidas aleatoriamente, con esta orientación se logra obtener propiedades físico-mecánicas que diferencian a este tablero de otros fabricados con madera.

Los tableros OSB son paneles estructurales económicos y competitivos, donde el proceso de fabricación es similar al de los tableros de partículas con las particularidades del tamaño de la viruta, y la alineación de las mismas a la hora de formar las capas logrando esto con la orientación de las partículas, (que en este caso son llamadas hojuelas). Dentro del tipo tableros de partículas el OSB es el tablero que utiliza partículas de mayor tamaño.

La orientación de las virutas confiere al tablero OSB propiedades de flexión y estabilidad dimensional similares a las del tablero contrachapado, por lo que se puede utilizar en aplicaciones tanto para muebles, como para uso estructural y como soportes para revestimientos.

Los tableros OSB, al igual que otros tableros y productos fabricados en base a madera están sujetos a cambios dimensionales cuando varían las condiciones ambientales, estos cambios se dan como una expansión lineal paralela y perpendicular y un aumento en las dimensiones.

El presente estudio tiene como objetivo principal, evaluar el efecto de las razones de formación, de las capas media y externa de los tableros, y como afectan a las propiedades físico-mecánicas.

Para poder lograr el objetivo principal del estudio, se realizaron los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar tableros con distintas proporciones de capa externa y capa media.
- Determinar la expansión lineal total y QMS II, paralela y perpendicular.
- Determinar la expansión lineal paralela y perpendicular, obtenidas en una cámara de clima.
- Medir las propiedades de flexión paralela y perpendicular en máquina Instron.
- Medir las propiedades de deflexión y carga máxima en máquina Demco.
- Analizar la relación existente entre las proporciones de las capas y cada una de las propiedades determinadas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Corte para la Producción de Partículas

El corte de partículas se realiza con viruteadoras de diferentes tipos, de disco horizontal, vertical, de cilindro, molinos, etc.

El objetivo principal en el viruteado, es obtener partículas u hojuelas de madera de un tamaño adecuado para el tipo de tablero que se desea producir. La geometría de las partículas producidas, así como la proporción en que participan los diferentes tamaños, deben ser controlados. Las dimensiones más importantes a registrar son el largo, espesor y el coeficiente de esbeltez. El coeficiente de esbeltez corresponde a la relación entre el largo y el espesor (Poblete, 2001).

El corte siempre se produce de forma tangencial. En este caso la posición paralela de las trozas con respecto al disco, permite un corte sin interrupción, continuo.

La máquina viruteadora, compuesta por un disco rotatorio con cuchillos, avanza girando a alta velocidad sobre la madera, la que puesta de manera perpendicular al avance del carro permite la producción de hojuelas tangenciales, que darán al tablero excelentes propiedades de resistencia interna y flexión (Manual de Operaciones Louisiana Pacific Chile, 2003).

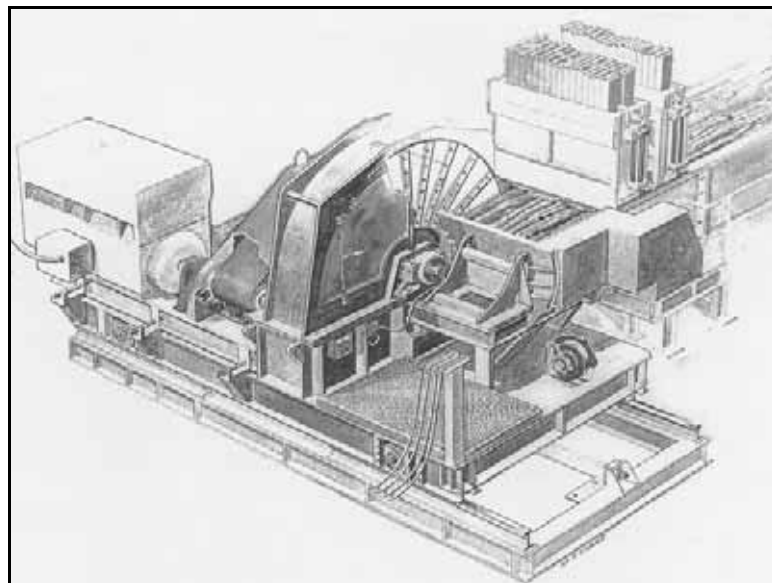


Figura N° 1: Viruteador de hojuelas

Especial importancia tiene en la etapa de viruteado, la mantención del equipo como el correcto afilado de los cuchillos, posición de estos y posición de contracuchillos. La dimensión de las hojuelas es de 116 mm de largo, su ancho varia en el rango de 0.6 a 3.81 cm y su espesor es de 0.3 a 0.7 mm.

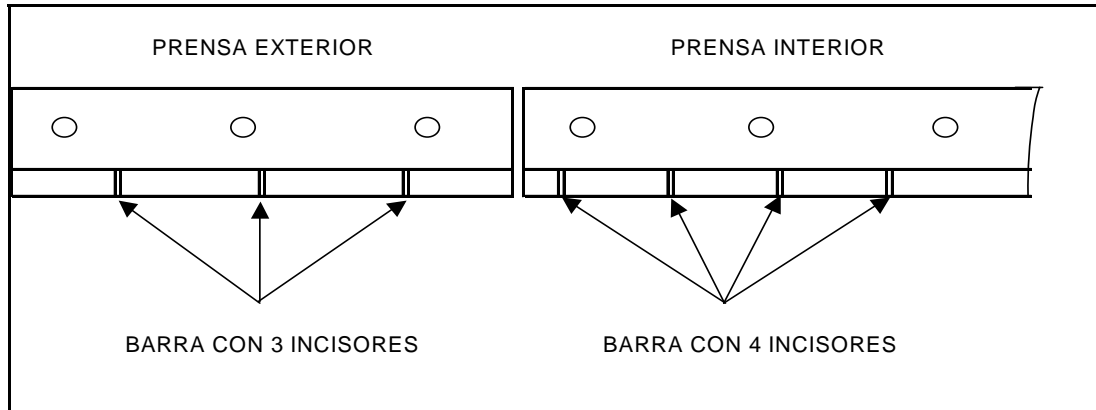


Figura N° 2: Cuchillos de corte para obtención de hojuelas

## 2.2 Formación y Orientación de Tableros OSB

El estudio del efecto de orientar las partículas para mejorar las propiedades tiene ya muchos años.

En la producción de tableros OSB (*Oriented Strand Board*) las partículas de cada capa quedan orientadas, imitando el efecto de las fibras encontradas de los tableros contrachapados (Poblete, 2001).

Para lograr la orientación se trabaja con partículas de gran tamaño y alargadas, además la orientación se provoca por medio de rodillos especiales y tamices con ranuras alargadas (Poblete, 2001).

La orientación de las capas proporciona las mismas ventajas que las chapas de laminación cruzada (tableros contrachapados). Como la madera es mas fuerte a lo largo de la fibra, la laminación cruzada distribuye la fuerza natural de la madera en ambas direcciones del panel, además la orientación en capas cruzadas le da mayor estabilidad al tablero (Shmulsky, Bowyer y Haygreen, 2003)

Una de las principales características del tablero OSB es la disposición alternada de tres capas de hojuelas orientadas, donde hay dos capas superficiales (inferior y superior) con una orientación longitudinal de hojuelas en su formación y una capa central con orientación transversal en su formación.



A continuación se muestra un esquema que muestra el sentido de las capas en la formación de la manta.

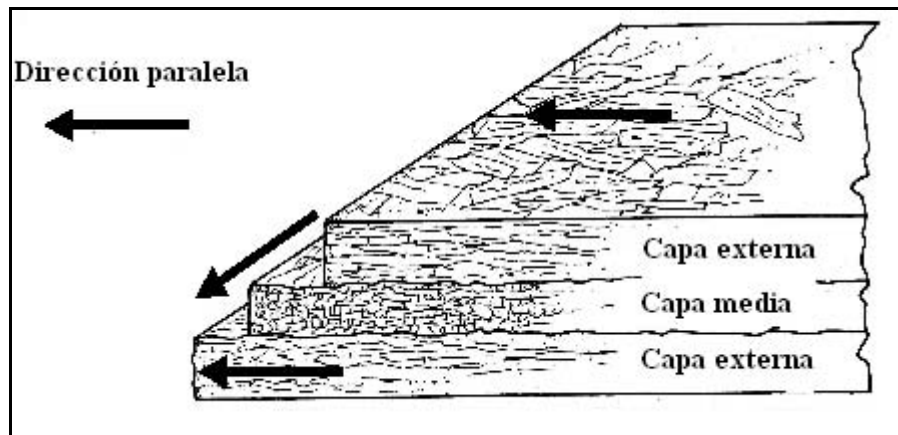


Figura N° 3: Esquema de un tablero OSB

### 2.3 Estabilidad dimensional en tableros

Los paneles estructurales poseen una excelente estabilidad dimensional, resistencia al pandeo y a la hinchazón causados por la absorción de humedad o los cambios de temperatura (APA, 1994).

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

Los tableros son higroscópicamente y dimensionalmente inestables cuando están expuestos al vapor de agua o agua líquida. Esto se debe a que el material con el que son fabricados (hojuelas, partículas, fibras) posee propiedades higroscópicas similares a la madera sólida. Estos al absorber humedad desde la atmósfera aumentan su volumen y sin embargo al estar secos no retornan a su estado original (Kelly, 1977).

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 las dos fuentes básicas relacionadas con los cambios dimensionales de los tableros. La higroscopicidad y la liberación de las fuerzas de compresión producidas por el prensado, conducen a una menor durabilidad del tablero (Moselmi, 1974).

A diferencia de los distintos tipos de tableros (partículas, fibras) los 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 a las capas tanto perpendiculares como paralelas al eje en la etapa de formación, produciendo un mejoramiento en todas las propiedades del tablero.

## **2.4 Influencia del largo y espesor de la hojuela sobre las propiedades**

Las investigaciones han permitido determinar las características generales del comportamiento mecánico de los tableros frente a la variación del largo de las partículas. Algunos autores reportan aumentos de todas las resistencias ante aumentos de la dimensión largo, en contraposición la mayoría coincide en que la reacción es diferente en las distintas propiedades mecánicas.

En el estudio de la propiedad mecánica flexión, tanto en el módulo de rotura (MOR) como de elasticidad (MOE), se ha encontrado que la respuesta ante aumentos del largo de partículas es positiva (Brumbaugh, 1960; Heebink y Hann, 1959; Poblete, 1985; Post, 1958; Shuler y Kelly, 1976). Sin embargo, otros autores han encontrado que existe un largo máximo a partir del cual no se han logrado mayores mejoramientos (Poblete, 2001).

En cuanto a la estabilidad dimensional, expansión lineal, es un hecho comprobado que el tamaño de partícula es un factor influyente.

## **2.5 Expansión lineal en tableros OSB**

El aumento de la longitud o ancho del tablero provocado por una variación en la humedad de equilibrio se denomina expansión lineal. En tableros OSB es evaluada generalmente midiendo el aumento de las dimensiones tanto en el sentido perpendicular como el paralelo al eje del tablero (APA, 1994).

La mayor expansión se produce en el sentido perpendicular al eje del tablero. Esto se debe a que los tableros salen de la línea de producción con una humedad de 2 a 3% y son expuestos a humedades mayores cuando se instalan en las construcciones, por lo tanto absorben humedad mayores desde el ambiente produciéndose un hinchamiento en el espesor y la expansión lineal paralela y perpendicular. Para minimizar este efecto los tableros se deben climatizar antes de ser despachados.

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 (Moselmi, 1974).

## **2.6 Formación de la Estera**

Con las partículas encoladas se forma una estera, también denominada manta, que posteriormente es transportada a la prensa. En la etapa de formación existe la posibilidad de ordenar las partículas en capas y darles una orientación, con lo cual se determina gran parte de las características y propiedades finales del tablero (Poblete, 2001).

La línea de formación esta compuesta por tres formadoras, dos de superficie (superior e inferior) y una de centro. Cada una de estas unidades tiene como objetivo entregar y orientar la cantidad de material necesario para la formación de los tableros.

El desarrollo de nuevos métodos, como el proceso MENDE, han permitido la fabricación continua de tableros (sin fin). Al comienzo este tipo de producción sólo se podía aplicar para tableros con espesores máximos de 4 a 8 mm, posteriormente se ha logrado la producción de tableros mas gruesos (Ahrweiler, 1982). Con los sistemas continuos la máquina formadora entrega una estera sin fin y la prensa tiene la capacidad de prensar esta manta continua sin detenerse para recibir una nueva carga.

Los silos de formadora son responsables de mantener una alimentación continua de la línea de formación, de su nivel depende la continuidad del proceso de formación. El silo de formadora tiene una capacidad de almacenaje de entre 8-10m<sup>3</sup> lo que equivale aproximadamente a 465 kgs. de hojuela encolada.

En el interior de estas máquinas funciona un mecanismo de discos distribuidores los que a medida que reciben las hojuelas las orientan sobre la malla de formación (la orientación alternada de las tres capas de hojuelas define una estabilidad dimensional y mecánicamente resistente, lo que le confiere gran calidad estructural al tablero OSB).

Dependiendo de las características y espesor de los tableros a producir, la estructura de la orientación longitudinal y transversal varía entre 40 – 80 % y 20 – 60 % respectivamente.

En las formadoras superior e inferior, de la Planta Louisiana Pacific Chile S.A., se han efectuado cambios con el fin de mejorar en la orientación de las hojuelas y así mejorar en las propiedades finales del producto.

### *2.6.1 Formadoras de capas exteriores*

La hojuela encolada proveniente de la encoladora de superficie es arrastrada hacia las formadoras de exterior.

Una vez que se comienza a llenar con hojuelas las formadoras, estas son esparcidas en su interior mediante el movimiento de unas rastras, las que nos permiten un llenado más homogéneo y una mejor detención de los sensores de nivel.

Las dos formadoras cuentan con 4 sensores infrarrojos de nivel que indican los volúmenes de llenado que van entre un 25%, 50%, 75% y 100%.

Contribuyen a una ordenada descarga de las hojuelas los rodillos dosificadores, estos rodillos tienen púas incorporadas, su función es tomar las hojuelas que se acercan por el avance de la cinta de fondo y enviarlas a los rodillos esparcidores de forma dosificada.

La cinta de fondo tiene como función, acercar las hojuelas a los rodillos dosificadores y variar el flujo masico de hojuelas que serán descargadas a los discos orientadores.

El deflector, que se encuentra solo en estas formadoras, es de tres posiciones, lo que permite, dependiendo de la posición, que las hojuelas mas grandes caigan en la parte superior del tablero y las más pequeñas caigan en la inferior o viceversa.

Los rodillos esparcidores, tienen como función repartir homogéneamente las hojuelas sobre los discos orientadores, existen 3 rodillos en las formadoras de exterior y 4 en la formadora de centro.

Los discos orientadores, que son de tres dimensiones distintas, discos chicos, medianos y grandes, se distribuyen a lo largo de un rodillo contabilizando 61 discos en total, su función es orientar las hojuelas de manera longitudinal a la manta (Manual de Operaciones, Louisiana Pacific Chile, 2003).

La siguiente figura, muestra las partes de la formadora externa que orientan las hojuelas de forma longitudinal.

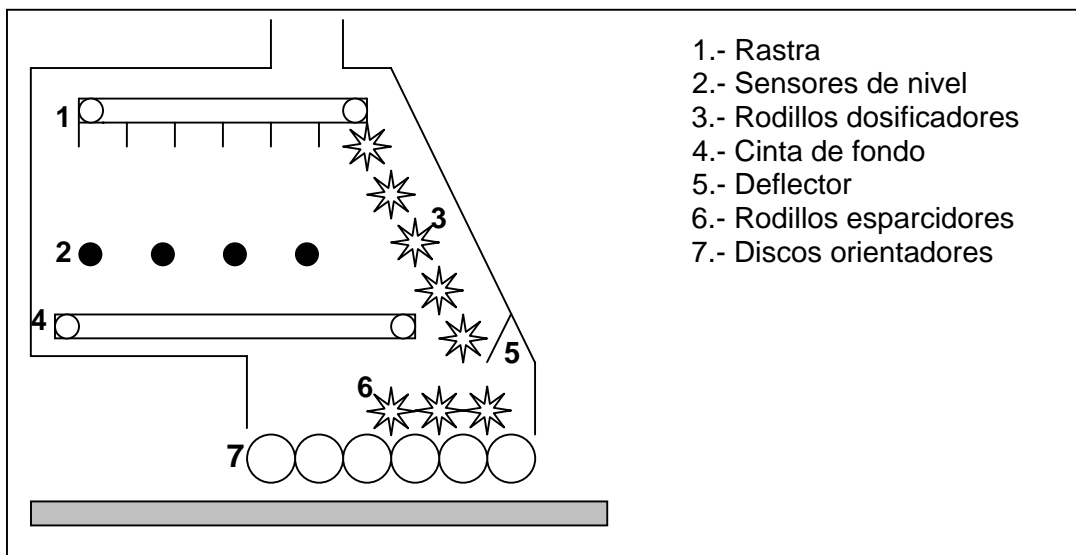


Figura N° 4: Partes de una formadora superior o inferior

### 2.6.2 Formadora de centro

La alimentación de la formadora de centro es en forma directa desde la encoladora y su forma de llenado y control es similar a la descrita en las formadoras de superficie.

La diferencia que existe en el caso de la formadora de centro es en la orientación de las hojuelas, la cual es realizada por un rodillo con aspas que las orienta en sentido transversal al avance de la línea.

A continuación se muestran, en la figura, las partes que componen una formadora de centro.

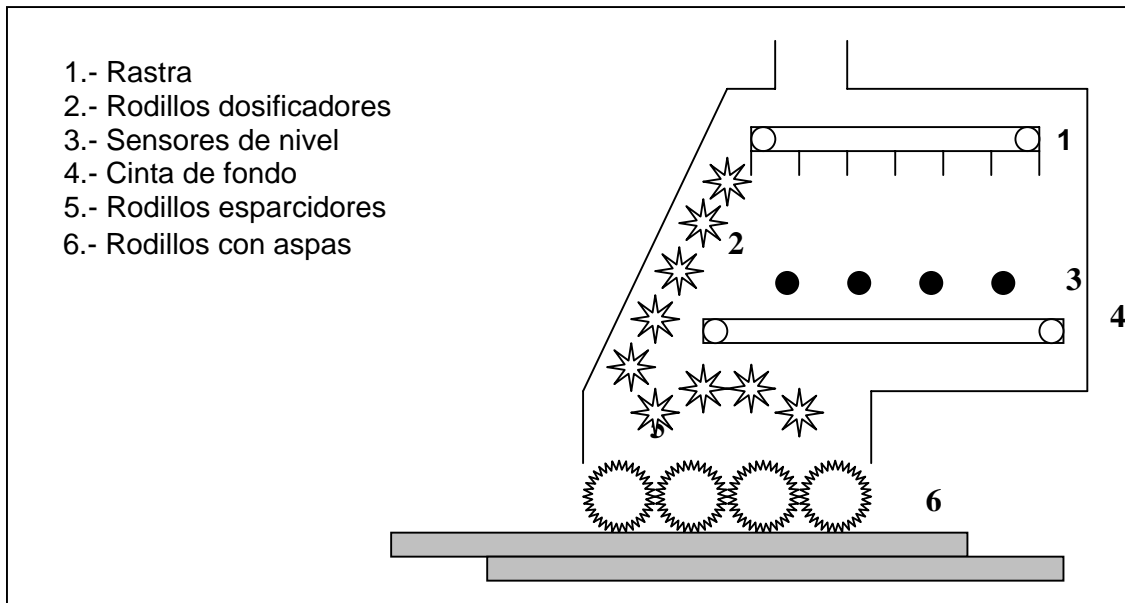


Figura Nº 5: Partes de una formadora de centro

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

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

#### 3.1 Materiales

Para el estudio se utilizaron tableros OSB nacional, mix M2 (2 nativo/1 pino), fabricados en la planta de Louisiana Pacific S.A., bajo las siguientes condiciones:

- Espesor: 7/16" (11.1 mm)
- Densidad: 670 kg/m<sup>3</sup>
- Resina Superficie Fenólica: 4,0%
- Resina Centro MDI: 2,0%
- Cera: 0,8% para centro y superficie
- Tiempo de prensado: 125 seg.
- Temperatura de prensa: 210 – 220 °C

Para el estudio se utilizaron 5 condiciones de formación y se muestrearon 10 tableros por cada una de estas condiciones.

Las variables del estudio son principalmente las diferentes razones de formación, las cuales van disminuyendo su proporción en la superficie y aumentando su proporción en el centro.

En la fabricación de los tableros el espesor se mantuvo constante en 11,1 mm y el largo de hojuelas también se mantuvo constante en 116 mm.

A continuación se detallan en el cuadro las cinco diferentes razones de formación que se evaluaron.

Cuadro N° 1: Razones de formación

<b>Razón de formación</b>	<b>Capa externa superior</b>	<b>Capa central</b>	<b>Capa externa inferior</b>
1. 60/40	30	40	30
2. 57/43	28,5	43	28,5
3. 55/45	27,5	45	27,5
4. 53/47	26,5	47	26,5
5. 50/50	25,5	49	25,5

Como se puede ver en el cuadro, lo que se hizo fue aumentar la cantidad de hojuelas en la capa central y disminuir en las capas superficiales. Este aumento de material en la capa media, tiene como uno de sus objetivos mejorar la propiedad de expansión lineal perpendicular y evitar que se afecten las demás propiedades de los tableros. Además este aumento y disminución de las capas no se realizó de forma proporcional, como se puede ver en el cuadro, sino que se realizó de acuerdo a una propuesta de la empresa.

La razón de formación, no tiene una definición concreta, pero se puede decir que esta razón es una proporción en porcentaje, de la cantidad de material que se tiene por capas. Por ejemplo, al decir que la razón de formación es de 60/40, quiere decir que se distribuye el 60% del material total en las capas superior e inferior y el 40% del material es distribuido en el centro del tablero, aproximadamente.

La razón de formación de 60/40 es la más comúnmente utilizada por la empresa Louisiana Pacific S.A. pero se sabe que en otras plantas de tableros OSB alrededor del mundo, las razones de formación que se utilizan varían por diferentes razones.

Es por esto que la empresa planteo la necesidad de realizar un estudio para comparar las distintas razones de formación y como se ven afectadas las propiedades de los tableros.

### 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 de la Universidad Austral de Chile.

Máquina Instron: Máquina de ensayos de propiedades físico-mecánicas, modelo M22 12410, tiene una capacidad de 2250 libras. En esta 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 capacitación, control y análisis de datos para el ensayo de materiales.



Figura N° 6: máquina Instron.

Balanza electrónica: Marca Sartorius, serie BL 3100, con una precisión de 0.1g. Se utiliza para pesar las probetas y su unidad de medida es en gramos.

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 y 45 °C. Esta cámara tiene una precisión de  $\pm 3\%$ .



Figura N° 7: Cámara de climatizado

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 máxima e impacto. Es monitoreada a través de un computador conectado a la maquina a través de un software.



Figura N° 8: máquina Demco



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 ocupo un dril de  $\frac{1}{4}$  de pulgada ya que es el recomendado para probetas con espesores hasta  $\frac{1}{2}$  de pulgada.



Figura N° 9: Taladro

Dial: Este instrumento sirve para medir la expansión lineal, o sea, para medir cuanto se expande la probeta luego de ser sometida a diferentes humedades. Este instrumento posee una barra de acero con dos puntos y un dial, consta con una precisión de 0.001 pulgadas.



Figura N° 10: Dial para medición de expansión lineal

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



Figura N° 11: Plataforma de medición

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 N° 12: Vainas de metal “Eyelettes”

Estufa: Marca Heraeus, esta estufa posee rangos de temperatura que oscilan entre 0 y 250 °C.



Figura N° 13: Estufa

Estanque de vacío: Se utilizó para realizar el tratamiento de expansión lineal total. Este equipo trabaja con una presión de vacío de 30 bares, posee una capacidad de 100 litros y logra una temperatura de 99 °C.



Figura N° 14: Estanque de vacío

### 3.3 Metodología.

A continuación se describe el procedimiento para la obtención de las probetas y la metodología a usar para cada ensayo.

#### 3.3.1 Obtención de Probetas

Para el estudio se fabricaron tableros con las 5 condiciones de formación, para lo cual se fabricó un lote de prueba en planta de 6 prensadas, lo que equivale a 192 tableros, de los cuales se muestrearon 10 tableros por condición, lo que hizo para el estudio un total de 50 tableros ensayados.

Los tableros fabricados fueron almacenados en stock, y después de los 15 días de climatizado, se procedió a la obtención de las probetas para ensayarlas.

El total de probetas para este estudio fue de 1500 de las cuales 1300 se ensayaron en el Laboratorio de Control de Procesos de la Empresa Louisiana Pacific S.A y las restantes 200 se ensayaron en el laboratorio de Tableros del Instituto de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

El siguiente cuadro muestra la cantidad de probetas por ensayo.

Cuadro N° 2: probetas por ensayos

TIPO DE ENSAYO	TABLEROS	PROBETAS POR TABLERO	TOTAL PROBETAS POR ENSAYO (5 condiciones)	TOTAL PROBETAS A ENSAYAR
Deflexión y carga en máquina DEMCO	10	1	10	50
Ensayo de Barras	10	1	10	50
D-4 MM húmedo	10	4	40	200
Contenido de humedad	10	2	20	100
Hinchamiento 2hrs., 24hrs.	10	4	40	200
<b>Ensayos en máquina INSTRON</b>				
S-14 flexión seca paralela	10	4	40	200
S-14 flexión seca perpendicular	10	2	20	100
Expansión lineal total Expansión lineal QMS II Paralela	10	4	40	200
Expansión lineal total Expansión lineal QMS II Perpendicular	10	4	40	200
<b>Ensayos en cámara de clima</b>				
Expansión lineal paralela	10	2	20	100
Expansión lineal perpendicular	10	2	20	100

### 3.3.2 Métodos por ensayo

Los ensayos de las probetas se realizaron en general bajo la norma APA. La descripción se entrega a continuación.

#### **Evaluación de la Expansión total al vacío.**

La norma APA posee métodos diferentes para evaluar la expansión lineal de paneles estructurales, en este caso para el OSB nacional se utiliza el test método 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.

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 mmHg 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 obtuvo en porcentaje y fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Exp.Lineal} = \left( \frac{L_w - L_d}{10} \right) * 100$$

Donde:

$L_w$ = dimensión saturada.

$L_d$ = dimensión seca.

10= distancia entre los Eyelttes.

#### **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% - 72,5% - 90% con una temperatura constante de 20 °C.

Para realizar los cambios de Humedad Relativa en la cámara se realizaran controles diarios del peso ha determinadas probetas, las cuales serán siempre las misma para cada cambio de clima, hasta llegar a un peso constante, luego de esto se realizara el cambio de humedad relativa manteniendo constante la temperatura; esto ocurrirá aproximadamente cada 12 días.

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

Donde:

$L_w$ = dimensión saturada.

$L_d$ = dimensión seca.

22= distancia entre los Eyelttes.

### **Procedimiento de Deflexión y carga final, método de prueba S-1 de APA.**

El testeo será conducido de acuerdo al procedimiento APA S-1. La muestra será probada con el lado estampado hacia abajo y la tasa de carga va a ser de 100 libras por 30 segundos a falla de producción dentro de 5 minutos usando un sistema de carga hidráulico bombeado a mano.

Los tableros serán ensayados a un espaciado de 24 oc.

### **Expansión lineal QMS II.**

El testeo será llevado a cabo en equipos construidos bajo las especificaciones de la 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° - 75°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 de expansión lineal fue calculado con la siguiente formula.

$$\% \text{Exp.Lineal} = \left( \frac{L_d - L_w}{10} \right) * 100$$

Donde:

$L_w$ = mediciones cuando el panel esta mojado.

$L_d$ = mediciones cuando el panel esta seco.

10= distancia inicial entre las asideras.

### **D – 4 MM húmedo.**

Para este ensayo las muestras tienen las siguientes dimensiones 14" \* 4.5". Las 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 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 de 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 testeada con el timbre hacia abajo. Una vez que la muestra se ha roto o el valor de ruptura 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.

### **Momento máximo seco y módulo de elasticidad.**

Las muestras de ensayo deben tener 4.5” de ancho por 14” 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 mas, el test esta completo. La computadora Instron es programada para calcular el máximo momento y el valor EI.

La fórmula para el momento máximo (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 porción lineal de la curva
EI (lb-pulg <sup>2</sup> /pie)	= GL <sup>3</sup> /4yb	y = flecha sobre la 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

### **Humedad de equilibrio.**

Para determinar la humedad de equilibrio se controló el peso en seco de cada una de las probetas y luego en cada clima cada diez días aproximadamente, obteniéndose un promedio y calculando el contenido de humedad correspondiente.

El contenido de humedad fue calculado y evaluado con la siguiente ecuación:

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

Donde:

P<sub>s</sub>= peso seco.

P<sub>h</sub>= 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 del 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 y pesadas. La muestra es sumergida horizontalmente bajo 25 mm (1") de agua a  $18 \pm 5$  °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.

Las fórmulas para determinar hinchamiento y absorción de agua son las siguientes:

Hinchamiento de espesor.

$$TS \% = 100(Ts - Ti)/Ti$$

Donde:

Ts= promedio de espesor después de 2 horas o 24 horas.

Ti= promedio de espesores antes de sumergir.

Absorción de agua.

$$\% \text{ Absorción} = 100(WTs - WTi)/WTi$$

Donde:

WTs= peso después de sumergir 2 o 24 horas.

WTi= peso inicial.

### 3.3.9 Análisis estadístico de los resultados.

El análisis estadístico de los datos se realizará con el programa Microsoft Excel, obteniendo los valores promedios, máximos, mínimos y las desviaciones estándar, para poder realizar una comparación entre cada una de las distintas razones de formación que se realizarán.

Se hará también análisis de correlación y de varianza ANOVA con el programa Statgraphic, para poder corroborar las comparaciones antes mencionadas.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos y análisis del tratamiento de climatizado y expansión lineal, también se muestran los estadígrafos básicos para las distintas propiedades físico-mecánicas que se evaluaron en los tableros.

### 4.1 Expansión lineal en cámara de clima

La mayoría de los paneles estructurales de madera son empleados en interior o en condiciones de humedad baja, donde el contenido de humedad de los tableros en servicio es menor a 16%. Sin embargo, ocasionalmente los tableros son sometidos a altos contenidos de humedad, como cuando son expuestos en zonas donde la humedad relativa es de 90% o más por largos periodos de tiempo. Los paneles utilizados para la construcción, como es el caso de los tableros de OSB, cuando están sometidos a contenidos de humedad mayores a 16%, sufren grandes cambios tanto de su capacidad y su calidad. Tales reducciones pueden llegar a ser de 25% para resistencia y 15% para su rigidez (APA, 2002).

A continuación se presentan las figuras resúmenes de expansión lineal registrados en los diferentes climas que se provocaron por un climatizado a diferentes humedades relativas del aire desde 40% hasta 90% en la cámara de clima.

La figura N° 15 muestra la expansión lineal paralela. Las poligonales de la figura muestran claramente que a medida que aumenta la humedad relativa del aire se incrementa la expansión lineal en las cinco razones de formación, también se puede observar claramente que la razón de formación 53/47 es la que sufre la mayor expansión lineal en relación a las otras razones de formación, con una expansión de 0,358% a los 90% de humedad relativa.

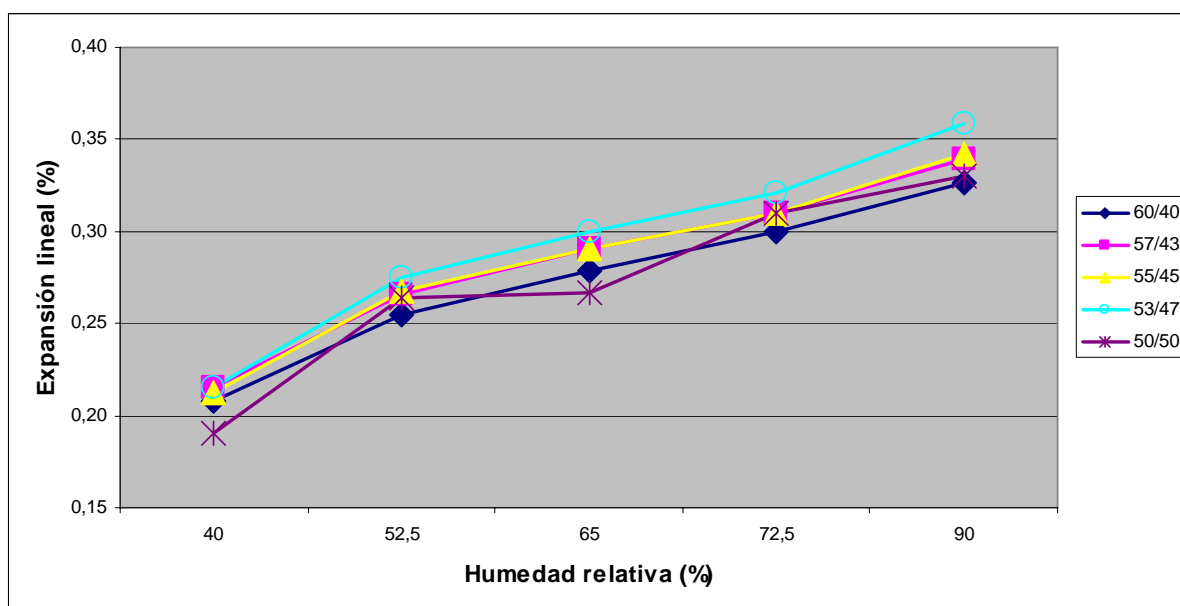


Figura N° 15: Relación entre expansión lineal paralela con la humedad relativa de la cámara.

En la figura N° 15, se puede ver también que las razones de formación que obtuvieron valores más bajos, fueron las de 60/40 y 50/50, lo que nos dice que no

existe una tendencia clara a una disminución de la expansión lineal a medida que varía la razón de formación desde 60/40 a 50/50.

En la figura N° 16 se muestra la expansión lineal perpendicular. Se puede ver que al igual que en la expansión lineal paralela, a medida que aumenta la humedad relativa del aire se incrementa la expansión lineal en todas las razones de formación e igualmente la razón de formación 53/47 es la que sufre la mayor expansión lineal.

Se puede observar también, que la razón de formación que obtuvo valores más bajos, en todas las humedades relativas, fue la de 50/50, con un valor de 0,401% a los 90% de humedad relativa del aire, pero al igual que en la expansión lineal paralela, no se observa una tendencia clara a tener valores menores de expansión lineal a medida que la capa central del tablero aumenta.

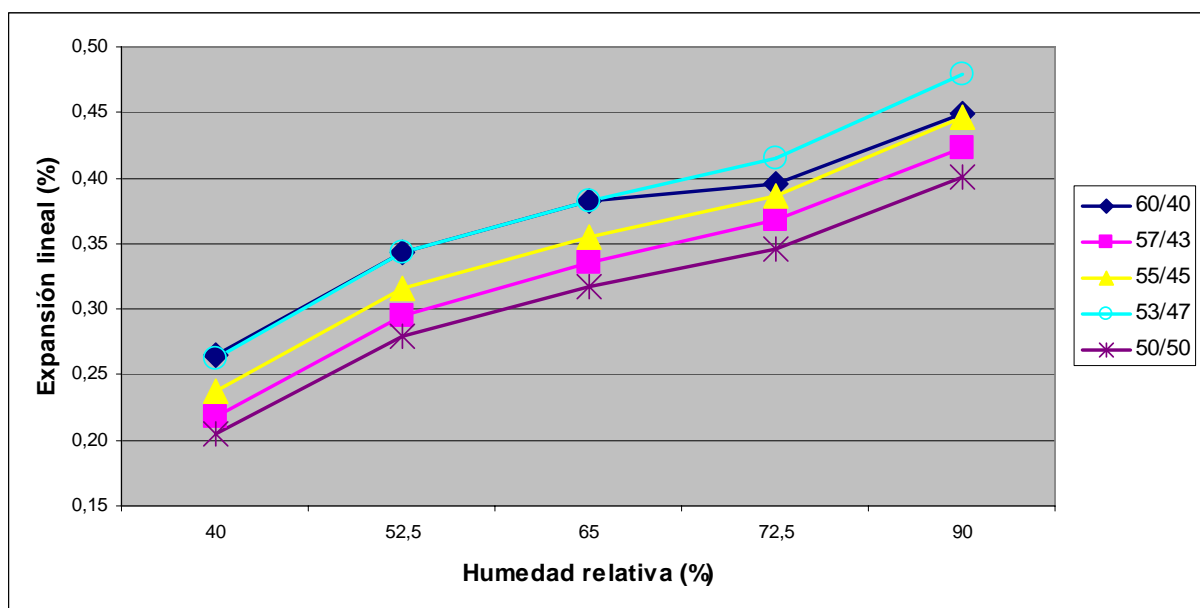


Figura N° 16: Relación entre expansión lineal perpendicular con la humedad relativa de la cámara.

Se calcularon también las ecuaciones de expansión lineal en cámara de clima paralela y perpendicular para cada razón de formación, donde “y” como variable independiente representa a la expansión lineal (%), “x” representa al contenido de humedad de equilibrio en (%). Estas funciones nos permiten proyectar cuanto se expanden (en el ancho) los tableros a diferentes contenidos de humedad de equilibrio según la zona donde sean expuestos. (Ver Anexo 2)

Como era de esperar, al comparar la expansión lineal paralela y perpendicular, se puede ver que los valores de las expansiones lineales perpendiculares son mayores en comparación a las paralelas para los mismos valores de humedad relativa, esto puesto que es sabido que los valores de las expansión lineal perpendiculares son superiores a las paralelas, en el caso de los tableros OSB.

El análisis Anova, muestra además que al comparar las cinco razones de formación entre si, la expansión lineal paralela no presenta diferencia estadística en ninguno de los cinco climas evaluados, pero si hay diferencia estadística significativa en la

expansión lineal perpendicular, al comparar las razones de formación desde el clima 52,5% de humedad relativa hasta los 90% de humedad relativa. (Ver Anexo 4).

## 4.2 Humedad de equilibrio

Antes de comentar los resultados obtenidos de humedad de equilibrio, hay que mencionar que se analizaron probetas paralelas y perpendiculares, al igual que en las expansiones lineales.

La figura N° 17 muestra la relación entre la humedad de equilibrio de los tableros y la humedad relativa del aire, para las probetas paralelas.

En esta figura podemos observar que en todas las razones de formación, los contenidos de humedad de equilibrio fueron aumentando desde la humedad relativa del aire de 40% a 90% en la cámara de clima. Se puede ver también que las curvas que se obtuvieron, muestran que a mayor humedad relativa del aire, la humedad de equilibrio aumenta en todas las razones de formación.

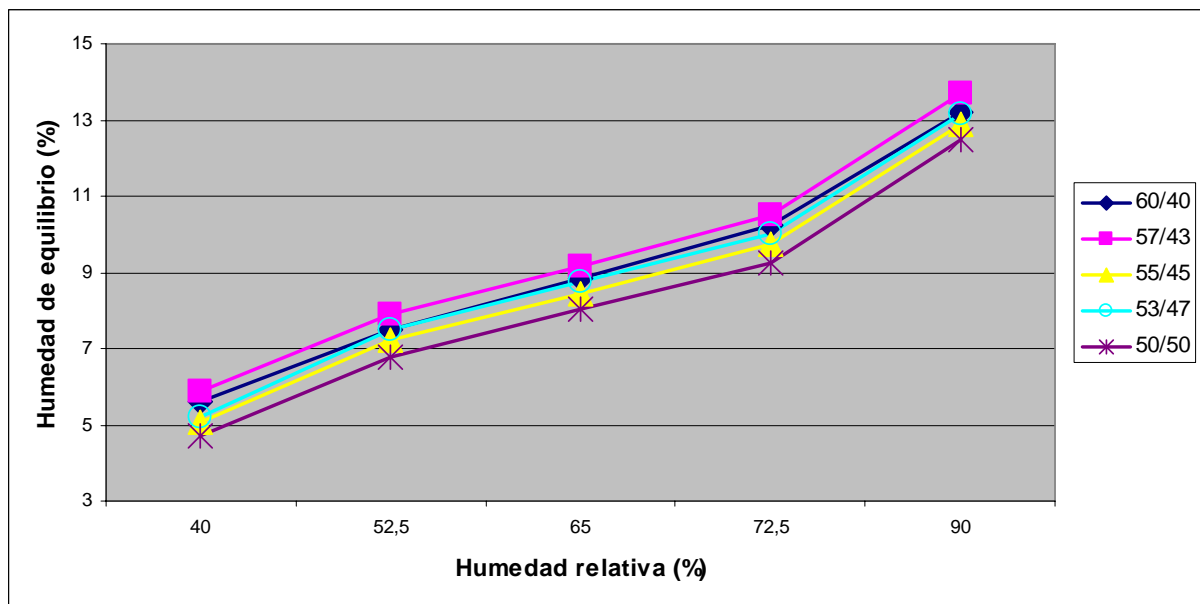


Figura N° 17: Relación entre humedad de equilibrio y humedad relativa, en probetas paralelas.

También se puede ver en esta figura que los valores de humedad relativa más bajos los obtuvo la razón de formación 50/50, para los cinco valores de humedad relativa, con un valor de 12,48% a los 90% de humedad relativa. Por otro lado los valores más altos de humedad relativa los obtuvo la razón de formación 57/43 para todos los valores de humedad relativa, con un valor de 13,70% a los 90% de humedad relativa.

La figura N° 18 muestra la relación entre la humedad de equilibrio de los tableros y la humedad relativa del aire, para las probetas perpendiculares.

Al igual que la figura anterior se puede observar que en todas las razones de formación, los contenidos de humedad de equilibrio fueron aumentando a medida que aumento la humedad relativa del aire.

Al observar las cinco razones de formación, se puede ver que a medida que se fue aumentando la capa central del tablero, o sea desde 60/40 a 50/50, los valores de humedad de equilibrio fueron disminuyendo en cada una de las humedades relativas.

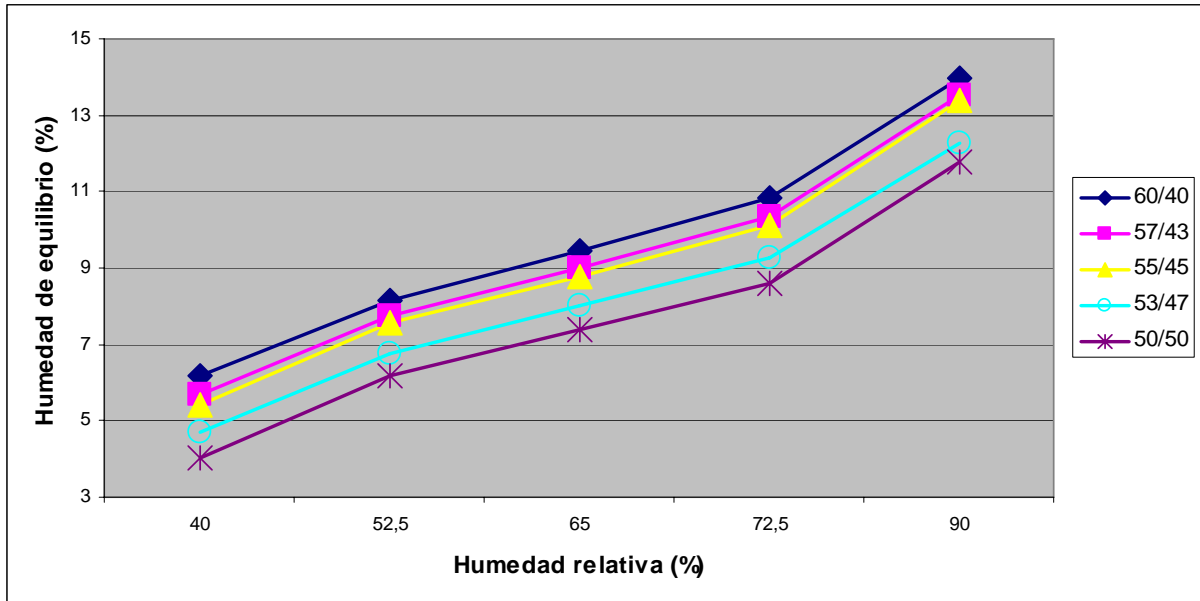


Figura N° 18: Relación humedad de equilibrio y humedad relativa, en probetas perpendiculares.

Se obtuvieron valores, a 40% de humedad relativa, de 6,18% para la razón de formación de 60/40 y de 4,04% para la de 50/50 y a los 90% de humedad relativa la razón de formación 60/40 obtuvo un valor de 13,97% y la razón 50/50 un valor de 11,76%. O sea en esta ocasión si hay una disminución de la humedad de equilibrio a medida que se aumenta la capa central de los tableros.

En el Anexo 2 se presenta en forma gráfica el comportamiento de cada razón de formación en la cámara de clima.

El análisis de varianza Anova muestra, que al comparar las cinco razones de formación entre si, la humedad de equilibrio en las probetas paralelas no presenta diferencia estadística en ninguno de los cinco climas, pero la humedad de equilibrio en las probetas perpendiculares, muestra diferencia estadística en todos los climas, desde los 40% de humedad relativa hasta los 90% de humedad relativa. (Ver Anexo 4).

### 4.3 D-4 Húmedo

El ensayo de flexión (momento máximo) MM D-4, está referido a la duración del pegado en la fabricación de tableros de fibras orientadas, en el cual el valor exigido por la norma APA es de 950 lb-pulg/pie.

A continuación en el cuadro N° 3 se presentan los resultados de MM y MOR, registrados para las cinco razones de formación.

Cuadro N° 3: D-4 húmedo para cada una de las razones de formación.

Razón de Formación	Parámetro	MM (lb-pulg/pie)	MOR (lb-pulg/pie)
<b>60/40</b>	Promedio	1222,05	3186
	Desv. Estándar	152,45	364,87
	Máximo	1491	3736
	Mínimo	930	2431
<b>57/43</b>	Promedio	1291,85	3263
	Desv. Estándar	240,35	586,66
	Máximo	1745	4366
	Mínimo	922	2374
<b>55/45</b>	Promedio	1227,5	3100,25
	Desv. Estándar	171,21	434,01
	Máximo	1524	3865
	Mínimo	921	2385
<b>53/47</b>	Promedio	1288,55	3183,7
	Desv. Estándar	265,06	3183,7
	Máximo	1881	4141
	Mínimo	822	2290
<b>50/50</b>	Promedio	1193,6	3103,45
	Desv. Estándar	154,54	421,36
	Máximo	1539	3914
	Mínimo	905	2386

Se puede observar en el cuadro, que al aumentar la capa central de los tableros, o sea desde la razón de formación 60/40 hasta 50/50, el MM promedio no baja del valor exigido por la norma APA, es decir que las cinco razones de formación están sobre el mínimo permitido. Se puede ver también que existe una variación en el valor del MM, pero esta variación no marca una tendencia ni a aumentar ni a disminuir.

Como covariable de esta propiedad se tiene el efecto de la densidad de los tableros, que incide directamente con esta propiedad. Se puede ver que las razones de formación que obtuvieron valores más altos, tanto en el MM como MOR, son aquellas en que la densidad es más alta también. (Ver Anexo 3)

Se puede observar al igual que para el MM, que en el MOR no existe un desmedro de la propiedad, sino que hay un aumento y disminución no proporcional a medida que aumenta la capa central del tablero.

En ambos casos, tanto para el MM como para el MOR, el rango mínimo se encuentra por debajo de lo exigido por la norma APA, pero cabe destacar que la norma acepta hasta un 5% de error, por lo tanto se encuentra dentro de la norma.

Se realizó también para el MM D-4 un análisis de varianza Anova, el cual nos muestra que los grupos homogéneos correspondientes a las cinco razones de formación, no tienen diferencia estadística al ser comparados entre si, con un intervalo de confianza de 95%, lo que nos dice que las cinco razones de formación no se comportan de forma diferente al ser utilizados, ya que los valores obtenidos de MM y MOR son similares entre si.

#### 4.4 Expansión lineal

La evaluación de la expansión lineal es, para Louisiana Pacific, una propiedad crítica y desea disminuir principalmente en el sentido perpendicular.

El cuadro N° 4 muestra la expansión lineal paralela total y QMS II, obtenida por cada una de las razones de formación, además se muestra el contenido de humedad, el cuál está en directa relación con la expansión lineal, sobre todo con la QMS II.

Cuadro N° 4: Expansión lineal total y QMS II paralela.

Razón de Formación	Parámetro	QMS II (%)	Total (%)	Contenido Humedad (%)
60/40	Promedio	0,28	0,38	3,51
	Desv. Estándar	0,031	0,028	0,498
	Máximo	0,33	0,44	4,7
	Mínimo	0,21	0,33	2,9
57/43	Promedio	0,27	0,39	3,72
	Desv. Estándar	0,030	0,029	0,396
	Máximo	0,33	0,44	4,6
	Mínimo	0,23	0,35	3,2
55/45	Promedio	0,30	0,40	3,35
	Desv. Estándar	0,039	0,061	0,293
	Máximo	0,36	0,46	4,0
	Mínimo	0,22	0,35	2,9
53/47	Promedio	0,29	0,42	3,34
	Desv. Estándar	0,076	0,042	0,497
	Máximo	0,47	0,55	5,1
	Mínimo	0,19	0,34	2,7
50/50	Promedio	0,31	0,41	3,72
	Desv. Estándar	0,042	0,028	0,330
	Máximo	0,37	0,46	4,7
	Mínimo	0,23	0,36	3,4

Al observar el cuadro se puede decir, que la expansión lineal total fue aumentando levemente a medida que aumentó la cantidad de material en el centro, esto era de esperarse, ya que la cantidad de material en las superficies fue disminuyendo y posibilitó una mayor expansión.

La razón de formación 60/40, obtuvo la expansión más baja con un 0,38% mientras que la que obtuvo una mayor expansión fue la razón 53/47 con un 0,42%.

La expansión lineal total obtenida por cada una de las razones de formación, cumple con el requerimiento de máxima expansión lineal APA de 0,50%.

En relación a la expansión lineal QMS II se puede ver que también fue aumentando levemente hasta la razón de formación 50/50, pero con valores inferiores al máximo permitido por APA, obteniendo un valor de 0,28% para 60/40 y de 0,31% para 50/50.

El análisis de varianza Anova muestra que para la expansión lineal QMS II existe una diferencia estadística significativa entre las razones de formación 57/43 y 50/50 al compararlas entre sí, pero al relacionar el resto de las razones de formación, no se encuentran diferencias estadísticas. Para la expansión lineal total existe una diferencia estadística significativa entre tres pares del grupo, estos son la razón de formación 60/40 con la 55/45, 53/47 y 50/50, el resto de las razones no presenta diferencia estadística entre si. (Ver Anexo 4).

A continuación se muestra en el cuadro N° 5, la expansión lineal total y QMS II perpendicular, obtenida por cada razón de formación.

Cuadro N° 5: Expansión lineal total y QMS II perpendicular.

Razón de Formación	Parámetro	QMS II (%)	Total (%)	Contenido Humedad (%)
<b>60/40</b>	Promedio	0,52	0,66	3,51
	Desv. Estándar	0,053	0,049	0,498
	Máximo	0,62	0,79	4,7
	Mínimo	0,44	0,57	2,9
<b>57/43</b>	Promedio	0,49	0,64	3,72
	Desv. Estándar	0,064	0,060	0,396
	Máximo	0,64	0,76	4,6
	Mínimo	0,39	0,56	3,2
<b>55/45</b>	Promedio	0,51	0,66	3,35
	Desv. Estándar	0,055	0,048	0,293
	Máximo	0,63	0,76	4,0
	Mínimo	0,38	0,58	2,9
<b>53/47</b>	Promedio	0,50	0,67	3,34
	Desv. Estándar	0,085	0,053	0,497
	Máximo	0,63	0,77	5,1
	Mínimo	0,37	0,57	2,7
<b>50/50</b>	Promedio	0,49	0,62	3,72
	Desv. Estándar	0,058	0,043	0,330
	Máximo	0,64	0,71	4,7
	Mínimo	0,38	0,52	3,4

Al observar el cuadro se puede ver que la expansión lineal total, en la última razón de formación disminuyó en comparación con las otras cuatro, con un valor para la razón de formación 50/50 de 0,62%, pero no existe una disminución notoria a medida que aumenta la capa central de los tableros.

La expansión lineal total perpendicular es la propiedad más crítica y al observar los valores obtenidos, estos están sobre los requerimientos máximos de APA, con valores en todas las razones de formación superiores a 0,50%.

Al observar la expansión lineal QMS II perpendicular, se puede ver que la razón de formación 50/50 obtuvo el valor más bajo con 0,49% y además la razón 57/43 y la 53/47 obtuvieron valores de 0,49% y 0,50% respectivamente, lo que es inferior o igual al máximo permitido, pero no hay una disminución proporcional a medida que se aumenta la capa central del tablero.

Al observar el Anexo 4 que muestra el análisis de varianza Anova, se puede observar que tanto para la expansión lineal perpendicular QMS II como para la total, no existe una diferencia estadística entre las cinco razones de formación, lo que indica que las cinco razones de formación estudiadas se comportan de manera similar, pero fuera de los requisitos máximos de APA.

#### 4.5 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 en el espesor a las 24 horas. La norma exige un promedio de 25% y un máximo de 35% para este ensayo.

La figura N° 19 muestra el hinchamiento en el espesor de las cinco razones de formación.

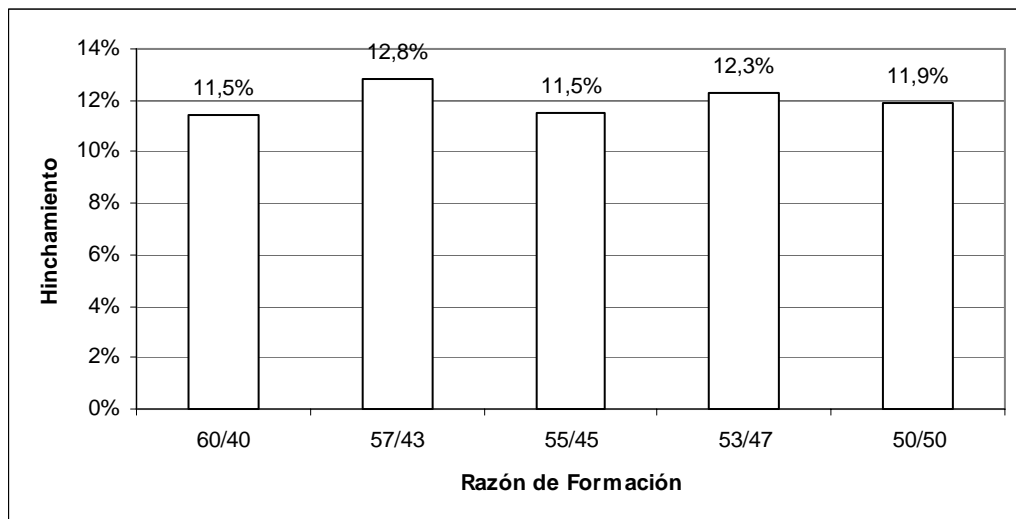


Figura N° 19: Hinchamiento en el espesor a las 24hrs.

Se puede ver en la figura que el hinchamiento producido por las cinco razones de formación está dentro de la norma exigida por APA y al evaluar esta propiedad se observa que la razón de formación 57/43 obtuvo el valor más alto con un 12,8%.



Las razones de formación 60/40 y 55/45 obtuvieron el valor de hinchamiento más bajo con un 11,5%, esto es atribuible a su baja densidad obtenida, lo que evita grandes cambios dimensionales al liberarse las fuerzas de compresión cediendo la unión madera adhesivo.

Se realizó también para el hinchamiento un análisis de varianza Anova, este análisis mostró que existe una diferencia estadística significativa entre dos pares del grupo, estos son 60/40 con 57/43 y 57/43 con 55/45, además al relacionar las demás razones de formación entre si, no se encuentran diferencias estadísticas.

A continuación en la figura N° 20, se puede ver la absorción de agua a las 24 horas para las cinco razones de formación.

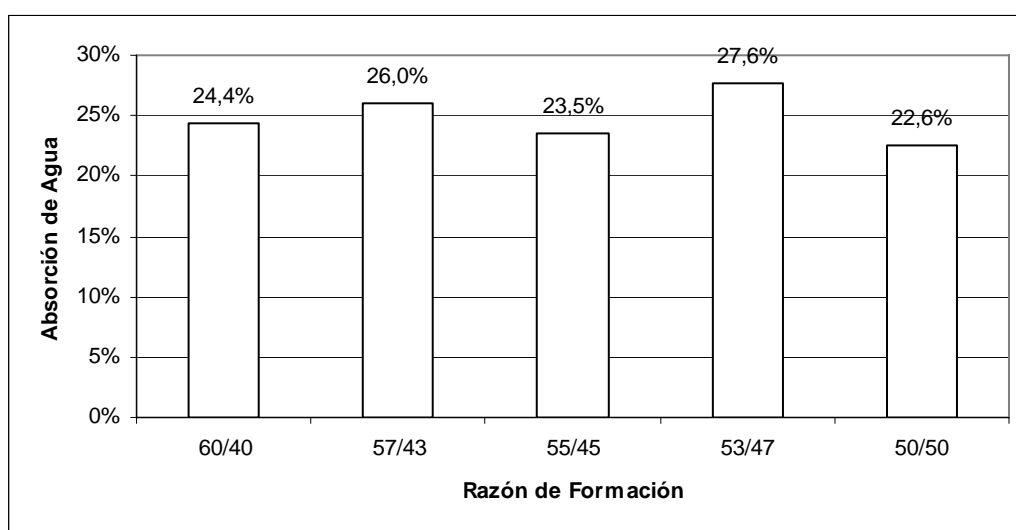


Figura N° 20: Absorción de agua a las 24hrs.

Se puede ver en esta figura que la razón de formación que obtuvo el valor más bajo fue la de 50/50 con un 22,6% y por otro lado, la razón de formación que obtuvo el valor más alto fue la de 53/47 con un 27,6%.

Al ver el análisis Anova realizado a estos resultados, se tiene que cinco pares del grupo muestran una diferencia estadística significativa, esto también se puede ver claramente al observar el gráfico del Anexo 4, donde vemos que la razón 53/47 con la 60/40, la 55/45 y la 50/50 y también la 57/43 con la 55/45 y 50/50, tienen diferencia estadística al compararse entre si.

#### 4.6 Flexión seca

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<sup>2</sup>/pie y de 17000 lb-pulg<sup>2</sup>/pie para el EI perpendicular.

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos para el ensayo de flexión seca S-14 paralela, el cual muestra el efecto que tiene el aumento de material en el centro del tablero para esta propiedad.

El cuadro N° 6 presenta los resultado para el ensayo flexión seca paralela.

Cuadro N° 6: Flexión seca S-14 paralela.

Razón de Formación	Parámetro	MM (lb-pulg/pie)	EI (lb-pulg <sup>2</sup> /pie)
<b>60/40</b>	Promedio	1908,85	62708,6
	Desv. Estándar	328,91	8782,17
	Máximo	2550	81720
	Mínimo	1398	49753
<b>57/43</b>	Promedio	1969,35	66098,45
	Desv. Estándar	331,52	9588,37
	Máximo	2633	79191
	Mínimo	1295	43325
<b>55/45</b>	Promedio	1858,5	62775,2
	Desv. Estándar	410,47	17138,98
	Máximo	2712	101258
	Mínimo	1318	42275
<b>53/47</b>	Promedio	1752,6	58465,75
	Desv. Estándar	228,75	8063,32
	Máximo	2163	78008
	Mínimo	1260	45462
<b>50/50</b>	Promedio	1790,8	62396,3
	Desv. Estándar	295,02	12167,79
	Máximo	2513	87064
	Mínimo	1373	51215

Como era de esperar, al ver los resultados obtenidos en el cuadro, se tiene que a medida que se aumenta la capa central, disminuye el MM, esto se explica porque los esfuerzos que se producen en las superficies se ven disminuidos por la disminución del material en las caras. Esto lo explica claramente Poblete (2001), donde plantea que durante el ensayo de flexión las fuerzas se distribuyen en la probeta de tal forma que son mayores en las superficies y prácticamente nulas en el centro. En la parte superior se producen esfuerzos de compresión y en la inferior de tracción. Esta distribución de las fuerzas hace que el ensayo de flexión sea un buen indicador del estado de las caras o superficie del tablero.

Se puede ver también que los valores obtenidos en todas las razones de formación están sobre el mínimo exigido por la norma APA y que la razón que obtuvo el valor más bajo fue la 53/47 con 1752,6 lb-pulg/pie.

En cuanto al índice de elasticidad paralelo, se puede ver que también todas las razones de formación están sobre el valor mínimo exigido por la norma, donde el valor más bajo lo tiene la razón 53/47 con 58465,75 lb-pulg<sup>2</sup>/pie.

Al observar el Anexo 4, que muestra el análisis de varianza Anova, se puede ver que para ambas propiedades, tanto el MM como EI, no presentan una diferencia

estadística al comparar las cinco razones de formación, lo que nos indica que se comportan de manera similar.

El siguiente cuadro N° 7, muestra la flexión seca perpendicular, donde los valores obtenidos, tanto para el MM como para el EI, se encuentran sobre los valores exigidos por la norma APA.

Cuadro N° 7: Flexión seca S-14 perpendicular.

Razón de Formación	Parámetro	MM (lb-pulg/pie)	EI (lb-pulg <sup>2</sup> /pie)
<b>60/40</b>	Promedio	996,25	29294,55
	Desv. Estándar	110,54	2689,13
	Máximo	1213	35248
	Mínimo	803	24547
<b>57/43</b>	Promedio	1138,25	33149,65
	Desv. Estándar	167,60	5735,26
	Máximo	1469	46725
	Mínimo	734	23539
<b>55/45</b>	Promedio	1065,95	31372,3
	Desv. Estándar	116,05	4692,43
	Máximo	1210	40374
	Mínimo	757	23502
<b>53/47</b>	Promedio	1152,8	35873,6
	Desv. Estándar	196,30	5528,69
	Máximo	1435	44419
	Mínimo	773	27047
<b>50/50</b>	Promedio	1146,95	32906,75
	Desv. Estándar	182,34	5411,23
	Máximo	1415	44651
	Mínimo	818	23950

Se puede observar en el cuadro que los valores de MM, aumentaron desde la razón 60/40 hasta la de 50/50, esto se puede explicar por el aumento de material en el centro del tablero, donde el valor más alto fue de 1152,8 lb-pulg/pie para la razón de formación 53/47.

El índice de elasticidad también tuvo un aumento en su valor a medida que se aumento el material en el centro del tablero, obteniendo la razón de formación 53/47 el valor más alto con 35873,6 lb-pulg<sup>2</sup>/pie.

Si se comparan los resultados de los ensayos paralelos y perpendiculares, se puede ver que el ensayo de flexión seca paralela obtuvo valores mayores a los obtenidos por los ensayos de flexión perpendicular, pero en el caso del ensayo paralelo hubo una disminución a medida que se fue aumentando la capa central del tablero, no así con el ensayo de flexión perpendicular, donde hubo un aumento a medida que se aumento la capa central.

Al ver el análisis de varianza Anova en el Anexo 4, se puede ver que para el MM existe una diferencia estadística significativa entre tres pares del grupo, estos son entre 60/40 con 57/43, 53/47 y 50/50, pero al comparar las demás razones de

formación, no se encuentran diferencias. En el caso del EI, existe también una diferencia estadística significativa entre los mismo pares del grupo, 60/40 con 57/43, 53/47 y 50/50, pero al comparar las demás razones de formación no se encuentran diferencias estadísticas.

#### 4.7 Ensayo Demco

El ensayo Demco, se realiza con la mitad del tablero (1.22 \*1.22), donde la deflexión máxima permitida es de 0,500 pulg. a 200 lb de carga y la carga final mínima es de 400 lb.

El cuadro N° 8, nos muestra los valores obtenidos por las cinco razones de formación en la máquina Demco, la cual realiza los ensayos de deflexión máxima y última carga.

Cuadro N° 8: Ensayo en máquina Demco

Razón de Formación	Parámetro	200 lb (pulg)	Ultima carga (lb)
60/40	Promedio	0,418	489
	Desv. Estándar	0,038	28,98
	Máximo	0,504	541
	Mínimo	0,369	457
57/43	Promedio	0,394	513
	Desv. Estándar	0,027	58,56
	Máximo	0,437	637
	Mínimo	0,358	424
55/45	Promedio	0,417	486,1
	Desv. Estándar	0,056	52,11
	Máximo	0,467	591
	Mínimo	0,289	424
53/47	Promedio	0,388	453,8
	Desv. Estándar	0,041	32,44
	Máximo	0,428	513
	Mínimo	0,306	425
50/50	Promedio	0,422	449,5
	Desv. Estándar	0,035	24,76
	Máximo	0,481	480
	Mínimo	0,373	415

Se puede ver en el cuadro que los valores obtenidos, tanto para la deflexión máxima como para la carga final, se encuentran dentro de lo exigido por la norma, donde la razón de 50/50 obtuvo el valor más alto de deflexión máxima con 0,422 pulg. y obtuvo el valor menor de carga final con 449,5 lb., a su vez el valor más bajo para la deflexión máxima lo obtuvo la razón 53/47 y el valor más alto de carga final lo obtuvo la razón 57/43 con 513 lb.

Al ver el análisis de varianza Anova, en el Anexo 4, se puede ver que la propiedad de deflexión máxima no muestra una diferencia estadística al comparar las cinco razones de formación, en cambio la carga final si muestra una diferencia estadística

entre dos pares del grupo al compararlos entre si, estos son la razón de formación 57/43 con 53/47 y 50/50, las demás razones no presentan diferencias estadísticas entre si.

#### 4.8 Ensayo de Barras

En el ensayo de barras se utiliza el tablero completo, determinándose para el módulo de elasticidad el valor mínimo de 88000 lb/pulg<sup>2</sup>.

A continuación en el cuadro N° 9, se presentan los resultados obtenidos por el ensayo de barras, en el cual se puede observar que en ninguna de las cinco razones de formación se logro el valor mínimo permitido por la norma.

Cuadro N° 9: Ensayo de Barras

Razón de Formación	Parámetro	EI (lb-pulg <sup>2</sup> /pie)
60/40	Promedio	73485,28
	Desv. Estándar	5017,62
	Máximo	80812
	Mínimo	64046
57/43	Promedio	78994,48
	Desv. Estándar	9698,18
	Máximo	93545
	Mínimo	65821
55/45	Promedio	77834,48
	Desv. Estándar	13498,82
	Máximo	108316
	Mínimo	66818
53/47	Promedio	69527,76
	Desv. Estándar	8006,10
	Máximo	82540
	Mínimo	60888
50/50	Promedio	69927,31
	Desv. Estándar	4274,95
	Máximo	78951
	Mínimo	63258

Se puede ver en el cuadro que la razón de formación que obtuvo el valor más alto fue la de 57/43, con 78994,48 lb-pulg<sup>2</sup>/pie y la que obtuvo el valor más bajo fue la de 53/47 con un valor de 69527,76 lb-pulg<sup>2</sup>/pie, con esto se puede ver que no hubo una disminución a medida que se fue aumentando la capa central de los tableros.

Al observar el análisis de varianza Anova, se puede ver que existe una diferencia estadística significativa entre dos pares del grupo al compararlos entre si, estos son la razón de formación 57/43 con 53/47 y 50/50, las demás razones no presentan diferencias estadísticas entre si. (Ver Anexo 4).

## 5. CONCLUSIONES

Se puede concluir de este trabajo que en las cinco razones de formación evaluadas, a medida que aumentó la humedad relativa del aire, aumentó la expansión lineal y la humedad de equilibrio en los tableros. Este aumento es mayor para la expansión lineal perpendicular en comparación con la expansión lineal paralela.

Se demuestra que los resultados obtenidos para la expansión lineal total paralela de las cinco razones de formación se encuentran de acuerdo con los exigidos por la norma APA. Se tiene que destacar que la razón de formación 60/40, que es la más frecuentemente usada por la empresa, obtuvo el valor más bajo con 0,38%.

Con respecto a la expansión lineal total perpendicular, al evaluar las cinco razones de formación no se obtuvo ningún valor que se encontrara por debajo de la norma, destacando la razón de formación 50/50 con el valor más bajo de 0,62%.

La expansión lineal QMS II paralela, obtuvo valores por debajo de los exigidos por la norma APA en las cinco razones de formación evaluadas, aunque hubo un aumento de la expansión a medida que se aumentó la capa central, éste no es significativo. En la expansión lineal QMS II perpendicular hubo una disminución a medida que se aumentó la capa central, y se destaca la razón 50/50 con un 0,49% de expansión lineal.

Al evaluar los ensayos de flexión seca paralela y perpendicular, los valores promedio obtenidos fueron superiores a los valores exigidos por la norma APA, siendo los valores de la flexión seca paralela mayores a los obtenidos por la flexión seca perpendicular.

El MM D-4 húmedo también obtuvo los valores promedio sobre los exigidos por la norma, aunque hubo una leve disminución a medida que se disminuyó la razón de formación hasta 50/50, los valores obtenidos no se diferencian entre sí notoriamente.

De los ensayos realizados en la máquina Demco, la deflexión obtuvo valores por sobre los exigidos por la norma en las cinco razones de formación y para la carga final, aunque se destaque una baja hacia la razón 50/50, ésta no es significativa y los valores también se encuentran sobre lo exigido por la norma. En el ensayo de barras los valores fueron descendiendo de la razón 60/40 hacia la 50/50, con valores inferiores a los exigidos por la norma.

Como conclusión final del estudio, se puede decir que al comparar las cinco razones de formación, las que obtuvieron mejores resultados en las distintas propiedades evaluadas fueron la razón de formación 57/43 y 60/40, pero no se registró una única razón de formación que obtuviera resultados sobresalientes a las otras razones, es por esto que se plantea la necesidad de seguir estudiando el tema a partir de las mezclas de madera, el efecto de la densidad, la granulometría y el porcentaje de resinas a utilizar en el proceso de fabricación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

APA. 1994. *Moisture Exposure Recommendations for Wood Structural Panels*. APA Technical Topics. 7p.

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

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

Louisiana Pacific Chile. *Manual de control de calidad (QMS)*. Documento interno de la empresa pp. 1-3

Louisiana Pacific Chile, 2003. *Manual de Operaciones*. Documento interno de la empresa pp. 2-32

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

Moselmi, A. 1974. *Particleboard*. Southern Illinois University press. pp. 137-160

Shmulsky, R; Bowyer, J; Haygreen, J. 2003. *Forest Products and Wood Science*. Iowa. Iowa State Press. pp 360- 397.

Kollmann, F; Kuenzi, E; Stamm, A. 1975. *Wood Science and Technology*. II. Wood based materials. Springer – Verlag Heidelberg New York. pp 312 - 538

## **ANEXOS**



**ANEXOS 1**

***Abstract and Keywords***

## **Abstract**

This work analyzes the effect of five formation ratios upon the properties of the oriented strand boards (OSB) manufactured in the Louisiana Pacific Co. plant.

Five formation ratios were studied, starting from the most used one when manufacturing boards in the plant, which is 60/40. This means that the 60% of the strands is distributed in the upper and lower layers of the board, while the remaining 40% is distributed in its central part. The proportion of the upper and lower layers diminished while the central layer's proportion increased, until the last formation ratio was reached (50/50). Other variables such as the density, and thickness of the board, as well as the strands mixture, did not change.

The test tubes obtained were subjected to conditioned air of 20° C and to different relative air humidity conditions, between 40% and 90%. After each exposition to conditioned air, the parallel and perpendicular linear expansions were established.

The equilibrium moisture and the dimensions increased together with the relative air humidity. The values of perpendicular linear expansion obtained were higher than those of the parallel linear expansion.

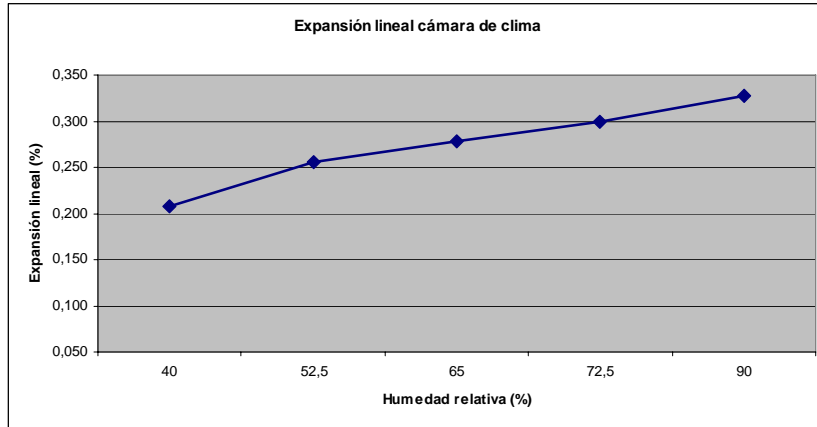
Some bending properties such as D-4 moisture, dry bending and the Demco machine test were also evaluated. There were variations when the board's central layer was increased. However, in every case, the average values did not exceed those demanded by the APA standard.

When the total linear expansion and the QMS II, parallel and perpendicular, were evaluated, the values obeyed the standard, except by the perpendicular linear expansion. In that case, the values did not obey the standard in any of the five formation ratios studied.

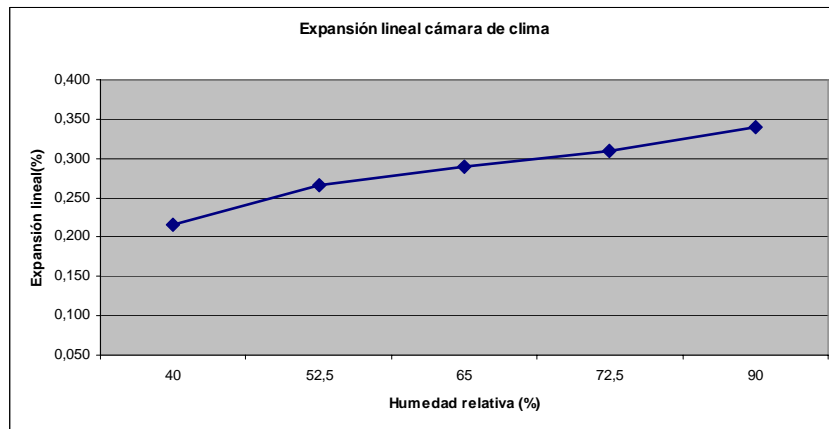
Key words: oriented strand board (OSB), formation ratio, linear expansion, bending properties.

## **ANEXOS 2**

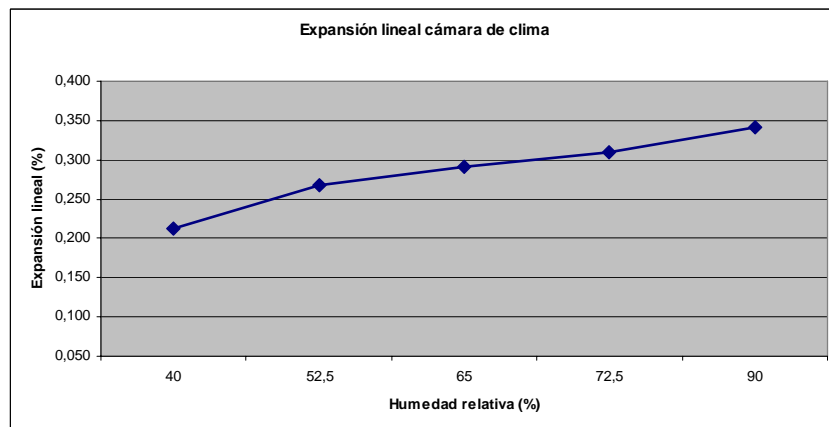
**Gráficos y cuadros de expansión lineal y humedad de equilibrio en cámara de clima.**



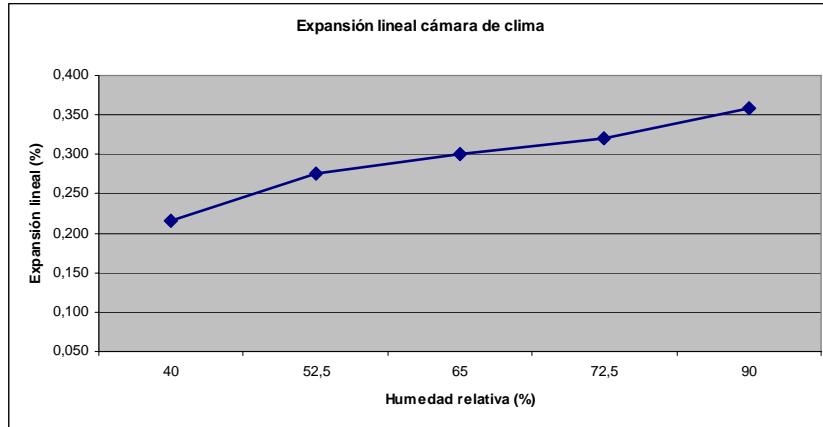
Relación Expansión lineal paralela (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 60/40



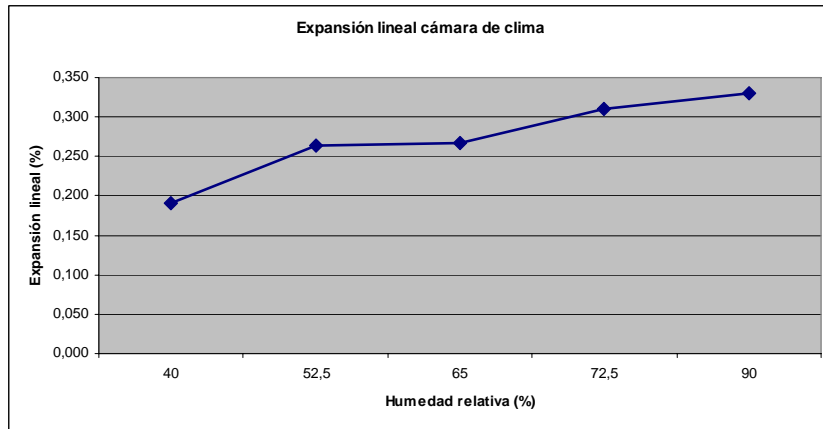
Relación Expansión lineal paralela (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 57/43



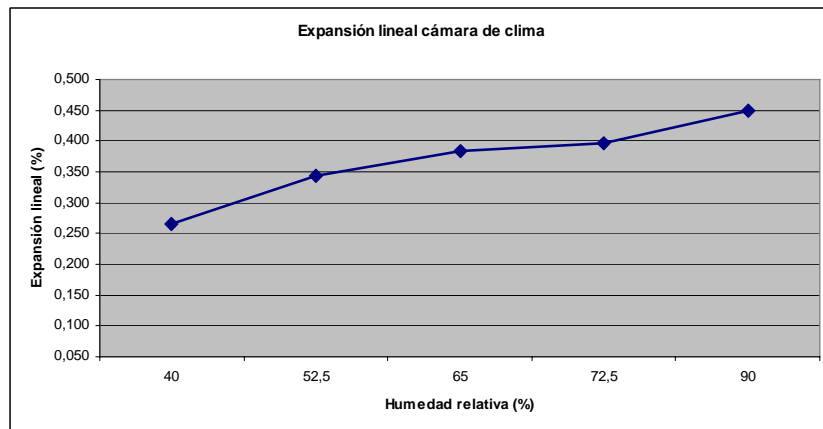
Relación Expansión lineal paralela (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 55/45



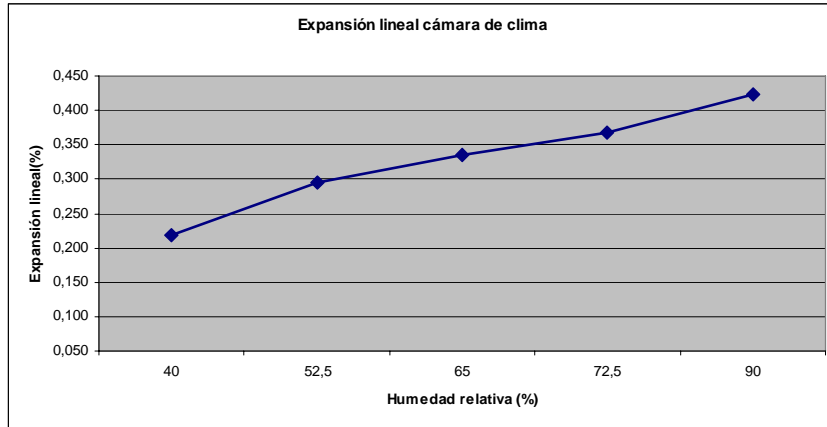
Relación Expansión lineal paralela (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 53/47



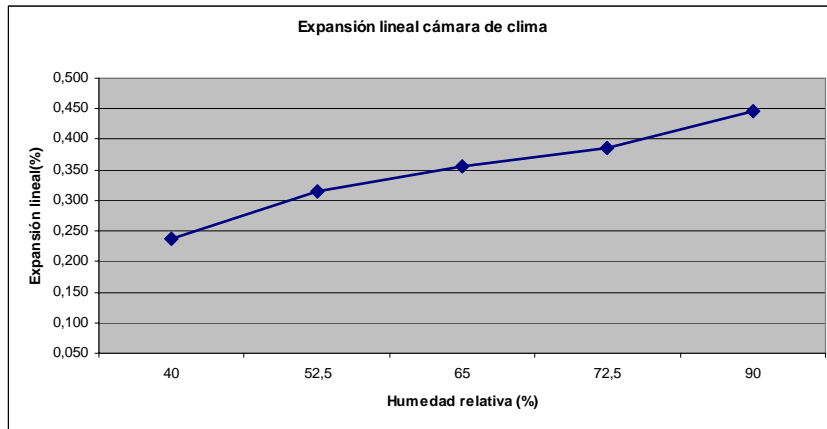
Relación Expansión lineal paralela (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 50/50



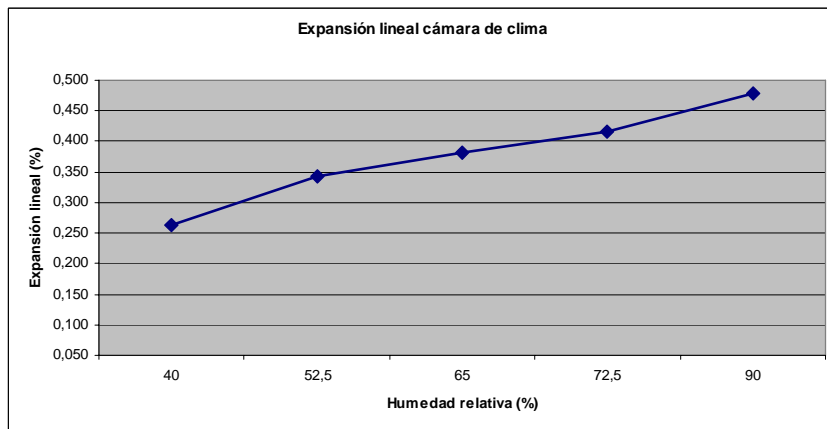
Relación Expansión lineal perpendicular (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 60/40



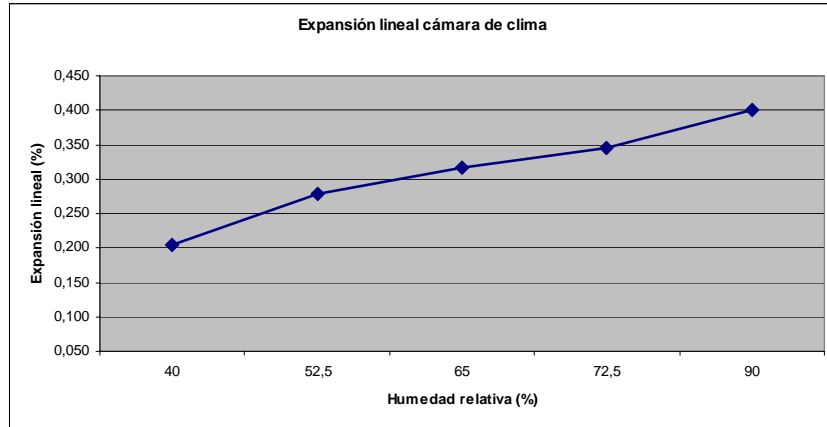
Relación Expansión lineal perpendicular (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 57/43



Relación Expansión lineal perpendicular (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 55/45



Relación Expansión lineal perpendicular (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 53/47



Relación Expansión lineal perpendicular (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 50/50

<b>PARALELA</b>	
<b>Condición</b>	<b>Función de Expansión lineal</b>
60/40	$y = 0,0707\text{Ln}(x) + 0,2061$ ; $R^2 = 0,9883$
57/43	$y = 0,0737\text{Ln}(x) + 0,2136$ ; $R^2 = 0,9876$
55/45	$y = 0,0761\text{Ln}(x) + 0,2117$ ; $R^2 = 0,9844$
53/47	$y = 0,0836\text{Ln}(x) + 0,2139$ ; $R^2 = 0,9813$
50/50	$y = 0,0828\text{Ln}(x) + 0,1929$ ; $R^2 = 0,955$

Ecuaciones de Expansión lineal paralela

<b>PERPENDICULAR</b>	
<b>Condición</b>	<b>Función de Expansión lineal</b>
60/40	$y = 0,1065\text{Ln}(x) + 0,2653$ ; $R^2 = 0,9753$
57/43	$y = 0,1203\text{Ln}(x) + 0,2127$ ; $R^2 = 0,9771$
55/45	$y = 0,1213\text{Ln}(x) + 0,232$ ; $R^2 = 0,9713$
53/47	$y = 0,1251\text{Ln}(x) + 0,2565$ ; $R^2 = 0,9693$
50/50	$y = 0,1142\text{Ln}(x) + 0,2002$ ; $R^2 = 0,9742$

Ecuaciones de Expansión lineal perpendicular

Condición 1	Paralelo		inicial	40	52,5	65	72,5	90
			<b>60/40</b>					
expansión		Promedio	0,168	0,208	0,255	0,279	0,300	0,327
		Desvest.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
		Máx.	0,286	0,332	0,382	0,409	0,423	0,455
		Mín.	0,059	0,127	0,173	0,200	0,218	0,245
humedad eq.		Promedio	4,74	5,60	7,50	8,83	10,23	13,21
		Desvest.	1,68	1,62	1,64	1,67	1,68	2,29
		Máx.	8,07	9,13	11,28	12,61	14,05	19,04
		Mín.	0,70	1,57	3,50	4,88	6,39	11,21
Perpendicular		inicial	40	52,5	65	72,5	90	
expansión		Promedio	0,213	0,265	0,343	0,383	0,396	0,449
		Desvest.	0,10	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12
		Máx.	0,464	0,477	0,550	0,600	0,636	0,727
		Mín.	0,086	0,136	0,214	0,250	0,091	0,168
humedad eq.		Promedio	5,39	6,18	8,13	9,43	10,81	13,97
		Desvest.	2,08	2,12	2,14	2,17	2,19	3,29
		Máx.	11,21	12,21	14,17	15,44	16,79	22,06
		Mín.	2,05	3,02	5,00	6,24	7,52	11,33

Expansión lineal y humedad de equilibrio razón de formación 60/40

Condición 2	Paralelo		inicial	40	52,5	65	72,5	90
			<b>57/43</b>					
expansión		Promedio	0,187	0,215	0,266	0,290	0,310	0,340
		Desvest.	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
		Máx.	0,432	0,445	0,495	0,518	0,541	0,577
		Mín.	0,000	0,045	0,095	0,123	0,141	0,173
humedad eq.		Promedio	5,27	5,86	7,89	9,14	10,53	13,70
		Desvest.	1,61	1,52	1,54	1,55	1,56	2,77
		Máx.	10,08	10,48	12,54	13,81	15,19	20,52
		Mín.	3,25	3,91	5,54	6,72	8,03	11,07
Perpendicular		inicial	40	52,5	65	72,5	90	
expansión		Promedio	0,172	0,218	0,295	0,336	0,368	0,423
		Desvest.	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
		Máx.	0,377	0,445	0,523	0,564	0,591	0,668
		Mín.	0,000	0,064	0,136	0,177	0,205	0,273
humedad eq.		Promedio	4,94	5,67	7,73	8,98	10,34	13,52
		Desvest.	1,71	1,72	1,77	1,79	1,81	2,71
		Máx.	8,09	8,76	10,78	12,09	13,48	18,84
		Mín.	1,19	1,86	3,78	4,99	6,36	11,07

Expansión lineal y humedad de equilibrio razón de formación 57/43

Condición 3	Paralelo		inicial	40	52,5	65	72,5	90
			<b>55/45</b>					
expansión		Promedio	0,171	0,212	0,268	0,290	0,310	0,342
		Desvest.	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
		Máx.	0,423	0,459	0,514	0,536	0,555	0,595
		Mín.	0,073	0,123	0,182	0,209	0,227	0,273
humedad eq.		Promedio	4,15	5,05	7,23	8,43	9,74	12,88
		Desvest.	1,83	1,78	1,86	1,87	1,90	2,32
		Máx.	7,06	7,64	9,94	11,10	12,52	16,66
		Mín.	0,64	1,52	3,48	4,64	5,85	10,63
Perpendicular		inicial	40	52,5	65	72,5	90	
expansión		Promedio	0,186	0,238	0,315	0,355	0,387	0,447
		Desvest.	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
		Máx.	0,332	0,395	0,468	0,505	0,536	0,609
		Mín.	0,055	0,109	0,195	0,227	0,264	0,336
humedad eq.		Promedio	4,59	5,42	7,57	8,79	10,13	13,39
		Desvest.	2,10	2,06	2,11	2,14	2,16	2,15
		Máx.	8,84	10,03	12,47	13,71	15,15	18,40
		Mín.	1,17	2,28	4,34	5,62	6,91	11,25

Expansión lineal y humedad de equilibrio razón de formación 55/45

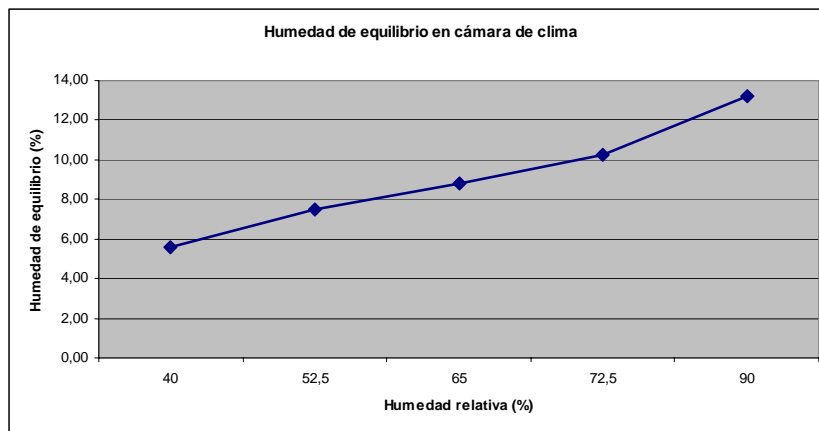


Condición 4		Paralelo	inicial	40	52,5	65	72,5	90
53/47	expansión	Promedio	0,162	0,215	0,275	0,300	0,321	0,358
		Desvest.	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
		Máx.	0,355	0,405	0,477	0,505	0,523	0,573
		Mín.	0,055	0,118	0,177	0,205	0,223	0,282
	humedad eq.	Promedio	4,17	5,22	7,47	8,74	10,01	13,14
		Desvest.	1,68	1,51	1,74	1,76	1,80	2,81
		Máx.	7,51	7,74	10,84	12,15	13,52	18,93
		Mín.	0,09	1,25	3,29	4,49	5,69	10,67
	Perpendicular		inicial	40	52,5	65	72,5	90
		expansión	Promedio	0,193	0,263	0,343	0,382	0,416
	Desvest.		0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
	Máx.		0,527	0,582	0,659	0,705	0,723	0,805
	Mín.		0,023	0,091	0,177	0,218	0,250	0,345
	humedad eq.	Promedio	3,53	4,69	6,77	8,03	9,27	12,29
		Desvest.	1,29	1,32	1,39	1,41	1,41	2,37
		Máx.	5,60	6,41	8,56	9,88	11,14	16,39
		Mín.	0,72	1,97	4,04	5,26	6,49	8,11

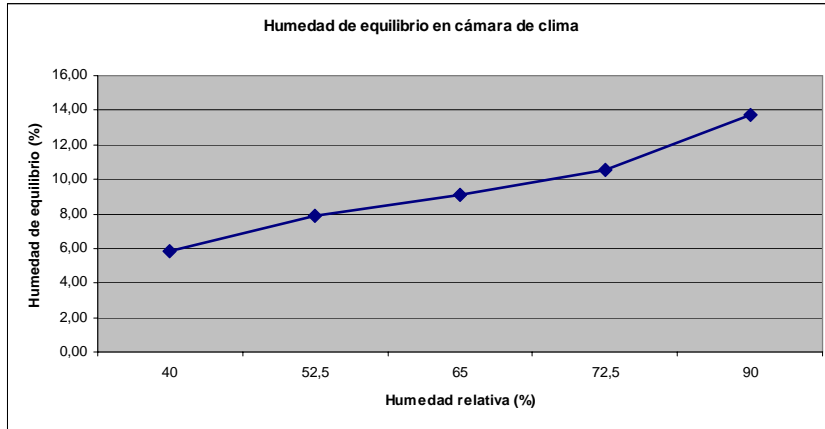
Expansión lineal y humedad de equilibrio razón de formación 53/47

Condición 5		Paralelo	inicial	40	52,5	65	72,5	90
50/50	expansión	Promedio	0,151	0,190	0,264	0,267	0,310	0,330
		Desvest.	0,12	0,12	0,15	0,12	0,15	0,12
		Máx.	0,505	0,505	0,673	0,577	0,723	0,650
		Mín.	0,014	0,064	0,118	0,136	0,155	0,205
	humedad eq.	Promedio	3,83	4,69	6,79	8,03	9,27	12,48
		Desvest.	1,72	1,73	1,78	1,80	1,83	3,13
		Máx.	7,26	8,36	10,63	11,91	13,22	17,60
		Mín.	1,96	3,15	5,14	6,33	7,50	8,83
	Perpendicular		inicial	40	52,5	65	72,5	90
		expansión	Promedio	0,156	0,205	0,279	0,317	0,345
	Desvest.		0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
	Máx.		0,259	0,327	0,409	0,455	0,486	0,573
	Mín.		0,064	0,105	0,177	0,218	0,250	0,323
	humedad eq.	Promedio	3,18	4,04	6,18	7,40	8,59	11,76
		Desvest.	1,28	1,28	1,31	1,33	1,36	2,57
		Máx.	5,38	6,27	8,49	9,71	10,89	16,16
		Mín.	0,53	1,36	3,48	4,62	5,77	8,72

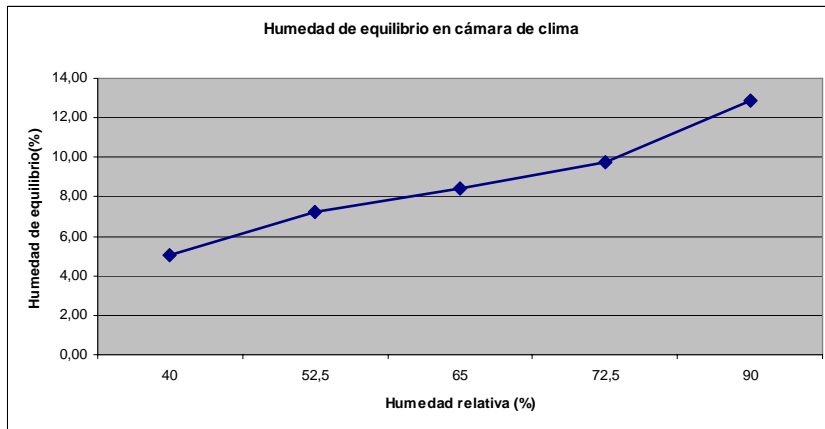
Expansión lineal y humedad de equilibrio razón de formación 50/50



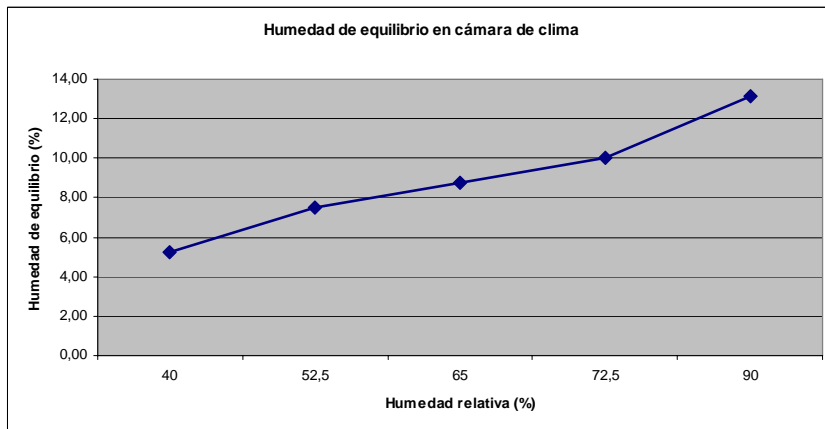
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 60/40 paralela



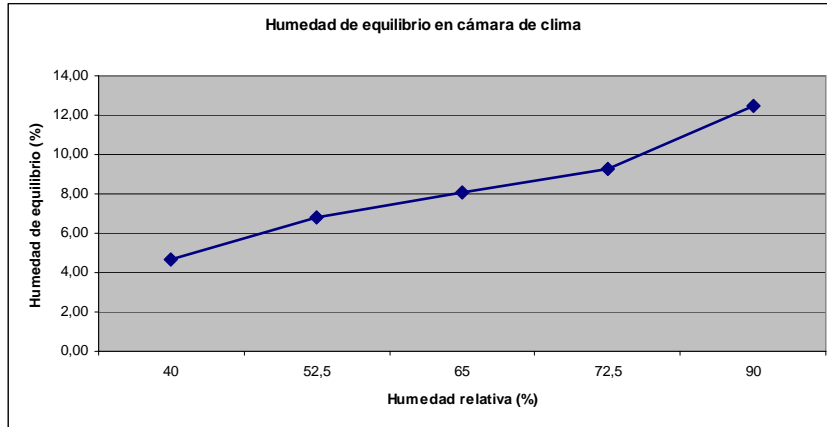
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 57/43 paralela



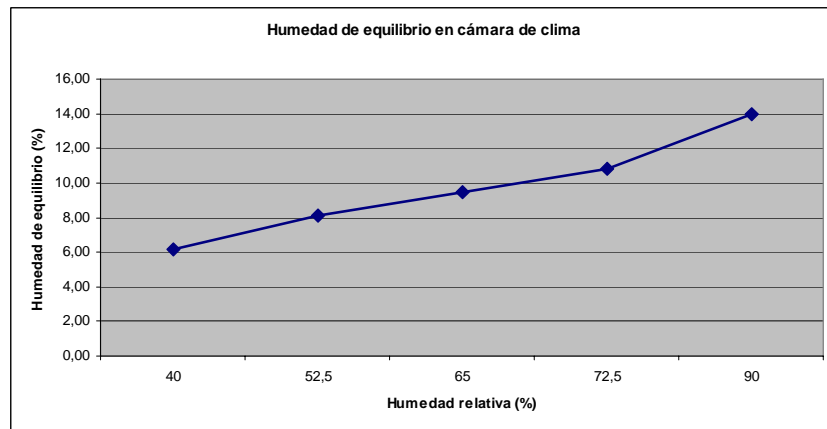
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 55/45 paralela



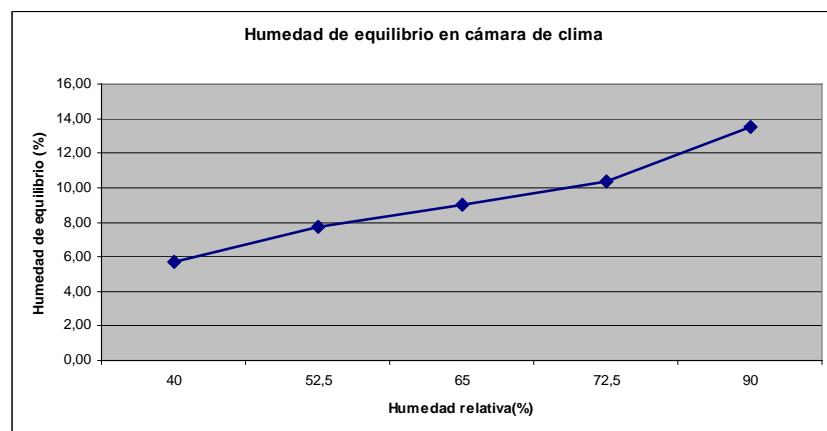
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 53/47 paralela



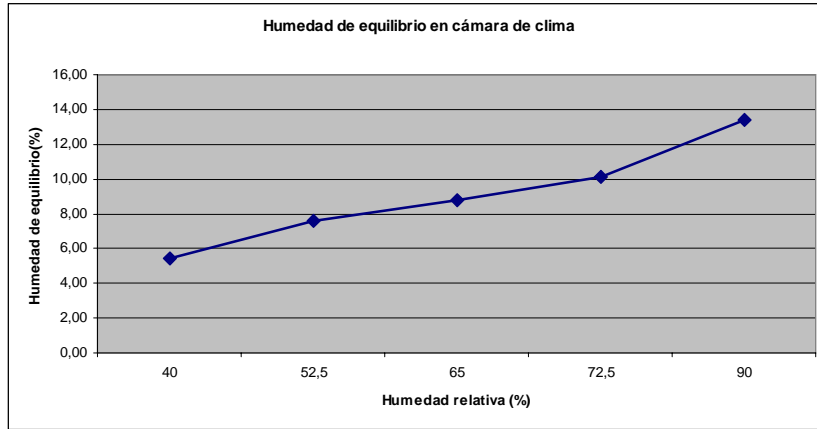
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 50/50 paralela



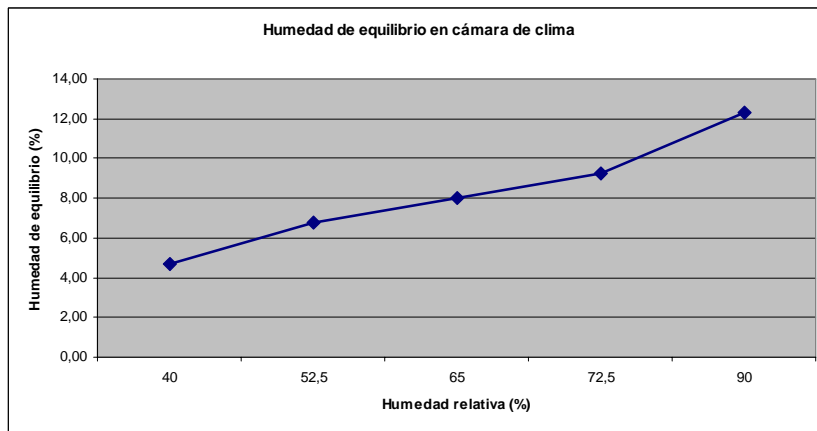
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 60/40 perpendicular



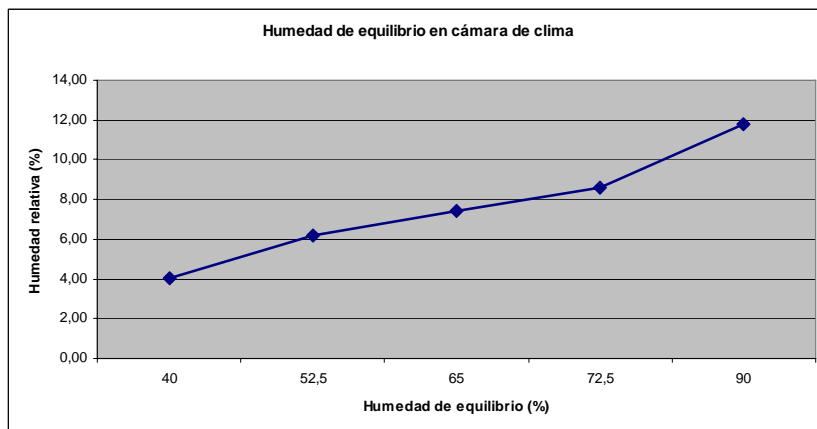
Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 57/43 perpendicular



Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 55/45 perpendicular



Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 53/47 perpendicular



Relación Humedad de equilibrio (%) y Humedad relativa (%), razón de formación 50/50 perpendicular

### **Anexos 3**

**Gráficos de propiedades evaluadas para cada razón de formación.**

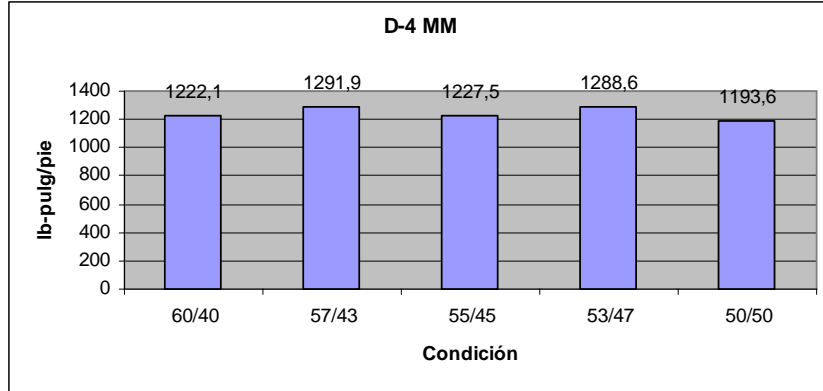


Gráfico D-4 húmedo MM

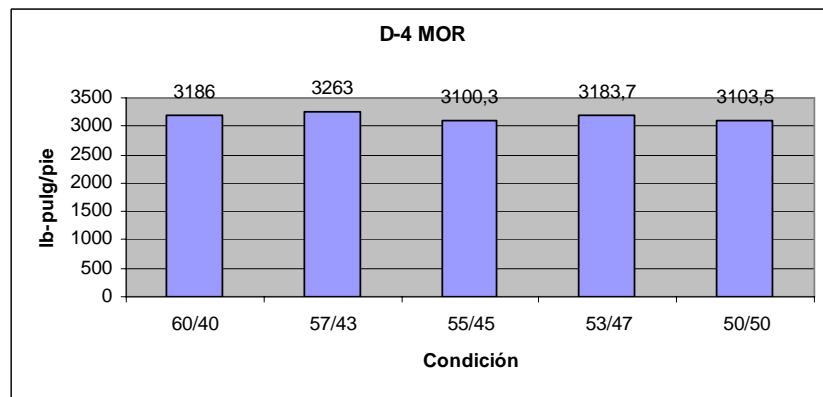


Gráfico D-4 húmedo MOR

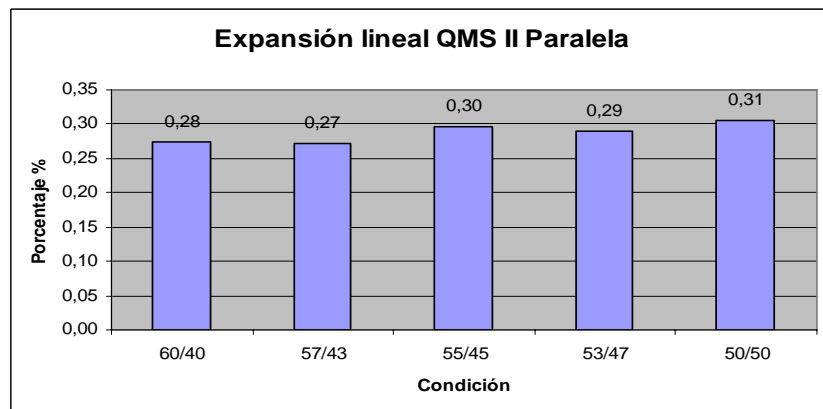


Gráfico Expansión lineal QMS II paralela

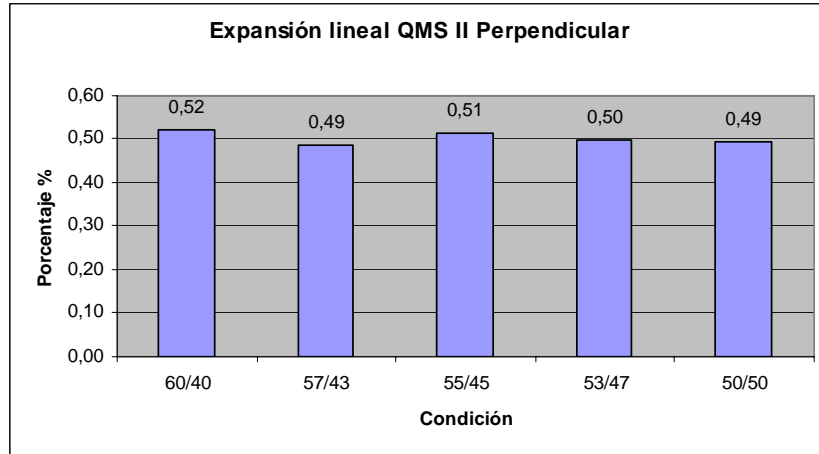


Gráfico Expansión lineal QMS II perpendicular

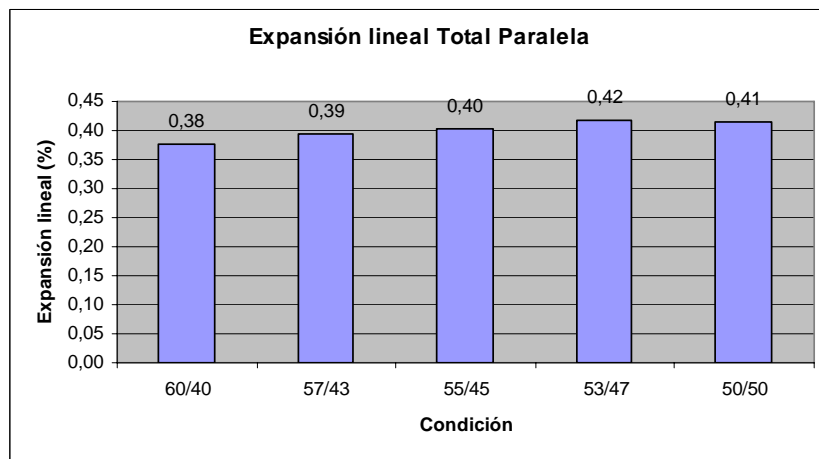


Gráfico Expansión lineal total paralela

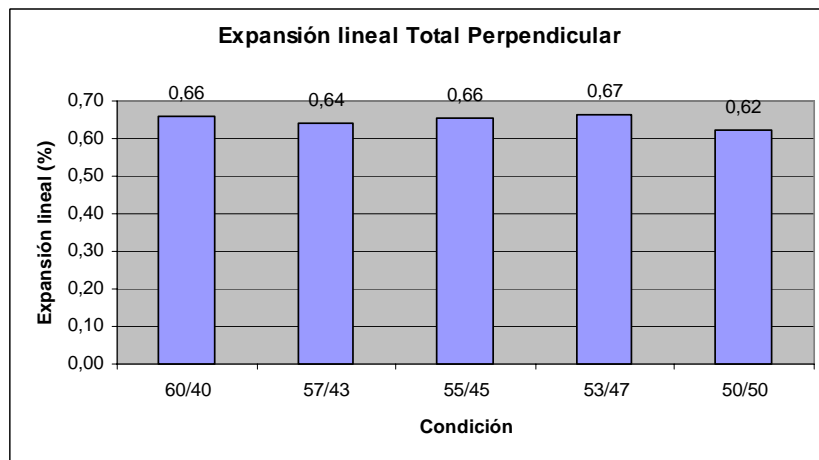


Gráfico Expansión lineal total perpendicular

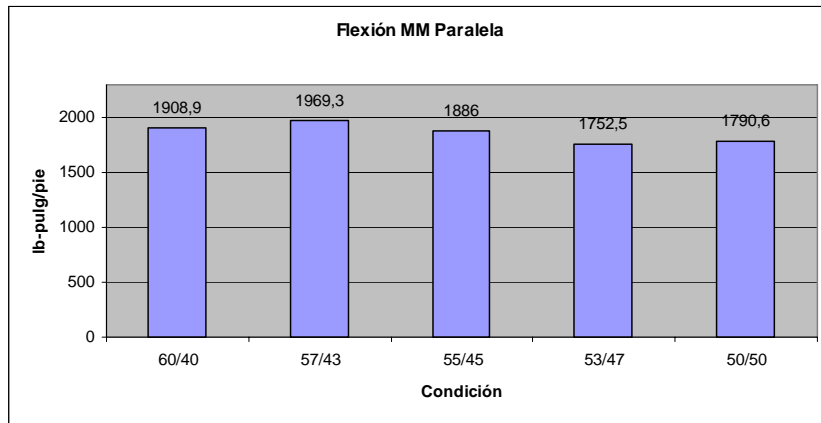


Gráfico flexión seca paralela MM

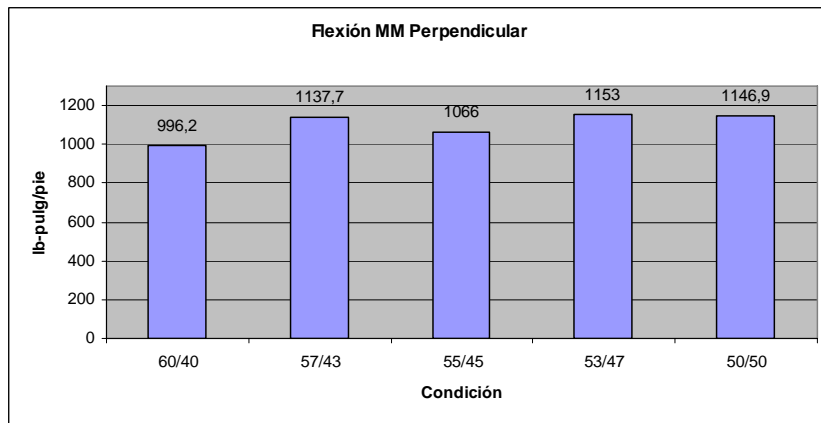


Gráfico flexión seca perpendicular MM

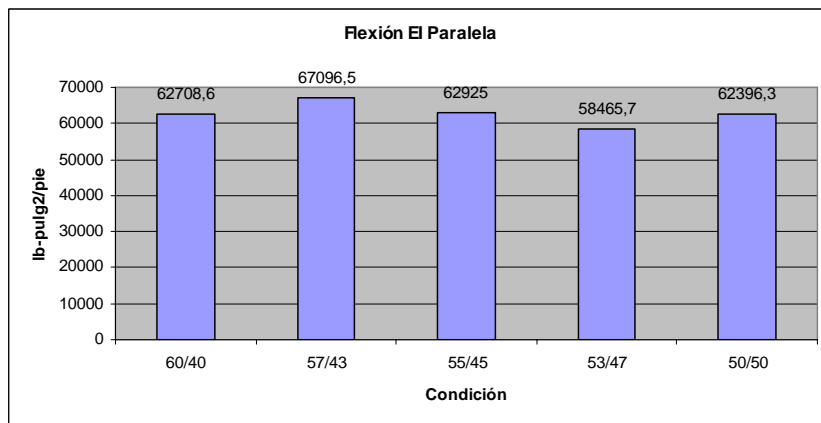


Gráfico flexión seca paralela EI



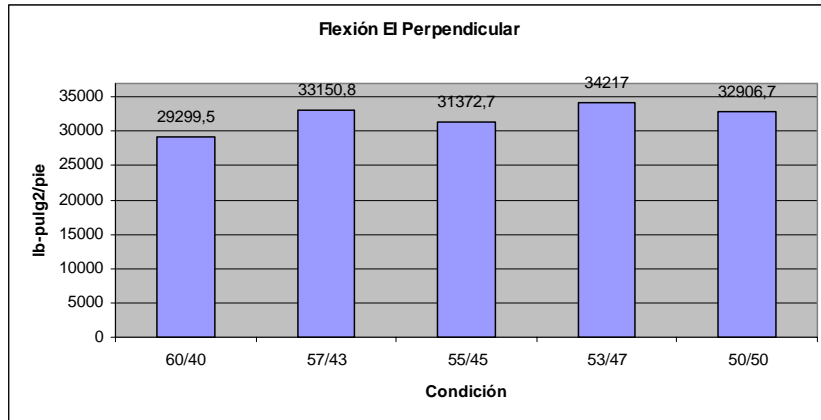


Gráfico flexión seca perpendicular EI

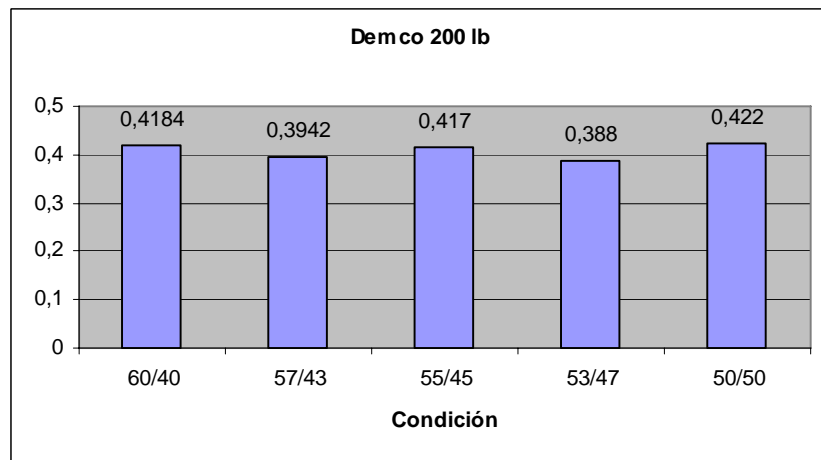


Gráfico deflexión máquina Demco

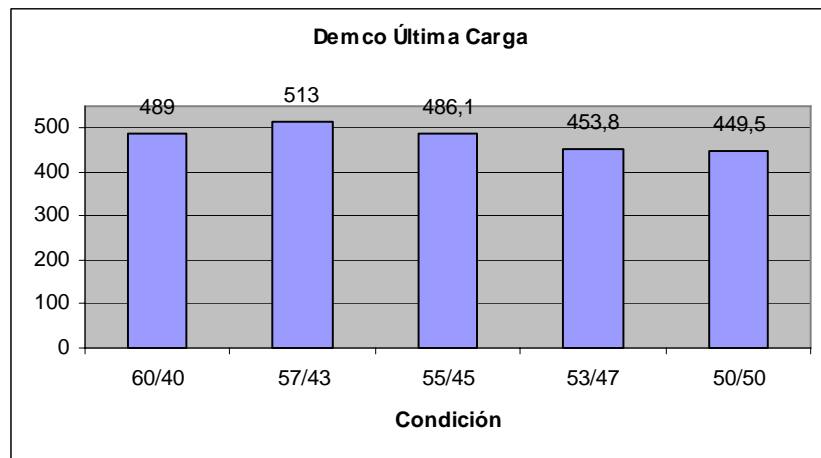


Gráfico carga final máquina Demco

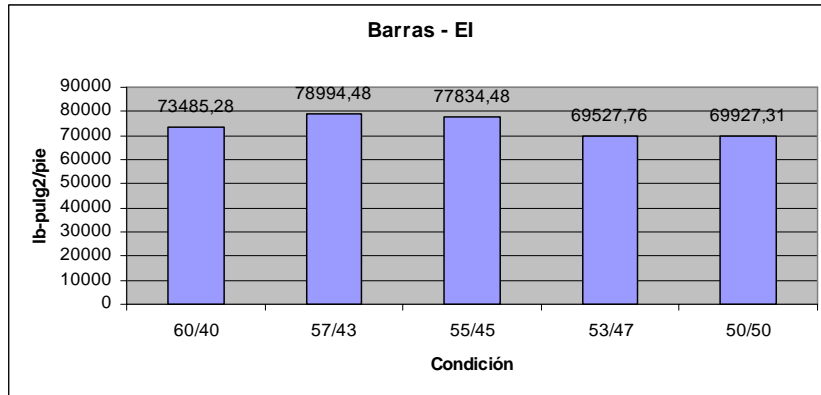


Gráfico ensayo de barras EI

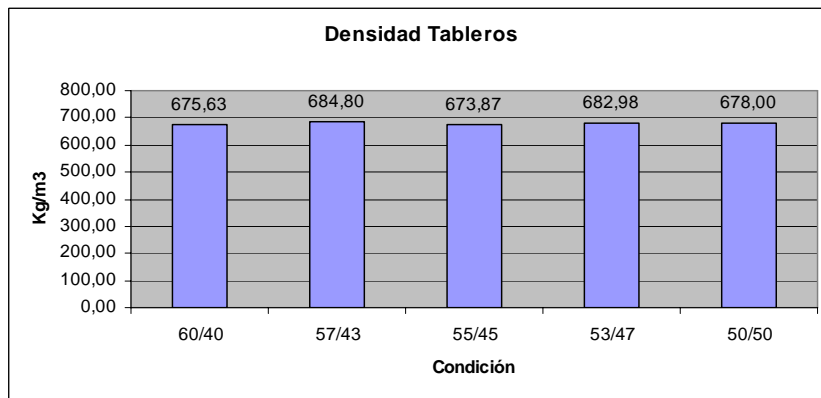


Gráfico ensayo de barras densidad tableros

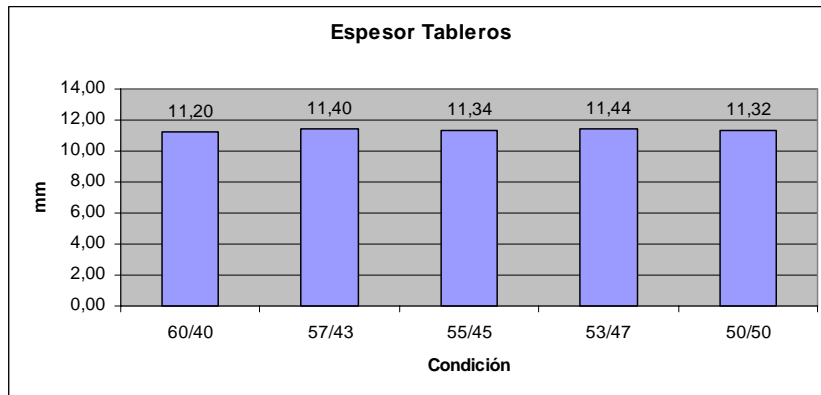


Gráfico ensayo de barras espesor tableros

## **ANEXOS 4**

**Análisis estadístico ANOVA realizado con el programa Statgraphic**

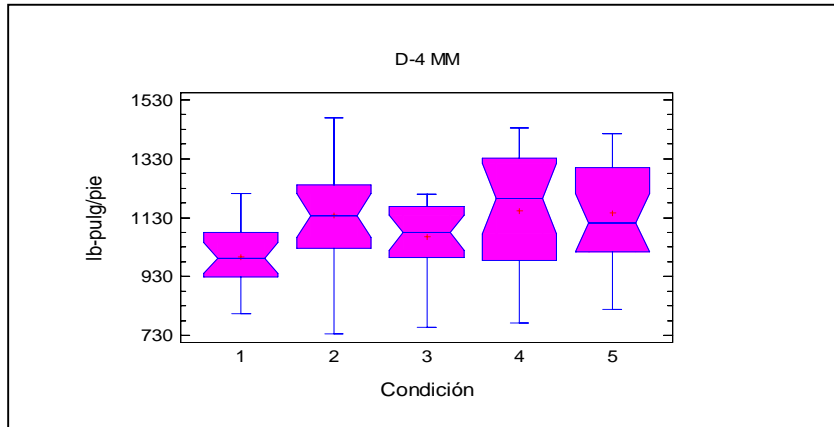


Gráfico análisis Anova D-4 húmedo MM, al 95% de confianza

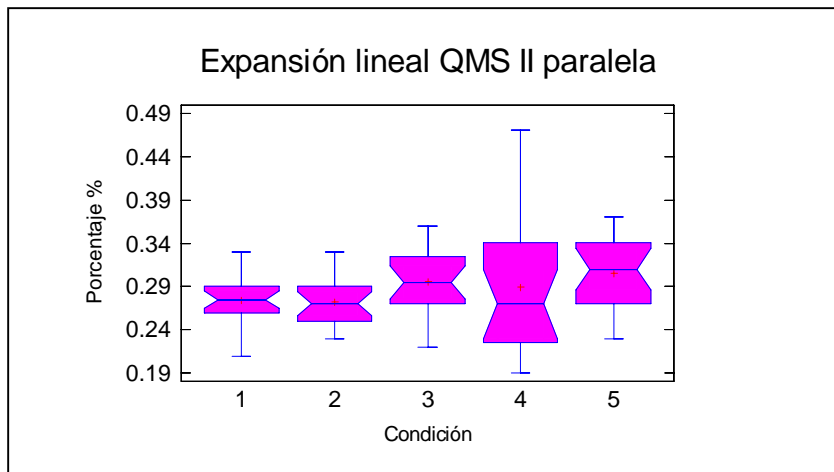


Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela QMS II, al 95% de confianza

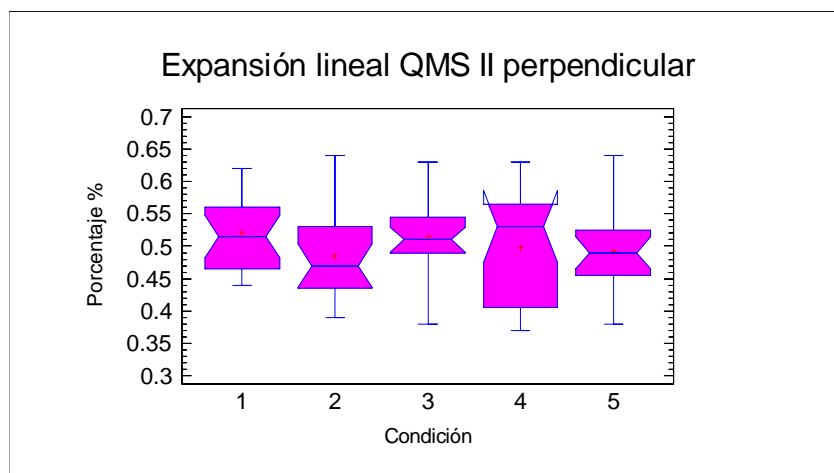


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular QMS II, al 95% de confianza

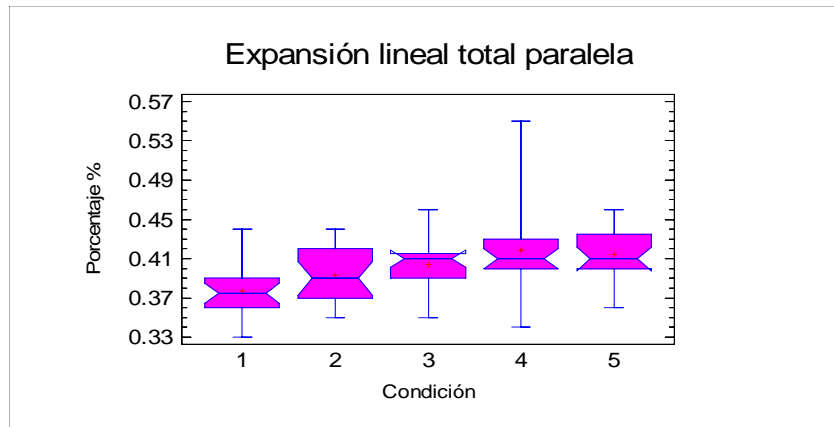


Gráfico análisis Anova expansión lineal total paralela, al 95% de confianza

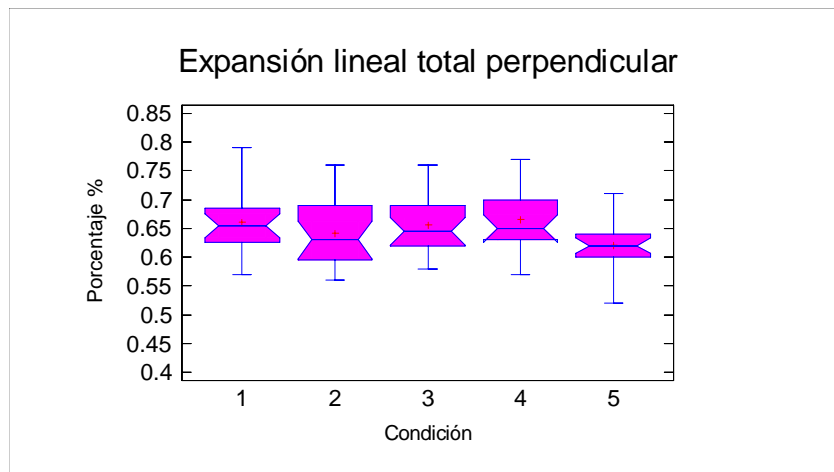


Gráfico análisis Anova expansión lineal total perpendicular, al 95% de confianza

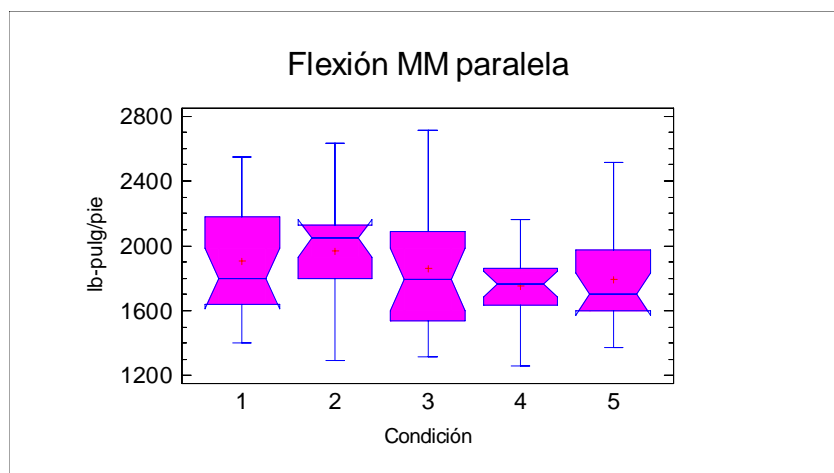


Gráfico análisis Anova flexión seca MM paralela, al 95% de confianza

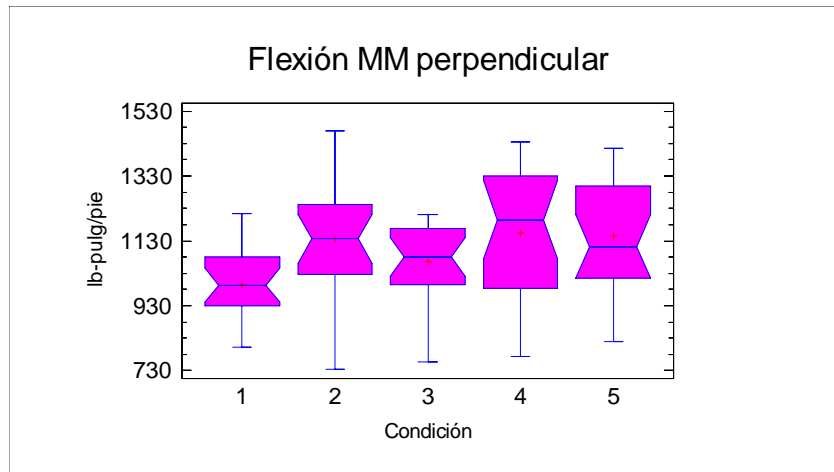


Gráfico análisis Anova flexión seca MM perpendicular, al 95% de confianza

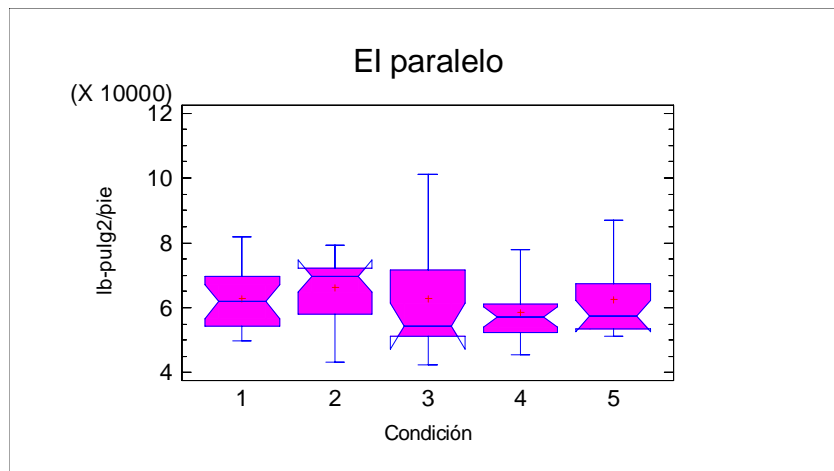


Gráfico análisis Anova flexión seca EI paralela, al 95% de confianza

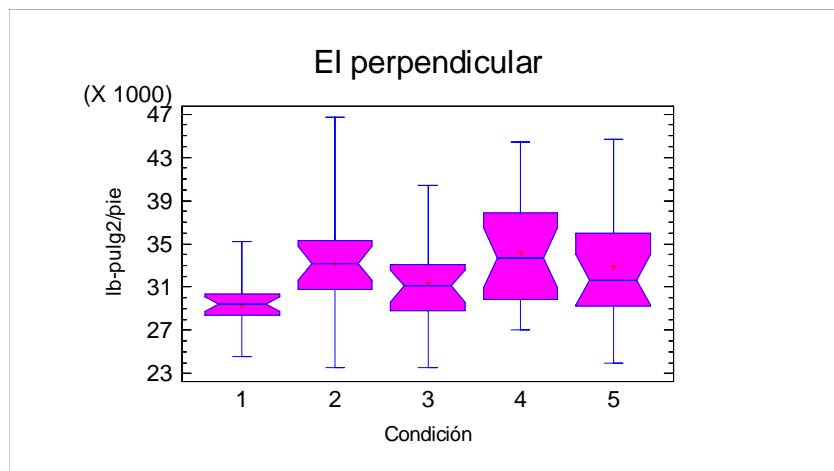


Gráfico análisis Anova flexión seca El perpendicular, al 95% de confianza

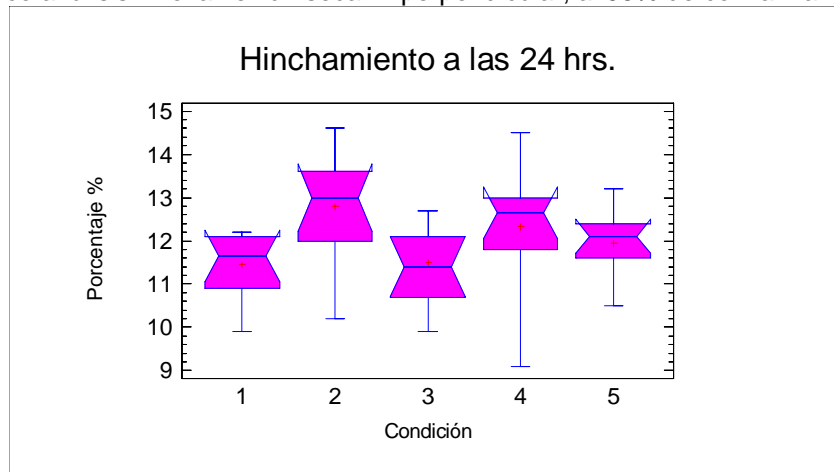


Gráfico análisis Anova Hinchamiento a las 24hrs., al 95% de confianza

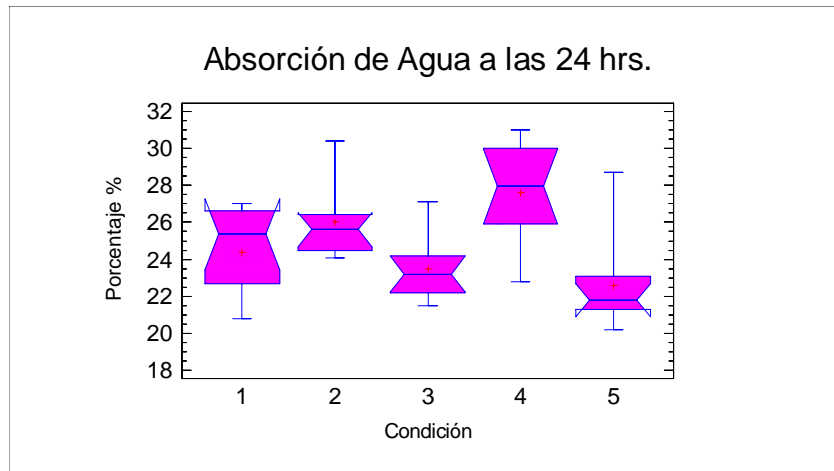


Gráfico análisis Anova Absorción de agua 24hrs., al 95% de confianza

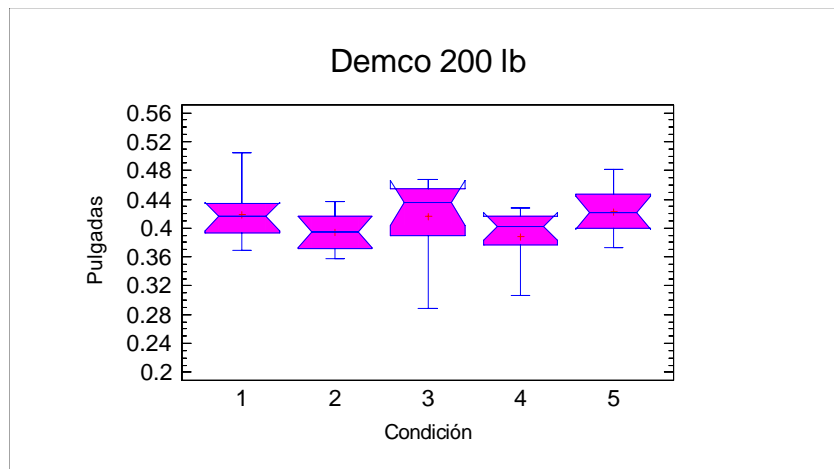


Gráfico análisis Anova deflexión máquina Demco, al 95% de confianza

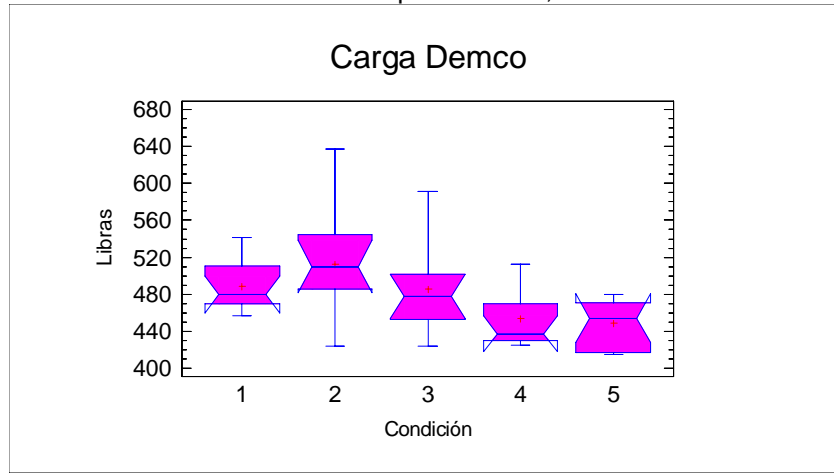


Gráfico análisis Anova carga final máquina Demco, al 95% de confianza

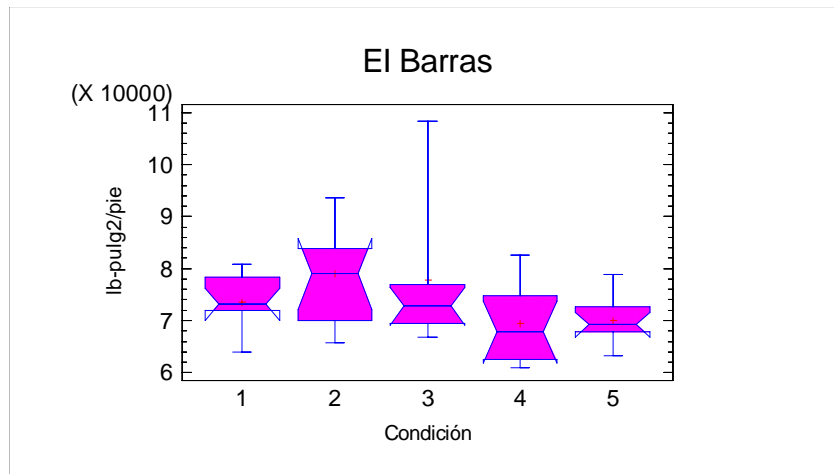


Gráfico análisis Anova ensayo de barras EI, al 95% de confianza

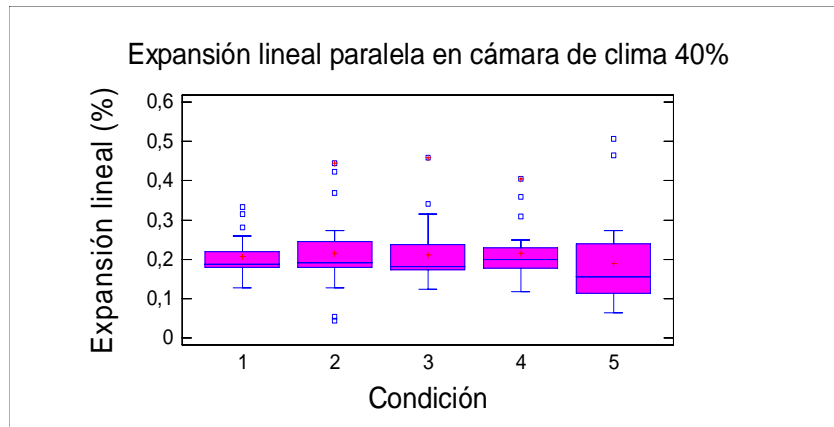




Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela clima 40%, al 95% de confianza

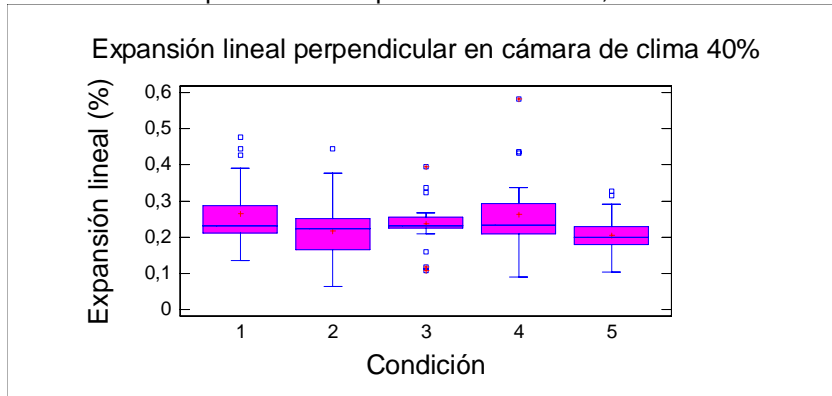


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular clima 40%, al 95% de confianza

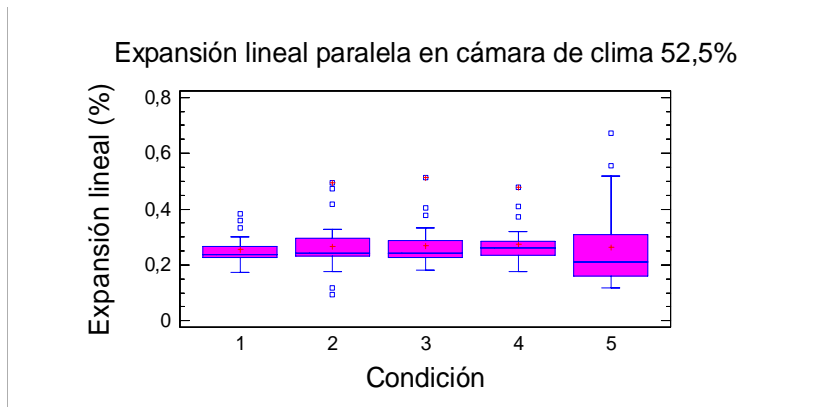


Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela clima 52,5%, al 95% de confianza

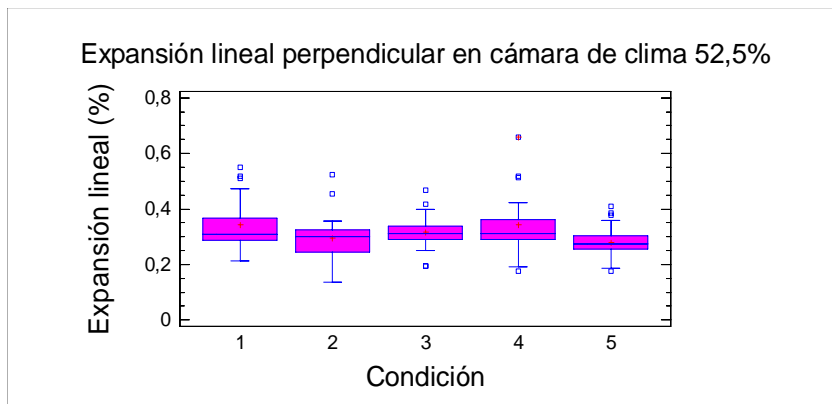


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular clima 52,5%, al 95% de confianza

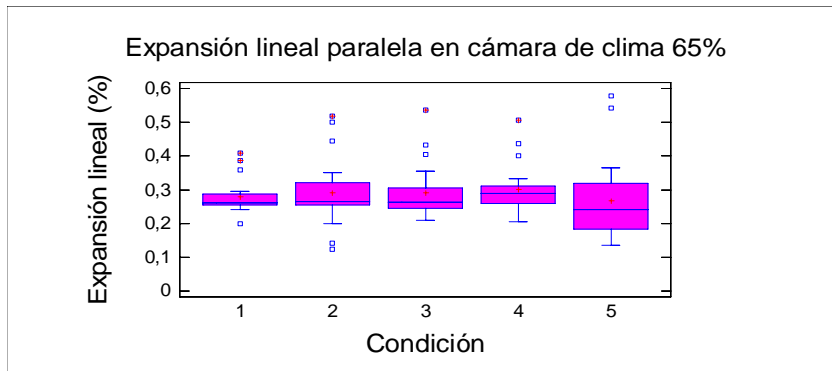


Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela clima 65%, al 95% de confianza

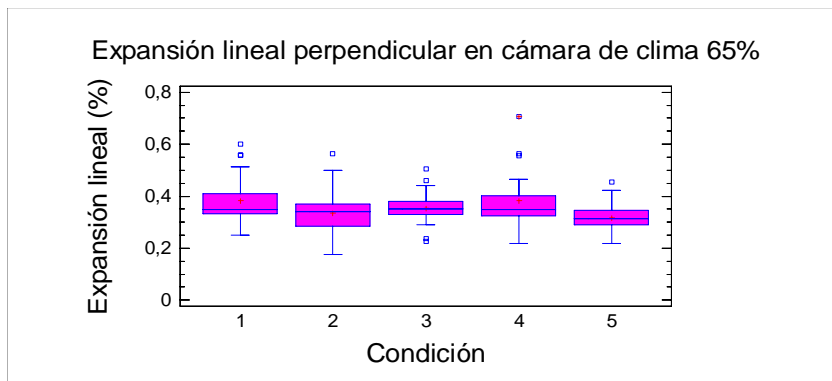


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular clima 65%, al 95% de confianza

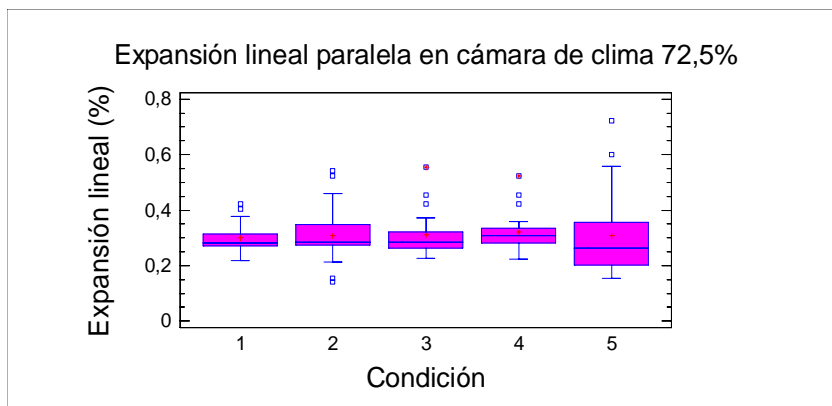


Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela clima 72,5%, al 95% de confianza

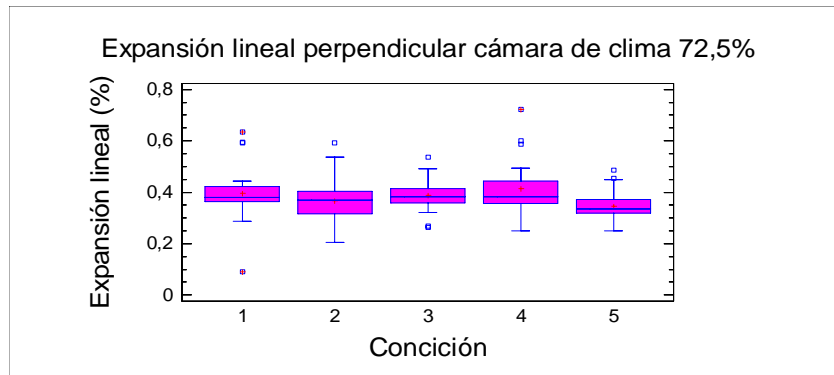


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular clima 72,5%, al 95% de confianza

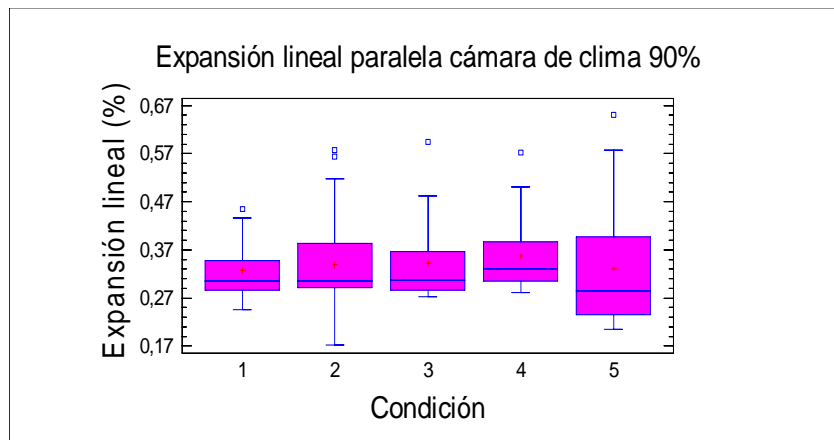


Gráfico análisis Anova expansión lineal paralela clima 90%, al 95% de confianza

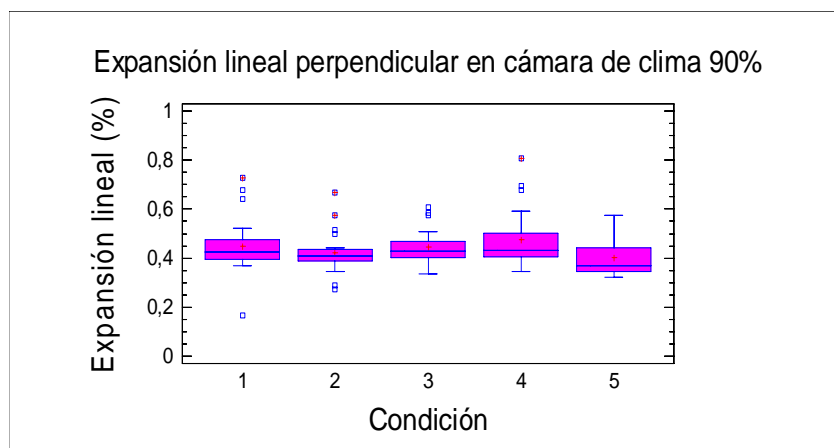


Gráfico análisis Anova expansión lineal perpendicular clima 90%, al 95% de confianza

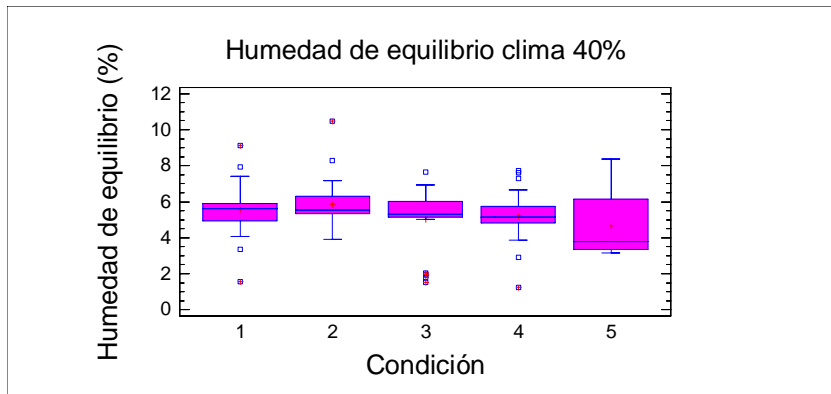


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 40% paralela, al 95% de confianza

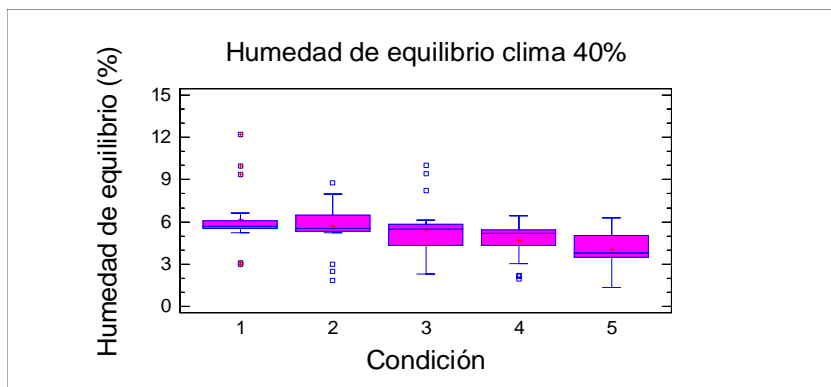


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 40% perpendicular, al 95% de confianza

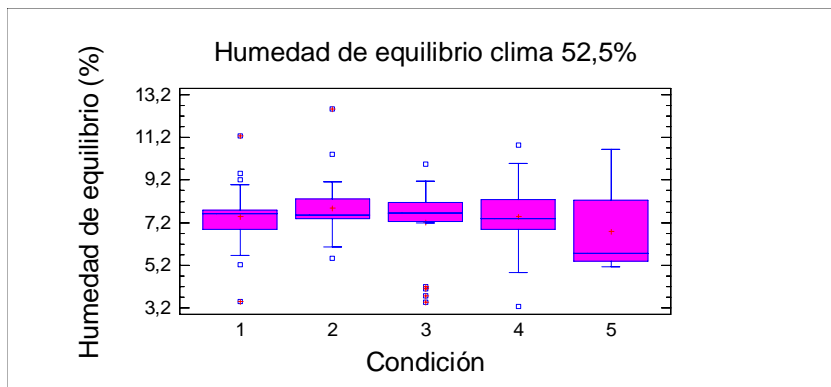


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 52,5% paralela, al 95% de confianza

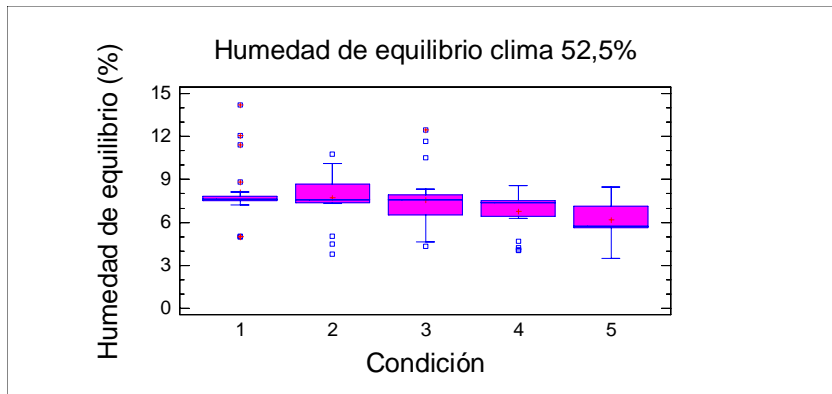


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 52,5% perpendicular, al 95% de confianza

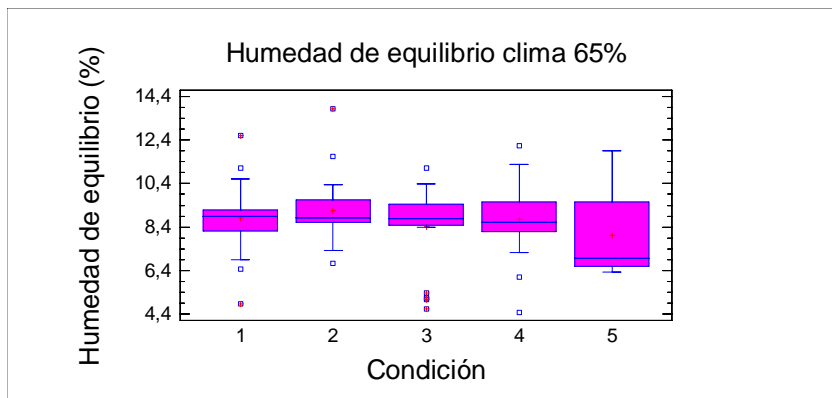


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 65% paralela, al 95% de confianza

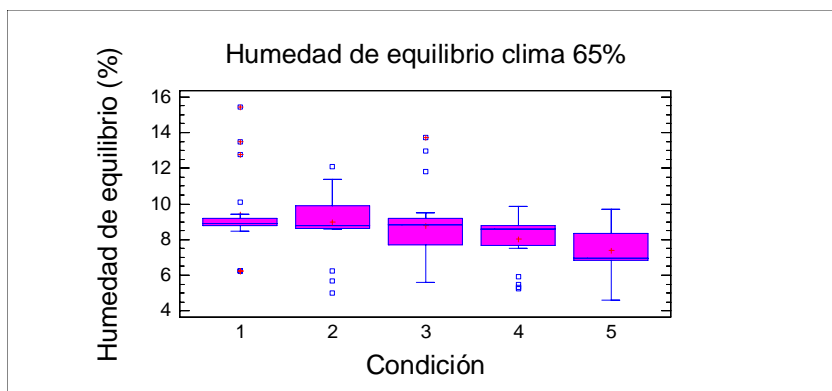


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 65% perpendicular, al 95% de confianza

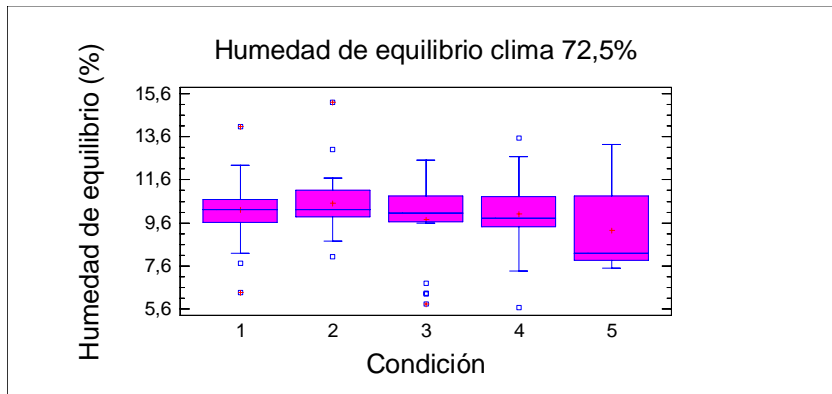


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 72,5% paralela, al 95% de confianza

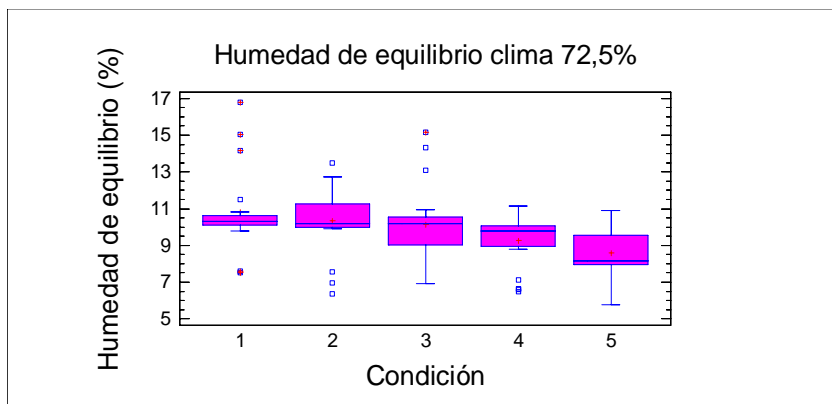


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 72,5% perpendicular, al 95% de confianza

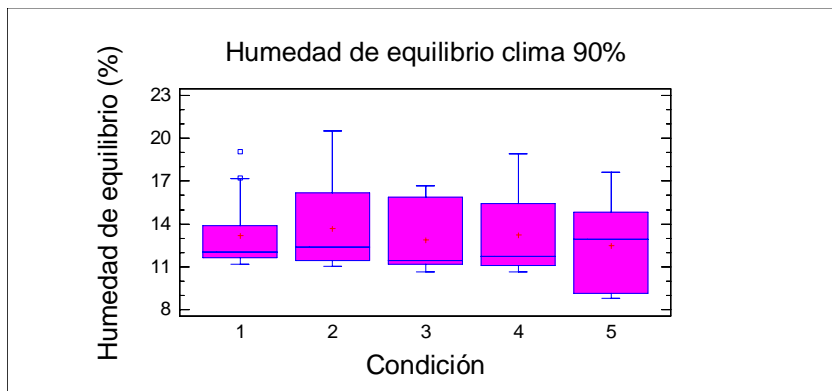


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 90% paralela, al 95% de confianza

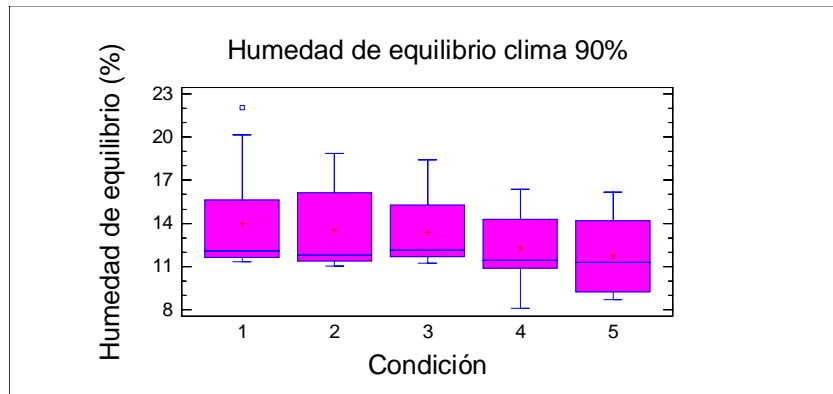


Gráfico análisis Anova humedad de equilibrio clima 90% perpendicular, al 95% de confianza