



PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE ARUNDO DONAX L. Y BAGAZO DE SACCHARUM OFFICINARUM L.

Diego Ramos Romero

Dipòsit Legal: T. 51-2013

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

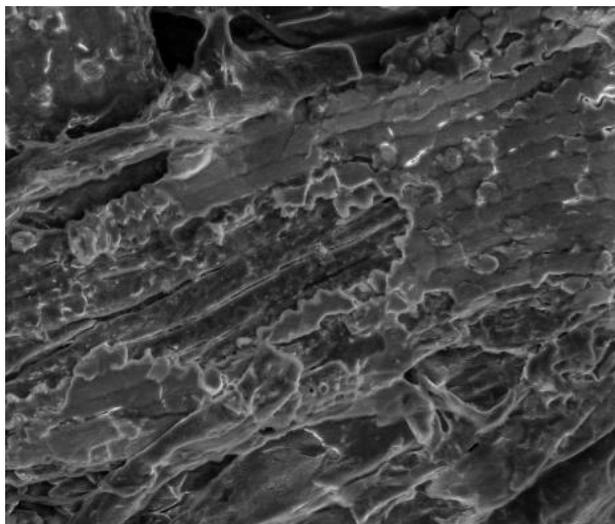
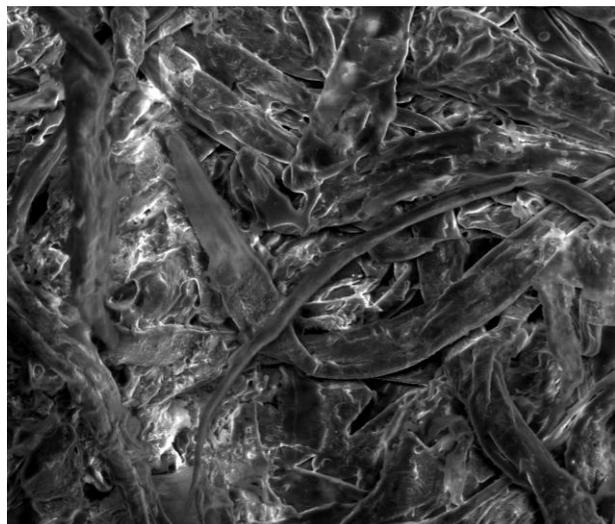
TESIS DOCTORAL

**Producción de tableros de fibras sin adición de adhesivos
a partir de *Arundo donax* L.
y bagazo de *Saccharum officinarum* L.**

Memoria presentada por

Diego Ramos Romero para optar al título de Doctor

Tarragona, Septiembre del 2012



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE *Arundo donax* L.
y BAGAZO DE *Saccharum officinarum* L.

Diego Ramos Romero

DL:T. 51-2013

Diego Ramos Romero

Producción de tableros de fibras sin adición de adhesivos a partir de *Arundo donax* L. y bagazo de *Saccharum officinarum* L.

TESIS DOCTORAL

dirigida por:

Dr. Francesc Ferrando Piera. Departamento de Ingeniería Mecánica

Dr. Joan Salvadó i Rovira. Departamento de Ingeniería Química



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

TARRAGONA 2012

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE *Arundo donax* L.
y BAGAZO DE *Saccharum officinarum* L.

Diego Ramos Romero

DL:T. 51-2013



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Acreditación de la dirección de tesis

El Dr. Joan Salvadó i Rovira, Catedrático de Universidad del Departamento de Ingeniería Química, y el Dr. Francesc Ferrando Piera, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Mecánica, ambos de la Universidad Rovira y Virgili,

HACEN CONSTAR que el presente trabajo de investigación, realizado por el Sr. Diego Ramos Romero para optar al grado de Doctor y titulado “**Producción de Tableros de fibras sin adición de adhesivos sintéticos a partir de Arundo donax L. y bagazo de Saccharum officinarum L.**”, es original y ha sido realizado bajo su dirección en los laboratorios de los departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química de la Universidad Rovira i Virgili; y que todos los resultados presentados, así como su análisis, se derivan de la investigación realizada por este doctorando.

Tarragona a 15 de Julio de 2012

Codirectores de la tesis doctoral

Dr. Joan Salvadó i Rovira

Dr. Francesc Ferrando Piera

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE *Arundo donax* L.
y BAGAZO DE *Saccharum officinarum* L.

Diego Ramos Romero

DL:T. 51-2013

AGRADECIMIENTOS

A los codirectores: Joan Salvadó i Rovira y Francesc Ferrando Piera, por su confianza y apoyo; por dedicarme su tiempo, buscar financiación, ayudarme con su experiencia y sus orientaciones, y por su trato especialmente cómodo y afable.

A la empresa “Destilería Aldea SL.”: Gracias a los hermanos José Manuel y M^a Jesús Quevedo por tener la gentileza de enviarnos la materia prima del trabajo, el bagazo de caña, desde San Andrés de Sauces en la Isla de La Palma, de forma desinteresada y con trato muy amable, a pesar de no haber llegado a conocernos.

A Rosa Arcas, Directora de la empresa “Tableros de Fibras Ibéricos S.L” de Betanzos, por abrirnos las puertas de la empresa y explicarnos el proceso industrial de producción de tableros de fibra en la propia fábrica y laboratorios, con todo lujo de detalles; así como por compartir sus conocimientos y gran experiencia en la producción industrial; todo con una gran amabilidad.

A la Agencia Catalana del Agua (ACA) por su apoyo institucional y concesión de permisos para la obtención de *Arundo donax* L. en el T.M de Riudecanyes.

A la Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR), por el soporte financiero otorgado a través del programa de ayudas para potenciar los grupos de investigación de calidad.

A Pepa Lázaro por su absoluta disponibilidad, predisposición y buen hacer. A Josep Maixé y Vicenç Puig por su trabajo en la preparación de herramientas. A Tamara Esquilino por su ayuda en los análisis químicos. A Ester Torrens por compartir amablemente sus equipos.

A todos los compañeros del Departamento de Ingeniería Mecánica, especialmente a los compañeros de Área pues, además de compartir trabajo, compartimos despacho o cafés y tertulias; con los que no solucionamos los problemas de la ciencia, pero sí conseguimos días más amenos y la confianza en un trabajo cada vez mejor hecho.

Una mención especial a Francesc Ferrando, ahora como amigo, por su continuo apoyo mucho más allá de lo profesional.

A todos los que me hacen la vida más fácil, a todos los amigos, muchos alejados en la distancia o en el tiempo, pues son en gran medida lo mejor de nuestra propia vida.

A toda mi familia por una vida de esfuerzo, de confianza y de apoyo. En especial a Ester, mi mujer, y a mi hijo David, por el tiempo que este trabajo me ha quitado de compartir con ellos.

A todos, gracias.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE *Arundo donax* L.
y BAGAZO DE *Saccharum officinarum* L.

Diego Ramos Romero

DL:T. 51-2013

RESUMEN

En este trabajo se estudian los parámetros de obtención de tableros sin el aporte de adhesivos a partir de materiales lignocelulósicos, como son la caña común (*Arundo donax* L.) y el bagazo de *Saccharum officinarum* L.

Los tableros propuestos aportan como ventaja el estar libres de emisiones de formaldehído y el no consumir recursos fósiles. Ambas propiedades son importantes en un mercado cada vez más exigente en aspectos medioambientales.

En el caso del “*Arundo donax* L” se ha partido de cañas silvestres de Tarragona. El bagazo de *Saccharum officinarum* utilizado es el subproducto industrial de una destilería de la Isla de la Palma (Canarias).

El *Arundo donax* L. ha sido pretratado realizando una “explosión de vapor” en un reactor “batch”. El material explosionado se ha triturado y prensado en frío de dos formas (en seco y en húmedo). Posteriormente, los tableros prensados en frío y acondicionados a temperatura y HR constantes se han prensado en caliente a diferentes niveles de presión.

En el proceso de producción a escala de laboratorio de los tableros, se han mejorado algunas de las fases seguidas, como el prensado introduciendo mallas de evacuación de vapor; y se han innovado otros, como la incorporación del prensado en frío y el Tratamiento térmico final después de la conformación en caliente. Todo ello para la obtención de altas prestaciones mecánicas con este material.

En el *Arundo donax* L. Se ha estudiado el efecto de los distintos niveles de presión de prensado sobre las características físicas y mecánicas de estos tableros (Densidad, MOE, MOR, IB, TS y WA), para los dos procesos de producción (prensado en frío seco y prensado en frío húmedo). Con ello se han obtenido las diferencias entre los dos procesos de prensado en frío y las relaciones matemáticas que ligan los factores de producción estudiados con estas características físicas y mecánicas de los tableros.

Los tableros de *Arundo donax* L. cumplen sobradamente los requerimientos de las normas EN para los usos más exigentes (estructural), en todas las características físico-mecánicas estudiadas para los dos procesos: prensado en frío en seco y prensado en frío húmedo.

En el caso del bagazo de *Saccharum officinarum* L. se ha seguido el mismo proceso que con *Arundo donax* L. pero los tableros serán prensados en caliente, no solo a diferentes presiones de prensado, sino también a diferentes temperaturas y tiempos de prensado. En este caso también se han realizado pretratamientos a diferentes niveles de severidad.

De esta manera, y de acuerdo con el diseño de experimentos, se ha podido estudiar el efecto de los distintos factores que intervienen en la producción de tableros (Severidad del pretratamiento, temperatura de prensado, presión de prensado y tiempo de prensado), sobre las características físicas y mecánicas de estos tableros. Con ello se han obtenido las relaciones matemáticas que vinculan a estos factores de producción

con estas características mecánicas y físicas de los tableros de *Saccharum officinarum* L.

Puede ser muy importante para la industria el hecho de que los modelos ajustados definidos nos pueden permitir obtener tableros con características prefijadas.

Como en el *Arundo donax* L., también se ha valorado el efecto, sobre las propiedades físicas y mecánicas de los tableros, de la aplicación de diferencias en el proceso de producción, tales como el prensado en frío (en seco o en húmedo); o la utilización de material explosionado no lavado.

Los tableros de *Saccharum officinarum* L. también cumplen sobradamente los requerimientos de las norma EN para uso estructural, en todas las características físico-mecánicas estudiadas.

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE FIBRAS SIN ADICIÓN DE ADHESIVOS A PARTIR DE Arundo donax L.
y BAGAZO DE Saccharum officinarum L.
Diego Ramos Romero
DL:T. 51-2013

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
Nomenclatura.....	VII
Lista de abreviatura.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XV
I MEMORIA	1
1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1.-Introducción	3
1.2.- Objetivos	3
2.- Antecedentes.....	5
2.1.- Tableros derivados de madera	7
2.2.- El <i>Arundo donax</i> L.....	9
2.3.- El Bagazo de <i>Saccharum officinarum</i> L.	11
2.4.- Pretratamiento con vapor de materiales lignocelulósicos	12
2.5.- Estudios sobre elaboración de tableros sin adhesivos.....	14
3.- Desarrollo experimental	17
3.1 Esquemas de producción de tableros	19
3.2.- Diseño experimental	24
3.3.- Materiales.....	26
3.4 Equipos.....	31
3.4.1.- Caldera de vapor.....	31
3.4.2.- Reactor discontinuo.....	31
3.4.3.- Carro de lavado del material explosionado	32
3.4.4.- Molino de triturado del material explosionado	33
3.4.5.- Equipo de prensado en frío.....	33
3.4.6.- Equipo de acondicionamiento de tableros prensados en frío y en caliente.....	34
3.4.7.- Equipo de prensado en caliente	34
3.4.8.- Equipo para el tratamiento térmico final.....	34
3.4.9.- Equipo para la caracterización de propiedades mecánicas de los tableros	34
3.5.- Métodos.....	36
3.5.1.- Explosión de vapor.....	36
3.5.2.- Lavado del material explosionado.....	37

3.5.3.- Secado	37
3.5.4.- Molienda	37
3.5.5.- Caracterización de material	38
3.5.6.- Prensado en frío.....	38
3.5.7.- Acondicionamiento de los tableros preconformados	39
3.5.8.- Prensado en caliente	39
3.5.9.- Tratamiento térmico final.....	40
3.5.10.- Acondicionamiento de tableros en cámara climática.....	40
3.5.11.- Caracterización física y mecánica de los tableros	40
3.5.12.- Microscopía electrónica (SEM)	41
4.- Resultados y Discusión.....	43
4.1.- Composición química del material y relación con las propiedades físicas y mecánicas de los tableros	45
4.1.1.- Composición química de los materiales.....	45
4.1.2.- Efectos de la severidad y del lavado en la composición química del material. 47	
4.1.3.- Relación entre la composición química y las características físicas y mecánicas de los tableros (series 51, 61 y 63).	53
4.2 Resultados y discusión de los tableros de <i>Arundo donax</i> L.....	55
4.2.1.- Series 11 y 12: Comparación entre los procesos seco y húmedo no optimizados	55
4.2.2.- Series 11 y 21: Comparación entre proceso con y sin tratamiento térmico final	72
4.2.3.- Serie 22. Procesado con prensado en frío seco y optimizado	78
4.2.4.- Series 22 y 3. Comparación entre los procesos con prensado en frío seco y húmedo, ambos optimizados	85
4.2.5.- Series 22, 3 y 4: Comparación entre de las series optimizadas con lavado previo del material y sin lavado (serie 4)	104
4.2.6.- Estudio microscópico de tableros de <i>Arundo donax</i> L.....	110
4.3 Resultados y discusión de los tableros de <i>Saccharum officinarum</i> L.	113
4.3.1.- Introducción	113
4.3.2.- Producción de tableros con alta severidad, proceso de prensado frío en seco (serie 51) y proceso de prensado frío en húmedo (serie 52). Comparación de procesos y efecto de la Pp y tp.	115
4.3.3.- Producción de tableros con baja severidad y con proceso seco de prensado en frío (serie 61). Efecto de la Tpr y de la severidad (comparación de las series 51 y 61)	154

4.3.4.- Análisis conjunto de las tres series de material lavado (51-52-61). Relación de la densidad con el resto de características	191
4.3.5.- Producción de tableros con material no lavado en alta y baja severidad (series 53 y 63).....	209
5.- Conclusiones generales.....	223
5.1.- Conclusiones generales al <i>Arundo donax L.</i>	225
5.2.- Conclusiones al <i>Saccharum officinarum L.</i>	227
5.2.1.- Conclusiones por características de los tableros en <i>Saccharum Officinarum L.</i>	227
5.2.2.- Conclusiones por factores de producción con <i>Saccharum Officinarum L.</i>	234
5.2.3.- Conclusiones generales al <i>Saccharum Officinarum L.</i>	237
6.- Bibliografía.....	239
II ANEJOS	249
ANEJO I: EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS.....	249
1.- Pretratamiento.....	251
1.1.- Caldera de vapor	251
1.2.- Reactor discontinuo	252
1.3.- Procedimiento en la explosión del material	253
2.- Lavado del material	255
3.- Trituración del material explosionado	255
4.- Caracterización del material lignocelulósico.....	256
4.1.- Humedad.....	256
4.2.- Extractivos acuosos.....	258
4.3.- Extractivos orgánicos.....	260
4.4.- Lignina Klason y monosacáridos elementales por HPLC	261
4.5.- Holocelulosa	264
4.6.- α -Celulosa	267
5.- Prensado y tratamiento térmico final.....	269
5.1.- Prensado en frío	269
5.2.- Prensado en caliente.....	270
5.2.1.- Equipo de prensado en caliente	270
5.2.2.- Procedimiento de prensado en caliente	270
5.3.- Tratamiento térmico final	271
5.4.- Estabilización en cámara climática.....	271

6.- Caracterización de los tableros	272
6.1.-Propiedades físicas.....	272
6.1.1.- Densidad.....	272
6.1.2.- Absorción de agua e hinchamiento	272
6.2.- Propiedades mecánicas	274
6.2.1.- Módulo Elástico y Resistencia a la flexión (MOE, MOR)	274
6.2.2.- Resistencia a la tracción perpendicular a las caras o Internal Bond (IB)....	276
ANEJO II: TABLAS DE PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TABLEROS	279
1.- Tablas de parámetros de producción y características de los tableros de <i>Arundo donax</i> L.	281
2.- Tablas de parámetros de producción y características de los tableros de <i>Saccharum</i> <i>officinarum</i> L.	286

Nomenclatura

Series de tableros

Arundo donax L.

Serie 1: Tableros realizados con proceso no optimizado de prensado caliente sin tratamiento térmico final

Serie 11: Tableros realizados con prensado en frío seco

Serie 12: Tableros realizados con prensado en frío húmedo

Serie 2: Tableros realizados con prensado en frío seco y tratamiento térmico final

Serie 21: Prensado en caliente no optimizado

Serie 22: Prensado en caliente optimizado

Serie 3: Tablero realizado con prensado en frío húmedo, prensado caliente optimizado y tratamiento térmico final

Serie 4: Tableros realizado con material no lavado, prensado en frío seco, prensado caliente optimizado y tratamiento térmico final

Saccharum Officinarum L.

Serie 5: Tableros realizado a alta severidad, prensado caliente optimizado y tratamiento térmico final

Serie 51: Tableros realizado con prensado frío seco

Serie 52: Tableros realizados con prensado frío húmedo

Serie 53: Tableros realizados con material no lavado y prensado frío seco

Serie 6: Tableros realizado a baja severidad, prensado caliente optimizado y tratamiento térmico final

Serie 61: Tableros realizado con prensado frío seco

Serie 62: Tableros realizados con prensado frío húmedo (desechado durante la investigación)

Serie 63: Tableros realizados con material no lavado y prensado frío seco

Lista de abreviatura

ANOVA	Análisis de varianza (Analysis of Variance)
ASTM	American Society for Testing Materials
EN	Norma Europea
HR	Humedad relativa
IB	Resistencia a la tracción perpendicular a las caras (Internal Bond)
LC	Límite de confianza
LSD	Mínimas diferencias significativas (Least Significant Difference).
MA	Método analítico
MOE	Módulo de elasticidad en flexión o Módulo de Young (Mpa)

MOR	Resistencia a la flexión (Mpa)
NC	Nivel de confianza
Pp	Presión de prensado (Mpa)
R2	Coefficiente de determinación
rev.	Revisión
sqrt	Raíz cuadrada
SEM	Microscopía electrónica de escaneo
Severidad	Factor de severidad (Overend & Chornet, 1987)
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
tp	Tiempo de prensado (segundos)
Tpr	Temperatura de prensado
Tr	Temperatura del reactor (pretratamiento)
t_r	Tiempo de reacción (pretratamiento)
TS	Hinchazón en espesor
WA	Absorción de agua (water absorption)

Índice de figuras

Figura 3.1-1: Esquema de la producción de tableros de <i>Arundo donax</i> L. con prensado doble en caliente y material lavado.....	19
Figura 3.1-2: Esquema de la producción de tableros de <i>Arundo donax</i> L. con material lavado.....	20
Figura 3.1-3: Esquema de la producción de tableros de <i>Saccharum officinarum</i> L. realizada con material lavado.....	22
Figura 3.3-1: Astilladora Black & Decker y Arundo donax L. astillado.....	26
Figura 3.3-2: Astillas de bagazo de <i>Saccharum officinarum</i> L.	27
Figura 3.3-3: Bagazo pretratado, lavado y sin triturar.....	27
Figura 3.3-4: Saccharum de alta severidad triturado.....	28
Figura 3.4.1-1: Caldera de vapor Boreal.....	31
Figura 3.4.2-1: Vista general del reactor.....	32
Figura 3.4.3-1: Carro de lavado con tamiz de 170 Mesh.....	32
Figura 3.4.4-1: Molino Restsch SM 100 y tamiz de 4 mm.....	33
Figura 3.4.5-1: Prensa MEGA-30 AN de 30 toneladas.....	33
Figura 3.4.7-1: Prensa calefactada Polystat 300 S.....	34
Figura 3.4.9-1: Extensómetro y útiles para MOE y MOR.....	35
Figura 3.4.9-2: Extensómetro y útiles de obtención del IB.....	35
Figura 3.5.6-1: Tablero prensado en frío.....	39
Figura 3.5.8-1: Tablero prensado en frío (superior) y en caliente (inferior).....	40
Figura 4.1.2-1: Extractivos orgánicos. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %.....	47
Figura 4.1.2-2: Lignina. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %.....	48
Figura 4.1.2-3: Hemicelulosas. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %.....	48
Figura 4.1.2-4: Extractivos acuosos. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %.....	49
Figura 4.1.2-5: Lignina. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %.....	50
Figura 4.1.2-6: Glucosa. Lavado-Sin Lavar. Separación del medias por LSD al 95 %.....	50
Figura 4.1.2-7: Holocelulosa. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %.....	51
Figura 4.1.2-8: α -celulosa. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %.....	51
Figura 4.1.2-9: Hemicelulosas. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %.....	52
Figura 4.2.1-1: Serie 11. Densidad en función de la Pp.....	57
Figura 4.2.1-2: Serie 12. Densidad en función de la Pp.....	57
Figura 4.2.1-3: Series 11 y 12. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %.....	58
Figura 4.2.1-4: Serie 11. MOE en función de la Pp.....	59
Figura 4.2.1-5: Serie 12. MOE en función de la Pp.....	60
Figura 4.2.1-6: Series 11 y 12. MOE. Separación de medias por LSD al 95.....	60
Figura 4.2.1-7: Serie 11+12. MOE en función de la Pp.....	61
Figura 4.2.1-8: Serie 11. MOR en función de la Pp.....	62
Figura 4.2.1-9: Serie 12. MOR en función de la Pp.....	63
Figura 4.2.1-10: Serie 11+12. MOR en función de la Pp.....	64
Figura 4.2.1-11: Series 11 y 12. IB. Separación de medias por LSD al 95 %.....	65
Figura 4.2.1-12: Series 11 y 12. TS. Separación de medias por LSD al 95 %.....	66
Figura 4.2.1-13: Serie 11. MOR en función de la Pp.....	68
Figura 4.2.1-14: Serie 12. MOR en función de la Pp.....	68

Figura 4.2.1-15: Series 11 y 12. WA. Separación de medias por LSD al 95 %	69
Figura 4.2.1-16: Serie 11+12. WA en función de la Pp.....	70
Figura 4.2.2-1: Series 11 y 21. Densidad.Separación de medias por LSD al 95 %	72
Figura 4.2.2-2: Series 11 y 21. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %	73
Figura 4.2.2-3: Series 11 y 21. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %	74
Figura 4.2.2-4: Series 11 y 21. IB. Separación de medias por LSD al 95 %	74
Figura 4.2.2-5: Series 11 y 21. TS. Separación de medias por LSD al 95 %	75
Figura 4.2.2-6: Series 11 y 21. WA. Separación de medias por LSD al 95 %	76
Figura 4.2.3-1: Serie 22. Densidad en función de la Pp	79
Figura 4.2.3-2: Serie 22. MOE en función de la Pp.....	80
Figura 4.2.3-3: Serie 22. MOR en función de la Pp	81
Figura 4.2.3-4: Serie 22. IB en función de la Pp.....	82
Figura 4.2.3-5: Serie 22. TS en función de la Pp.....	83
Figura 4.2.3-6: Serie 22. WA en función de la Pp.....	84
Figura 4.2.4-1: Serie 3. Densidad en función de la Pp	85
Figura 4.2.4-2: Serie 3. Densidad. Valores predichos versus observados	86
Figura 4.2.4-3: Series 22 y 3. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %	86
Figura 4.2.4-4: Serie 3. MOE en función de la Pp.....	87
Figura 4.2.4-5: Serie 3. Densidad. Valores predichos versus observados	88
Figura 4.2.4-6: Series 22 y 3. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %	88
Figura 4.2.4-7: Serie 22+3. MOE en función de la Pp	89
Figura 4.2.4-8: Serie 22+3. MOE. Valores predichos versus observados	90
Figura 4.2.4-9: Serie 3. MOR en función de la Pp	91
Figura 4.2.4-10: Serie 3. MOR. Valores predichos versus observados	91
Figura 4.2.4-11: Series 22 y 3. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %	92
Figura 4.2.4-12: Serie 22+ 3. MOR en función de la Pp	93
Figura 4.2.4-13: Serie 22+3. MOR. Valores predichos versus observados.....	93
Figura 4.2.4-14: Serie 3. IB en función de la Pp.....	94
Figura 4.2.4-15: Serie 3. IB. Valores predichos versus observados	94
Figura 4.2.4-16: Series 22 y 3. IB. Separación de medias por LSD al 95 %	95
Figura 4.2.4-17: Serie 3. TS en función de la Pp (lineal)	96
Figura 4.2.4-18: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados (lineal)	97
Figura 4.2.4-19: Serie 3. TS en función de la Pp.....	97
Figura 4.2.4-20: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados.....	98
Figura 4.2.4-21: Series 22 y 3. TS. Separación de medias por LSD al 95 %	98
Figura 4.2.4-22: Serie22+ 3. TS en función de la Pp.....	99
Figura 4.2.4-23: Serie 22+ 3. TS. Valores predichos versus observados	100
Figura 4.2.4-24: Serie 3. WA en función de la Pp (lineal)	101
Figura 4.2.4-25: Serie 3. WA. Valores predichos versus observados (lineal)	101
Figura 4.2.4-26: Serie 3. WA en función de la Pp.....	102
Figura 4.2.4-27: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados.....	102
Figura 4.2.4-28: Series 22 y 3. WA. Separación de medias por LSD al 95 %	103
Figura 4.2.5-1: Series 22, 3 y 4. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %	104
Figura 4.2.5-2: Series 22, 3 y 4. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %	105
Figura 4.2.5-3: Series 22, 3 y 4. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %	106
Figura 4.2.5-4: Series 22, 3 y 4. IB. Separación de medias por LSD al 95 %	106
Figura 4.2.5-6: Series 22, 3 y 4. TS. Separación de medias por LSD al 95 %	107
Figura 4.2.5-7: Series 22, 3 y 4. WA. Separación de medias por LSD al 95 %	108
Figura 4.2.6-1: Imágenes microscopio. Material con y sin tratamiento térmico final (a)	110
Figura 4.2.6-1: Imágenes microscopio. Material con y sin tratamiento térmico final (b)	111

Figura 4.3.2-1: Serie 51(a). Densidad en función de la Pp	116
Figura 4.3.2-2: Serie 51(a). Densidad. Valores predichos versus observados.....	116
Figura 4.3.2-3: Serie 51(b). Densidad en función de la Pp y el tp.....	117
Figura 4.3.2-4: Serie 51(b). Densidad. Valores predichos versus observados	117
Figura 4.3.2-5: Serie 52(a). Densidad en función de la Pp.....	118
Figura 4.3.2-6: Serie 52(a). Densidad. Valores predichos versus observados.....	119
Figura 4.3.2-7: Serie 52(b). Densidad en función de la Pp y tp.....	119
Figura 4.3.2-8: Serie 52(b). Densidad. Valores predichos versus observados	120
Figura 4.3.2-9: Series 51 y 52. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %	120
Figura 4.3.2-10: Serie 51(a). MOE en función de la Pp	122
Figura 4.3.2-11: Serie 51(a). MOE. Valores predichos versus observados.....	122
Figura 4.3.2-12: Serie 51(b). MOE en función de la Pp y tp.....	123
Figura 4.3.2-13: Serie 51(b). MOE. Valores predichos versus observados.....	123
Figura 4.3.2-14: Serie 52(a). MOE en función de la Pp	125
Figura 4.3.2-15: Serie 52(a). MOE. Valores predichos versus observados.....	125
Figura 4.3.2-16: Serie 52(b). MOE en función de la Pp y tp.....	126
Figura 4.3.2-17: Serie 52(b). MOE. Valores predichos versus observados.....	126
Figura 4.3.2-18: Series 51 y 52. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %	127
Figura 4.3.2-19: Serie 51(a). MOR en función de la Pp.....	128
Figura 4.3.2-20: Serie 51(a). MOR. Valores predichos versus observados.....	129
Figura 4.3.2-21: Serie 51(b). MOR en función de la Pp y tp.....	129
Figura 4.3.2-22: Serie 51(b). MOR. Valores predichos versus observados	130
Figura 4.3.2-23: Serie 52(a). MOR en función de la Pp.....	131
Figura 4.3.2-24: Serie 52(a). MOR. Valores predichos versus observados.....	131
Figura 4.3.2-25: Serie 52(b). MOR en función de la Pp y tp.....	132
Figura 4.3.2-26: Serie 52(b). MOR. Valores predichos versus observados	132
Figura 4.3.2-27: Series 51 y 52. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %	133
Figura 4.3.2-28: Serie 51(a). IB en función de la Pp	134
Figura 4.3.2-29: Serie 51(a). IB. Valores predichos versus observados.....	135
Figura 4.3.2-30: Serie 51(b). IB en función de la Pp y tp.....	135
Figura 4.3.2-31: Serie 51(b). IB. Valores predichos versus observados.....	136
Figura 4.3.2-32: Serie 52(a). IB en función de la Pp	137
Figura 4.3.2-33: Serie 52(a). IB. Valores predichos versus observados.....	138
Figura 4.3.2-34: Serie 52(b). IB en función de la Pp y tp.....	138
Figura 4.3.2-35: Serie 52(b). IB. Valores predichos versus observados.....	139
Figura 4.3.2-36: Series 51 y 52. IB. Separación de medias por LSD al 95 %	140
Figura 4.3.2-37: Serie 51(a). TS en función de la Pp	141
Figura 4.3.2-38: Serie 51(a). TS. Valores predichos versus observados	141
Figura 4.3.2-39: Serie 51(b). TS en función de la Pp y tp	142
Figura 4.3.2-40: Serie 51(b). TS. Valores predichos versus observados.....	142
Figura 4.3.2-41: Serie 52(a). TS en función del tp	144
Figura 4.3.2-42: Serie 52(a). TS. Valores predichos versus observados	144
Figura 4.3.2-43: Serie 52(b). TS en función de la Pp y tp	145
Figura 4.3.2-44: Serie 52(b). TS. Valores predichos versus observados.....	145
Figura 4.3.2-45: Series 51 y 52. TS. Separación de medias por LSD al 95 %	146
Figura 4.3.2-46: Serie 51(a). WA en función de la Pp	147
Figura 4.3.2-47: Serie 51(a). WA. Valores predichos versus observados	148
Figura 4.3.2-48: Serie 51(b). WA en función de la Pp y tp	148
Figura 4.3.2-49: Serie 51(b). WA. Valores predichos versus observados.....	149
Figura 4.3.2-50: Serie 52(a). WA en función de la Pp	150

Figura 4.3.2-51: Serie 52(a). WA. Valores predichos versus observados	150
Figura 4.3.2-52: Serie 52(b). WA en función de la Pp y tp	151
Figura 4.3.2-53: Serie 52(b). WA. Valores predichos versus observados	151
Figura 4.3.2-54: Series 51 y 52. WA. Separación de medias por LSD al 95 %	152
Figura 4.3.3-1: Serie 61. Densidad en función de la Pp y tp	155
Figura 4.3.3-2: Serie 61. Densidad en función de la Pp y Tpr.....	155
Figura 4.3.3-3: Serie 61. Densidad. Valores predichos versus observados	156
Figura 4.3.3-4: Serie 61. Densidad por Tpr . Separación de medias por LSD al 95 %	156
Figura 4.3.3-5: Serie 51+ 61. Densidad por Severidad . Separación de medias por LSD al 95 %	158
Figura 4.3.3-6: Serie 51+ 61. Densidad en función de la Severidad y Pp	159
Figura 4.3.3-7: Serie 51+ 61. Densidad en función del tp y Tpr	159
Figura 4.3.3-8: Serie 51+61. Densidad. Valores predichos versus observados.....	160
Figura 4.3.3-9: Serie 61. MOE en función de la Pp y tp.....	161
Figura 4.3.3-10: Serie 61. MOE en función de la Pp y Tpr.....	162
Figura 4.3.3-11: Serie 61. MOE. Valores predichos versus observados	162
Figura 4.3.3-12: Serie 61. MOE por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	163
Figura 4.3.3-13: Serie 51+ 61. MOE por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	165
Figura 4.3.3-14: Serie 51+ 61. MOE en función de la Severidad y Pp	165
Figura 4.3.3-15: Serie 51+ 61. MOE en función del tp y Tpr	166
Figura 4.3.3-16: Serie 51+ 61. MOE. Valores predichos versus observados	166
Figura 4.3.3-17: Serie 51+ 61. MOE por Pp . Separación de medias por LSD al 95 % ..	167
Figura 4.3.3-18: Serie 61. MOR en función de la Pp y tp	168
Figura 4.3.3-19: Serie 61. MOR en función de la Pp y Tpr.....	168
Figura 4.3.3-20: Serie 61. MOR. Valores predichos versus observados	169
Figura 4.3.3-21: Serie 61. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	169
Figura 4.3.3-22: Serie 51+ 61. MOR por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	171
Figura 4.3.3-23: Serie 51+ 61. MOR en función de la Severidad y Pp	171
Figura 4.3.3-24: Serie 51+ 61. MOR en función del tp y Tpr	172
Figura 4.3.3-25: Serie 51+61. MOR. Valores predichos versus observados.....	172
Figura 4.3.3-26: Serie 61. IB en función de la Pp y tp	173
Figura 4.3.3-27: Serie 61. IB en función de la Pp y Tpr.....	174
Figura 4.3.3-28: Serie 61. IB. Valores predichos versus observados	174
Figura 4.3.3-29: Serie 61. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	175
Figura 4.3.3-30: Serie 51+ 61. IB en función de la Severidad y la Pp	176
Figura 4.3.3-31: Serie 51+ 61. IB en función del tp y Tpr	177
Figura 4.3.3-32: Serie 51+61. IB. Valores predichos versus observados.....	177
Figura 4.3.3-33: Serie 51+61. IB por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	178
Figura 4.3.3-34: Serie 61. TS en función de la Pp y tp.....	179
Figura 4.3.3-35: Serie 61. TS en función de la Pp y Tpr	179
Figura 4.3.3-36: Serie 61. TS. Valores predichos versus observados.....	180
Figura 4.3.3-37: Serie 61. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %.....	180
Figura 4.3.3-38: Serie 51+ 61. TS en función de la Severidad y la Pp.....	182
Figura 4.3.3-39: Serie 51+ 61. TS en función del tp y Tpr.....	182
Figura 4.3.3-40: Serie 51+ 61. TS. Valores predichos versus observados	183
Figura 4.3.3-41: Serie 51+61. TS por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	183

Figura 4.3.3-42: Serie 61. WA en función de la Pp y tp.....	184
Figura 4.3.3-43: Serie 61. WA en función de la Pp y Tpr	185
Figura 4.3.3-44: Serie 61. WA. Valores predichos versus observados.....	185
Figura 4.3.3-45: Serie 61. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	186
Figura 4.3.3-46: Serie 51+61. WA por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	187
Figura 4.3.3-47: Serie 51+ 61. WA en función de la Severidad y Pp.....	188
Figura 4.3.3-48: Serie 51+ 61. WA en función del tp y Tpr.....	188
Figura 4.3.3-49: Serie 51+61. WA. Valores predichos versus observados	189
Figura 4.3.4-50: Serie 51+52+ 61. Densidad en función de la Pp y tp.....	192
Figura 4.3.4-51: Serie 51+52+ 61. Densidad en función de la Tpr y Severidad	192
Figura 4.3.3-52: Serie 51+52+61. Densidad. Valores predichos versus observados.....	193
Figura 4.3.4-53: Serie 51+52+ 61(a). MOE en función de la Pp y tp.....	194
Figura 4.3.4-54: Serie 51+52+ 61(a). MOE en función de la Tpr y Severidad	195
Figura 4.3.3-55: Serie 51+52+61(a). MOE. Valores predichos versus observados	195
Figura 4.3.4-56: Serie 51+52+ 61(b). MOE en función de la Densidad.....	196
Figura 4.3.4-57: Serie 51+52+ 61(a). MOR en función de la Pp y tp	197
Figura 4.3.4-58: Serie 51+52+ 61(a). MOR en función de la Tpr y Severidad.....	198
Figura 4.3.3-59: Serie 51+52+61(a). MOR. Valores predichos versus observados	198
Figura 4.3.4-60: Serie 51+52+ 61(b). MOR en función de la Densidad	199
Figura 4.3.4-61: Serie 51+52+ 61(a). IB en función de la Pp y tp	200
Figura 4.3.4-62: Serie 51+52+ 61(a). IB en función de la Tpr y Severidad	201
Figura 4.3.3-63: Serie 51+52+61(a). IB. Valores predichos versus observados	201
Figura 4.3.4-64: Serie 51+52+ 61(b). IB en función de la Densidad	202
Figura 4.3.4-65: Serie 51+52+ 61(a). TS en función de la Pp y tp.....	203
Figura 4.3.4-66: Serie 51+52+ 61(a). TS en función de la Tpr y Severidad	204
Figura 4.3.3-67: Serie 51+52+61(a). TS. Valores predichos versus observados.....	204
Figura 4.3.4-68: Serie 51+52+ 61(b). TS en función de la Densidad.....	205
Figura 4.3.4-69: Serie 51+52+ 61(a). WA en función de la Pp y tp.....	206
Figura 4.3.4-70: Serie 51+52+ 61(a). WA en función de la Tpr y Severidad	207
Figura 4.3.3-71: Serie 51+52+61(a). WA. Valores predichos versus observados.....	207
Figura 4.3.4-72: Serie 51+52+ 61(b). WA en función de la Densidad.....	208
Figura 4.3.5-1: Serie 53. Densidad por Tpr Separación de medias por LSD al 95 %	209
Figura 4.3.5-2: Serie 53. MOE por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	210
Figura 4.3.5-3: Serie 53. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	210
Figura 4.3.5-4: Serie 53. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	211
Figura 4.3.5-5: Serie 5. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %.....	211
Figura 4.3.5-6: Serie 53. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %.....	212
Figura 4.3.5-7: Serie 63. Densidad por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	213
Figura 4.3.5-8: Serie 63. MOE por Tpr Separación de medias por LSD al 95 %	213
Figura 4.3.5-9: Serie 63. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	214
Figura 4.3.5-10: Serie 63. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %	215
Figura 4.3.5-11: Serie 63. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %.....	216
Figura 4.3.5-12: Serie 63. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %.....	216
Figura 4.3.5-13: Serie 53+ 63. Densidad por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	217
Figura 4.3.5-14: Serie 53+ 63. MOE por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	218
Figura 4.3.5-15: Serie 53+ 63. MOR por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	219

Figura 4.3.5-16: Serie 53+ 63. IB por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	219
Figura 4.3.5-17: Serie 53+ 63. TS por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	220
Figura 4.3.5-18: Serie 53+ 63. WA por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %	221
Figura Anejo I-1.1-1: Esquema general de la caldera de vapor.....	251
Figura Anejo I-1.1-2: Conjunto de caldera y equipo de desionizado	252
Figura Anejo I-1.2-1: Conjunto del reactor discontinuo.....	253
Figura Anejo I-2-1: Carro de lavado y tamiz de 170 Mesh	255
Figura Anejo I-5.1-1: Pesado del material y relleno del molde para prensado en frío	269
Figura Anejo I-5.3-1: Estufa SELECTA 1600 w.....	271
Figura Anejo I-5.4-1: Cámara climática CLIMACELL	271
Figura Anejo I-6.2.1-1: Esquema ensayo de flexión. Obtención de MOE y MOR (EN 310)	274
Figura Anejo I-6.2.2-1: Tacos de sujeción y mordazas para obtención de IB (EN 319)..	277
Figura Anejo I-6.2.2-2: Montaje de tacos de sujeción para IB	278

Índice de tablas

Tabla 4.1.1-1: Composición química de los materiales	30
Tabla 4.1.1-1: Composición química de los materiales	45
Tabla 4.2.1-1: Síntesis de resultados de la comparación de las Series 11 y 12	70
Tabla 5.2.1-1: Orden de preponderancia de los factores de producción por Características	227
Tabla 5.2.1-2: Orden de preponderancia de los factores de producción por Serie	234
Tabla Anexo II.1-1: Parámetros de producción y características de la Serie 11	281
Tabla Anexo II.1-2: Parámetros de producción y características de la Serie 12	282
Tabla Anexo II.1-3: Parámetros de producción y características de la Serie 21	283
Tabla Anexo II.1-4: Parámetros de producción y características de la Serie 22	284
Tabla Anexo II.1-5: Parámetros de producción y características de la Serie 3	285
Tabla Anexo II.1-6: Parámetros de producción y características de la Serie 4	285
Tabla Anexo II.2-1: Parámetros de producción y características de la Serie 51	286
Tabla Anexo II.2-2: Parámetros de producción y características de la Serie 52	287
Tabla Anexo II.2-3: Parámetros de producción y características de la Serie 53	288
Tabla Anexo II.2-4: Parámetros de producción y características de la Serie 61	289
Tabla Anexo II.2-5: Parámetros de producción y características de la Serie 63	290

I MEMORIA

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1.-Introducción

La elaboración de tableros de fibras con la aportación de adhesivos sintéticos está muy consolidada y con muy buenos resultados. La obtención de tableros de alta calidad sin estos adhesivos es un reto en permanente vigencia y evolución.

La mayor sensibilidad en cuanto a la sostenibilidad hace necesario el estudio de materiales renovables como fuente de materiales comerciales futuros y, la creciente conciencia medioambiental, impone el interés en disminuir la utilización de aditivos sintéticos.

En los últimos años se han ensayado distintos materiales vegetales para la obtención de tableros de fibras con la intención de obtener nuevos materiales de interés comercial, que ayuden a paliar el impacto ambiental y cuyo objetivo último también está aumentar del valor añadido de subproductos forestales, agrarios o agroindustriales.

Por otro lado, desde hace años se han ensayado numerosos materiales para el uso de tableros: *Cynara cardunculus* (Mancera, C., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2008), *Miscanthus sinensis* (Velásquez J.A., 2002), Oil Palm (Rokiah hashim et al 2012; Laemsak, N., & Okuma, M., 2000), kenaf core (Xu, J., Widyorini, R., Yamauchi, H., & Kawai, S. ;2006), Bagazo de caña de azúcar (Mobarak F., 1982).

La selección de los materiales de partida para el presente trabajo tiene una doble vertiente, estructural y económica. En primer lugar, la totalidad de las cañas, y *Arundo donax* L. y *Saccharum Officinarum* L. particularmente, presentan unas características mecánicas muy elevadas debido a su estructura y composición. Los buenos resultados obtenidos por el propio grupo con *Miscanthus sinensis* (Velásquez J.A., 2002) amparan esta decisión.

En segundo lugar, el interés económico y medioambiental de la revalorización de estos productos, especialmente de *Saccharum Officinarum* L. por el gran volumen mundial como subproducto agroindustrial, justifica en buena medida la elección de estos materiales.

Para facilitar la implantación industrial, puede ser relevante definir las pautas de comportamiento mecánico de los tableros, en función de los parámetros que intervienen en su producción (condiciones de pretratamiento y prensado). De esta forma podríamos optimizar la producción del tipo concreto de tablero que nos interese.

1.2.- Objetivos

Objetivos generales:

- Paliar el problema del consumo de materiales no renovables
- Revalorizar productos o subproductos agroindustriales

- Potenciar procesos industriales respetuosos ambientalmente, obteniendo tableros libres de formaldehídos.

Objetivos específicos:

- Comprobar la idoneidad del *Arundo donax* L. y del bagazo de *Saccharum Officinarum* L. como materia prima para la obtención de tableros de fibras de uso estructural, sin el aporte de adhesivos.
- Profundizar en el conocimiento de las relaciones existentes entre los factores de producción y las características físicas y mecánicas de los tableros resultantes, para cada especie estudiada. Preferiblemente definiendo las relaciones matemáticas que ligan los parámetros de producción y las características mencionadas.
- Conseguir tableros más homogéneos, mejorando el proceso de producción mediante un mejor reparto del material en el molde y evitando la formación de burbujas en su interior durante la conformación de los mismos.
- Determinar las diferencias entre los tableros obtenidos por métodos alternativos de producción de tableros (prensado en frío seco frente a prensado en frío húmedo, o la posible aplicación de un tratamiento térmico final).
- Valorar la posibilidad de conseguir tableros comerciales a partir de material íntegro resultado de la explosión de vapor (sin lavar); sin la eliminación de ningún lixiviado, lo que supondría una mejora medioambiental.

2.- Antecedentes

2.- Antecedentes

2.1.- Tableros derivados de madera

Siguiendo los criterios de la AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera), los tableros derivados de la madera se pueden clasificar, siguiendo las normas UNE EN (Peraza, Arriaga, & Peraza, 2004) como:

- Tableros de madera maciza
- Tableros de chapas de madera
- Tableros de partículas de madera
- Tableros de virutas de madera
- Tableros de fibras de madera
- Tableros de madera-cemento
- Tableros mixtos

Tablero de madera maciza

Pueden estar fabricados por diferentes tipos de tablas o listones unidos entre sí mediante colas, machihembrados u otras formas. Dentro de esta tipología diferencian entre tableros monocapa, tablero multicapa, tablero de piezas cortadas, tablero con piezas enterizas, tablero de alma alistonada y tablero alistonado.

Tablero de chapas

Se producen encolando chapas en capas consecutivas que mantienen un determinado ángulo entre sus fibras. Dentro de ellos se puede distinguir entre tableros contrachapados (las fibras de capas consecutivas mantienen un ángulo de 90 grados) y tableros laminados en los que las chapas son paralelas.

Tablero de partículas

Son aquellos constituidos por diferentes materiales lignocelulósicos a los que se les aporta algún tipo de adhesivo y se les aplica calor y presión.

Tablero de virutas

Son similares al caso anterior, pero el material de partida son virutas.

Tablero de fibras

En este caso el material de partida son fibras de madera, por lo que la primera fase de su producción consiste en la obtención de estas fibras. A partir de aquí el proceso es similar al de los tableros anteriores: se procede al aporte de adhesivos y a la aplicación de calor y presión. En este caso cabe la posibilidad de que el adhesivo sea la propia lignina del material base, sin que sea necesario el aporte de adhesivos externos.

Estos tableros, dentro de los que se encajan los producidos en este trabajo de investigación, se clasifican a su vez en función de su densidad y del proceso de producción que hayan seguido en los siguientes subgrupos:

- Tableros de fibras duros
- Tableros de fibras semiduros (de baja densidad o de alta densidad)
- Tableros de fibras aislantes
- Tableros de fibras de densidad media (HDF, MDF, MDF ultraligero)

Tableros de madera-cemento

Las partículas de madera son aglomeradas con cemento, aplicándole posteriormente presión.

Tableros mixtos

Se conforman constituyendo una especie de sandwich, donde las caras exteriores son tableros de madera y en su interior se intercala una capa de otro material. Se diferencia entre dos subgrupos: Los tableros compuestos y los tableros alveolados, llamados así por la estructura alveolar del alma.

Tableros realizados en el ensayo

Los tableros elaborados en el ensayo pueden incluirse en la definición y clasificación de tableros de fibras establecidas en la norma EN 316:1999.

En esta norma se diferencia, en primera instancia, entre tableros de fibras fabricados por proceso húmedo y tableros de fibras fabricados por proceso seco. Dentro de cada una de estas tipologías se estructuran por densidades.

De esta forma los tableros realizados quedan clasificados como:

- Tableros realizados por proceso húmedo. Dentro de éstos, como la densidad es superior a 900 kg/Cm², se trata de Tableros duros (HB).
- Tableros realizados por proceso seco (MDF). Dentro de ellos, como la densidad se superior a 800 kg/Cm², se pueden denominar HDF.

La norma EN 622-2:2004 nos establece los requerimientos de los Tableros duros elaborados por proceso húmedo (HB), para su uso general y estructural en ambiente seco.

La norma EN 622-5: 2006 establece los requisitos de todos los tableros de fibras elaborados por proceso seco (MDF), para uso general y estructural en ambiente seco.

Todos los tableros realizados por nosotros son conformados en caliente con el material seco.

2.2.- El *Arundo donax* L.

El *Arundo donax* L. es una caña de gran porte (5- 6 m de altura). Originaria de Asia, se ha cultivado y utilizado desde hace miles de años en las zonas templadas de los dos hemisferios. Actualmente la podemos encontrar en amplias zonas de todo el mundo, pero con un uso limitado.

Se continúa utilizando para la fabricación de cañas de clarinete, saxofón, diversos tipos de oboe, fagot y otros instrumentos de viento. Obviamente es un aprovechamiento reducido. Dado su rápido crecimiento, la facilidad de cultivo y su gran producción de biomasa por hectárea, también se ha planteado su posible interés como fuente energética y de celulosa.

Tradicionalmente tuvo un uso muy extendido como tutor en los cultivos hortícolas. Esto facilitó su invasión en grandes zonas agrícolas.

Su desarrollo espontáneo en ríos, arroyos y barrancos provoca importantes problemas en la evacuación de las aguas pluviales en avenidas, ya que disminuyen la sección del cauce y provoca continuas obturaciones en las obras hidráulicas (puentes y canalizaciones) cuando son arrastradas. Contribuyen con todo ello a un incremento claro de las inundaciones de terrenos agrícolas y poblaciones. La utilización de este material como materia prima facilitaría una gestión ordenada y disminuiría los problemas comentados. Es por ello que la Agencia Catalana del Agua también ha mostrado su interés en estos estudios y ha autorizado y facilitado la extracción del material de terrenos públicos.

En estos últimos años se han realizado estudios sobre diferentes aspectos de esta especie vegetal, fundamentalmente ligado con la producción de pulpa para las industrias papeleras (Caparros, Ariza, Hernanz, & Díaz, 2006) (Caparros, Garrote, Ariza, & López, 2007), o incluso la optimización de la producción de papel de *Arundo donax* L. (Caparros, Ariza, Díaz, & López, 2007). También han sido estudiados aspectos concretos como el efecto del tallo del *Arundo donax* sobre las características de la pulpa de papel (Pereira & Shatalov, 2002), su composición química (Monti, Di Virgilio, & Venturi, 2008), la influencia de los disolventes en el rendimiento y calidad de la pasta en esta especie (Shatalov & Pereira, 2002). Previamente ya se habían realizado comparaciones de su composición química con otras especies, como el *Miscanthus sinensis* A. que se utilizaban como fuente de materiales lignocelulósicos o de lignina (Faix, Meier, & Beinhoff, 1989).

En cuanto a aspectos energéticos, ya se realizaron estudios para valorar su potencial (Szabó, Varhegyi, Till, & Faix, 1996) y, posteriormente, se han realizado comparaciones con otros cultivos de productividad y balance energético (Angelini, Ceccarini, Nassi, & Bonari, 2009), o de su degradación en la combustión (Mejdi, Dorge, & Trouvé, 2009). Hay autores que defienden que los llamados pastos perennes (entre ellos el *Arundo donax* L.) pueden mostrar muchos atributos beneficiosos como los cultivos energéticos, y ha habido un creciente interés en su uso en los EE.UU. y Europa desde mediados de 1980 (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, & Christou, 2003).

Por otra parte, también se han estudiado aspectos agronómicos como propagación en diferentes condiciones (Ceotto & Di Candilo, 2010) o la influencia de la fertilización sobre la calidad del combustible (Nassi, Angelini, & Bonari, 2010).

En este trabajo se ha considerado de interés incidir en el conocimiento de las relaciones existentes entre los factores de producción de tableros y las propiedades de tableros de fibras obtenidos, y estudiar la posibilidad de realizar tableros comerciales de *Arundo donax* L.

2.3.- El Bagazo de *Saccharum officinarum* L.

El bagazo es el subproducto resultante de la extracción del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Este material ha sido muy estudiado como materia prima de la pasta de papel, estando analizados los detalles de su procesado para la optimización de obtención de esta pasta (Nada, Nasar, & Soliman, 1998) (Fangudes, Oliveira, Ferreira, Ehlers, & Pereira, 2011)

La utilización de este vegetal se debe a que ocupa una parte, cada vez más importante, de la superficie cultivada a nivel mundial y especialmente en países como Brasil, China, India y muchos otros. La producción de biocombustibles ha llevado a que en estos últimos años se haya incrementado, muy significativamente, este cultivo. Según datos de la FAO del 2005, la producción de caña de azúcar de los veinte principales productores es de 1.168.772.900 toneladas. Esto convierte al bagazo de caña de azúcar en uno de los residuos agroindustriales más abundantes.

En los últimos años se va incrementando el interés por la utilización de este subproducto como materia prima para la obtención de tableros, mayoritariamente con aporte de adhesivos sintéticos; entre ellos Urea-formaldehído y Phenol-formaldehído (Widyorini, Xu, Umemura, & Kawai, 2005) (Ashori, Nourbakhsh, & Karegarfard, 2009) (Tabarsa, Ashori, & Gholamzadh, 2011) (Farinassi, Marin, Guimaraes, Cavalcante, & Bufalino, 2012).

En el propio grupo de investigación se han estudiado diferentes tipos de cañas como *Miscanthus sinensis* (Velásquez J., 2002). Es por ello que, dada la estructura fibrosa y las características mecánicas de la caña de azúcar en estado natural, se ha pensado en su subproducto como materia prima interesante para la obtención de tableros mediante la aplicación de la técnica de “Explosión de vapor” y sin utilizar ningún tipo de adhesivo añadido.

2.4.- Pretratamiento con vapor de materiales lignocelulósicos

El proceso que aquí se propone optimizar se basa en un tratamiento hidrolítico termomecánico. En primer lugar se produce una separación de las fibras del material original mediante vapor de agua a alta presión.

El proceso de explosión de vapor se conoce como “Masonite process” (Boehm, 1930) y ha sido estudiada su utilidad en los procesos de obtención de materiales basados en biopolímeros (Focher, Marzetti, Beltrame, & Avella, 1998). Utiliza el comportamiento termoplástico de la madera a temperaturas cercanas a los 220°C. La madera troceada y húmeda se calienta con vapor en un reactor hasta alcanzar presiones entre 20 y 30 bar. Una rápida despresurización del reactor provoca una explosión de las fibras produciendo un material disgregado. Estas fibras presentan una superficie rica en lignina altamente reactiva. Esta propiedad permite la producción de tableros mediante un prensado en caliente de estas fibras sin necesidad de añadir adhesivos externos. La reactividad de las fibras se obtiene por una acumulación de lignina procedente de las caras interiores de las paredes de las células y de la despolimerización parcial de esta lignina. Esto incrementa los contenidos de hidroxilo fenólico y produce radicales (fenóxido) relativamente estables. Durante el prensado posterior de los paneles los radicales fenóxido producen reacciones de polimerización que conllevan la adhesión de las fibras. La autoadhesión de la lignina puede mejorarse mediante tratamientos químicos en el proceso de explosión de vapor: Activación enzimática de la lignina superficial, tratamiento de las fibras mediante reactivo de Fenton (H₂O₂/FeSO₄) con o sin presencia de quelante como 2,3-ácido dihidroxibenzoico (DHBA) e irradiación con rayos gamma (Felby, Pedersen, & Nielsen, 1997) (Kharazipour, Hüttermann, & Lüdemann, 1997) (Anglés M., 1999) (Widsten, 2002) (García-Jaldón, Dupeyre, & Vignon, 1998). Se han realizado experiencias con ultrasonidos con la misma finalidad de aumentar los grupos reactivos de las fibras (Gadhe, Gupta, & Elder, 2006)

Con todo ello se ha considerado conveniente evitar en lo posible el aporte de lignina exógena al material original y trabajar exclusivamente con el material pretratado con la “Explosión de vapor”.

Se considera que el tratamiento con vapor, además de plastificar la lignina de la madera mejorando la capacidad de enlace de la fibra tratada, también mejora la estabilidad dimensional de los tableros al provocar la hidrólisis de las hemicelulosas del material (Velásquez J.A., 2002). El efecto de la severidad de la explosión de vapor también ha sido estudiado por diversos autores en algunos residuos vegetales (Anglés, Ferrando, Farriol, & Salvadó, 2001) (Brownell, Yu, & Saddler, 1986), sin llegar a conclusiones definitivas. Otros autores, en el caso de la pasta de papel, consideran que la presión en el proceso de la cocción, tiene un efecto positivo, pues aumenta la degradación de las hemicelulosas y de la lignina sin degradar la celulosa (Gonçalves & Ruzene, 2003).

El método propuesto para nuestro trabajo ha sido estudiado y aplicado con éxito en algunos materiales lignocelulósicos: Residuos forestales de pino, abeto, chopo y eucalipto (Anglés, Reguant, Montané, Ferrando, Farriol, & Salvadó, 1999) otros residuos agrícolas como paja de trigo, piel de arroz (Anglés M., 1999), cáñamo (García-Jaldón, Dupeyre, & Vignon, 1998), *Vitis vinífera* (Mancera C., 2008); *Cinara*

cardunculus (Mancera C., 2008); Banana Bunch (Quintana G., 2009); *Miscanthus Sinensis* (Velásquez, 2002), (Velásquez, Ferrando, & Salvadó, 2002) (Salvadó , Velásquez, & Ferrando , 2003).

En este trabajo se aplica y optimiza la técnica de pretratamiento mediante “Explosión de vapor”, al Bagazo de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y caña común (*Arundo donax* L.). Todo el material utilizado en la producción de tableros ha sido pretratado de esta forma.

2.5.- Estudios sobre elaboración de tableros sin adhesivos

El rechazo a los adhesivos sintéticos proviene de que, los adhesivos sintéticos usados en tableros, requieren la presencia de formaldehído (por ejemplo cocientes de la urea-formaldehído del 1:1.05 al 1:1.15), y dan lugar a emisiones posteriores de formaldehído. Estas emisiones provienen de la parte de formaldehído que no reacciona durante el prensado en caliente y del que se libera posteriormente debido a la hidrólisis (Nemli & Öztürk 2006, Dunky 2006b, Roffael 2006)

Los problemas para la salud de los formaldehidos han sido ampliamente estudiados (USDA FOREST SERVICE, 1977). La exposición crónica ocasiona rinitis, faringitis y laringitis crónica, alteraciones de la actividad mucociliar, hipertrofia de la mucosa y pérdida de la sensibilidad olfativa. También se han descrito trastornos neuropsiquiátricos, como somnolencia, molestias durante el sueño, debilidad, pérdida de memoria, concentración; así como problemas de fertilidad y abortos espontáneos (Shardein & Macina, 2006) (Taskinen, et al., 1999)

La producción de tableros prácticamente libres de emisiones se contempla en las normas japonesas JIS A 5908 (2003) y JIS A5905 (2003). Su denominación es F*** y F****. Las emisiones para estos tableros medidas mediante el método del desecador (Dunky, 2006) son ≤ 0.5 mg/l y ≤ 0.3 mg/l respectivamente. Para obtenerlas deben utilizarse adhesivos totalmente libres de formaldehído dejando a las emisiones naturales de la madera como única fuente de formaldehído (Meyer & Boehme, 1995) (Meyer & Boehme, 1997) (Schäfer & Roffael, 1999) (Schäfer & Roffael, 2000) (Manninen, Pasanen, & Holopainen, 2002) (Miyamoto, Tohmura, & Inoue, 2006) (Roffael, 2006).

Con el objetivo de mejorar las características de los tableros, y en sustitución de adhesivos fenólicos, se ha investigado la adición de lignina exógena (Anglés, Ferrando, Farriol, & Salvadó, 2001), (Velásquez, Ferrando, & Salvadó, 2003) (Bouajila, Limare, Joly, & Dole, 2005), con distintos resultados según la materia prima. Las ligninas procedentes de procesos industriales no son tan reactivas como la lignina natural sobre las fibras. Se han realizado distintos tratamientos sobre las ligninas exógenas, pero conllevan siempre un incremento de precio importante y los resultados no han sido suficientemente satisfactorios (Nimz, Gurang, & Mogharab, 1976) (Medvedev, Sulfigarov, & Grechko, 1985) (Glasser, 1989) (Kuo, Hse, & Huang, 1991) (Stephanou & Pizzi, 1993a) (Stephanou & Pizzi, 1993b) (Chen & Wu, 1994) (Hüttermann & Hüttermann, 2000) (Hüttermann, Mai, & Kharazipour, 2001) (Fernaud, Carnicero, Perestelo, Cutuli, Arias, & Falcón, 2006) (Avellar & Glasser, 1998) (Mancera, El Mansouri, Pelach, Ferrando, & Salvadó, 2012).

Además se ha trabajado en la caracterización de lignina y su despolimerización para mejorar, entre otras, sus características como adhesivos (El Mansouri & Salvadó, 2007). Por el momento no se han obtenido por este procedimiento mejoras sustanciales respecto a la adición de lignina kraft. La plastificación de la lignina y su uso en tableros también ha sido estudiada experimentalmente en Francia y sugiere alguna mejora de propiedades mecánicas en los tableros (Bouajila, Dole, & Limare, 2006).

Una alternativa para el uso de ligninas externas es añadirlas antes del proceso de explosión de vapor (Westin, Simonson, & Östman, 2001) (Velásquez J., Ferrando,

Farriol, & Salvadó, 2003) obteniéndose buenos resultados con un coste más bajo. Los tableros realizados por el grupo con *Miscanthus sinensis* mejoran sus características mecánicas con la adición de lignina krafft mediante este proceso.

La adición de lignina puede mejorar uno de los parámetros más críticos de estos tableros, la resistencia a la separación entre caras (Internal Bond). Este es el parámetro más difícil de alcanzar de los establecidos por las normas para las características mecánicas de los tableros. Sin embargo, un exceso de lignina puede provocar la aparición de burbujas en los tableros que impida su utilización (Velásquez, Ferrando, & Salvadó, 2003). Últimamente se han obtenido resultados satisfactorios con la adición de lignina a restos de *Vitis vinífera* (Mancera, El Mansouri, Vilaseca, Ferrando, & Salvadó, 2011).

Con el uso de adhesivos naturales en la industria de los paneles de madera se pretende una clara mejora ambiental y de salud pública. Se trabaja intensamente en la mejora de estos adhesivos naturales para poder producir tableros de características análogas a los convencionales (Pizzi, 2006). Un gran número de posibilidades han sido exploradas; aunque, probablemente, las que tienen mayores posibilidades de aplicación son las basadas en almidón, proteína de soja, taninos y lignina (Nielsen, 1985) (García, Torre, Marina, & Laborda, 1997).

Mediante técnicas termomecánicas se han aprovechado materiales lignocelulósicos para producir tableros sin adhesivos (binderless fiberboards) como kenaf core (Xu, Widyorini, Yamauchi, & Kawai, 2006); oil pal frond (Laemsak & Okuma, 2000).

Dentro del grupo de Biopolímeros Vegetales (actualmente SYSTEMIC) de la Universitat Rovira i Virgili se han ido desarrollando estas técnicas desde 1998, obteniéndose resultados satisfactorios con distintos materiales. El primer material ensayado fue el serrín de conífera con resultados muy satisfactorios desde un punto de vista estructural (Anglès, Reguant, Montané, Ferrando, & Salvadó, 1999). Se optimizó posteriormente la obtención de tableros de *Miscanthus sinensis* también con buenas características estructurales (Velásquez J., Ferrando, Farriol, & Salvadó, 2003) y después se optimizó un cultivo energético, *Cynara cardunculus* (Mancera, Ferrando, & Salvadó, 2008).

Cabe destacar los recientes trabajos realizados en Suiza con paja de arroz (Halvarsson, Edlund, & Norgren, 2009) (Halvarsson, Edlund, & Norgren, 2010 a,b) y en Colombia con raquis de banano (Quintana, Velásquez, Betancourt, & Gañán, 2009). En ambos casos no han sido alcanzados valores satisfactorios de Internal Bond, aunque las otras propiedades han sido aceptables.

Uno de los cultivos más estudiados, especialmente en Japón, es el kenaff (*Hibiscus cannabinus L.*) con el que se han obtenido buenos resultados (Kawai, 2005) (Xu, Widyorini, Yamauchi, & Kawai, 2006) (Okuda & Sato, 2004) (Okuda & Sato, 2008). También se han utilizado las fibras de palma aceitera (*Elaeis guineensis Jacq.*) (Laemsak & Okuma, 2000). Otras plantas han sido evaluadas en Holanda como la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) (van Dam, van den Oever, & Keijsers, 2004).

3.- Desarrollo experimental

3.1 Esquemas de producción de tableros

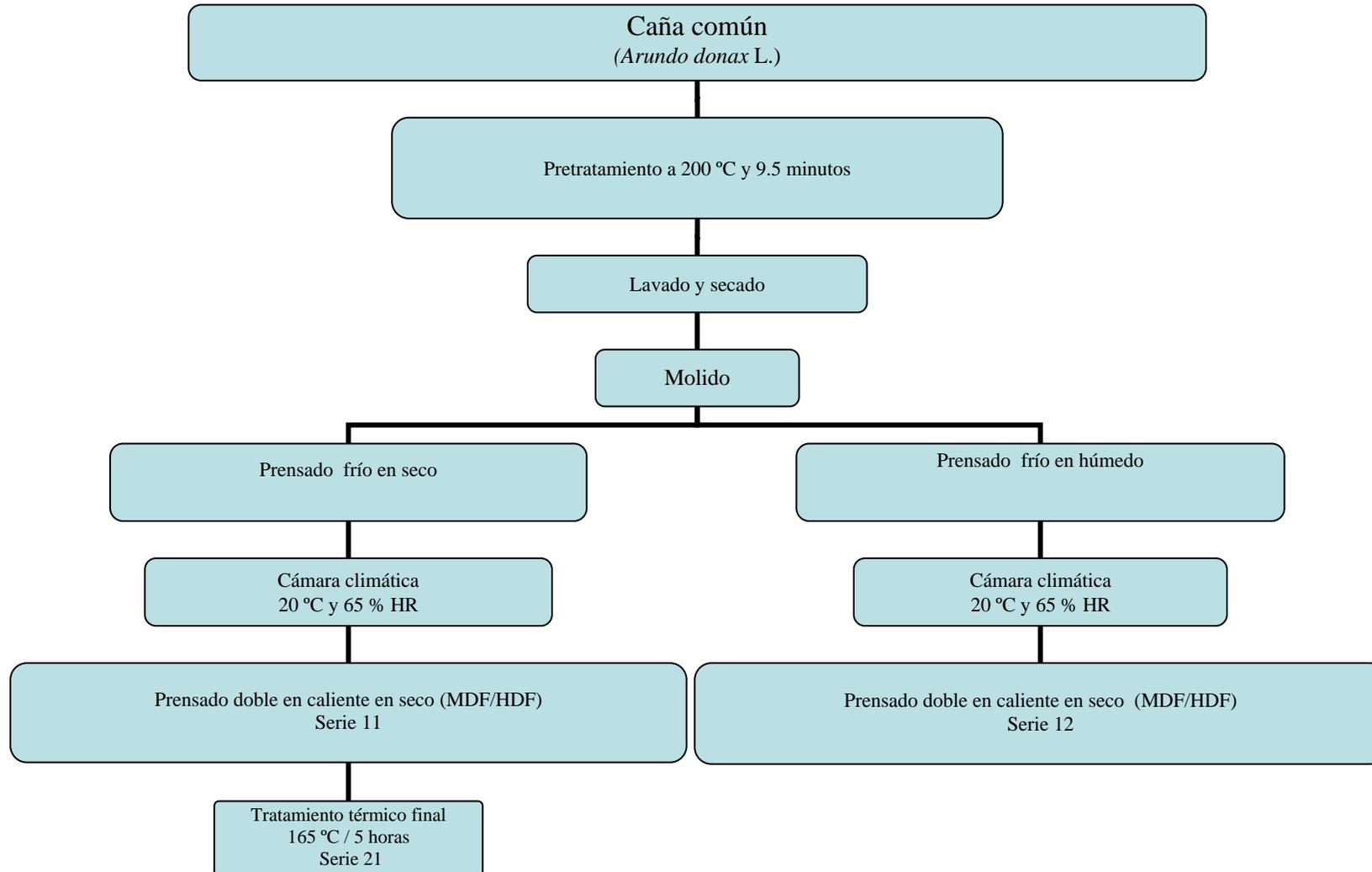


Figura 3.1-1: Esquema de la producción de tableros de *Arundo donax L.* con prensado doble en caliente y material lavado

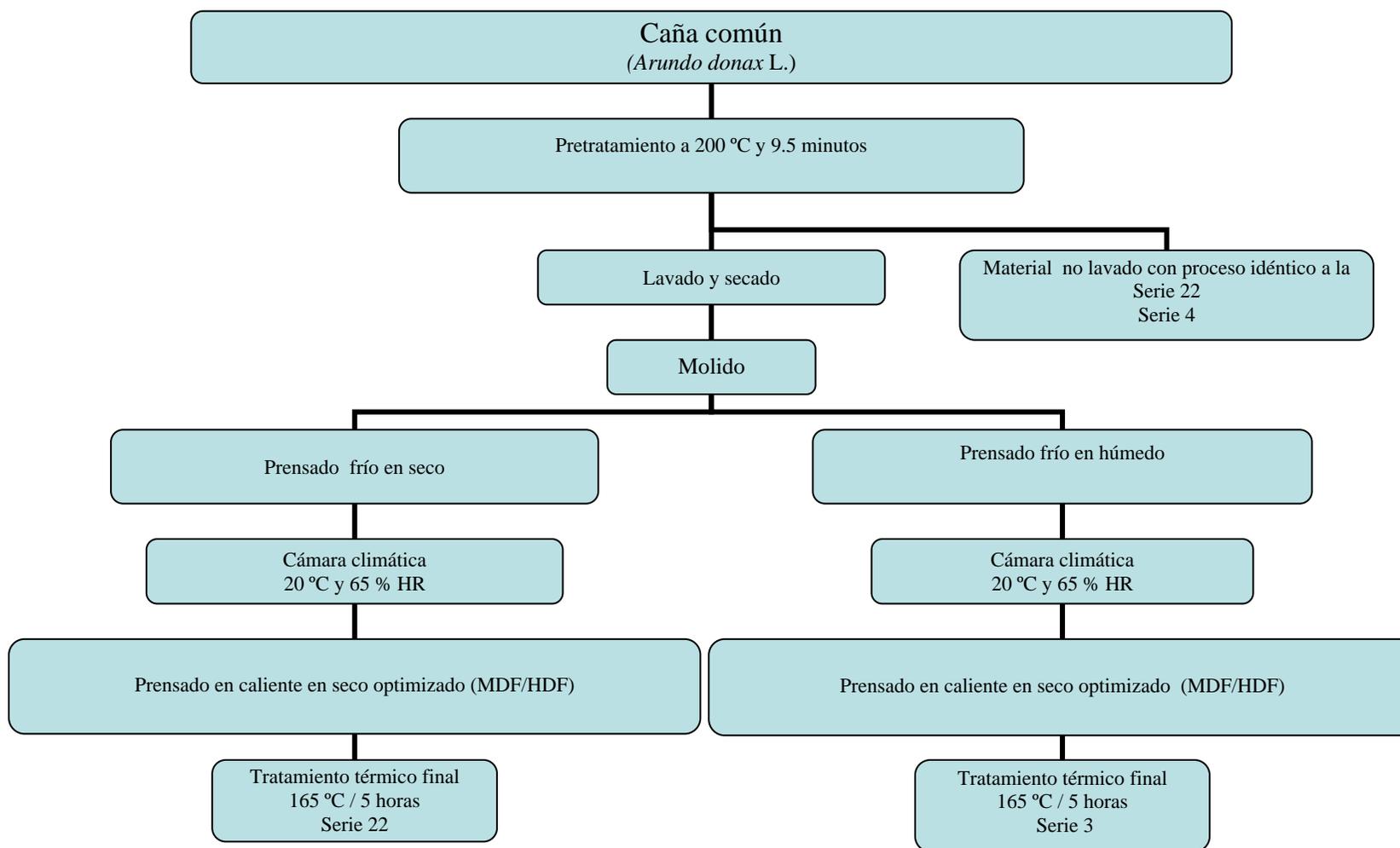


Figura 3.1-2: Esquema de la producción de tableros de *Arundo donax L.* con material lavado

El *Arundo donax* L.

La conformación de los tableros se ha realizado siempre a partir de material pretratado que secamos hasta equilibrio con el ambiente. A partir de aquí el tablero se puede realizar utilizando este material seco, o incorporándole agua hasta que disponemos de un fluido y conformar el tablero a partir de este fluido. En nuestro caso, el prensado en caliente, que es cuando se conforma el tablero, siempre lo hemos realizado en seco.

Una de las fases del proceso consiste en un prensado en frío, antes del prensado en caliente. De este prensado en frío sí se han realizado dos modalidades, un prensado en húmedo y otro en seco, lo que ha dado lugar a las dos series (11 y 12). De esta forma se han estudiado las diferencias entre dos posibilidades del proceso de producción de tableros (seco y húmedo) y la repercusión de la incorporación de agua en las características físicas y mecánicas de los tableros.

También se ha generado una serie realizada con un proceso de prensado en frío en seco a la que se le ha aplicado un tratamiento térmico final (serie 21). Con un proceso optimizado de prensado en caliente se han generado la serie 22 (Prensado en frío seco, prensado en caliente optimizado y tratamiento térmico final) y la serie 3 (Prensado en frío en húmedo, prensado en caliente optimizado y tratamiento térmico final). Este proceso optimizado de prensado en caliente consiste en sustituir el prensado en caliente realizado en dos fases iguales en temperatura, tiempo y presión, en otras dos fases, una constante para todos los tableros y otra a la que se le varía el tiempo y la presión aplicada.

En las series 11, 12, 22, 3 y 4 se han aplicado diferentes presiones de prensado, para estudiar el efecto de ésta sobre las características de los tableros.

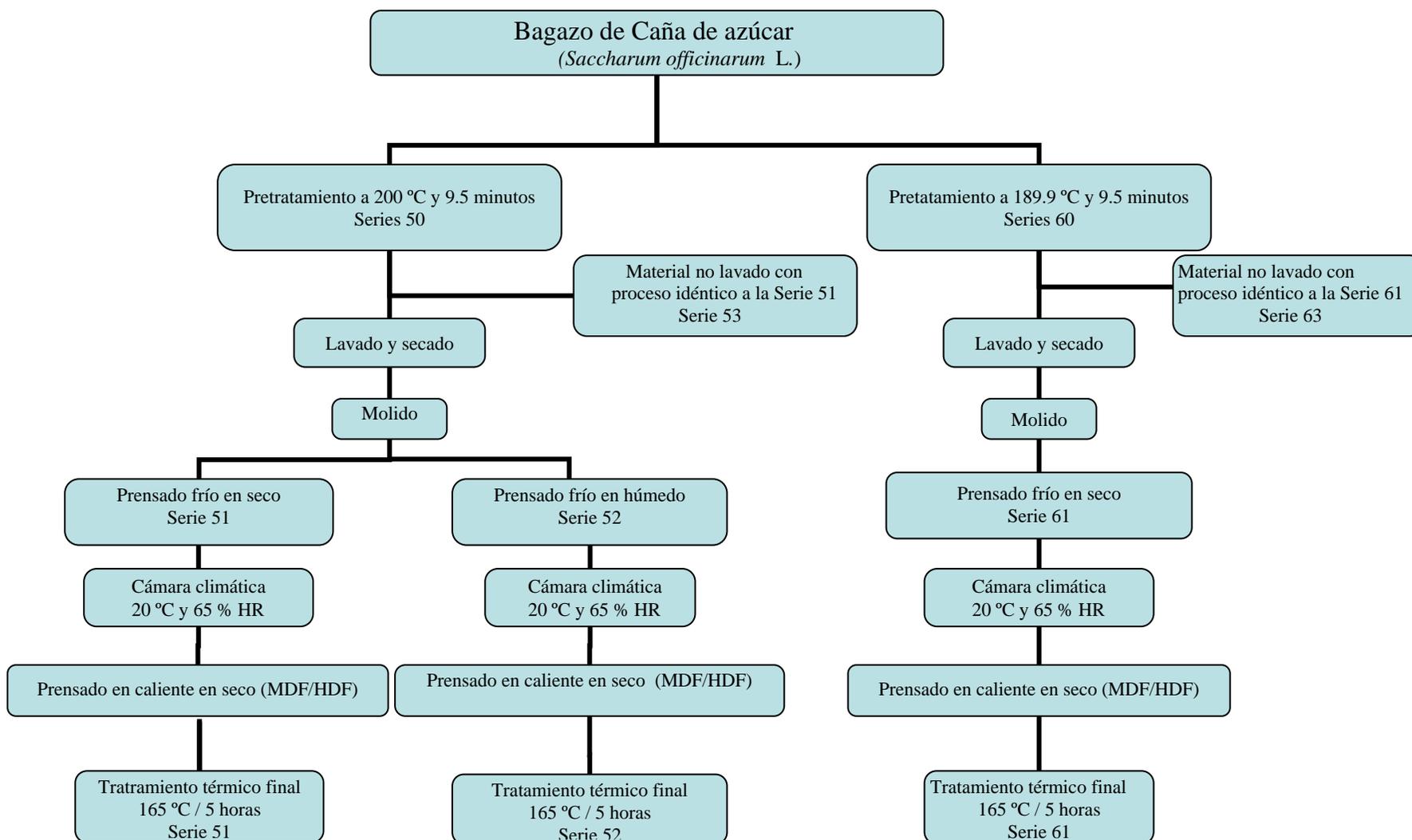


Figura 3.1-3: Esquema de la producción de tableros de *Saccharum officinarum* L. realizada con material lavado

***Saccharum Officinarum* L.**

En el caso del bagazo de caña se han realizado pretratamientos a dos severidades; una severidad alta de 200 °C y 9,5 minutos (series 51, 52 y 53) y una baja severidad de 189 °C y 9,5 minutos (series 61 y 63). Esto nos permite estudiar el efecto de la severidad del pretratamiento.

A partir de este punto, el proceso de conformación de los tableros es similar al realizado con el *Arundo donax* L. La diferencia fundamental está en que el *Arundo donax* L, dentro de cada serie, solo hemos considerado como variable de producción la Pp; mientras que en el *Saccharum Officinarum* L. se han ido incorporando variables de forma progresiva, para poderlas evaluar (Pp, tp, Tpr, severidad).

Tanto con *Arundo donax* L. como con *Saccharum officinarum* L. se han realizado tableros con material no lavado después del pretratamiento (series 4 en *Arundo donax* L. y 53 y 63 en *Saccharum officinarum* L.).

3.2.- Diseño experimental

Dentro de los diseños avanzados para superficies de respuesta, se ha optado por un diseño factorial 2^2 más estrella, rotativo y ortogonal. Todo el tratamiento estadístico, incluido el diseño experimental, se ha realizado con el soporte del programa informático Statgraphics Plus 5.1.

En el análisis estadístico de los resultados, para todos los casos y todos los factores, se han considerado distintos modelos de mayor a menor número de factores; aceptándose como criterio general, solo aquellos factores con P-Valor $<0,01$ en cada modelo. Finalmente se han expuesto solo aquellos modelos y resultados más significativos.

El estudio de la relación entre parámetros de producción y características resultantes de los tableros, se ha realizado de forma progresiva:

Arundo donax L.

Serie 11: Proceso de prensado frío seco, prensado caliente no optimizado, sin tratamiento térmico final. Variables de producción consideradas: Pp

Serie 12: Proceso de prensado frío húmedo, prensado caliente no optimizado, sin tratamiento térmico final. Variables de producción consideradas: Pp

Serie 21: Proceso de prensado frío seco, prensado caliente no optimizado, con tratamiento térmico final.

Serie 22: Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado, con tratamiento térmico final. Variables de producción consideradas: Pp

Serie 3: Proceso de prensado frío húmedo, prensado caliente optimizado, con tratamiento térmico final. Variables de producción consideradas: Pp

Serie 4: Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado, con tratamiento térmico final. Elaborado con material no lavado. Variables de producción consideradas: Pp

Con estas series se pretende obtener información que nos responda a las siguientes cuestiones:

- Posibilidad de utilizar el Arundo donax L. como materia prima para la producción de tableros de fibras de calidad comercial, sin aporte de adhesivos.
- Conveniencia de utilización de un proceso de prensado en frío seco o húmedo.
- Conveniencia de la aplicación de un tratamiento térmico final
- Efecto de la Pp sobre las características de los tableros
- Efecto de no lavar el material pretratado sobre las características de los tableros.

Saccharum Officinarum L.

Para el diseño del estudio con Saccharum Officinarum L. se parten de las conclusiones obtenidas en Arundo donax. De esta forma consideramos válido el método optimizado de presión en caliente aplicado en las series 22, 3 y 4. Retomamos la posible conveniencia de la utilización o no del método de prensado en frío húmedo, que no quedó completamente cerrado en el Arundo donax L. Por otro lado, se generalizó el estudio realizado con la Pp en Arundo al resto de parámetros de producción, de manera progresiva.

Serie 51: Severidad alta. Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado y con tratamiento térmico final. Variables de producción considerada: Pp y tp

Serie 52: Severidad alta. Proceso de prensado frío húmedo, prensado caliente optimizado y con tratamiento térmico final. Variables de producción considerada: Pp y tp

Serie 53: Severidad alta. Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado y con tratamiento térmico final. Elaborado con material no lavado. Variables de producción consideradas: Pp, tp, Tpr.

Serie 61: Severidad baja. Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado, con tratamiento térmico final. Variables de producción considerada: Pp, tp, Tpr.

Serie 63: Severidad baja. Proceso de prensado frío seco, prensado caliente optimizado y con tratamiento térmico final. Elaborado con material no lavado. Variables de producción consideradas: Pp, tp, Tpr.

De la comparación entre series podemos extraer conclusiones de la diferencia entre procesos y de la severidad como variable de producción.

Las cuestiones a responder en este estudio son:

- Posibilidad de utilización del Saccharum officinarum para la elaboración de tableros de fibras de calidad comercial sin adición de adhesivos.
- Conveniencia de utilización un proceso de prensado en frío seco o húmedo.
- Valoración de la posibilidad de utilizar el material pretratado sin lavar, para la elaboración de tableros.
- Efecto de los distintos parámetros de producción sobre las características de los tableros.
- Modelización de la relación entre parámetros de producción y características de los tableros.

3.3.- Materiales

Especies utilizadas:

Se han estudiado dos materiales en este trabajo, el *Arundo donax* L. y *Saccharum officinarum* L.

Origen:

El *Arundo donax* ha sido obtenido de la “Riera de Riudecanyes” en un punto próximo al Pantano y pueblo de Riudecanyes (Tarragona). Las cañas utilizadas tenían dos años de vida, pues dos años antes habían sido cortadas al realizar un desbroce del área en la que se cortaron.

En el caso del bagazo de *Saccharum Officinarum* se trata de material obtenido en San Andrés de Sauces, de la Isla de la Palma en Tenerife. Se trata de una plantación de la empresa “Destilerías Aldea SL”. En este caso también se trata de cañas de dos años, pues esta empresa solo realiza zafra cada dos años.

Preparación y mantenimiento de las materias primas:

El *Arundo donax* L. fue troceado en campo con una astilladora GA 100 Black&Decker, quedando trozos entre 3 y 8 cm de largos y unos 2 de grueso.



Figura 3.3-1: Astilladora Black &Decker y Arundo donax L. astillado

Para evitar fermentaciones del material, éste se introdujo en sacos de yute y se trasladaron a una cámara de desecación donde se mantuvieron hasta la pérdida de la mayor parte de la humedad. Una vez secas las cañas, se mantuvieron en estos sacos porosos en equilibrio con el ambiente hasta el momento de su explosión en el reactor de vapor.

El Bagazo de *Saccharum officinarum* L. nos lo enviaron seco en sacos de yute. Debemos tener en cuenta que se trata de un subproducto industrial, al que se le ha extraído el jugo y que lo que ha quedado son cañas machacadas y en parte trituradas. Aunque este material ya estaba seco cuando llegó, igualmente lo mantuvimos en la cámara de desecación durante dos semanas y después en equilibrio con el ambiente hasta el momento de su explosión.



Figura 3.3-2: Astillas de bagazo de *Saccharum officinarum* L.

Materiales pretratados utilizados en la producción de tableros:

Las cañas y el bagazo, antes de ser prensados son pretratados (a distintas severidades) en el reactor de vapor, abriéndose dos posibilidades, lavar o no lavar este material pretratado antes de prensarlo. Por tanto, los materiales diferentes finalmente utilizados son:

- Arundo lavado (Series 11, 12, 21, 22 y 3)
- Arundo Sin lavar (Serie 4)
- Saccharum alta severidad y lavado (Serie 51 y 52)
- Saccharum alta severidad y sin lavar (Serie 53)
- Saccharum baja severidad y lavado (Serie 61)
- Saccharum baja severidad y sin lavar (Serie 63)



Saccharum de alta severidad



Saccharum de baja severidad

Figura 3.3-3: Bagazo pretratado, lavado y sin triturar

Los materiales utilizados en la producción de los tableros, previos a la conformación en frío o en caliente son triturados.



Figura 3.3-4: Saccharum de alta severidad triturado

Se ha realizado la caracterización química de todos los materiales explosionados (lavados o no), además del material crudo de los dos materiales originales (*Arundo donax* L. y bagazo de *Saccharum officinarum* L.)

Parámetros químicos analizados:

Los polisacáridos son los compuestos más abundantes de las paredes celulares vegetales. Están formados por azúcares enlazados formando grandes cadenas. Los tres tipos de polisacáridos que suelen aparecer en las paredes celulares vegetales son la celulosa, hemicelulosas y, en menor grado, las pectinas. Además de los polisacáridos, también contienen proteínas, lípidos y minerales. En los últimos estadios de desarrollo las paredes pueden presentar importantes cantidades de lignina. En los órganos aéreos de las plantas, las paredes celulares suelen estar recubiertas de ceras, cutina y suberina que les sirven de protección.

Celulosa:

Es el componente más abundante de los vegetales y está formada por cadenas lineales de glucosa unidas. El grado de polimerización oscila entre 500 y 15000 unidades. Las cadenas de celulosa, de manera natural, forman zonas donde se presentan en una forma cristalina o muy ordenada, y en otras zonas aparecen de manera amorfa o poco ordenada. Si la celulosa es cristalina presenta una gran resistencia a la tracción y resistencia a los reactivos. Si es amorfa será elástica, flexible e hidrófila. (A. Neus, 1999) (Holtzapfle, 1993 a)

Hemicelulosas:

Son compuestos complejos, no muy bien definidos, que pueden estar formados por distintos azúcares como los xilanos o los arabinoxilanos; y que poseen alguna característica estructural que les impide formar agregados similares a la celulosa. Los polisacáridos son fácilmente hidrolizables con ácido, resultando sus componentes (Xilosa, arabinosa, manosa...). (Fengel & Wegener, 1984). Incluyen a todos los polisacáridos estructurales salvo la celulosa (Holtzapfle, 1993 b).

Las hemicelulosas afectan considerablemente a la retención de agua de las fibras y a su hinchamiento. Por ello deben ser decisivas en la estabilidad estructural de los futuros tableros (Anglès N. 1999).

Holocelulosa y α -celulosa:

La holocelulosa está formada por diversos polímeros, básicamente azúcares. Mediante un ataque ácido con clorito sódico se degrada la lignina de una muestra libre de extractivos acuosos y orgánicos. La α -celulosa es la parte insoluble que queda cuando, la holocelulosa obtenida, se trata con diferentes concentraciones de hidróxido sódico (Barceló, Nicolás, Sabater, & Sánchez, 1988).

Lignina:

Es el componente de naturaleza no polisacáridica más abundante de las paredes celulares. Se forma por deshidrogenación enzimática de los alcoholes cumarílico, coniferílico y sinapílico, seguida por una polimerización no controlada enzimáticamente que da lugar a que la lignina no tenga una estructura única (Barceló, Nicolás, Sabater, & Sánchez, 1988) (Holtzapfle, 1993 c).

Extractivos acuosos y orgánicos.

Son el conjunto de sustancias que podemos extraer por lavado (utilizamos un equipo soxhlet) con agua (extractivos acuosos) o con disolventes orgánicos (extractivos orgánicos). Entre el conjunto de sustancias se diferencian los compuestos alifáticos (grasas y ceras), terpenos, terpenoides, compuestos fenólicos y otros.

De esta forma, mediante una extracción con agua caliente, se solubilizan sales minerales, almidón, pectinas, colorantes, galactanos, y algunos azúcares.

Mediante la utilización de disolventes orgánicos (nosotros utilizaremos una mezcla de etanol y tolueno) se obtienen grasas, ceras, resinas, aceites y taninos.

Se han realizado análisis de los siguientes compuestos:

Extractivos acuosos
Extractivos orgánicos
Lignina
Holocelulosa
A-celulosa
Azúcares por HPLC (Glucosa, xilosa y arabinosa)

Su análisis estadístico e interpretación se muestran en el apartado de Resultados y Discusión.

Los resultados se presentan en la Tabla 4.1.1-1.

Tabla 4.1.1-1: Composición química de los materiales

Muestra	Extractivos Acuosos	Extractivos orgánicos	Lignina	Holocelulosa	Alfa celulosa	Glucosa= Celulosa	Xilosa	Arabinosa	Hemicelulosa= Xilosa+ Arabinosa
SERIE F (Arundo crudo)									
Media (%)	8,3±0,3	1,0±0,2	22,4±0,2	74,6±1,5	43,1±0,5	38,4±0,5	20,9±0,1	1,0±0,1	21,9±0,2
SERIE O (Arundo SL*)									
Media (%)	24,4±0,6	12,7±0,5	14,2±0,2	52,3±0,2	44,0±0,2	41,4±1,0	5,6±0,2	0,2±0,1	5,8±0,2
SERIE A (Arundo Lavado)									
Media (%)	5,9±0,5	11,4±0,7	20,2±0,9	65,2±0,6	53,7±0,5	52,2±0,9	5,0±0,7	0,2±0,1	5,2±0,8
SERIE G (Azucar crudo)									
Media (%)	6,7±0,3	1,9±0,2	22,4±0,9	75,0±0,2	39,5±0,3	37,1±0,3	21,6±0,2	1,9±0,1	23,5±0,3
SERIE E (Azucar-Serie 60-SL)									
Media (%)	24,3±0,4	6,0±0,2	18,5±0,3	51,6±0,4	39,6±0,7	39,2±0,4	7,7±0,1	0,3±0,1	8,0±0,2
SERIE C (Azucar -serie 50-SL)									
Media (%)	23,7±0,3	12,1±0,5	18,5±0,4	50,1±0,5	37,0±0,4	41,4±2,6	3,0±0,3	0,0	3,0±0,3
SERIE D (Azucar -Serie 60)									
Media (%)	5,8±0,2	7,1±0,2	21,7±0,5	63,6±0,2	47,3±0,3	49,5±0,4	10,5±0,6	0,4±0,2	10,9±0,6
SERIE B (Azucar-serie 50)									
Media (%)	8,2±0,2	10,0±0,4	21,5±0,7	62,5±0,3	46,0±0,6	51,3±0,3	3,4±0,1	0,0	3,4±0,1

*SL Sin lavar

Valores: $\bar{X} \pm LC$ al 95 % de NC

3.4 Equipos

3.4.1.- Caldera de vapor

Se trata de una caldera eléctrica de la marca Boreal, 380 V/ 82 KW de 42 bar e IP 65.



Figura 3.4.1-1: Caldera de vapor Boreal

Su llenado de agua se realiza a partir de un depósito nodriza y éste a partir de un equipo de desionizado marca Millipore de 500 VA que se encuentra en el mismo recinto, así como un sistema de pretratamiento complementario de purificación de agua Milli-RX 45, dotado de filtro de carbón activo.

3.4.2.- Reactor discontinuo

El reactor se compone de dos partes, el reactor propiamente dicho y su cámara de expansión. El reactor está encamisado, tiene una capacidad de 10 litros, con una válvula superior de llenado de 2" y una válvula neumática inferior que comunica con la cámara de expansión.

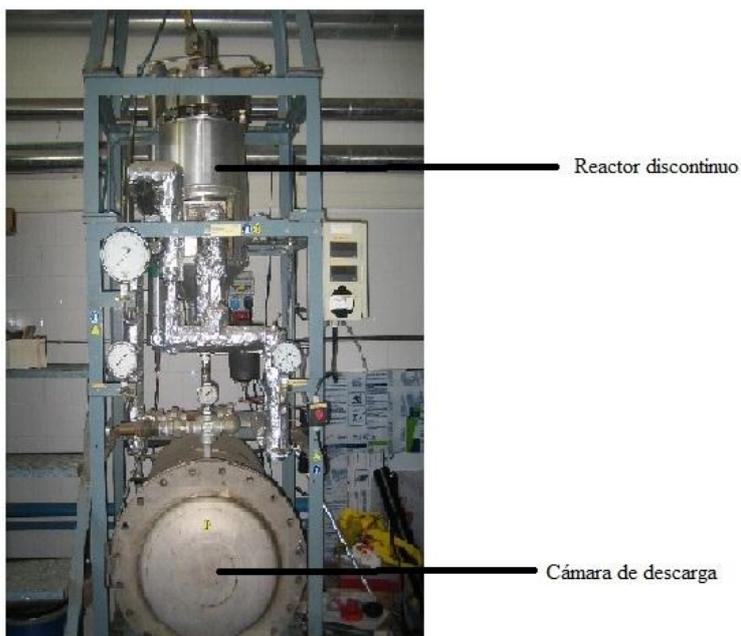


Figura 3.4.2-1: Vista general del reactor

La cámara de descarga o expansión, consiste en un cilindro de acero con un volumen total de 100 l, con una puerta de descarga que cubre todo el diámetro. Este cilindro también dispone de una válvula superior de escape de vapor y otra inferior para salida de líquidos.

3.4.3.- Carro de lavado del material explosionado

El material explosionado es lavado en un carro de acero inoxidable con un tamiz de 170 Mesh.



Figura 3.4.3-1: Carro de lavado con tamiz de 170 Mesh

3.4.4.- Molino de triturado del material explosionado

El material explosionado y seco se tritura mediante un molino Restsch SM 100, de 1390 rpm y 1,5 KW; fabricado en Alemania. El tamiz utilizado es de 4 mm.



Figura 3.4.4-1: Molino Restsch SM 100 y tamiz de 4 mm.

3.4.5.- Equipo de prensado en frío

El prensado en frío se ha realizado utilizando una prensa MEGA KCK-30 AN de 30 toneladas, fabricado por la empresa Melchor Galindo SA.



Figura 3.4.5-1: Prensa MEGA-30 AN de 30 toneladas

3.4.6.- Equipo de acondicionamiento de tableros prensados en frío y en caliente

El equipo utilizado para acondicionar todos los tableros, manteniéndolos a 20 °C y 65 % de HR, es una cámara climática CLIMATELL de la empresa MMM-Group.

3.4.7.- Equipo de prensado en caliente

Consiste en una prensa calefactada de la empresa Schwabenthan, modelo Polystat 300 S. Dispone de un área de trabajo de 300 x 300 milímetros, con una presión hidráulica hasta 400 bares y una temperatura de trabajo de hasta 300 °C (se pueden ver detalles en los anejos).



Figura 3.4.7-1: Prensa calefactada Polystat 300 S

3.4.8.- Equipo para el tratamiento térmico final

El tratamiento térmico se ha realizado mediante una estufa SELECTA de 1600 W de la empresa JP Selecta s.a.

3.4.9.- Equipo para la caracterización de propiedades mecánicas de los tableros

El MOE, MOR e IB se obtienen mediante una máquina de ensayos universal HOUNSFIELD H10KS; con diferentes útiles (unos para MOE y MOR) y otros para IB.

Atendiendo a la norma EN 310, se le han acoplado al extensómetro los útiles necesarios para realización del ensayo a flexión, del cual obtenemos el MOE y MOR. Estos útiles consisten en un soporte inferior con dos rodillos giratorios sobre los que se apoya el tablero a ensayar y otra estructura superior con un rodillo que efectúa el empuje en el centro del tablero. La estructura de este último rodillo está unida a la célula de carga que nos dará la medida de la carga aplicada en cada momento.



Imagen de conjunto del extensómetro

Figura 3.4.9-1: Extensómetro y útiles para MOE y MOR



Obtención de MOE y MOR

Atendiendo a la norma EN 319, se le acopla a la HOUNSFIELD H10KS los útiles para realización del ensayo de IB. Los útiles consisten en dos mordazas, una inferior y otra superior, que encajan en las piezas de aluminio a las que están pegados los tableros. La mordaza inferior está atornillada a la carcasa de la máquina y la mordaza superior está unida a la célula de carga, que nos dará la medida de la tracción aplicada en cada momento.



Extensómetro con útiles para IB

Figura 3.4.9-2: Extensómetro y útiles de obtención del IB



Perfil del taco de sujeción IB



Planta del taco de sujeción IB

3.5.- Métodos

3.5.1.- Explosión de vapor

El material de partida ha sido bagazo de *Saccharum officinarum* L. y *Arundo donax* L. En el primer caso el material es el bagazo industrial, en trozos de distintas dimensiones (de 0,5-4 cm de grueso y de 1 a 14 cm de longitud), al que no le aplicamos ningún tratamiento. En el caso de *Arundo donax* las cañas, antes de realizarse la explosión de vapor, se trituraron con una astilladora, consiguiéndose astillas de 0,5-2 Cm de ancho y 2-8 cm de longitud.

El material a explotar en cada tanda fue pesado y embolsado antes. En las series que iban a ser lavadas después de la explosión, se introdujeron unos 700 gramos; mientras que en las no lavadas, para evitar lixiviados, se llegaron a introducir cerca de 1500 gramos.

Una vez introducido el material en el reactor, se inyecta vapor hasta conseguir la presión o temperatura deseada. La presión se mantiene constante inyectando de forma continua algo de vapor. Las condiciones de temperatura y tiempo se habrán definido por estudios previos.

Cuando ha pasado el tiempo de reacción se actúa sobre la válvula neumática de descarga, que provoca la descompresión súbita del reactor y su descarga en la cámara de expansión; de donde lo podremos extraer después de despresurizar y enfriar.

Para la definición de las condiciones de pretratamiento, se han estudiado las condiciones utilizadas por distintos autores (Velásquez J. , 2002) (Mancera C. , 2008) (Anglés M. , 1999).

En nuestro caso, este pretratamiento lo hemos ajustado partiendo de los resultados obtenidos básicamente en “*Miscanthus sinensis*” (Velásquez J. , 2002) por la similitud del material y atendiendo a los siguientes criterios:

- Se deben obtener tableros de máxima calidad en MOE, MOR, IB, TS y WA, según los requerimientos establecidos, para tableros de fibras, por las normas UNE (EN 316:1999 , 2000) (EN 622-1:2003, 2004) (EN 622-2:2004/AC , 2006) (EN 622-5: 2006, 2007).
- El parámetro crítico, en los estudios anteriores de *Miscanthus sinensis* y otros, era el Internal Bond. Por ello las condiciones de pretratamiento se han intentado optimizar para este parámetro.

De la revisión de los estudios mencionados se concluye que las severidades óptimas en el pretratamiento para el IB son las comprendidas entre 8000 y 10000. Para el cálculo se ha utilizado el criterio de severidad propuesto por Overend y Chornet (Overend & Chornet, 1987) , con el que se valora de forma conjunta el efecto de tiempo y temperatura en la transmisión y aplicación de calor.

$$R_o = \int_0^{t(\text{min})} \exp\left(\frac{T(^{\circ}\text{C}) - 100}{14.75}\right) dt$$

Atendiendo a trabajos anteriores (Velásquez et al., 2002; Mancera C.), se ha realizado un primer pretratamiento a 200 °C y 9,5 minutos; que arroja una severidad de 8358.

Para disponer de un mayor espectro de tratamientos y sacar conclusiones del efecto del pretratamiento con el *Saccharum Officinarum* L., se ha optado por hacer otro pretratamiento a la mitad de la severidad; manteniendo el tiempo de reacción y bajando la temperatura (189.9 °C y 9.5 minutos). Estas condiciones nos dan una severidad de 4178 en el pretratamiento.

3.5.2.- Lavado del material explosionado

El material explosionado de todas las series, excepto la Serie 4 (Arundo donax L.) y las series 53 y 63 (Saccharum officinarum L.), ha sido lavado justo después de ser extraído de la cámara de descompresión. De esta forma se han eliminado parte importante de las hemicelulosas degradadas durante la explosión; lo que facilita la conformación de los tableros.

Las series antes indicadas no fueron lavadas para sondear la posibilidad de obtener tableros sin generar ningún lixiviado.

3.5.3.- Secado

El material resultante de la explosión de vapor, lavado o no, se ha secado de manera natural hasta equilibrio con el ambiente. Para ello fue extendido en un recinto cubierto durante varios días, hasta peso constante. Después fue embolsado hasta su molienda. La HR de este material es de un 12 % aproximadamente, con pequeñas variaciones entre series.

3.5.4.- Molienda

Atendiendo a los resultados de otros autores (Velasquez J.A.; 2002), que demostraron la bondad de la trituración del material explosionado sobre las características de los tableros, éste ha sido pasado por un molino con un tamiz de 4 mm.

3.5.5.- Caracterización de material

La humedad de los materiales se determinó según el método analítico MA/LC/001/rev.10; basado en la norma TAPPI estándar T-15.

Los extractivos acuosos y orgánicos se determinaron atendiendo a los procedimientos de análisis 02 y 03 del grupo SYSTEMIC respectivamente, que están basados en las normas ASTM standard D-1110-56 (reapro. 1977), ASTM standard D-1105-56 (reappr. 1972) y TAPPI standard T-12 m-45 (1959).

La Lignina Klason y los monosacáridos elementales se determinaron según la norma MA/LC/006/rev. 1.0, basada en las normas originales TAPPI standard T-13, 1954 y ANSI/ASTM standard D 1106-56. La determinación de los azúcares elementales se realizó con un HPLC “Agilent 1100 Series”, utilizando una Columna Aminex HPX-87H y H₂SO₄ 5 mM como fase móvil (0,5 ml/min).

La Holocelulosa se ha determinado por el Método analítico MA/LC/007/rev.1.0; basada en la norma TAPPI standard T-203 02-74. Para la α -Celulosa se aplica el Método analítico MA/LC/008/rev1.0, basado en las normas ASTM standard D-1103-60 (Reappr. 1977) y TAPPI standard T203 05-1974.

3.5.6.- Prensado en frío

La incorporación de esta fase en la producción de los tableros es una de las modificaciones importantes del procedimiento utilizado por otros autores (Anglés, N. 1999) (Velásquez, 2002) (Mancera, 2008). El objetivo perseguido es mejorar la uniformidad de los tableros. En los procedimientos anteriores el reparto de material en el molde de prensado se realizaba directamente en la prensa caliente. Debido a la posición y altas temperatura de las placas calefactadas, era difícil hacer un buen reparto de material. El prensado en frío nos permite trabajar cómodamente, sin limitación de tiempo, sin riesgo y con un buen control sobre el reparto de material en el molde.

El material pretratado con la explosión de vapor, lavado o no y seco, es el punto de partida de esta fase. Para cada tablero se han tomado 28,5 gramos de material, que es el necesario para conseguir un tablero de dimensiones aproximadas de 150x50x3 mm, en el rango de densidades que trabajamos.

Se han ensayado dos formas de prensado en frío, una en seco y otra en húmedo. En el primer caso, el material pesado, directamente se introduce y reparte en el molde. En el segundo caso, a los 28,5 g de material le añadiremos 185 ml de agua destilada, se agita y mezcla hasta conseguir un fluido uniforme que se reparte en el molde. Previamente, en la parte inferior del molde, se ha colocado una malla para la evacuación del agua sobrante durante el prensado en frío.

El molde relleno de material es prensado en frío a 16 Mpa, quedando un Tablero preconformado.



Figura 3.5.6-1: Tablero prensado en frío

3.5.7.- Acondicionamiento de los tableros preconformados

Los tableros preconformados en frío se mantienen en la cámara climática a 20 °C y 65 % de HR hasta el prensado en caliente. Durante este período los tableros llegan al equilibrio con estas condiciones y mantienen peso constante.

3.5.8.- Prensado en caliente

Un problema habitual del prensado en caliente de los tableros es la formación de burbujas de vapor en el interior de los tableros, lo que debilita especialmente a éstos.

Esto no ha llevado a realizar otra modificación importante del proceso de prensado respecto a lo realizado por otros autores (Velásquez, 2002) (Mancera, 2008), que ha consistido en interponer una malla metálica para facilitar la evacuación del vapor y evitar la formación de burbujas.

Para prensar en caliente los tableros preconformados, se ha colocado una chapa de acero sobre la placa inferior de la prensa. Sobre esta chapa se ha colocado el molde, donde, se ha introducido la malla de evacuación de vapor, el Tablero preconformado, una chapa a modo de tapa y finalmente el pistón del molde, en el orden indicado. Sobre éste último, actuará la placa superior de la prensa.

En la prensa regulamos la temperatura, la presión y el tiempo de prensado. La incorporación de variables de prensado se ha ido realizando de forma progresiva, a la vez que ha ido aumentando nuestro control del proceso. Las condiciones concretas de prensado de todos los tableros están expuestas en los anejos, junto con los resultados obtenidos.



Figura 3.5.8-1: Tablero prensado en frío (superior) y en caliente (inferior)

3.5.9.- Tratamiento térmico final

Se trata de la tercera modificación importante realizada en el proceso de producción de tableros, respecto a lo realizado previamente en el grupo de investigación.

El tratamiento térmico final no se ha realizado a todas las series. Las series 11 y 12 de *Arundo donax* L. se realizaron de forma similar a la realizada por otros autores (Mancera, 2008) para otros materiales lignocelulósicos y, por lo tanto, no se les aplicó este tratamiento.

Dado que un objetivo importante era mejorar la uniformidad de los tableros, y a pesar de que se había conseguido mejorarla al incorporar el prensado en frío y las mallas de evacuación de vapor en las series 11 y 12, se creyó conveniente sondear la posibilidad de introducir un tratamiento térmico final con un doble objetivo. Por una parte podía ayudar a distribuir más uniformemente la lignina y, por otra, a acortar el tiempo de prensado; compensándolo con este tratamiento de 165 °C durante 5 h.

3.5.10.- Acondicionamiento de tableros en cámara climática

Una vez conformados en caliente los tableros y tratados térmicamente, éstos son mantenidos a 20 °C y 65 % HR en equilibrio con este ambiente, hasta el momento de realizar la caracterización física y mecánica de los mismos.

3.5.11.- Caracterización física y mecánica de los tableros

La definición de las características físicas y mecánicas a estudiar se ha realizado atendiendo a la definición y clasificación de los tableros de fibras establecido en la norma EN 316:1999.

En esta norma se diferencia, en primera instancia, entre Tableros de fibras fabricados por proceso húmedo y Tableros de fibras fabricados por proceso seco. Puesto que en nuestro caso, el prensado en caliente siempre se realiza con el material

seco, nos centramos en tableros realizados por proceso seco (MDF).). Dentro de ellos, como la densidad es superior a 800 kg/m³, se pueden denominar HDF.

La norma EN 622-5: 2006 establece los requisitos de todos los tableros de fibras elaborados por proceso seco (MDF), para uso general y estructural en ambiente seco.

Tabla 3.5.10-1: Normas EN de ensayo de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros y valores requeridos para tableros de uso general y estructural

Tipo Tablero	Uso	Norma UNE	Propiedad	Método ensayo	Unidad	Espesor Tablero mm	Valor Propiedad
MDF	General	622-5	TS	EN 317	%	2,5-4	35
(HDF)			IB	EN 319	N/mm ²	2,5-4	0.65
			MOR	EN 310	N/mm ²	2,5-4	23
	Estructural	622-5	TS	EN 317	%	2,5-4	35
			IB	EN 319	N/mm ²	2,5-4	0.7
			MOR	EN 310	N/mm ²	2,5-4	29
			MOE	EN 310	N/mm ²	2,5-4	3000

Las propiedades establecidas en la Tabla 3.5.10-1 serán los estudiados. Y los valores allí establecidos serán los que se contrastarán con los obtenidos, para determinar si pueden comercializar, para estos usos, los tableros obtenidos.

La densidad la determinaremos siguiendo la Norma EN 323:1993

También se han determinado otros parámetros como el agua absorbida en 24 h y la densidad de los tableros (EN 323:1993).

Para la definición de las dimensiones de las probetas se han seguido los criterios establecidos por la norma UNE (EN 325: 1993).

3.5.12.- Microscopía electrónica (SEM)

Durante la primera fase de producción de tableros de *Arundo donax* L. se ha ido mejorando el proceso de producción de éstos. Con el objetivo de intentar conocer con más detalle las diferencias estructurales que se producen en los tableros con los distintos tratamientos aplicados, se decidió realizar un estudio microscópico que nos pudiese ayudar. Para ello se han elegido una serie de tableros, unos de las series con prensado optimizado y con tratamiento térmico final, y otros de las series iniciales en los que no se habían aplicado estas técnicas. De todos ellos se ha realizado un conjunto de fotografías de microscopía que han sido analizadas posteriormente. Consideramos que la fractura del IB es una zona que podría arrojar información de las diferencias entre tableros y, por tanto, tomamos muestras de las fracturas de IB.

El equipo utilizado es un Microscopio electrónico de rastreo marca JEOL modelo JSM-6400.

4.- Resultados y Discusión

4.1.- Composición química del material y relación con las propiedades físicas y mecánicas de los tableros

4.1.1.- Composición química de los materiales

Tabla 4.1.1-1: Composición química de los materiales

Muestra	Extractivos Acuosos	Extractivos orgánicos	Lignina	Holocelulosa	α -celulosa	Glucosa = Celulosa	Xilosa	Arabinosa	Hemicelulosa = Xilosa+ Arabinosa
SERIE F (Arundo crudo)									
Media (%)	8,3±0,3	1,0±0,2	22,4±0,2	74,6±1,5	43,1±0,5	38,4±0,5	20,9±0,1	1,0±0,1	21,9±0,2
SERIE O (Arundo SL*)									
Media (%)	24,4±0,6	12,7±0,5	14,2±0,2	52,3±0,2	44,0±0,2	41,4±1,0	5,6±0,2	0,2±0,1	5,8±0,2
SERIE A (Arundo Lavado)									
Media (%)	5,9±0,5	11,4±0,7	20,2±0,9	65,2±0,6	53,7±0,5	52,2±0,9	5,0±0,7	0,2±0,1	5,2±0,8
SERIE G (Azucar crudo)									
Media (%)	6,7±0,3	1,9±0,2	22,4±0,9	75,0±0,2	39,5±0,3	37,1±0,3	21,6±0,2	1,9±0,1	23,5±0,3
SERIE E (Azucar-Serie 60-SL)									
Media (%)	24,3±0,4	6,0±0,2	18,5±0,3	51,6±0,4	39,6±0,7	39,2±0,4	7,7±0,1	0,3±0,1	8,0±0,2
SERIE C (Azucar -serie 50-SL)									
Media (%)	23,7±0,3	12,1±0,5	18,5±0,4	50,1±0,5	37,0±0,4	41,4±2,6	3,0±0,3	0,0	3,0±0,3
SERIE D (Azucar -Serie 60)									
Media (%)	5,8±0,2	7,1±0,2	21,7±0,5	63,6±0,2	47,3±0,3	49,5±0,4	10,5±0,6	0,4±0,2	10,9±0,6
SERIE B (Azucar-serie 50)									
Media (%)	8,2±0,2	10,0±0,4	21,5±0,7	62,5±0,3	46,0±0,6	51,3±0,3	3,4±0,1	0,0	3,4±0,1

*SL Sin lavar

Valores: $\bar{X} \pm LC$ al 95 % de NC

Ninguno de los parámetros químicos estudiados presenta diferencias significativas entre las dos especies estudiadas (*Arundo donax* y *Saccharum officinarum*). Son dos materiales químicamente parecidos. Por ello hemos analizado estadísticamente de forma conjunta dichos elementos.

Los parámetros que diferencian el material de las series con las que trabajamos (dentro de una especie) son: Severidad y lavado/no lavado.

4.1.2.- Efectos de la severidad y del lavado en la composición química del material.

Compuestos afectados por la severidad

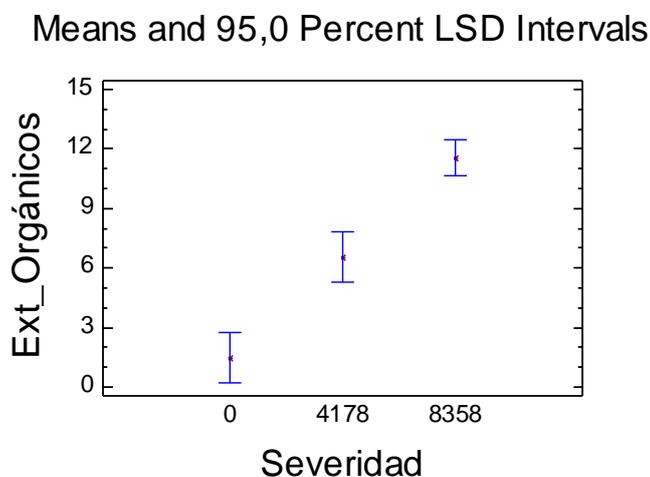
El estudio estadístico de los efectos de la severidad sobre la composición química de los materiales muestra los siguientes resultados:

Compuestos afectados por la Severidad: Extractivos orgánicos, Lignina (pero no significativamente), Holocelulosa (solo entre material crudo y pretratado) y Hemicelulosa

Compuestos no afectados por la Severidad: Extractivos acuosos, Glucosa y α -celulosa.

No existen diferencias significativas en los extractivos acuosos entre las muestras no pretratadas y las pretratadas a diferentes severidades. Esto nos indica que las sustancias solubilizadas en el pretratamiento, mayoritariamente lo son en condiciones bajas de severidad, de tal manera que un proceso suave como el realizado en el Soxhlet es suficiente para solubilizar los mismos elementos.

Al aumentar la severidad hay un claro aumento de extractivos orgánicos, que está ligado con la degradación de parte de lignina durante el pretratamiento, según diversos autores.

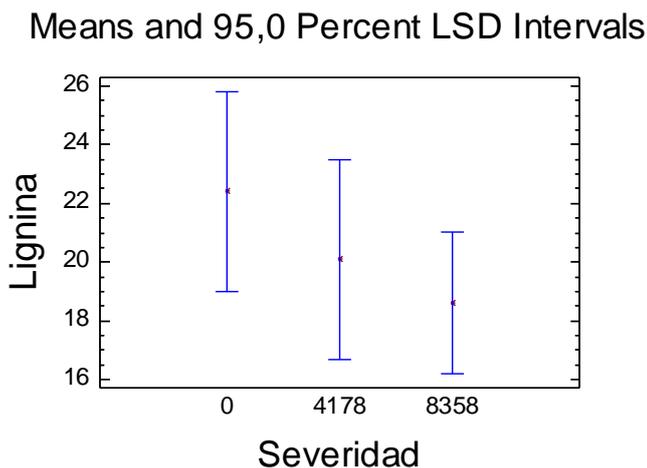


Extractivos orgánicos en %; Severidad []

Figura 4.1.2-1: Extractivos orgánicos. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

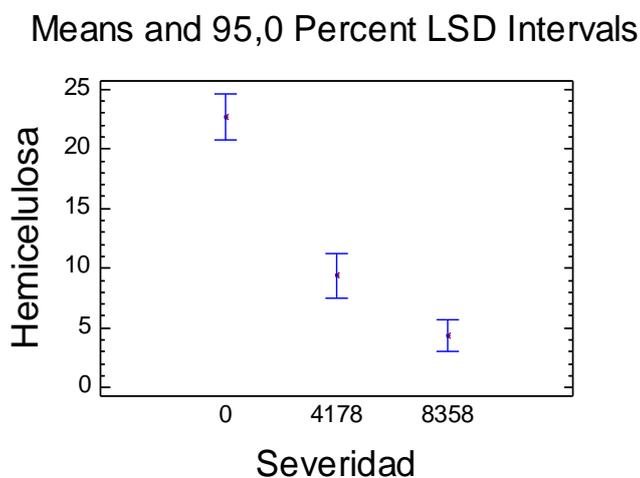
También observamos una cierta tendencia (no estadísticamente significativa) a bajar la concentración de lignina al aumentar la severidad.

Esto coincide con lo que marcan otros autores (Anglès N. 1999) que indica que al aumentar la severidad hay una parte de la lignina que es solubilizada y que encontramos en forma de extractivos orgánicos.



Lignina en %; Severidad []

Figura 4.1.2-2: Lignina. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %



Hemicelulosa en %; Severidad []

Figura 4.1.2-3: Hemicelulosas. Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

El contenido de hemicelulosas disminuye con la severidad. Al aumentar la severidad del pretratamiento, aumentan las hemicelulosas que pasarán a formar parte de las sustancias que pueden ser arrastradas y eliminadas en el lavado del material pretratado. Esto coincide con lo indicado por otros autores en el estudio de los procesos de cocción de bagazo de *Saccharum officinarum* para la obtención de pasta de papel, donde concluyen que la presión tiene un efecto positivo porque aumenta la degradación de las hemicelulosas y de la lignina, sin degradar la celulosa (Gonçalves & Ruzene, 2003).

Es por ello que la concentración detectada en el HPLC es menor al aumentar la severidad. Esta conclusión es compartida con otros autores (Anglès N. 1999) que indican que parte de las hemicelulosas son solubilizadas durante el pretratamiento. Éste es uno de los aspectos que busca el lavado del material, ya que al minorar las hemicelulosas estaremos mejorando la estabilidad dimensional de los tableros, pues las hemicelulosas aumentan su higroscopicidad.

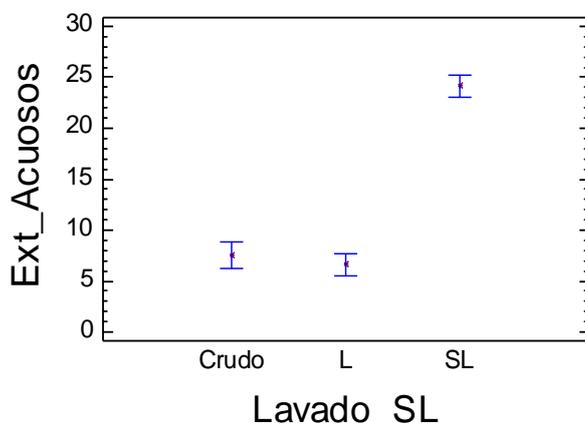
En el estudio de los factores de producción y su efecto sobre las características de los tableros, llegaremos a concluir que la severidad es el parámetro que mayor variabilidad explica en el TS y WA; que es el factor con segundo mayor peso en Densidad y MOR (por detrás de la Pp) y ocuparía el tercer lugar en el MOE (detrás de Pp y Tpr). Es decir, en todos los casos explica más variabilidad que el tp y que la Tpr (excepto para el MOE).

Compuestos afectados por el Lavado

Todos los compuestos químicos analizados se han visto afectados por el lavado del material pretratado, aunque de diferentes niveles. Se debe destacar los Extractivos orgánicos y la Hemicelulosa; casos en los que solo se encuentran diferencias entre el material crudo y el material pretratado.

Por tanto, observamos que cuando lavamos el material nos cambiará la composición en Extractivos acuosos, la Lignina, Glucosa, α -celulosa y Holocelulosa.

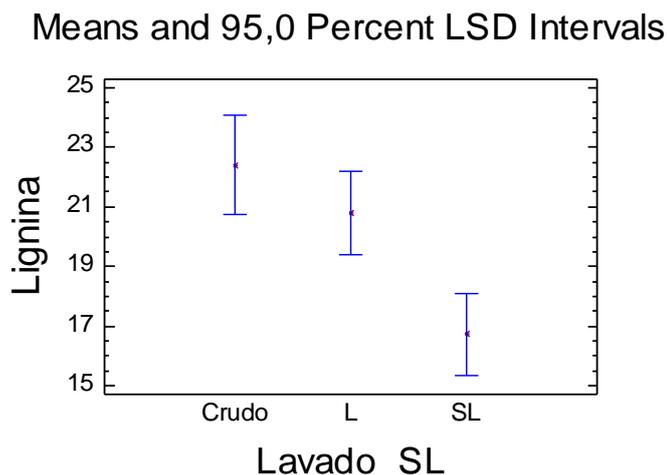
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Ext_Acuosos en %

Figura 4.1.2-4: Extractivos acuosos. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %

También podemos concluir que el pretratamiento facilita la extracción de extractivos orgánicos. Como hemos visto, no existen diferencias significativas en los extractivos acuosos entre las dos severidades. Las diferencias en los extractivos acuosos están entre las series lavadas y las no lavadas. El pretratamiento ha provocado la aparición de una proporción importante de sustancias hidrosolubles, que en el caso de lavar el material son arrastradas y en el caso de no lavarse se mantienen en el propio material hasta el momento del prensado. El material pretratado, después del lavado inicial, queda con una cantidad de extractivos acuosos algo inferior, pero muy similar al del material crudo.

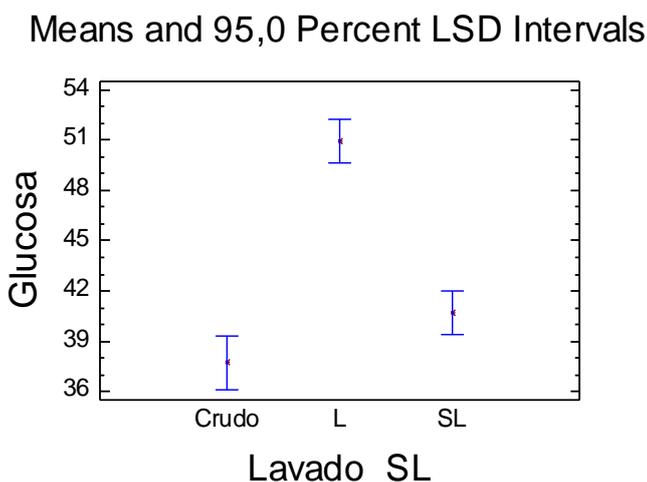


Lignina en %

Figura 4.1.2-5: Lignina. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %

Una parte de la Lignina es degradada durante el pretratamiento. Si no hubiese esta degradación, el contenido de lignina del material sin lavar debería ser igual al del material crudo.

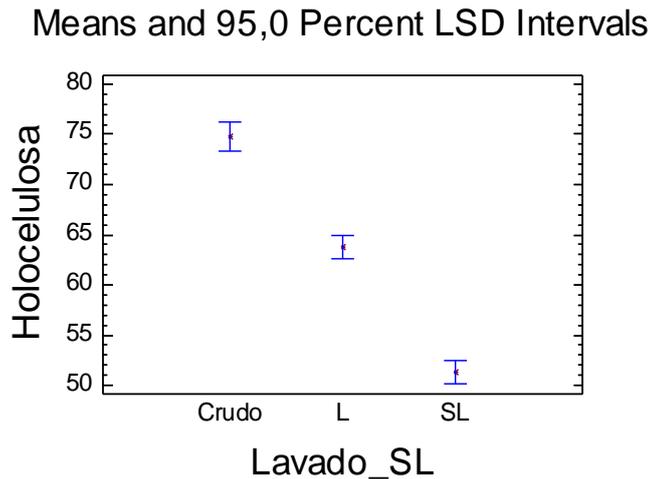
El hecho de que el contenido en Lignina del material Lavado sea mayor es lógico, puesto que al lavar el material se pierden materiales hidrosolubles, lo que aumenta la concentración de lignina.



Glucosa en %

Figura 4.1.2-6: Glucosa. Lavado-Sin Lavar. Separación del medias por LSD al 95 %

La mayor parte de los azúcares determinados por HPLC son glucosa. Podemos observar que la concentración de celulosa (medida en glucosa) aumenta básicamente por la pérdida de sustancias solubles (básicamente hemicelulosas) en el lavado del material después del pretratamiento. Esto coincide con los resultados de otros autores para *Miscanthus Sinensis* y paja de trigo (Velásquez, J.A 2002; Montané, D. et al, 1998).



Holocelulosa en %

Figura 4.1.2-7: Holocelulosa. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %

Durante el pretratamiento hay una pérdida importante de la fracción más soluble de la holocelulosa, mientras que la parte más insoluble (α -celulosa), no se ve afectado por el pretratamiento. En el gráfico que muestra el efecto del lavado en la concentración de α -celulosa, vemos que es mayor solo en el caso del lavado; consecuencia de la pérdida del lixiviado.

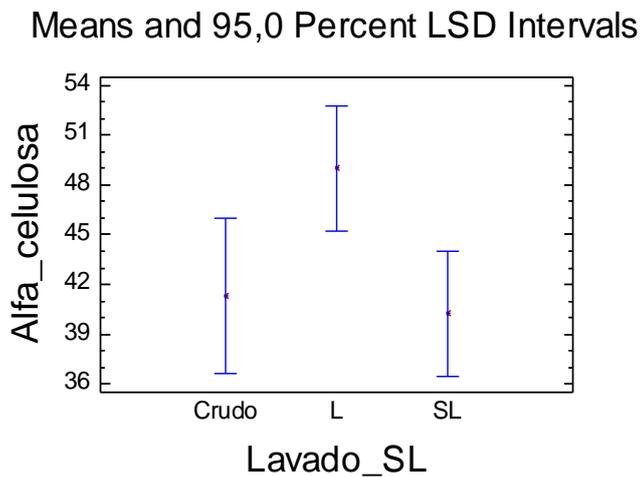
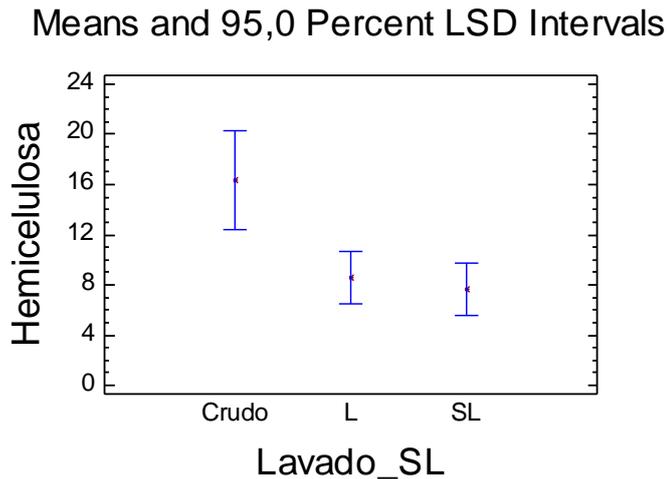


Figura 4.1.2-8: α -celulosa. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %



Hemicelulosas en %

Figura 4.1.2-9: Hemicelulosas. Lavado-Sin lavar. Separación de medias por LSD al 95 %

Se ha visto que la concentración de hemicelulosas que aún se mantienen en el material después del pretratamiento, baja al aumentar la severidad; pero entre lavado y no lavado no es significativo ya que estamos en porcentajes muy bajos y el efecto de la severidad enmascara al lavado.

Vemos que el lavado tras la explosión de vapor implica la eliminación de una parte importante de elementos solubles, fundamentalmente hemicelulosas (casi un 25 %), lo que justifica una mejora del papel adherente de la lignina al impregnar mejor las fibras, así como en la mejora de la estabilidad dimensional al bajar la higroscopicidad del tablero.

4.1.3.- Relación entre la composición química y las características físicas y mecánicas de los tableros (series 51, 61 y 63).

Se ha realizado el análisis de las series 51, 61 y 63 que están realizadas con el mismo proceso de producción: Prensado en frío en seco optimizado con tratamiento térmico final.

A continuación exponemos los resultados de las mayores correlaciones obtenidas entre cada parámetro químico estudiado y todas las características físicas y mecánicas estudiadas de los tableros (densidad, MOE, MOR, IB, TS, WA).

Extractivos acuosos:

En el mejor de los casos presenta un coeficiente de correlación del 0.64 y $R^2 = 41.72\%$ con el TS, exclusivamente. Las otras características no presentan correlaciones de consideración.

Extractivos orgánicos:

El mayor coeficiente de correlación lo presenta con la WA y es de un 0.58, con una $R^2 = 33.41\%$

Hemicelulosas:

Los mayores coeficientes de correlación y determinación son:

IB Correlación de -0.56 y $R^2 = 31.1\%$

WA Correlación de 0.66 y $R^2 = 44.04\%$

Holocelulosa:

El mayor coeficiente de correlación y determinación se ha obtenido para el TS: Correlación de 0.61 y $R^2 = 37.51\%$

α -celulosa:

No hemos encontrado ninguna característica de los tableros con una relación estadística mínimamente significativa.

Glucosa:

El mayor coeficiente de correlación y determinación se ha obtenido para el TS: Correlación de -0.55 y $R^2 = 30.6\%$

Lignina:

Al igual que en los anteriores casos, el mayor coeficiente de correlación y determinación se ha obtenido para el TS: Correlación de 0.60 y $R^2 = 36.16\%$

Observamos, por tanto, que exclusivamente se aprecia cierto efecto (no significativo estadísticamente) en los parámetros que miden la estabilidad estructural del tablero frente al agua.

Podemos concluir que el efecto de la composición química queda muy amortiguado por el proceso de producción para un mismo material original; aun cuando se le ha aplicado pretratamientos con diferentes severidades, o incluso se haya lavado. De tal manera que no aparecen efectos estadísticamente significativos de los parámetros químicos medidos sobre las características físicas y mecánicas de los tableros. Por lo que podemos decir que, dentro del rango de variación química generada por el pretratamiento y el lavado del material pretratado, las características de nuestros tableros se han visto claramente definidas por el proceso de producción y poco influidas por su composición química.

Sí hemos apreciado claramente diferencias muy importantes durante el proceso de prensado en caliente en varios aspectos:

- Temperatura de prensado máxima aplicable
- Presión máxima aplicable
- Tiempo máximo de prensado aplicable

Durante la conformación de los tableros se apreciaban unas grandes diferencias en la respuesta del tablero prensado en frío cuando se le aplicaba presión y temperatura en la prensa calefactada. Esto nos llevó a definir el concepto de límite tecnológico como las condiciones máximas de prensado (en presión, tiempo o temperatura) que permite la conformación de un tablero correcto (sin cráteres por engancharse el material a la malla de evacuación de vapor, ni burbujas).

Condiciones máximas de prensado en caliente admitidas:

Series 51 y 52 (Severidad media y material lavado):

20 Mpa durante 300 segundos a 205 °C

Serie 53 (Severidad media y material no lavado):

15 Mpa durante 30 segundos a 150 °C

10 Mpa durante 60 segundos a 150 °C

10 Mpa durante 30 segundos a 170 °C

Serie 61 (Severidad baja y material lavado)

20 Mpa durante 1200 segundos a 205 °C (no se llegó al límite tecnológico)

10 Mpa durante 30 segundos a 275 °C (no se llegó al límite tecnológico)

Serie 63 (Severidad baja y material no lavado)

10 Mpa durante 120 segundos a 205 °C

20 Mpa durante 30 segundos a 205 °C

Nuestra interpretación es que las diferencias en la composición química no nos impiden obtener tableros similares en cuanto a características físico-mecánicas, pero sí nos obliga a cambiar las condiciones de conformación durante el prensado en caliente.

4.2 Resultados y discusión de los tableros de Arundo donax L.

El estudio realizado en la especie *Arundo donax* L nos debía servir para responder a varias cuestiones:

- Validez de esta especie como materia prima para la obtención de tableros de fibra comerciales.
- Posibilidad de optimización y puesta a punto del proceso de producción de tableros.
- Posibilidad de modelización del efecto de los factores de producción sobre las características físicas y mecánicas de los tableros.

Teniendo en cuenta estas premisas, en el estudio de *Arundo donax* nos hemos centrado en:

- Comparación de diferentes métodos de producción
- Estudio del efecto de la Pp sobre las características físicas y mecánicas de los tableros
- Modelización del efecto de la Pp sobre dichas características en cada proceso de producción.

4.2.1.- Series 11 y 12: Comparación entre los procesos seco y húmedo no optimizados

En este caso se han realizado dos series con dos procesos de producción distintos y diferentes niveles de presión de prensado. El aplicar varios niveles de presión debe servir para determinar el efecto de la Pp sobre las distintas características de los tableros.

El hecho que nos indujo a plantear la posibilidad de realizar un prensado en frío es el convencimiento de que, la falta de uniformidad de los tableros, es un problema fundamental en los resultados de las características valoradas. Esto conlleva que las conclusiones sean poco definitivas o incluso contradictorias, entre distintos autores, sobre los efectos de los parámetros de producción en las características de los tableros.

Puesto que en los ensayos realizados previamente en el equipo de investigación, el llenado del molde con material lignocelulósico se realizaba directamente sobre la prensa en caliente, la primera modificación del proceso consistió en realizar un prensado en frío. Esto nos permitía llenar el molde cómodamente sin limitación de tiempo ni riesgos de quemaduras, lo que implica una mejora de uniformidad en los tableros. En la misma línea, otra forma de intentar mejorar la uniformidad puede ser distribuir el material, dentro del molde, en forma de fluido, en lugar del material seco. Además, industrialmente, existen procesos de producción en húmedo similares al planteado por nosotros. Por tanto, también nos interesa obtener información de las posibles diferencias entre un proceso de producción en seco y un proceso de producción en húmedo.

4.2.1.1.- Densidad

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	Densidad = $1/(0,0008499 + 0,0001068/Pp)$
12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	Densidad = $1/(0,0008181 + 0,00004883/Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11	Ordenada	69,34		<0,0001			
	Pendiente	5,7		<0,0001			
	Modelo		32,5	<0,0001	0,8022	64,36	0,00004990
12	Ordenada	119,68		<0,0001			
	Pendiente	4,92		0,0002			
	Modelo		24,25	<0,0001	0,7762	60,25	0,00002628

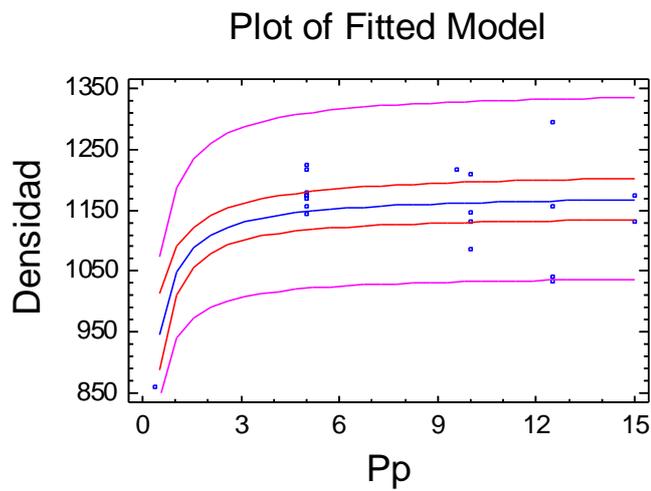
La densidad de las dos series quedan modelizadas por una función doble recíproca, con una probabilidad de error muy baja (P-valor <0.0001). Los coeficientes de correlación con un valor de 0,8 nos marcan un efecto claro de la presión de prensado sobre la densidad. Los coeficientes de determinación nos indican que con la Pp se explica más de un 60 % de la variabilidad de la densidad, en el peor de los casos.

Los resultados en la serie 12 son muy similares a la serie 11, pero baja un poco el coeficiente de correlación y el de determinación. Esto me indica que, uno de los objetivos que podíamos pretender con el proceso húmedo, una mejor uniformidad y por tanto, una mejor modelización, en el caso de la densidad no se consigue.

Al aumentar la presión de prensado aumenta la densidad de tablero. Incrementos relativamente bajos de presión conllevan aumentos significativos de la densidad. Al ir aumentando la Pp, el efecto es menor. Esto queda bien explicado con el modelo doble recíproco, que implica un crecimiento muy rápido inicial y un efecto posterior de crecimiento casi constante pero de baja intensidad; con una tendencia asintótica (1/a).

SERIE 11

$$\text{Densidad} = 1/(0,0008499 + 0,0001068/Pp)$$

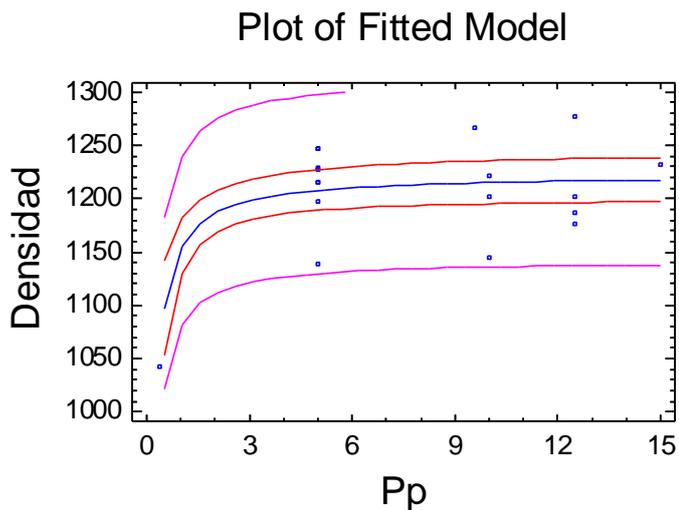


Densidad en Kg/m3; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-1: Serie 11. Densidad en función de la Pp

SERIE 12

$$\text{Densidad} = 1/(0,0008181 + 0,00004883/Pp)$$



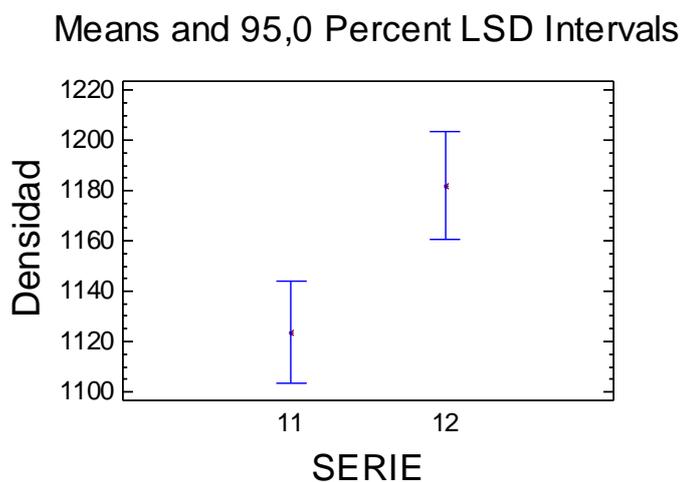
Densidad en Kg/m3 ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-2: Serie 12. Densidad en función de la Pp

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 Y 12

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	11,16	0,0022	11	1123,6			
Pp	8,23	<0,0001	12	1181,98	11-12	*-58,38	35,64

Atendiendo a estos resultados, vemos que las diferencias en la densidad de los tableros derivan tanto de la Presión de prensado como del propio proceso (P-valor muy bajo para los dos factores), arrojando mayores densidades el proceso húmedo que el seco. La diferencia de medias es pequeña aunque estadísticamente significativa. Los valores extremos de la densidad también son mayores en el proceso seco que en el húmedo (entre 859 y 1295 para la serie 11 y entre 1043 y 1277 para la serie 12). Esto nos indica que tenemos menor margen de maniobra, en cuanto a densidad a obtener, en un proceso seco que en un proceso húmedo.



Densidad en Kg/m³

Figura 4.2.1-3: Series 11 y 12. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %

4.2.1.2.- MOE

En la Serie 11, el análisis de regresión nos da una alta correlación (0,967) y con la misma función doble recíproca, conseguimos un coeficiente de determinación altísimo (93,5 %). En la Serie 12 los valores de estos coeficientes son algo menores, pero también muy altos (coeficiente de correlación de 0,9 y R² = 81 %)

Esto nos marca que la presión de prensado tiene un efecto claro y cuantificable en el MOE de estos tableros de *Arundo donax* L.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	MOE = $1/(0,000133794 + 0,000110352/Pp)$
12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	MOE = $1/(0,000142461 + 0,0000666793/Pp)$

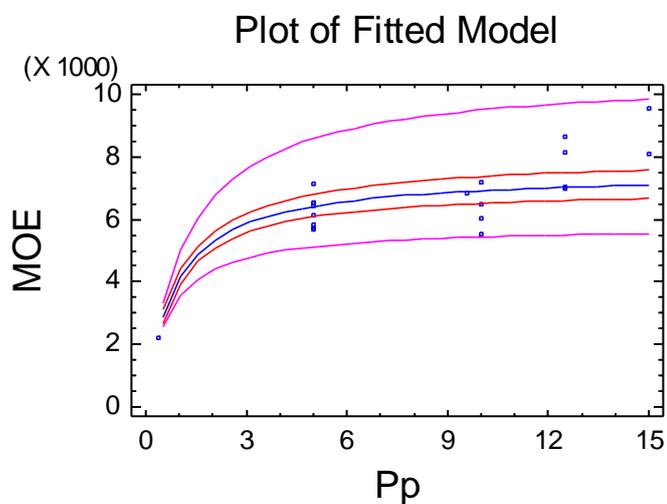
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11	Ordenada	29,84		<0,0001			
	Pendiente	16,11		<0,0001			
	Modelo		259,54	<0,0001	0,97	93,5	0,00001825
12	Ordenada	25,58		<0,0001			
	Pendiente	8,25		<0,0001			
	Modelo		68,13	<0,0001	0,9	80,98	0,00002141

SERIE 11

Los valores de MOE obtenidos son verdaderamente altos, llegando a 9552 Mpa; muy por encima de lo requerido por las normas EN para considerarlo como tablero de uso estructural (3000 Mpa).

$$MOE = 1/(0,000133794 + 0,000110352/Pp)$$



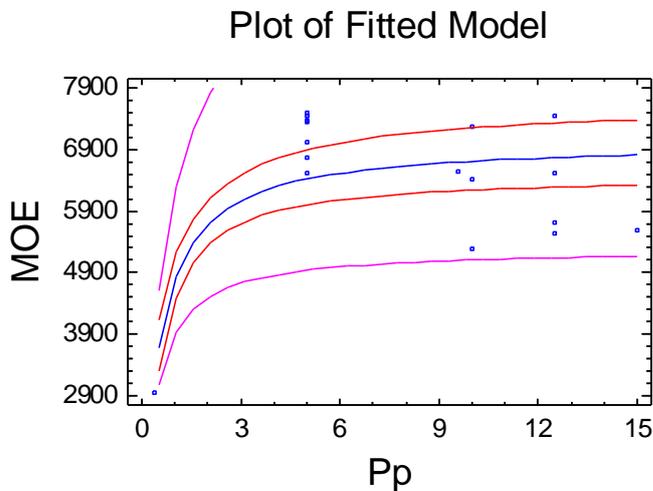
MOE en Mpa ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-4: Serie 11. MOE en función de la Pp

SERIE 12

También se obtienen muy altos valores de los coeficientes de correlación y determinación, aunque inferiores, al prensado en seco.

$$MOE = 1/(0,000142461 + 0,0000666793/Pp)$$

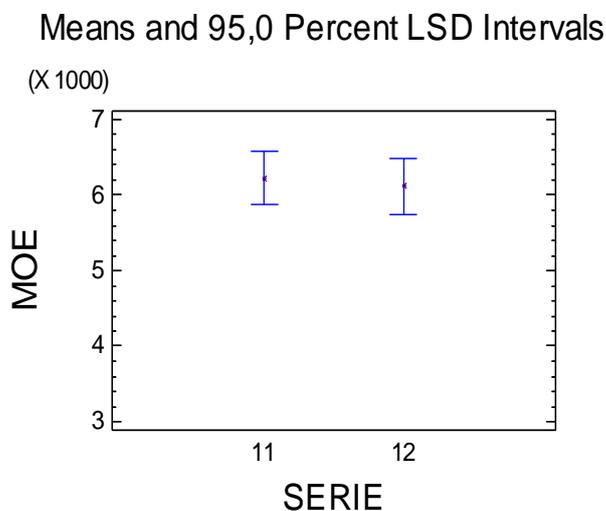


MOE en Mpa ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-5: Serie 12. MOE en función de la Pp

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 Y 12

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,13	0,7227	11	6224,4			
Pp	8,99	<0,0001	12	6117,09	11-12	107,31	611,11



MOE en Mpa

Figura 4.2.1-6: Series 11 y 12. MOE. Separación de medias por LSD al 95

El análisis estadístico deja claro que no existen diferencias significativas entre los MOE obtenidos en los dos procesos (con prensado en frío seco y con prensado en frío húmedo) y que, en ambos casos, estamos muy por encima de los requerimientos de la EN para tableros de uso estructural. Observando el P-Valor del análisis, las diferencias en el MOE de los tableros se explican mayoritariamente por la presión de prensado en caliente y el tipo de proceso aplicado tiene escasa repercusión.

De todas formas, los valores máximos obtenidos en el proceso seco son superiores en la Serie 11 que en la 12 (9552 Mpa frente a 7933 Mpa).

La regresión conjunta de las dos series nos da el siguiente resultado:

Análisis de Regresión

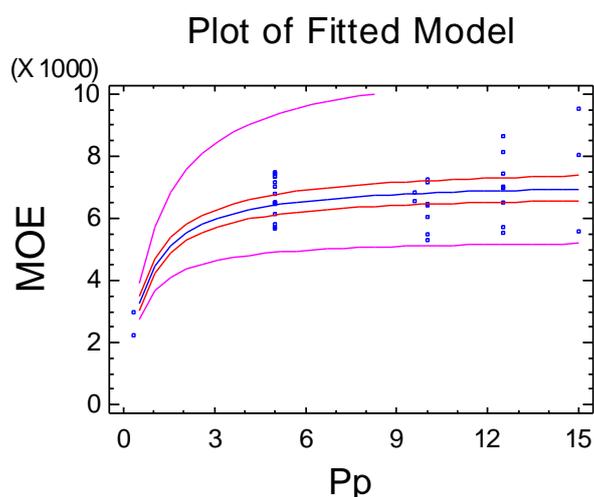
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11+12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	$MOE = 1/(0,000137975 + 0,0000885869/Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11+12	Ordenada	32,63		<0,0001			
	Pendiente	14,06		<0,0001			
	Modelo		197,71	<0,0001	0,9198	84,60	0,00002368

SERIES 11+12

$$MOE = 1/(0,000137975 + 0,0000885869/Pp)$$



MOE en Mpa ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-7: Serie 11+12. MOE en función de la Pp

Considerando las dos series en conjunto, la función doble recíproca explica muy bien la variación del MOE, en función de la presión de prensado (Coeficiente de correlación del 0,92 y 84,6 % de Coeficiente de determinación).

4.2.1.3.- MOR

La variabilidad del MOR queda perfectamente explicada por la presión de prensado y matemáticamente definida por las funciones propuestas.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	$MOR = 1/(0,02057 + 0,02414/Pp)$
12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	$MOR = 1/(0,02393 + 0,01631/Pp)$

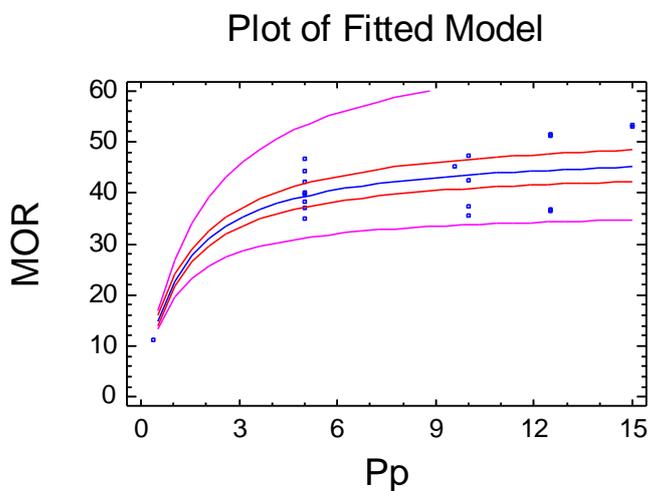
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11	Ordenada	27,20		<0,0001			
	Pendiente	20,89		<0,0001			
	Modelo		436,26	<0,0001	0,98	96,04	0,003080
12	Ordenada	16,65		<0,0001			
	Pendiente	7,82		<0,0001			
	Modelo		61,17	<0,0001	0,89	79,27	0,005527

Se han obtenido altos niveles de significación de la intervención de la Pp en el valor del MOR resultante (P-Valor <0,0001) para las dos series. Tanto el valor del coeficiente de correlación como del coeficiente de determinación son muy altos para las dos series, lo que no deja duda sobre el papel de la Pp sobre el MOR.

SERIE 11

$$MOR = 1/(0,02057 + 0,02414/Pp)$$

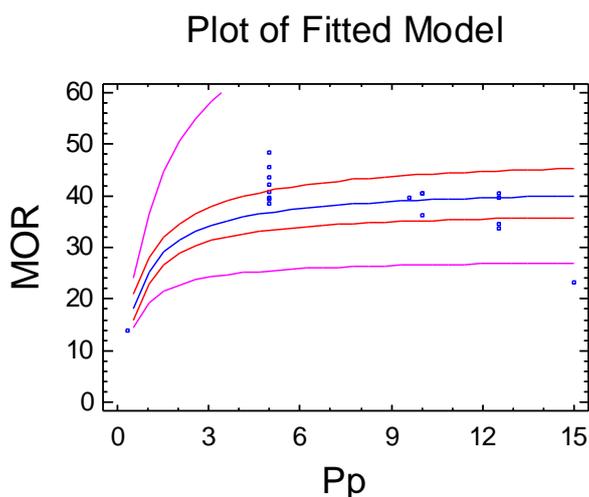


MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-8: Serie 11. MOR en función de la Pp

SERIE 12

$$\text{MOR} = 1/(0,02393 + 0,01631/Pp)$$



MOR en Mpa ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-9: Serie 12. MOR en función de la Pp

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 Y 12

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	2,66	0,11	11	38,14			
Pp	8,32	<0,0001	12	34,88	11-12	3,26	4,08

El MOR, al igual que el MOE, no presenta diferencias significativas entre las dos series; aunque los valores máximos obtenidos son ligeramente mejores en la serie 11 que en la 12 (53,3 Mpa frente a 50,2 Mpa respectivamente).

La regresión conjunta de las dos series nos da el siguiente resultado:

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11+12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	$\text{MOR} = 1/(0,0221683 + 0,0202611/Pp)$

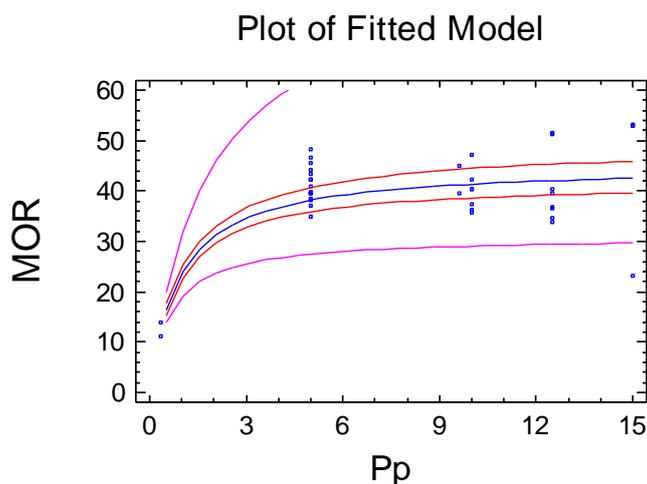
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11+12	Ordenada	24,99		<0,0001			
	Pendiente	15,33		<0,0001			
	Modelo		235,06	<0,0001	0,9312	86,72	0,004968

Vemos que la variabilidad del MOR en los dos procesos (prensado en frío seco o húmedo) queda muy bien explicada por la Pp (coeficiente de correlación de 0,93 y coeficiente de determinación de 86,7 %).

MOR SERIES 11+12

$$\text{MOR} = 1/(0,0221683 + 0,0202611/\text{Pp})$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-10: Serie 11+12. MOR en función de la Pp

4.2.1.4.- IB

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	No significativo
12	Doble Recíproco	$Y = 1/(a + b/X)$	$IB = 1/(0,404606 + 0,0741601 * Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
12	Ordenada	2,73		0,0100			
	Pendiente	4,47		0,0004			
	Modelo		20,01	0,0004	0,7454	55,57	0,2749

El IB de estas series presenta mayores problemas de modelización, aunque la correlación con la Pp es importante (coeficiente de correlación 0,75).

SERIE 11

Con la Serie 11 no se obtiene ningún ajuste considerable entre la Pp y el IB ($R^2 < 10\%$), utilizando las regresiones propuestas.

SERIE 12

En la Serie 12 los modelos de regresión simple llegan a explicar un máximo del 55,5 % de la variabilidad en función de la presión de prensado, con un coeficiente de correlación del 0,75. Esta característica mecánica es la única que ha presentado problemas de modelización en estas series.

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 y 12

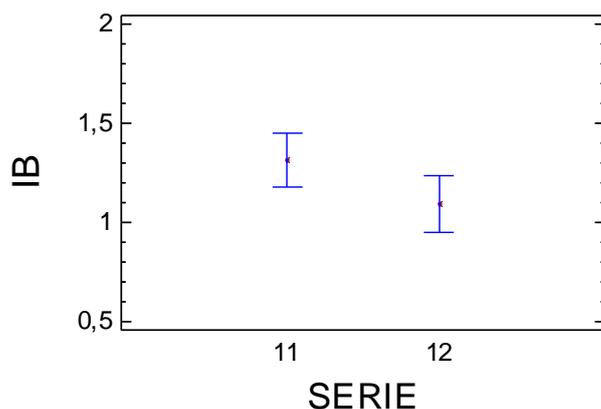
Las regresiones simples entre IB y Pp son poco significativas, llegando a explicar solo un 23,5 % y un 36,6 % separando por series, en el mejor de los casos.

Esto nos daría a entender que el IB se ve, comparativamente, menos influido por la Presión de Prensado, tal como sugieren otros autores (Velásquez J.A 2002).

Esto quedará desmentido posteriormente, cuando consigamos tableros más homogéneos, en cuyo caso sí obtendremos correlaciones claras.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	3,6	0,0672	11	1,31			
Pp	2,96	0,0267	12	1,09	11-12	0,22	0,24

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa

Figura 4.2.1-11: Series 11 y 12. IB. Separación de medias por LSD al 95 %

Tampoco existen diferencias significativas en el IB, entre los dos procesos. Aunque los valores máximos obtenidos para la serie 11 son ligeramente superiores a los de la serie 12 (2,16 Mpa frente a 1,81 Mpa respectivamente).

4.2.1.5.- TS

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Recíproco en X	$Y = a + b/X$	$TS = 10,5307 + 2,78243/Pp$
12	Recíproco en X	$Y = a + b/X$	$TS = 13,1538 + 3,33863/Pp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

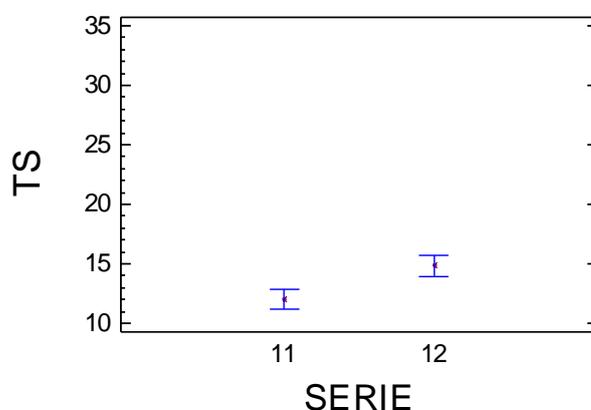
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11	Ordenada	21,7		<0,0001			
	Pendiente	3,75		0,0015			
	Modelo		14,09	0,0015	0,66	43,91	1,98
12	Ordenada	20,63		<0,0001			
	Pendiente	3,61		0,0024			
	Modelo		13,03	<0,0001	0,67	44,88	2,45

Este modelo de regresión propuesto (Recíproco en X) presenta unas correlaciones medias (0,66 y 0,67) pero la R2 son bajas.

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 Y 12

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	14,59	0,0006	11	12,01			
Pp	5,57	0,0009	12	14,83	11-12	*-2,81	1,50

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %

Figura 4.2.1-12: Series 11 y 12. TS. Separación de medias por LSD al 95 %

Observamos que la correlación entre Pp y TS es significativa (>60 %) aunque claramente menor que con los parámetros mecánicos.

El hinchamiento de los tableros prensados en seco tiene un valor ligeramente inferior, aunque estadísticamente significativo. Los valores extremos presentan ciertas diferencias: 1,1 % en la Serie 11 y 1,9 % para la serie 12. Por tanto, presentan mejores prestaciones los tableros realizados en seco (Serie 11). De todas formas, los valores de las dos series son muy inferiores a los establecidos como máximos para el TS en tableros de uso estructural (35 %).

4.2.1.6.- WA

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11	Recíproco en X	$Y = a + b/X$	$WA = 16,4503 + 14,8255/Pp$
12	Recíproco en X	$Y = a + b/X$	$WA = 17,5579 + 9,41089/Pp$

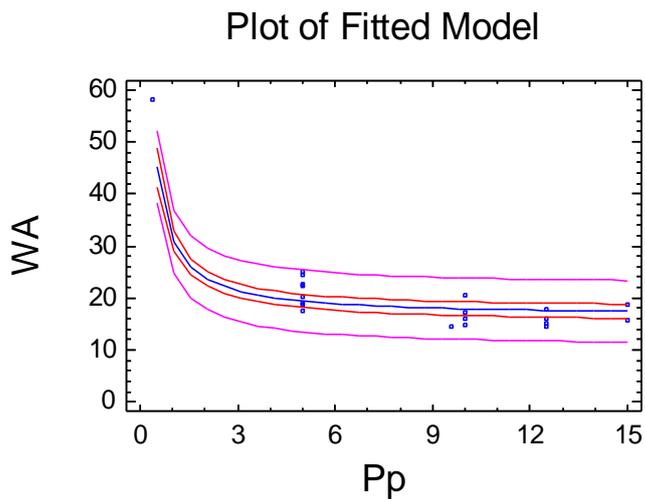
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11	Ordenada	24,43		<0,0001			
	Pendiente	14,41		<0,0001			
	Modelo		207,67	<0,0001	0,9593	92,02	2,74
12	Ordenada	31,52		<0,0001			
	Pendiente	11,65		<0,0001			
	Modelo		135,62	<0,0001	0,9458	89,45	2,14

SERIE 11

Se obtienen mucho mejores coeficientes de correlación y de determinación con el WA que con el TS. Considero que esto se debe a que las pequeñas irregularidades del tablero influyen considerablemente en la medida del TS, mientras que el WA es menos dependiente de estas irregularidades. Esta diferencia de correlaciones es la que se pretenderá corregir mejorando el proceso de producción y de esta manera la uniformidad de los tableros.

$$WA = 16,4503 + 14,8255/Pp$$

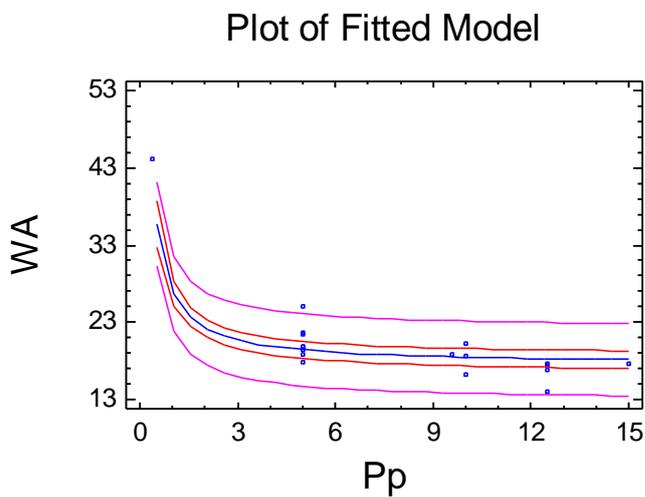


WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-13: Serie 11. MOR en función de la Pp

SERIE 12

$$WA = 17,5579 + 9,41089/Pp$$



WA en %; Pp en Mpa

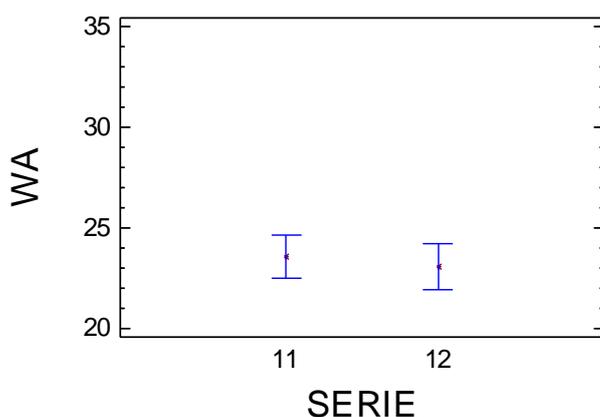
Figura 4.2.1-14: Serie 12. MOR en función de la Pp

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 11 Y 12

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,26	0,6162	11	23,55			
Pp	53,78	<0,0001	12	23,08	11-12	0,47	1,88

Como en anteriores casos, no hay diferencias significativas entre series para el WA.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %

Figura 4.2.1-15: Series 11 y 12. WA. Separación de medias por LSD al 95 %

Entre el proceso seco y húmedo, no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a WA. En este caso, los valores mínimos son casi los mismos en las dos series (5,47 % para la serie 11 y 5 % para la serie 12).

La regresión conjunta de las dos series nos da el siguiente resultado:

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
11+12	Recíproco en X	$Y = 1/(a + b/X)$	$WA = 16,9842 + 12,1275/Pp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
11+12	Ordenada	32,21		<0,0001			
	Pendiente	15,44		<0,0001			
	Modelo		238,37	<0,0001	0,9321	86,88	2,95

Las correlaciones entre Pp y WA (tanto el coeficiente de correlación como el de determinación) son altísimas y claramente definitorias.

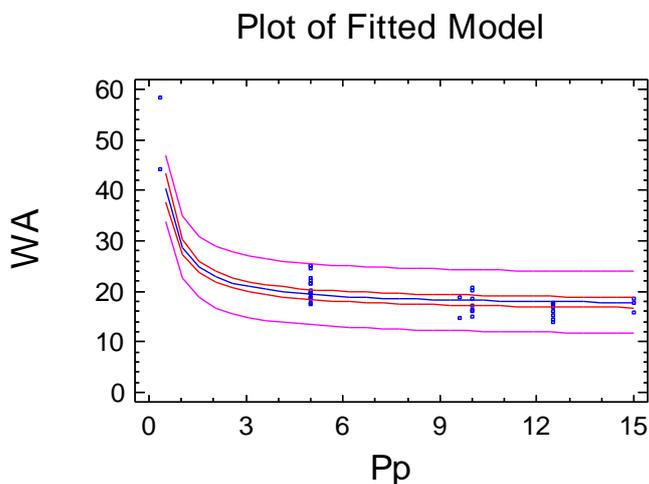
Esto nos lleva a pensar el hecho de que, dado que la medida del agua absorbida por el tablero es más fácil de medir y se puede hacer con mayor exactitud que en el caso

del TS, el menor error de medida hace que obtengamos mejores, y más creíbles coeficientes de correlación y determinación en WA que en TS (0,93 y 86,9 % respectivamente).

Por tanto, podemos confirmar que el agua absorbida por el tablero dependerá de la presión de prensado del mismo. A mayores Pp obtenemos menores WA.

SERIE 11+12

$$WA = 16,9842 + 12,1275/Pp$$



WA en % ; Pp en Mpa

Figura 4.2.1-16: Serie 11+12. WA en función de la Pp

4.2.1.7.-Conclusiones series 11-12

Tabla 4.2.1-1: Síntesis de resultados de la comparación de las Series 11 y 12

Parámetros	Media	Dif.signif.	Coef.Corr	R2	Valor óptimo
Densidad	12>11	Sí	11>12	11>12	11>12
MOE	11>12	No	11>12	11>12	11>12
MOR	11>12	No	11>12	11>12	11>12
IB	11>12	No	12>11	12>11 Muy bajo	11>12
TS	12>11	Sí	12>11 Bajos Casi iguales	11=12 Muy bajos	11>12
WA	11=12	No	11>12 Muy alto	11>12	11=12

Diferencias de calidad entre los tableros obtenidos por proceso de prensado en frío húmedo respecto a los obtenidos con prensado en frío seco:

Para las condiciones estudiadas, no hay diferencias significativas de las propiedades mecánicas consideradas. En cuanto a las propiedades físicas, la densidad, para las mismas condiciones de prensado, es mayor en el proceso húmedo. Ello no quiere decir que no se puedan obtener las mismas densidades en proceso seco, sino que se requerirá mayor presión, tiempo de prensado, Temperatura de prensado o severidad, como se verá en análisis posteriores.

Todas las propiedades mecánicas son mejores en el proceso seco que en el húmedo (MOE, MOR e IB) aunque las diferencias no son significativas.

En cuanto al menor hinchamiento de la serie 11 que nos da el análisis, implica una cierta contradicción con el estudio del WA, y este último es más creíble por su mayor exactitud de medida y mayores valores de correlación y determinación. Por lo que podemos concluir que no se presentan diferencias entre las dos series respecto a las propiedades ligadas a la estabilidad dimensional.

Es de destacar que, aunque no existen diferencias significativas entre las dos series, también se debe indicar que la tendencia mayoritaria marca mejores propiedades para el proceso seco que el húmedo. O como mínimo podemos decir que el proceso húmedo no ha supuesto una mejora de los tableros.

Posibilidad de obtener tableros con características más predecibles con un proceso húmedo que con uno seco:

Esto es lo que inicialmente esperábamos, ya que el reparto del material en forma de fluido debería aportar una mayor regularidad de fabricación. No hemos obtenido mejores correlaciones ni determinaciones. Son muy similares o ligeramente inferiores en el caso de prensado en húmedo para casi todas las características. Por tanto, tampoco en este sentido se obtienen ventajas respecto a la utilización del proceso seco de prensado en frío.

Efecto de la presión de prensado sobre las diferentes propiedades físicas y mecánicas de los tableros:

En las series estudiadas se pueden establecer relaciones matemáticamente definidas entre las características físicas y mecánicas y la Presión de prensado del tablero. En todos los casos, al aumentar la presión mejoran las propiedades. Existe la salvedad del IB. Aunque esto quedará resuelto en series posteriores con diferentes procesos de producción. Entendemos, después de conocer los resultados de estudios posteriores, que la falta de correlación se debe básicamente a la mayor influencia de la uniformidad del tablero en la medida de este parámetro.

4.2.2.- Series 11 y 21: Comparación entre proceso con y sin tratamiento térmico final

La serie 21 consiste en ocho repeticiones de un mismo tablero, que corresponde al punto central del diseño experimental de la serie 11, tablero que en la serie 11 también se repite 8 veces (todos se realizan con la misma presión de prensado) . Son estas dos series idénticas de 8 tableros las que se comparan. Las dos series se han realizado con el mismo material y las mismas condiciones de elaboración y prensado; excepto que a la serie 21 se le ha dado un tratamiento térmico final de 5 horas a 165 °C. Es decir, el proceso de la serie 21 es igual al de la serie 11 con el tratamiento térmico final.

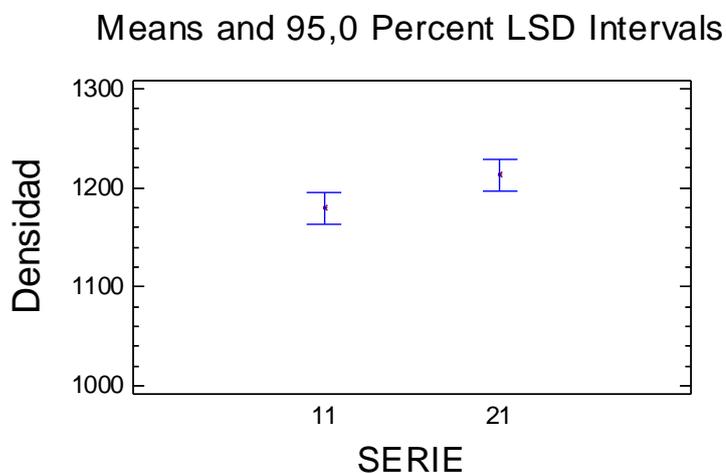
Con este tratamiento intentamos mejorar la uniformidad de los tableros, consiguiendo una mejor distribución de la lignina entre las fibras.

4.2.2.1.- Densidad

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	4,89	0,0442	11	1179,93			
			21	1213,12	11-21	*-33,2	32,21

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	27,77	32,14

Observando el resultado de la separación de medias, constatamos que la densidad de los tableros de la serie 21 es estadísticamente superior a la de la serie 11, aunqu con una diferencia mínima.



Densidad en Kg/m³

Figura 4.2.2-1: Series 11 y 21. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %

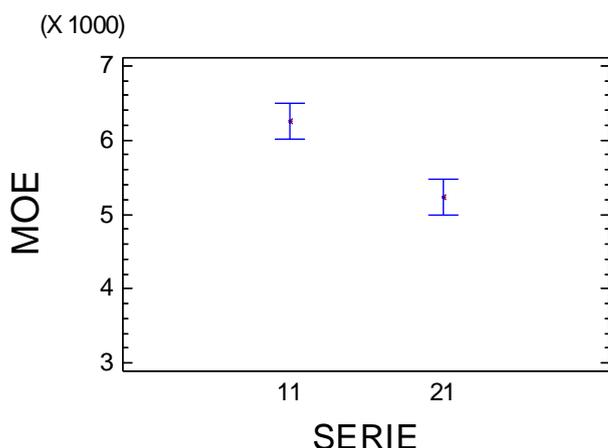
4.2.2.2.- MOE

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	20,43	0,0005	11	6248,88			
			21	5234,13	11-21	*1014,75	481,52

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	504,87	385,15

Vemos que el MOE presenta valores medios inferiores, aunque estamos muy por encima de los valores requeridos por la EN para tableros de uso estructural. Se presenta una disminución importante de la desviación estándar en la serie 21.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa

Figura 4.2.2-2: Series 11 y 21. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %

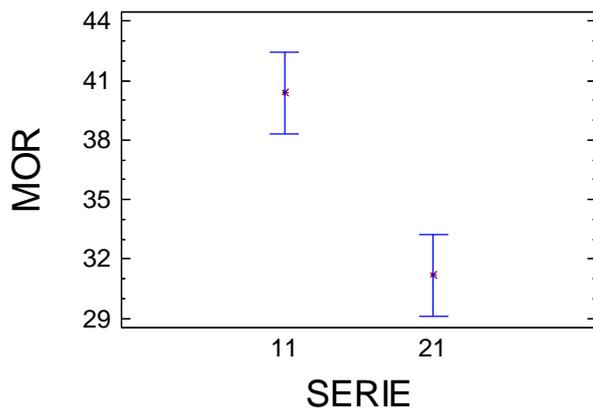
4.2.2.3.- MOR

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	23,48	0,0003	11	40,38			
			21	31,17	11-21	*9,21	4,08

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	3,87	3,73

Observamos que el MOR responde de forma similar al MOE con valores inferiores de medias pero con menor desviación entre ellos. Continúa en la línea de mejorar la uniformidad de dichos tableros.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa

Figura 4.2.2-3: Series 11 y 21. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %

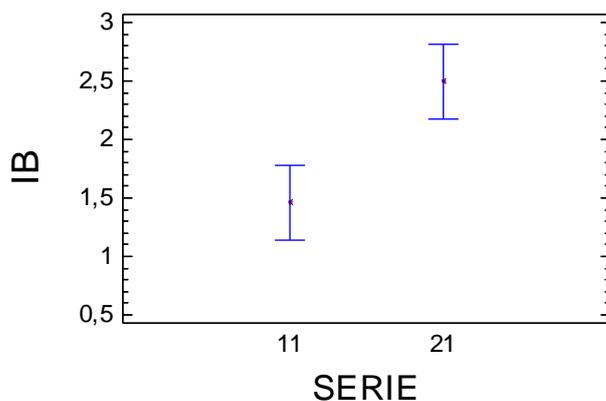
4.2.2.4.- IB

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	12,02	0,0038	11	1,46			
			21	2,50	11-21	*-1,03375	0,6394

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	0,51	0,67

Observamos que el tratamiento térmico final ha supuesto una mejora en el IB de los tableros, en el rango de presiones de prensado utilizado en estas series.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa

Figura 4.2.2-4: Series 11 y 21. IB. Separación de medias por LSD al 95 %

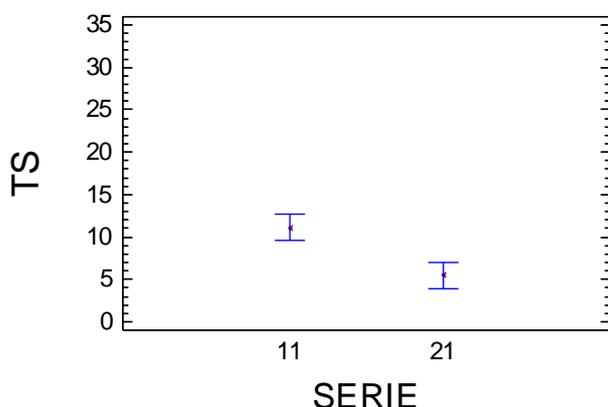
4.2.2.5.- TS

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	15,42	0,0015	11	11,11			
			21	5,50	11-21	*5,61	3,07

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	2,53	3,15

Vemos que el hinchamiento de los tableros disminuye con el tratamiento térmico final, lo que supone una mejora en la estabilidad de los mismos.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %

Figura 4.2.2-5: Series 11 y 21. TS. Separación de medias por LSD al 95 %

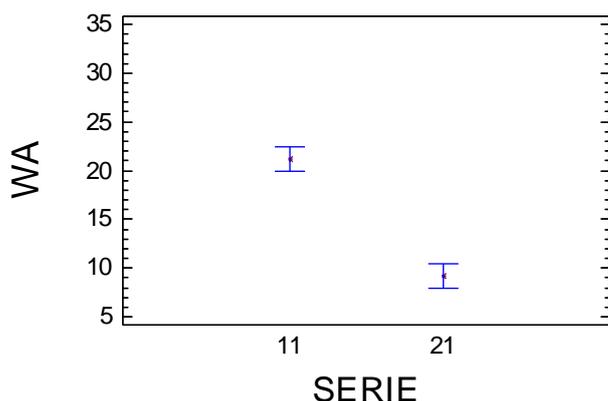
4.2.2.6.- WA

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Series	103,93	<0,0001	11	21,2			
			21	9,15	11-21	*12,05	2,54

Desviación Estándar		
Serie	11	21
Valor	2,82	1,80

La absorción de agua responde a los mismos criterios que el TS, con una bajada significativa de sus valores medios.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %

Figura 4.2.2-6: Series 11 y 21. WA. Separación de medias por LSD al 95 %

Síntesis de principales resultados del análisis de la comparación entre las series 11 y 21

	Media	Significación estadística	Varianza
Densidad	21>11	Sí	21>11
MOE	11>21	Sí	11>21
MOR	11>21	Sí	11>21
IB	21>11	Sí	Similar
TS	21<<11	Sí	Similar
WA	21<<11	Sí	11>21

Las varianzas son menores en la serie 21 para el MOE, MOR, TS y WA. Para el IB es ligeramente superior, pero hay que tener en cuenta que nos da prácticamente el doble de valor de IB en la serie 21 respecto a la 11.

La Serie 11 supera a la Serie 21 en los valores MOE Y MOR, pero da peores resultados en IB, TS y WA, así como mayores desviaciones mayoritariamente.

Teniendo en cuenta que el parámetro más crítico hasta el momento es el IB y que nos permite obtener menores varianzas (tableros más homogéneos), consideramos que la aplicación del tratamiento térmico final puede ser conveniente.

El modelo recíproco y su inverso, doble recíproco, se han propuesto como los más adecuados para la modelización de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros del proceso no optimizado (series 11,12 y 21). La relación entre Pp y MOE, MOR e IB se ajusta al modelo doble recíproco y la relación entre Pp y TS y WA al modelo recíproco en Y.

Doble recíproca: $Y = 1/(a+b/x)$

Es decir:

Cuando $x (Pp) \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad Y \rightarrow 0$
Cuando $x (Pp) \rightarrow \infty \quad \Rightarrow \quad Y \rightarrow 1/a$

Recíproca: $Y = 1/(a+bx)$

Cuando $x (Pp) \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad Y \rightarrow 1/a$
Cuando $x (Pp) \rightarrow \infty \quad \Rightarrow \quad Y \rightarrow 0$

4.2.3.- Serie 22. Procesado con prensado en frío seco y optimizado

Se pretende optimizar el proceso de prensado en caliente con el objetivo de reducir el tiempo de prensado; ya que es la fase más limitante del proceso de producción industrial de tableros.

Al ser una fase discontinua dentro del proceso industrial, el tiempo de prensado en caliente limita la capacidad productiva de la industria.

Dado que el efecto de la Pp es muy importante a valores bajos y decrece posteriormente, nos planteamos la posibilidad de realizar un prensado menor y aplicar después el tratamiento térmico final; para homogeneizar la distribución de lignina entre el material fibroso, a semejanza de algún proceso industrial similar.

Nos planteamos la posibilidad de conseguir características físicas y mecánicas similares al proceso anterior, pero con menor consumo energético.

Ensayos previos nos llevan a aplicar el tratamiento térmico final, partiendo de una reducción de los tiempos de prensado en caliente considerable. De tal forma que este tratamiento final obtiene más sentido industrial, ya que puede implicar una disminución de los tiempos de procesado y por tanto una mayor capacidad productiva.

A partir de este tratamiento, el proceso de prensado en caliente, en lugar de aplicar dos ciclos iguales en tiempo y presión, se plantea una primera prensada siempre constante de 2 minutos a 1 Mpa, y una segunda variable en temperatura, tiempo y presión (dependiendo de las variables estudiadas en cada serie).

4.2.3.1.- Densidad

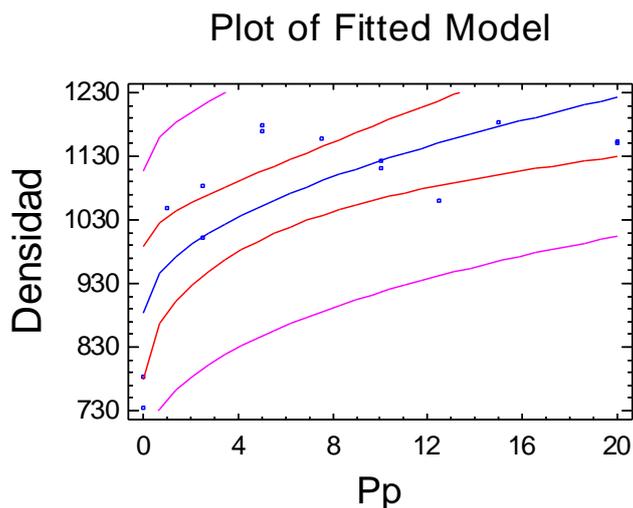
Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b*\sqrt{X}$	Densidad = $883,251 + 75,7816*\sqrt{Pp}$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	18,33		<0,0001			
	Pendiente	4,43		0,0008			
	Modelo		19,61	0,0008	0,7876	58,87	90,85

El análisis de regresión y varianza nos muestra la relación entre la Pp y la densidad. La proporción de variabilidad de los valores de densidad explicada por esta función es comparativamente baja pero, para el conjunto de propiedades de estos tableros, sí nos ofrece un buen ajuste, como veremos en los próximos apartados.



Densidad en kg/m³ ; Pp en Mpa

Figura 4.2.3-1: Serie 22. Densidad en función de la Pp

4.2.3.2.- MOE

Análisis de Regresión

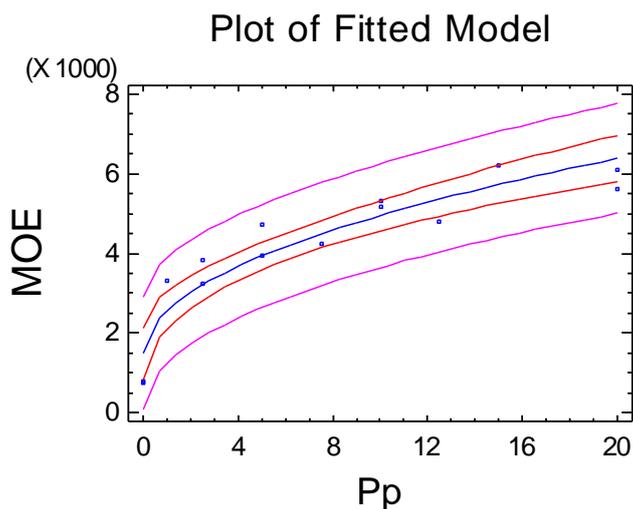
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b \cdot \sqrt{X}$	$MOE = 1472,41 + 1099,67 \cdot \sqrt{Pp}$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	4,84		0,0004			
	Pendiente	10,17		<0,0001			
	Modelo		103,45	<0,0001	0,95	89,61	573,99

Vemos que el MOE presenta una altísima correlación con la Pp (coeficiente de correlación de 0,95). La proporción de variabilidad del MOE explicada con la función propuesta ronda el 90 %. Todo ello con unos niveles de confianza muy altos (P-Valor <0,001) para todos los parámetros de la función.

$$\text{MOE} = 1472,41 + 1099,67 * \text{sqrt}(\text{Pp})$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa
Figura 4.2.3-2: Serie 22. MOE en función de la Pp

4.2.3.3.- MOR

Análisis de Regresión

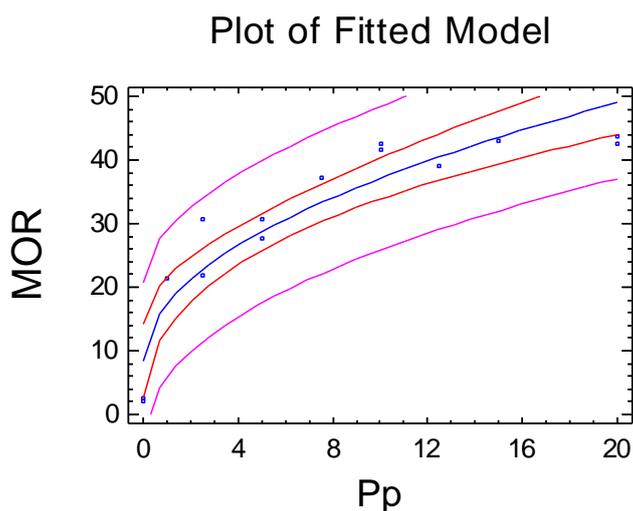
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b * \sqrt{X}$	$\text{MOR} = 8,38581 + 9,08303 * \text{sqrt}(\text{Pp})$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	3,19		0,0078			
	Pendiente	9,73		<0,0001			
	Modelo		94,59	<0,0001	0,94	88,74	4,96

Al igual que en el caso del MOE, el MOR presenta muy alta correlación con la Pp aplicada en cada tablero y nos explica la variabilidad del MOR de los tableros (coeficiente de correlación de 0,94 y R2= 88,7 %). Todo ello con un alto nivel de significación (P-Valor < 0,01), tanto para la ordenada, la pendiente, como para el modelo en su conjunto.

$$\text{MOR} = 8,38581 + 9,08303 * \text{sqrt}(\text{Pp})$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.3-3: Serie 22. MOR en función de la Pp

4.2.3.4.- IB

Análisis de Regresión

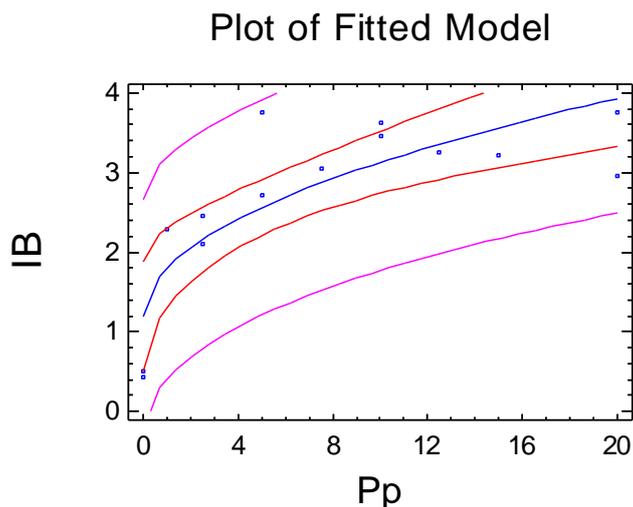
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b * \sqrt{X}$	$IB = 1,18946 + 0,613607 * \text{sqrt}(Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ. (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	3,74		0,0028			
	Pendiente	5,43		0,0002			
	Modelo		29,5	0,0002	0,84	71,08	0,5998

El IB también presenta una alta correlación con la Pp, y su variabilidad queda explicada mayoritariamente con la función propuesta (coeficiente de correlación de 0,84 y $R^2 = 71,1\%$). El nivel de significación es ligeramente inferior a los obtenidos para el MOE y MOR, pero continúa siendo muy alta (P-Valor <0,01).

$$IB = 1,18946 + 0,613607*\text{sqrt}(Pp)$$



IB en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.3-4: Serie 22. IB en función de la Pp

4.2.3.5.- TS

Análisis de Regresión

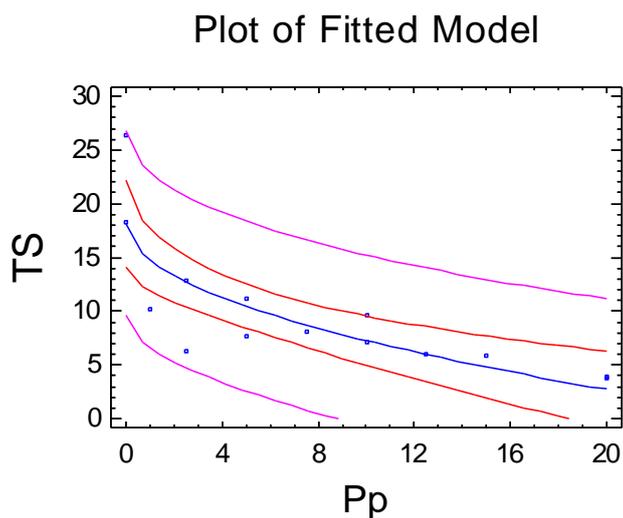
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b*\sqrt{X}$	$TS = 18,206 - 3,46116*\text{sqrt}(Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	9,81		0,0000			
	Pendiente	-5,25		0,0002			
	Modelo		27,57	0,0002	-0,83	69,67	3,50

Vemos que el hinchamiento queda claramente relacionado con la Pp (Coeficiente de correlación de $-0,83$). La variabilidad explicada con la función propuesta se sitúa alrededor del 70 %. El nivel de significación no ha bajado respecto a las características anteriores. Como iremos comprobando en las distintas series, al aumentar la Pp disminuye el hinchamiento de los tableros.

$$TS = 18,206 - 3,46116*\sqrt{Pp}$$



TS en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.3-5: Serie 22. TS en función de la Pp

4.2.3.6.- WA

Análisis de Regresión

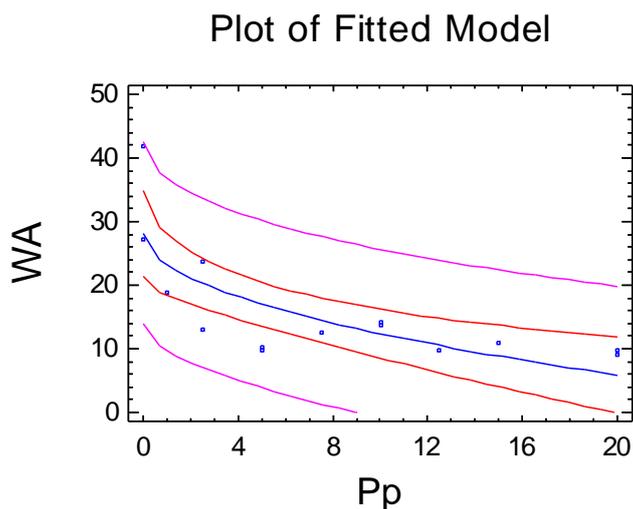
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22	Raíz cuadrada en X	$Y = a + b*\sqrt{X}$	$WA = 28,2076 - 4,99956*\sqrt{Pp}$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22	Ordenada	9,13		0,0000			
	Pendiente	-4,56		0,0007			
	Modelo		20,76	0,0007	-0,796	63,37	5,83

Al igual que en el TS, en la WA se confirma la relación negativa con la Pp. La correlación obtenida entre Pp y WA es importante (coeficiente de correlación de -0,8), y la R2 es media (63,4 %). Todo con un alto nivel de significación (P-Valor < 0,0001).

$$WA = 28,2076 - 4,99956 * \sqrt{Pp}$$



WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.3-6: Serie 22. WA en función de la Pp

Toda esta Serie 22, en la que se ha modificado el procedimiento acortando el tiempo de prensado y aplicado el tratamiento térmico final, tiene una misma tipo tendencia en sus curvas: al aumentar la presión, se produce un crecimiento muy rápido (densidad, MOE, MOR, IB) o decrecimiento (TS y WA), con un crecimiento mucho menor una vez pasada esa fase inicial más rápida. Esta función ajustada para todas las características ayuda a representar los valores de las características cuando la Pp ha sido muy baja y, como consecuencia, los valores de las características de los tableros también.

El efecto de la presión de prensado queda también corroborado en esta serie para todas las características físicas y mecánicas.

4.2.4.- Series 22 y 3. Comparación entre los procesos con prensado en frío seco y húmedo, ambos optimizados

Para comparar las series 22 y 3, tomamos aquellos tableros de la serie 22 que han recibido el mismo tratamiento que los tableros de la serie 3.

4.2.4.1.- Densidad

SERIE 3

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	Densidad = $1085,29 + 6,71826 \cdot Pp$

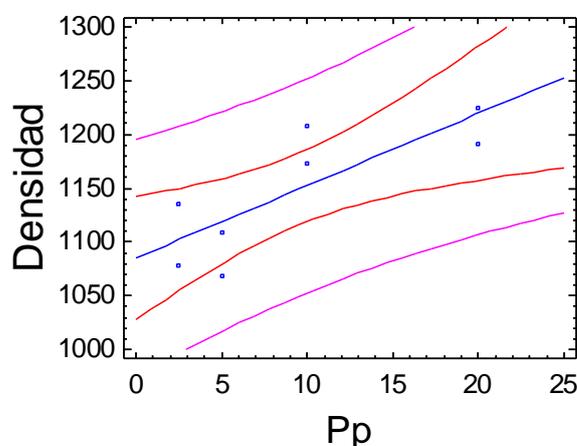
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
3	Ordenada	46,50		<0,0001			
	Pendiente	3,32		0,0161			
	Modelo		11,00	0,0161	0,80	64,71	38,39

Vemos que en esta serie la densidad la podemos modelizar como una función lineal de la Pp, única variable estudiada en esta serie. El coeficiente de correlación es bueno (0,8) y el Coeficiente de determinación nos indica que la variabilidad de la densidad se explica, en buena parte por la Pp (R2 = 64,7%).

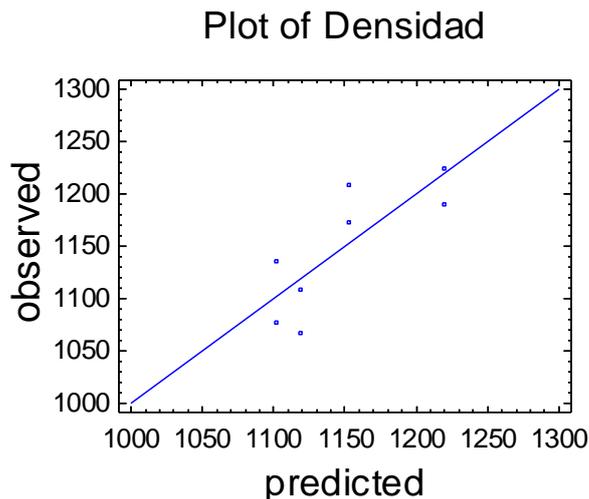
$$\text{Densidad} = 1085,29 + 6,71826 \cdot Pp$$

Plot of Fitted Model



Densidad en Kg/m3; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-1: Serie 3. Densidad en función de la Pp



Densidad en Kg/m³

Figura 4.2.4-2: Serie 3. Densidad. Valores predichos versus observados

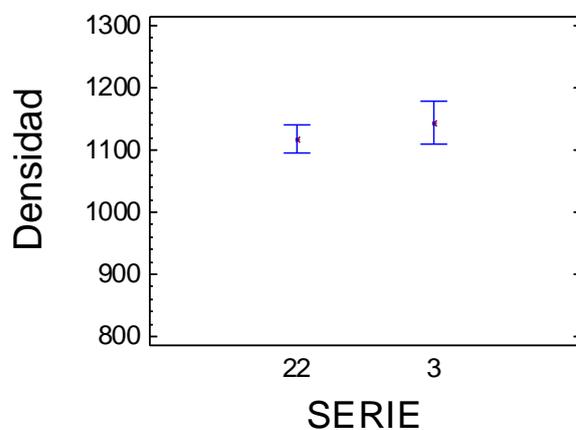
COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factor principal la SERIE y como secundario la Pp.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	1,24	0,2888	22	1117,47			
Pp	2,47	0,0874	3	1143,63	22-3	-26,15	51,64

El análisis de varianza determina que la serie es poco significativa en la explicación de la variabilidad de la densidad de los tableros, mientras que la Pp presenta un nivel de significación mayor del 90 %

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Densidad en kg/m³

Figura 4.2.4-3: Series 22 y 3. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %

4.2.4.2.- MOE

SERIE 3

Análisis de Regresión

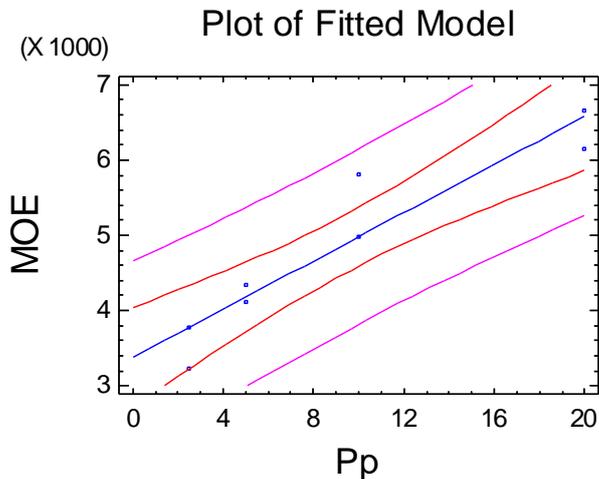
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$MOE = 3375,8 + 160,421 \cdot Pp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
3	Ordenada	12,39		<0.0001			
	Pendiente	6,79		0.0005			
	Modelo		46,07	0.0005	0,9406	88,48	448,04

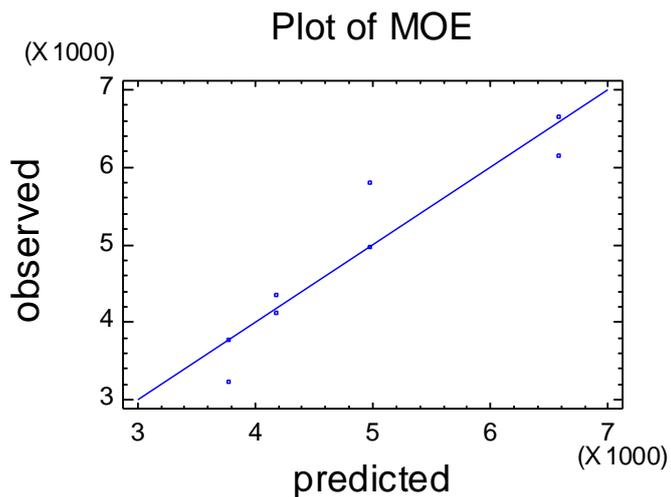
El análisis de regresión y de varianza nos revela la alta repercusión de la Pp sobre el valor del MOE, con un coeficiente de correlación del 0,94 y un coeficiente de determinación del 88,5 %; por lo que la variabilidad de la serie queda bien explicada con una función lineal dependiente de la Pp.

$$MOE = 3375,8 + 160,421 \cdot Pp$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-4: Serie 3. MOE en función de la Pp



MOE en Mpa

Figura 4.2.4-5: Serie 3. Densidad. Valores predichos versus observados

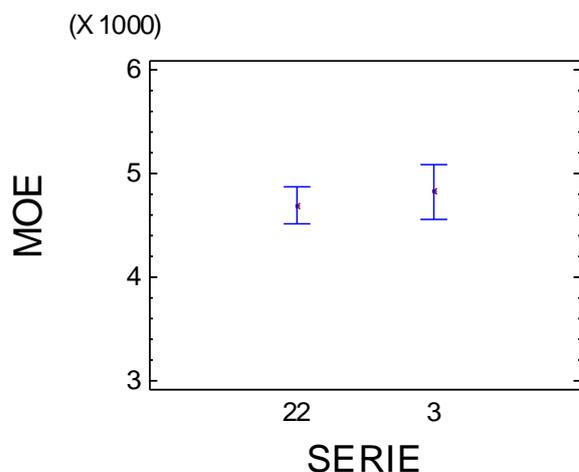
COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la Serie y la Pp.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,55	0,4744	22	4692,75			
Pp	22,08	<0,0001	3	4827,25	22-3	-134,5	399,72

Se confirma que no existen diferencias significativas entre series (proceso seco y húmedo) en cuanto al MOE obtenido. Las diferencias entre los tableros se deben a la Presión de prensado, con una altísima significación (P-Valor <0.0001).

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa

Figura 4.2.4-6: Series 22 y 3. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %

Dado que no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos series, obtenemos una sola regresión con las dos series, e intentamos obtener conclusiones más generales.

La regresión conjunta de las dos series nos da el siguiente resultado:

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22+3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$MOE = 3394,75 + 148,742 \cdot Pp$

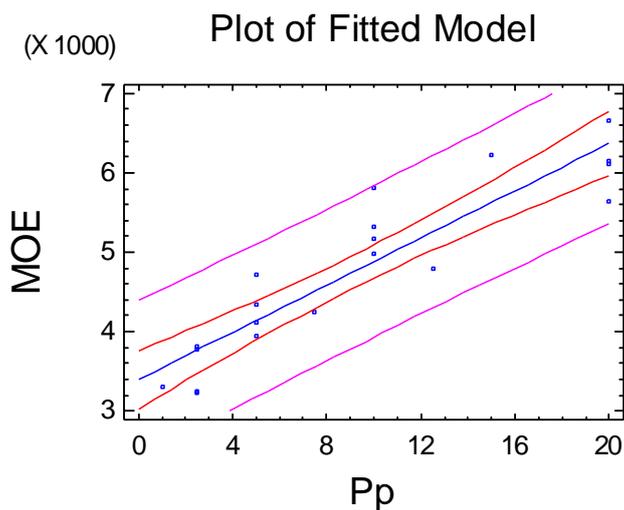
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22+3	Ordenada	19,55		<0,0001			
	Pendiente	9,70		<0,0001			
	Modelo		94,03	<0,0001	0,9162	83,93	442,91

Comprobamos, en el conjunto de las dos series, la alta correlación entre la Pp y el MOE de los tableros (coeficiente de correlación 0,92). También se concluye que una regresión lineal explica en gran proporción la variabilidad del MOE ($R^2 = 83,93\%$), con un alto nivel de significación (P-Valor <0,0001).

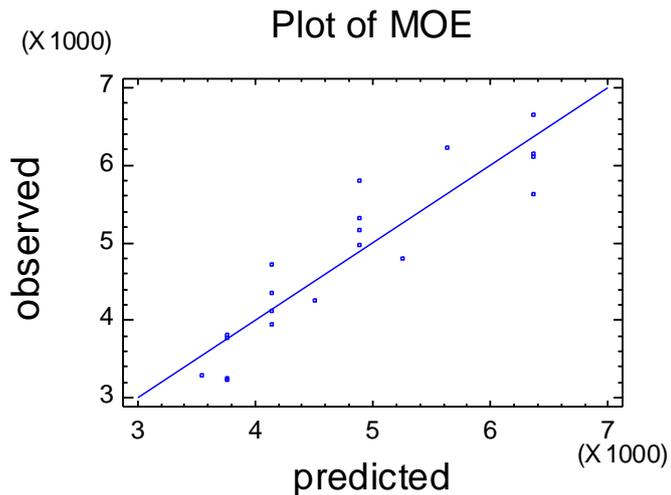
SERIE 22+3

$$MOE = 3394,75 + 148,742 \cdot Pp$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-7: Serie 22+3. MOE en función de la Pp



MOE en Mpa

Figura 4.2.4-8: Serie 22+3. MOE. Valores predichos versus observados

4.2.4.3.- MOR

SERIE 3

Análisis de regresión

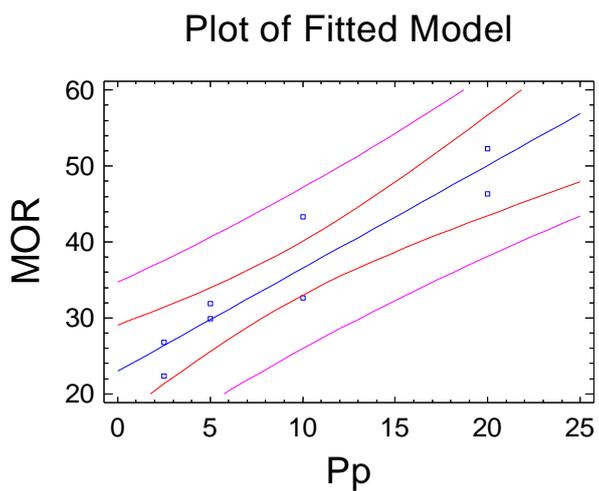
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$MOR = 22,9635 + 1,3567 \cdot Pp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ. (R2 en %)	Error estándar
3	Ordenada	9,24		<0,0001			
	Pendiente	6,29		0,0008			
	Modelo		39,6	0,0008	0,93	86,84	4,09

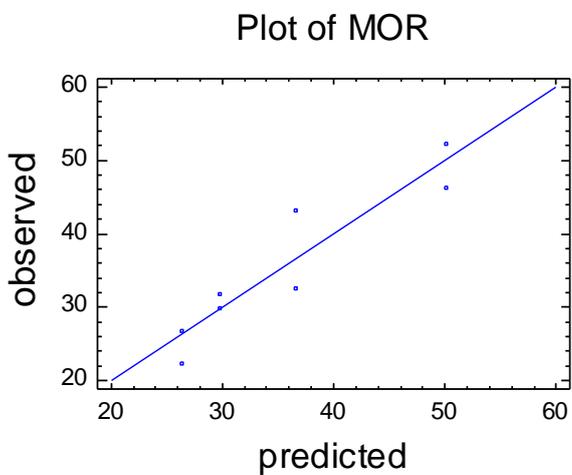
Al igual que en el MOE, vemos que el MOR presenta una alta correlación con la Pp (coeficiente de correlación 0,93) y que mayoritariamente la variabilidad de los tableros de la serie se explica por esta Pp (R2 = 86,84 %). La significación del ajuste también es muy alta (P-Valor = 0,0008).

$$\text{MOR} = 22,9635 + 1,3567 * \text{Pp}$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-9: Serie 3. MOR en función de la Pp



MOR en Mpa

Figura 4.2.4-10: Serie 3. MOR. Valores predichos versus observados

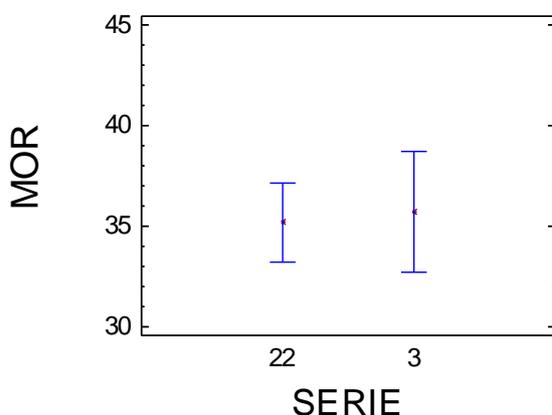
COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la serie y la Pp.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,07	0,8029	22	35,18			
Pp	11,1	0,0003	3	35,71	22-3	-0,53	4,57

El análisis nos revela que la serie tiene poca repercusión en la variabilidad del MOR, y que sí es muy significativo (P-Valor = 0,0003) el papel de la Pp. Con la separación de medias concluimos que no existen diferencias significativas entre las dos series; es decir, el prensado en frío seco o húmedo no presenta diferencias significativas sobre el MOR.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa

Figura 4.2.4-11: Series 22 y 3. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %

Puesto que no existen diferencias significativas, hemos realizado el Análisis de regresión y de varianza de forma conjunta para las dos series y nos da el siguiente resultado:

Análisis de Regresión

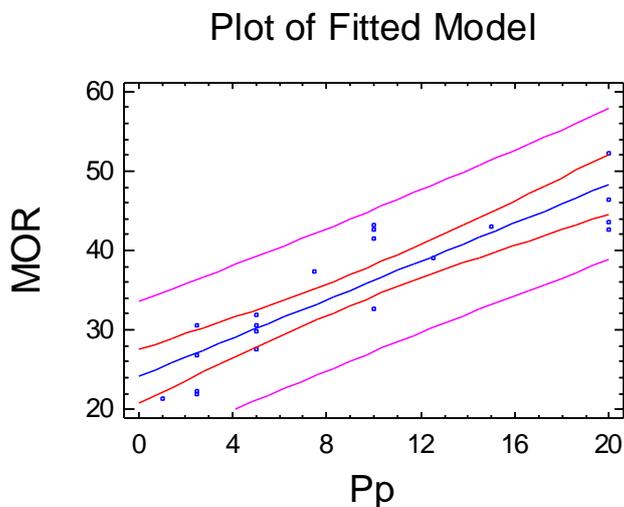
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22+3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$MOR = 24,1233 + 1,20997 \cdot Pp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

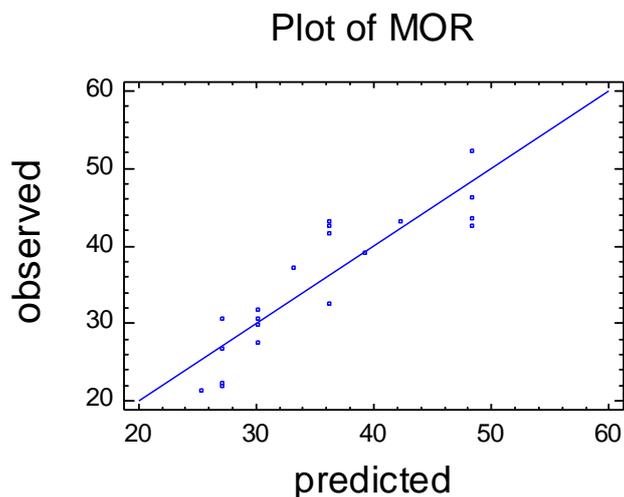
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22+3	Ordenada	14,79		<0,0001			
	Pendiente	8,40		<0,0001			
	Modelo		70,57	<0,0001	0,89	79,68	4,16

Podemos comprobar que la variabilidad del MOR, para el conjunto de las dos series, está muy correlacionada con la Pp (coeficiente de correlación del 0,89) y al igual que en las propiedades anteriores, la variabilidad del MOR queda mayoritariamente explicada con una función lineal (R2 = 79,7 %).

$$\text{MOR} = 24,1233 + 1,20997 * Pp$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa
Figura 4.2.4-12: Serie 22+ 3. MOR en función de la Pp



MOR en Mpa
Figura 4.2.4-13: Serie 22+3. MOR. Valores predichos versus observados

4.2.4.4.- IB

SERIE 3

Análisis de Regresión

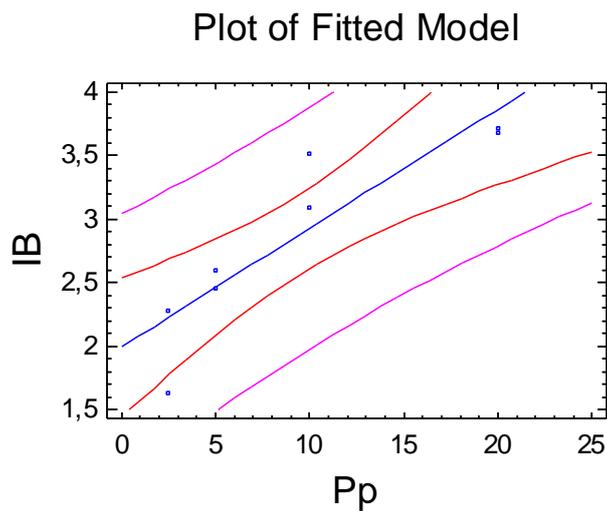
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3	Lineal	Y = a + b*X	IB = 1,99213 + 0,0937461*Pp

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
3	Ordenada	8,93		<0,0001			
	Pendiente	4,84		0,0029			
	Modelo		23,46	0,0029	0,89	79,63	0,37

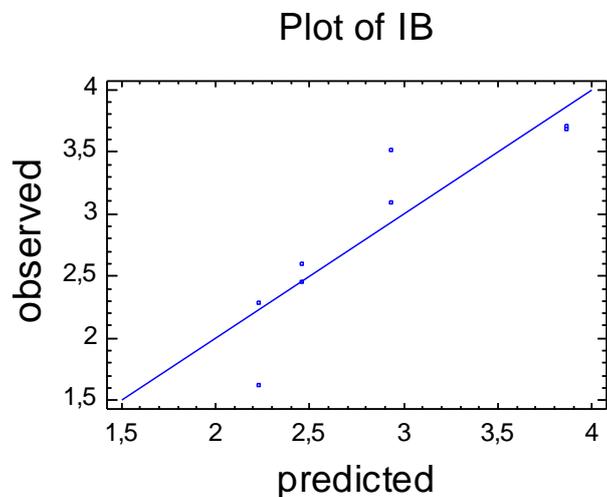
La variabilidad del IB de la serie 3 presenta una correlación del mismo orden de las características anteriores (coeficiente de correlación del 0,9) y un coeficiente de determinación de alrededor del 80 %. Todo ello con un alto nivel de confianza en la función ajustada (P-Valor <<0,01).

$$IB = 1,99213 + 0,0937461 * Pp$$



IB en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-14: Serie 3. IB en función de la Pp



IB en Mpa

Figura 4.2.4-15: Serie 3. IB. Valores predichos versus observados

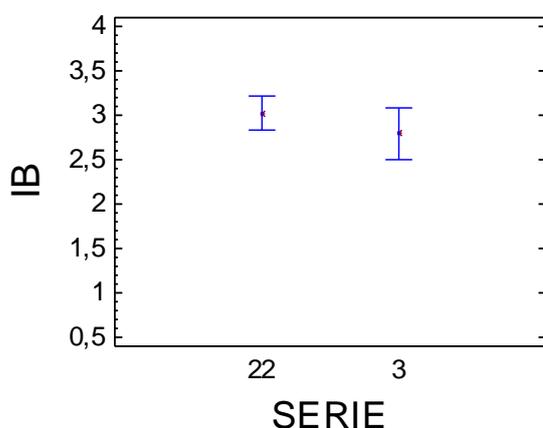
COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la serie y la Pp.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	1,3	0,2787	22	3,02			
Pp	4,93	0,0097	3	2,79	22-3	0,23	0,45

El análisis de varianza factorial nos indica que la variabilidad de los valores en el IB viene correlacionada básicamente con la Pp (P-Valor <0,01), mientras que la serie no presenta un nivel de significación importante. Esto se corrobora con la separación de medias, donde no se aprecia diferencias estadísticamente significativas entre las dos series.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa

Figura 4.2.4-16: Series 22 y 3. IB. Separación de medias por LSD al 95 %

Para el conjunto de las dos series en este parámetro (IB), el modelo que mejor se ajusta sería el logarítmico en X. No lo hemos considerado dado que no es generalizable.

4.2.4.5.- TS

SERIE 3

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3(a)	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$TS = 12,2083 - 0,321548 \cdot Pp$
3(b)	Recíproco en Y	$Y = 1/(a + b \cdot X)$	$TS = 1/(0,0736756 + 0,00463668 \cdot Pp)$

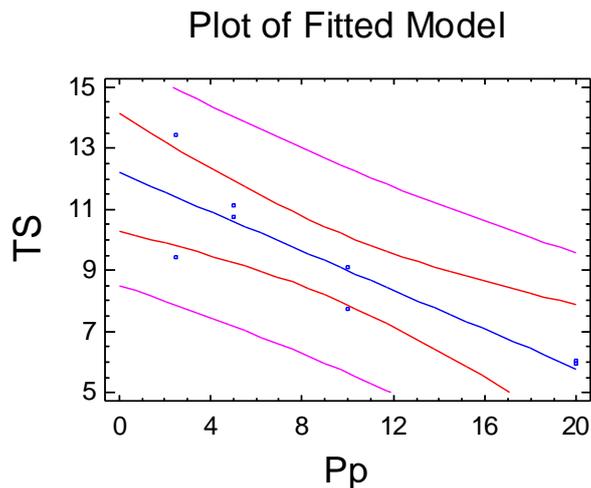
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ. (R2 en %)	Error estándar
3 (a)	Ordenada	15,52		<0,0001			
	Pendiente	-4,71		0,0033			
	Modelo		22,19	0,0033	-0,89	78,72	1,29
3(b)	Ordenada	10,43		<0,0001			
	Pendiente	7,56		0,0003			
	Modelo		57,20	0,0003	0,95	90,51	0,01

El análisis de regresión y varianza nos muestra una alta correlación del hinchamiento de los tableros con la presión de prensado (coeficiente de correlación del -0,89 con una regresión lineal, o de un 0,95 con una regresión recíproca en Y). Los coeficientes de determinación son también altos (78,7 % para la regresión lineal y del 90,5 % para la regresión recíproca en Y). En ambos casos el nivel de confianza es muy alto (P-Valor <<0,01). Esto también nos indica que la variabilidad del TS se explica mayoritariamente con una regresión simple y mejor con una regresión doble recíproca. En estas regresiones también se confirma que a mayor Pp obtendremos tableros con menor TS.

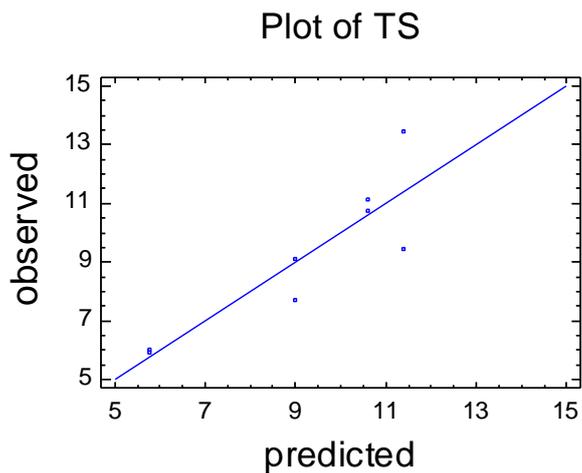
SERIE 3 (a)

$$TS = 12,2083 - 0,321548 * Pp$$



TS en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-17: Serie 3. TS en función de la Pp (lineal)

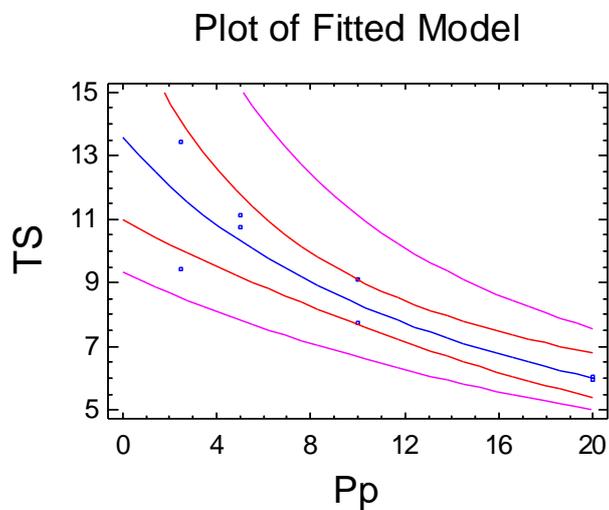


TS en %

Figura 4.2.4-18: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados (lineal)

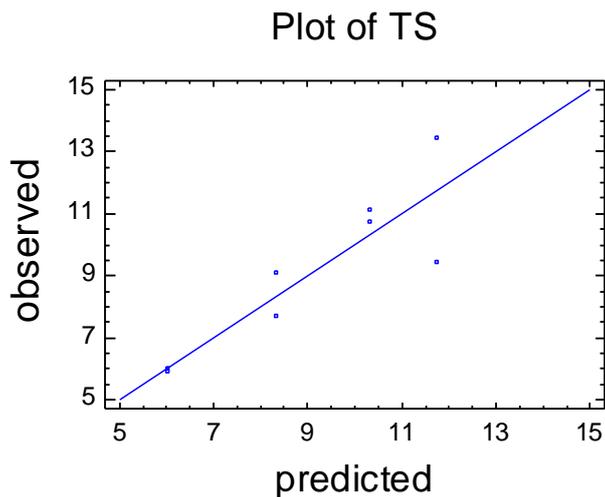
SERIE 3 (b)

$$TS = 1/(0,0736756 + 0,00463668*Pp)$$



TS en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-19: Serie 3. TS en función de la Pp



TS en %

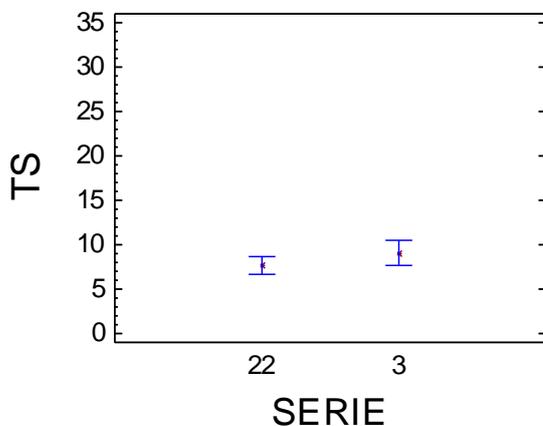
Figura 4.2.4-20: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados

COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	2,06	0,18	22	7,66			
Pp	3,36	0,04	3	9,07	22-3	-1,41	2,16

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la serie y la Pp. Comprobamos de nuevo que la serie (en este caso la forma del prensado en frío) tampoco afecta significativamente a la variabilidad del hinchamiento de los tableros, y no se presentan diferencias significativas entre las dos series. Se repite que la Pp sí es un factor determinante en los valores del hinchamiento de las dos series.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %

Figura 4.2.4-21: Series 22 y 3. TS. Separación de medias por LSD al 95 %

Como no hay diferencias significativas entre las dos series, realizamos una regresión conjunta, cuyos resultados son los siguientes.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
22+3	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$TS = 11,3334 - 0,326493 \cdot Pp$

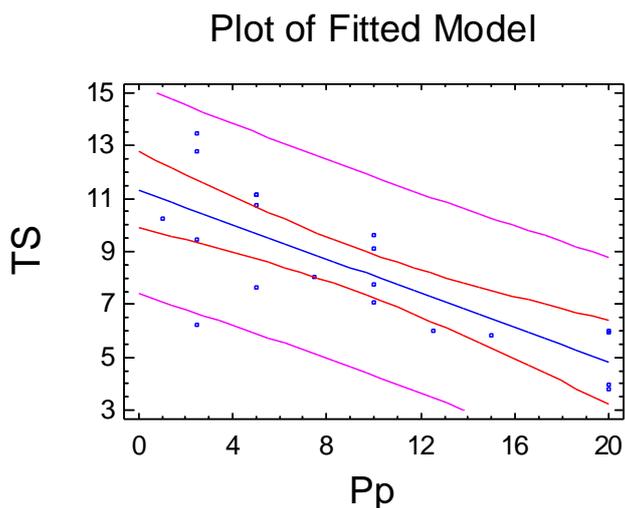
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
22+3	Ordenada	16,55		<0,0001			
	Pendiente	-5,40		<0,0001			
	Modelo		29,15	<0,0001	-0,7863	61,82	1,746

Se aprecia en este análisis que, considerando las dos series, se continúa confirmando la correlación entre la presión de prensado y el hinchamiento de los tableros (coeficiente de determinación del -0,79). Las funciones obtenidas para cada serie por separado quedan mucho mejor ajustadas que este ajuste conjunto donde el R2 se sitúa en el 62 %. Queda claro que al aumentar la Pp disminuirá el hinchamiento.

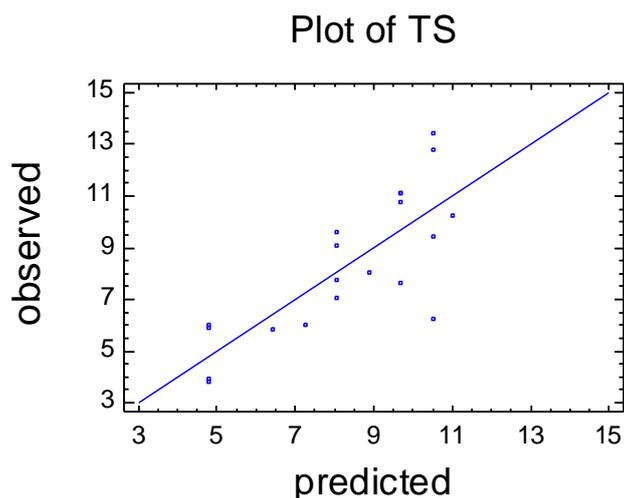
SERIE 22+3

$$TS = 11,3334 - 0,326493 \cdot Pp$$



TS en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-22: Serie22+ 3. TS en función de la Pp



TS en %

Figura 4.2.4-23: Serie 22+ 3. TS. Valores predichos versus observados

4.2.4.6.- WA

Análisis de Regresión

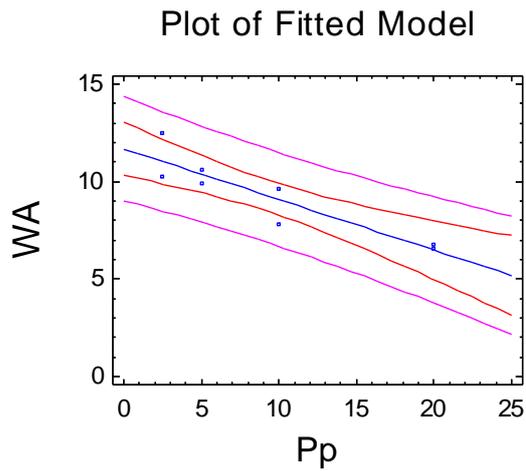
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
3 (a)	Lineal	$Y = a + b \cdot X$	$WA = 11,6802 - 0,259757 \cdot Pp$
3 (b)	Recíproco en Y	$Y = 1/(a + b \cdot X)$	$WA = 1/(0,0804354 + 0,00349589 \cdot Pp)$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
3(a)	Ordenada	20,70		<0,0001			
	Pendiente	-5,31		0,0018			
	Modelo		28,15	0,0018	-0,9102	82,43	0,93
3(b)	Ordenada	14,57		<0,0001			
	Pendiente	7,30		0,0003			
	Modelo		53,28	0,0003	0,9480	89,88	0,009

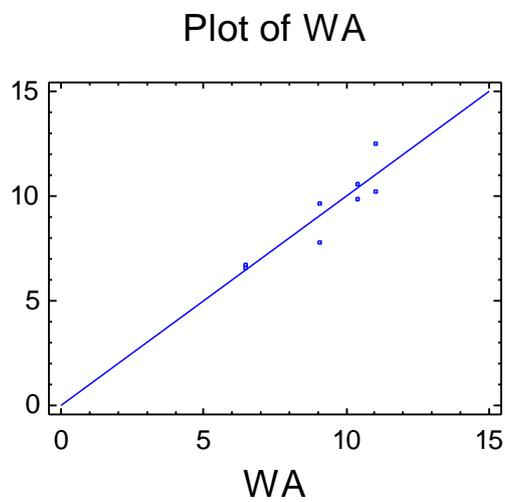
La absorción de agua en la Serie 3 responde a los mismos criterios que el hinchamiento. Los análisis de regresión y de varianza muestran una alta correlación entre la Pp y la WA (coeficiente de correlación de -0,91 para la regresión lineal y de 0,95 para la regresión recíproca en Y). Los coeficientes de determinación nos indican que los modelos presentados nos explican bien la variabilidad de la WA en función de la Pp (R2= 82,4 % para la regresión lineal y R2 = 89,9 % para la regresión recíproca en Y). En cualquier caso queda claro que al aumentar la Pp disminuye la WA y que los modelos matemáticos reproducen con un alto nivel de confianza (P-Valor <0,01) la variabilidad de la WA de los tableros.

SERIE 3 (a)



WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-24: Serie 3. WA en función de la Pp (lineal)

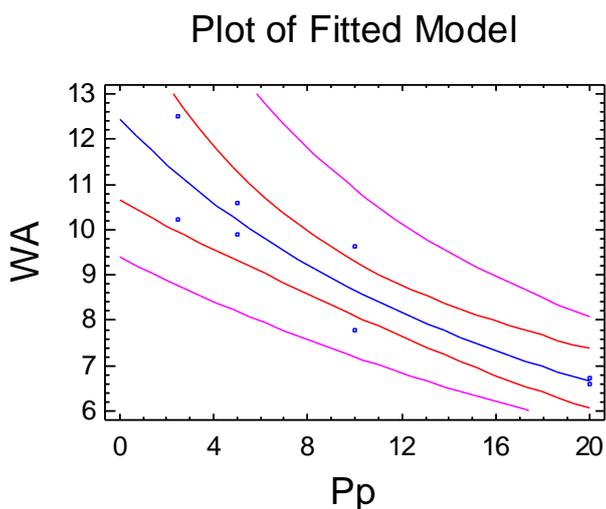


WA en %

Figura 4.2.4-25: Serie 3. WA. Valores predichos versus observados (lineal)

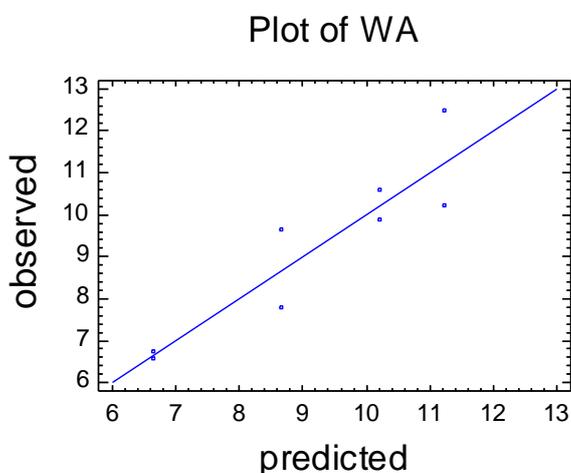
SERIE 3(b)

$$WA = 1/(0,0804354 + 0,00349589*Pp)$$



WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.2.4-26: Serie 3. WA en función de la Pp



WA en %

Figura 4.2.4-27: Serie 3. TS. Valores predichos versus observados

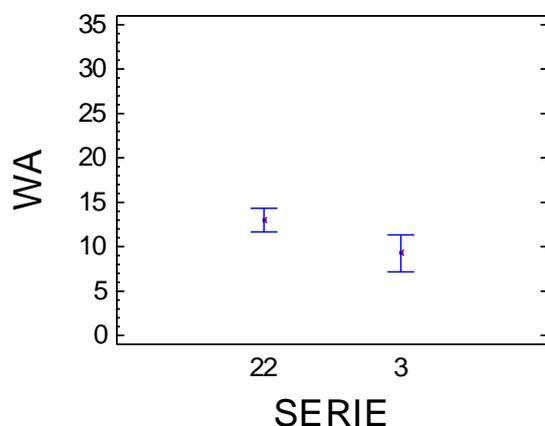
COMPARACIÓN ENTRE LAS SERIES 22 Y 3

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	6,51	0,0269	22	12,98			
Pp	2,5	0,0840	3	9,26	22-3	*3,72	3,21

El análisis de las dos series en conjunto que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la Serie y la Pp. Este análisis nos indica que tanto la serie como la Pp tienen cierto efecto sobre la WA, pero con unos niveles de significación más bajos que para todas características analizadas previamente (P-Valor < 0,03 para la serie y P-Valor < 0,09 para la Pp).

La separación de medias de las dos series sale significativa pero por una escasa diferencia.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %

Figura 4.2.4-28: Series 22 y 3. WA. Separación de medias por LSD al 95 %

Como las diferencias entre las dos series aunque significativas son muy pequeñas, realizamos una regresión conjunta, donde no se obtuvieron resultados resaltables, por lo que no se han reflejado. En el caso de regresiones simples, que es nuestro objetivo, en el mejor de los casos, el coeficiente de correlación entre IB y Pp es de -0.67 y el de determinación (R2) de 44,96 %.

Síntesis de resultados del análisis comparativo de las Series 22 y 3

	Media	Significación estadística
Densidad	3>22	No
MOE	3>22	No
MOR	3>22	No
IB	Similar	No
TS	22<3	No
WA	3<22	Sí

Los análisis de regresión y varianza de las dos series no han demostrado diferencias estadísticamente significativas entre las dos series (proceso optimizado de producción con prensado en frío seco y proceso de producción con prensado en frío húmedo) para ninguna de las características físicas o mecánicas; excepto para la WA. La WA es mayor en el proceso de producción con prensado frío en húmedo (serie 22).

4.2.5.- Series 22, 3 y 4: Comparación entre de las series optimizadas con lavado previo del material y sin lavado (serie 4)

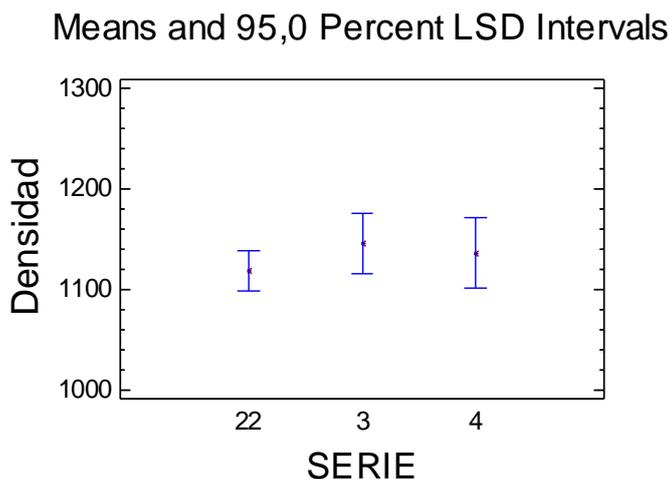
La incorporación de la serie 4 se ha realizado para sondear la posibilidad de utilizar el material pretratado sin lavar en la elaboración de tableros. El objetivo es eliminar al máximo los residuos consecuencia del lavado del material, que supone un problema de gestión.

El análisis que se ha aplicado es un ANOVA multifactorial, considerando como factores la serie y la Pp. El análisis se ha realizado con los tableros de las distintas series que están en el mismo rango de valores de los factores de producción.

4.2.5.1.- Densidad

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,82	0,4588	22	1118,04	22-3	-27,28	46,34
Pp	2,61	0,0528	3	1145,32	22-4	-17,76	54,83
			4	1135,8	3-4	9,52	58,61

Para el mismo rango de valores de los factores de producción considerados no existen diferencias significativas en la densidad de los tableros de las diferentes series.



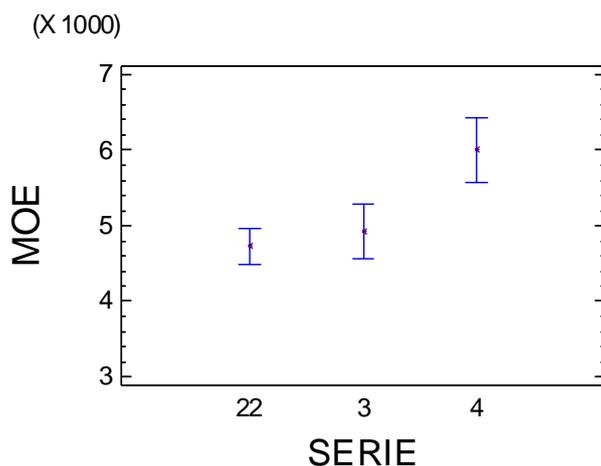
Densidad en Kg/m3

Figura 4.2.5-1: Series 22, 3 y 4. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %

4.2.5.2.- MOE

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	8,55	0,0030	22	4727,22	22-3	-203,44	558,81
Pp	9,6	0,0001	3	4930,65	22-4	*-1273,77	661,19
			4	6000,99	3-4	*-1070,34	706,85

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa

Figura 4.2.5-2: Series 22, 3 y 4. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %

Entre las series 22 y 3 no existen diferencias significativas de las medias del MOE de ambas, y sí con la serie no lavada.

Los valores óptimos de MOE para las series 22, 3 y 4 son 6222 Mpa, 6651 Mpa y 6043 Mpa, respectivamente.

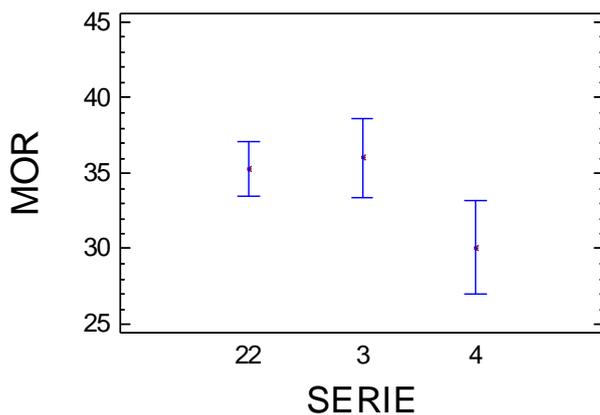
La serie 4 nos da mayores valores medios de MOE, pero para este rango de presiones y tiempos que son bajos. Hay que destacar que las presiones más altas, de las series 22 o 3, no eran soportadas por el material de la serie 4 con la severidad del pretratamiento aplicado a todas ellas, debido al contenido de hemicelulosas no eliminadas al no lavarse el material recién pretratado de la serie 4.

De todas formas, el MOE de la Serie 4 presenta valores inesperadamente altos y que superan el doble de los requerimientos de la EN para tableros de uso estructural.

4.2.5.3.- MOR

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	3,37	0,0601	22	35,28	22-3	-0,73	4,08
Pp	12,91	<0,0001	3	36,01	22-4	*5,21968	4,83
			4	30,06	3-4	*5,94798	5,17

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa

Figura 4.2.5-3: Series 22, 3 y 4. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %

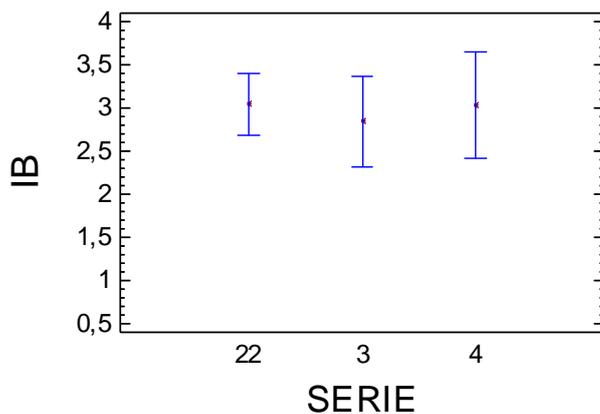
En este caso, el MOR de la serie 4 es ligeramente inferior al de las series 22 y 3, que son muy similares.

Los valores óptimos obtenidos de MOR para las series 22, 3 y 4 son: 43,6 Mpa, 52,3 Mpa y 26,7 Mpa respectivamente. Por lo que apreciamos que es el parámetro más afectado por el no lavado del material.

4.2.5.4.- IB

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	0,14	0,8698	22	3,04	22-3	0,19	0,81
Pp	1,12	0,4004	3	2,85	22-4	0,01	0,96
			4	3,03	3-4	-0,18	1,03

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa

Figura 4.2.5-4: Series 22, 3 y 4. IB. Separación de medias por LSD al 95 %

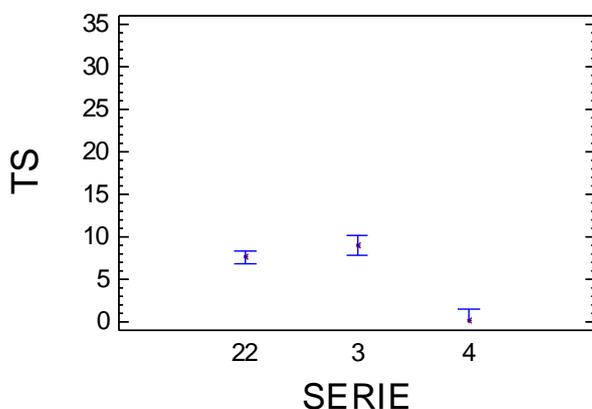
El IB no presenta diferencias entre las tres series y es muy superior al requerido por normas para tableros de uso estructural.

Los valores óptimos obtenidos para las series 22, 3 y 4 son: 3,8 Mpa, 3,7 Mpa y 4 Mpa respectivamente. Sorprendentemente, la serie no lavada incluso ha superado ligeramente las lavadas y los valores obtenidos son mucho más altos de lo que las normas EN exigen para tableros de uso estructural (0,7 Mpa).

4.2.5.5.- TS

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	36,89	<0,0001	22	7,63	22-3	-1,36	1,8
Pp	4,41	0,0066	3	8,99	22-4	*7,421	2,13
			4	0,21	3-4	*8,779	2,27

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %

Figura 4.2.5-6: Series 22, 3 y 4. TS. Separación de medias por LSD al 95 %

El hinchamiento es claramente menor en la serie 4, que entre la series 22 y 3, que son muy similares aunque estadísticamente en la serie 22 es ligeramente inferior.

Los valores óptimos para TS obtenidos en las series 22, 3 y 4 son: 3,8 %, 5,9 % y 1,1 % respectivamente.

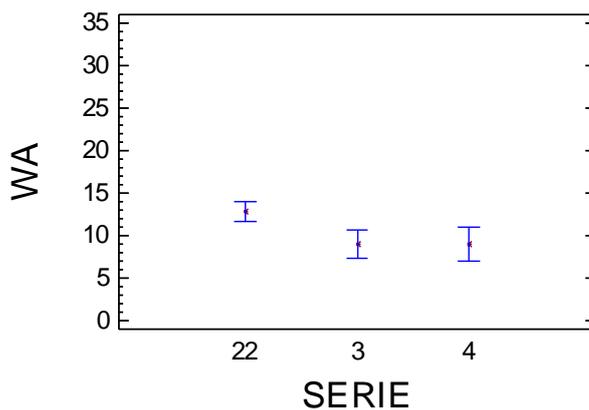
El hinchamiento del tablero, después de 24 horas sumergido en agua, es tan bajo que puede ser una característica muy interesante a considerar por sí sola.

4.2.5.6.- WA

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	6,37	0,0092	22	12,89	22-3	*3,903	2,64
Pp	3,4	0,0202	3	8,99	22-4	*3,924	3,12
			4	8,97	3-4	0,02	3,34

Las tres series presentan valores bajos. De ellas, la Serie 22 presenta un valor ligeramente superior.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %

Figura 4.2.5-7: Series 22, 3 y 4. WA. Separación de medias por LSD al 95 %

Síntesis de las tres series

	Media	Significación estadística
Densidad	3>4>22	No
MOE	4>3	Sí
	3>22	No
	4>22	Sí
MOR	3>4	No
	22>4	No
	3>22	No
IB	4=22>3	No
TS	4<3	Sí
	4<22	Sí
	22<3	No
WA	4=3<22	Sí

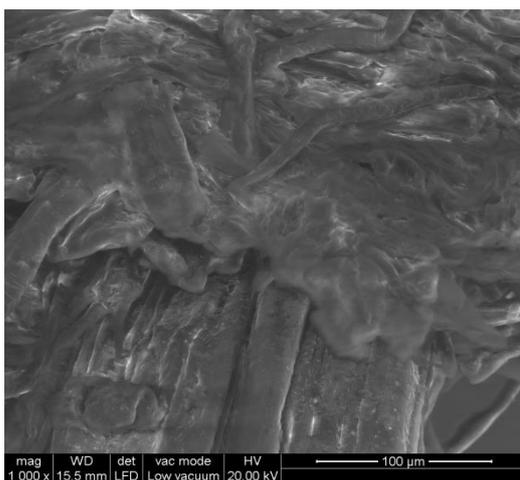
La serie 4, elaborada con material pretratado no lavado, se ha destacado en el MOE, en el TS y en la WA.

Debemos insistir en el hecho de que estos resultados corresponden a valores comparativamente bajos de Pp y tp; pues el límite tecnológico de la serie 4 es muy inferior al de la serie 22 y 3. Por tanto, en las series 22 y 3, puesto que no hemos llegado a su límite tecnológico, podemos obtener tableros de mejor calidad, aumentando los valores de las condiciones de prensado en caliente.

4.2.6.- Estudio microscópico de tableros de *Arundo donax* L.

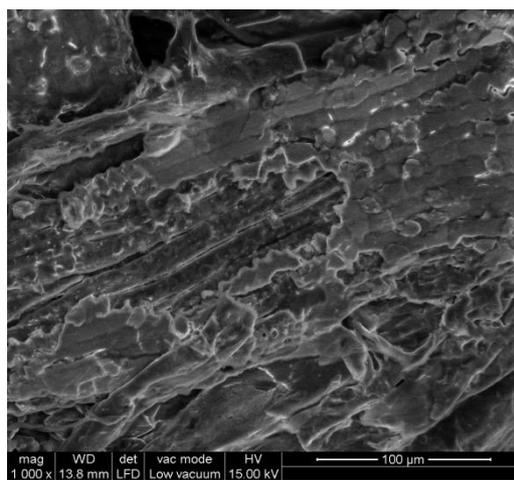
En las distintas imágenes obtenidas de las fracturas del IB han aparecido unas diferencias claras entre los tableros con y sin tratamiento térmico final. Si observamos las fotografías de los tableros sin tratamiento, muestran una apariencia más fibrosa, apreciándose con más dificultad la lignina fundida que hace de cementante entre las fibras. Se aprecian fibras rotas y no la lignina despegada. Por otro lado, en los tableros tratados térmicamente al final del proceso ocurre todo lo contrario, muestran claramente la lignina fundida y se ve que la fractura se ha producido fundamentalmente por la separación de la lignina. En estos casos, como dicha lignina está mucho mejor distribuida, las tensiones que pueden soportar estos tableros son mucho más elevadas.

Sin tratamiento térmico final

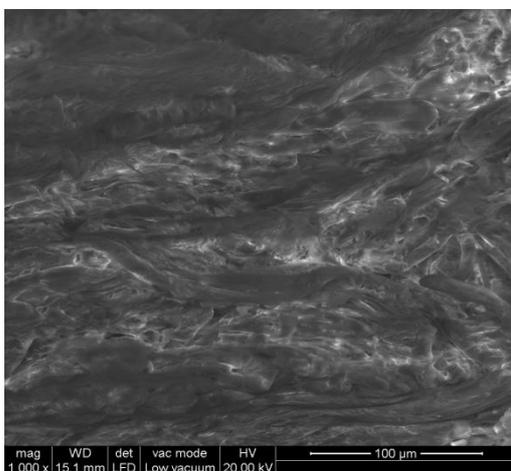


12-3: IB = 1 MOE = 2955 MOR = 13,9

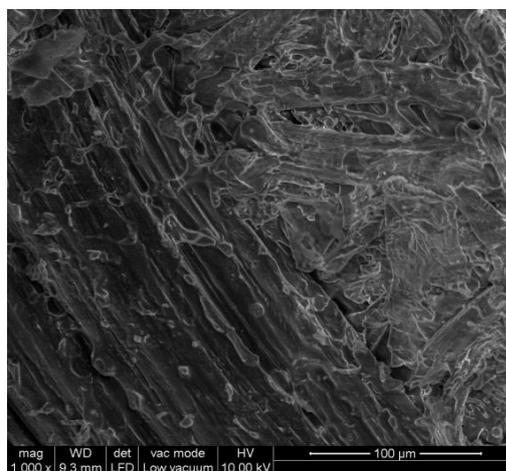
Con tratamiento térmico final



22-12 IB = 3,75 MOE 3950 MOR 27,64



12-3: IB = 1 MOE = 2955 MOR = 13,9

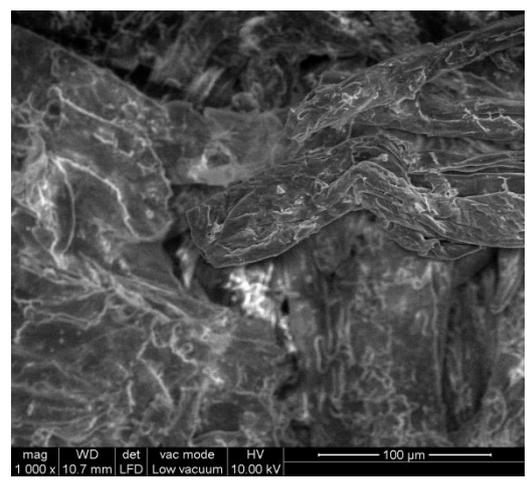
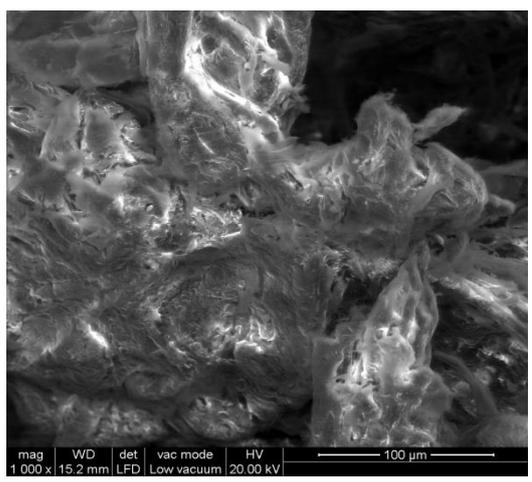


22-14 IB = 3,76 MOE 5634 MOR 42,6

Figura 4.2.6-1: Imágenes microscopio. Material con y sin tratamiento térmico final (a)

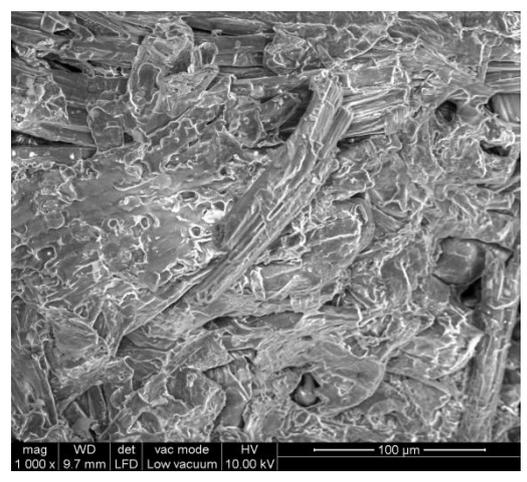
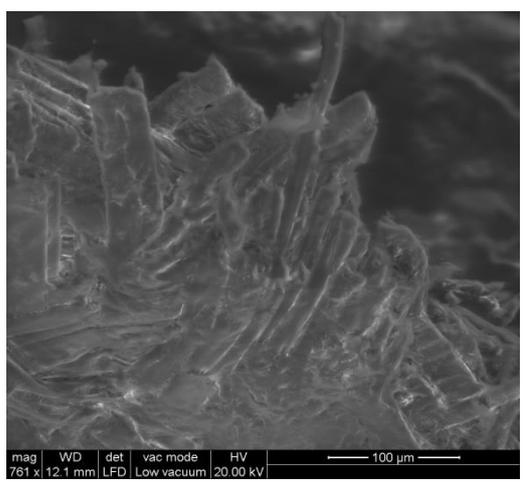
Sin tratamiento térmico final

Con tratamiento térmico final



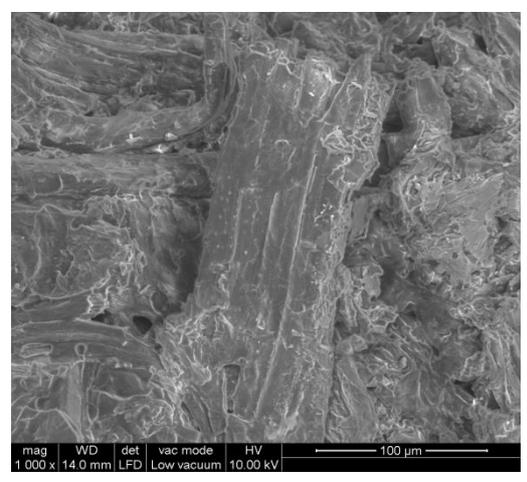
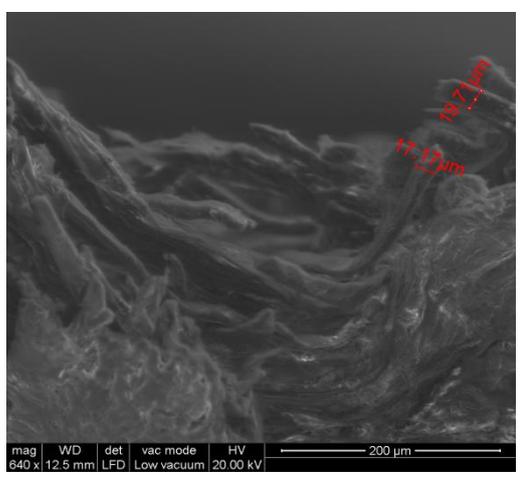
24-h IB = 1,16 MOE 7933 MOR 50,2

3-4 IB=3,71 MOE 6151 MOR 46,4



12-13 IB = 0,55 MOE 5598 MOR 23,1

4-2 IB >4 MOE 4674 MOR 19,73



12-13 IB =0,55 MOE 5598 MOR 23,1

4-3 IB =3.32 MOE 4499 MOR 22,8

Figura 4.2.6-1: Imágenes microscopio. Material con y sin tratamiento térmico final (b)

Consideramos que el tratamiento térmico final es el causante de que la lignina que rodea las fibras se vaya fundiendo, de una forma paulatina durante las 5 h de tratamiento a 165 °C, uniéndose a la lignina que rodea a otras, distribuyéndose mejor y formando un conjunto más compacto. Esto hace que los tableros presenten características más uniformes y arrojen mayores IB.

4.3 Resultados y discusión de los tableros de *Saccharum officinarum* L.

4.3.1.- Introducción

La relación entre los parámetros de producción (Pp, tp, Tpr y severidad) y las características físicas y mecánicas de los tableros se han estudiando por series y combinación de ellas. De tal forma que podemos obtener conclusiones cada vez más complejas de cada una de las características de los tableros.

Aporte de información de cada serie a nuestro estudio:

Alta severidad (series 50):

SERIE 51 (Lavado-Prensado frío en Seco y Tratamiento térmico final)

SERIE 52 (Lavado-Prensado frío en Húmedo y Tratamiento térmico final)

En estas dos series las variables independientes son la Pp y el tp. Todo el material proviene de un mismo pretratamiento y se le ha aplicado la misma temperatura de prensado. El estudio de las dos series nos dará luz de cómo afectan estas dos variables a las características de los tableros.

La comparación entre las dos series nos dará las diferencias entre las características de los tableros obtenidos con prensado en seco o húmedo.

En la serie 51 también hemos estudiado hasta qué punto solo la densidad del tablero puede explicar las características de los tableros.

Baja severidad (series 60):

SERIE 61 (Lavado-Prensado frío en seco y templado)

En la serie 61, a las variables Pp y tp, se le ha incorporado la Tpr. Lo que nos permite valorar este parámetro de producción.

La comparación de la series 50 (alta severidad) y series 60 (baja severidad), nos permite valorar el efecto de la severidad del pretratamiento y obtener modelos matemáticos que incluyan todas las variables de producción, para cada característica del tablero.

Series no lavadas (Series 53 y 63)

Estas dos series, de material no lavado, lo hemos estudiado por separado y nos debe explicar las posibilidades y limitaciones de la utilización de material no lavado después del pretratamiento.

Procedimiento y criterios seguidos en el análisis estadístico:

El estudio de cada característica en cada serie lo comenzamos con un estudio de selección del modelo de regresión. De esta manera conoceremos el coeficiente de determinación de cada factor de producción para cada característica, así como el coeficiente de determinación de la combinación de factores de producción (variables independientes). De esta manera hacemos una primera elección de los parámetros que consideraremos en nuestras regresiones. En función del P-valor de cada parámetro en cada regresión, se decide las variables independientes a incorporar en el modelo. Ahora pasamos a elegir el modelo de regresión.

Una vez que conocemos la repercusión de cada variable independiente en la variable dependiente (R^2), hemos comparado diferentes regresiones, de las que hemos elegido una (como máximo dos), con el objetivo de obtener conclusiones y funciones matemáticas generalizables. Como criterios básicos de esta selección han estado (dentro de regresiones con bajos P-valor y altos coeficientes de correlación y determinación), la posible generalización y la simplicidad de las ecuaciones.

4.3.2.- Producción de tableros con alta severidad, proceso de prensado frío en seco (serie 51) y proceso de prensado frío en húmedo (serie 52). Comparación de procesos y efecto de la Pp y tp.

4.3.2.1.- Densidad

Densidad-SERIE 51

Dentro de la serie, las variables independientes existentes son la presión de prensado y el tiempo de prensado.

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
	Coef. Determinac.(R2)	85,87	72,99	92,45

Las densidades obtenidas en esta serie oscilan entre los 1076 y 1259 kg/m³. La Pp es el parámetro que mejor explica la variación de la densidad de los tableros. Una regresión que combine los dos parámetros de producción es capaz de explicar casi la totalidad de la variabilidad (92,5 %).

Las regresiones más simples que nos dan unos altos coeficientes de determinación, con probabilidades de hipótesis nula muy baja para las variables independientes, son las siguientes:

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	Densidad = 1057,14 + 8,32991*Pp
51(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	Densidad = 1072,15 + 5,83796*Pp + 0,179621*tp

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

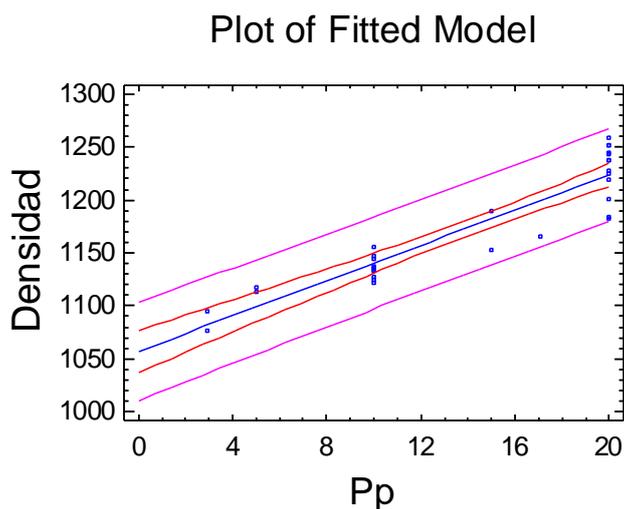
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	108,29		<0,0001			
	Pendiente	13,04		<0,0001			
	Modelo		170,13	<0,0001	0,9267	85,87	20,66
51 (b)	Pp	8,34		<0,0001			
	tp	4,85		0,0001			
	Modelo		165,28	<0,0001		92,45	15,38

SERIE 51(a)

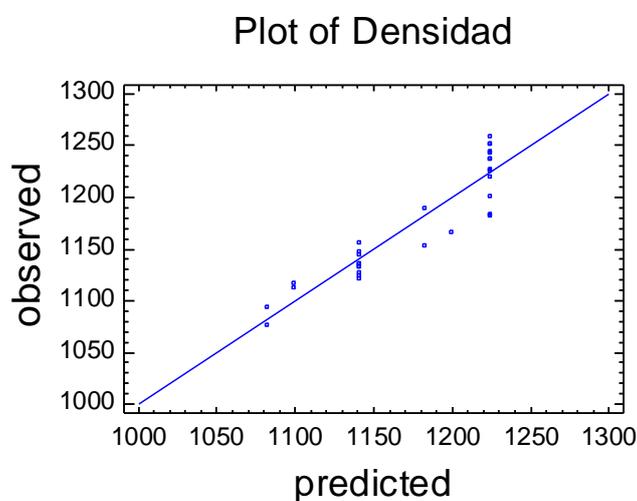
En esta serie la variabilidad de la densidad queda explicada con este modelo en un 85,9 %, con una relación lineal con la presión de prensado (Pp) estadísticamente significativa (coef. correlación del 92.6 % y P-Valor <0.0001).

Al aumentar la presión de prensado, aumenta la densidad de forma lineal.

$$\text{Densidad} = 1057,14 + 8,32991 * Pp$$



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa
Figura 4.3.2-1: Serie 51(a). Densidad en función de la Pp



Densidad en Kg/m³
Figura 4.3.2-2: Serie 51(a). Densidad. Valores predichos versus observados

SERIE 51(b)

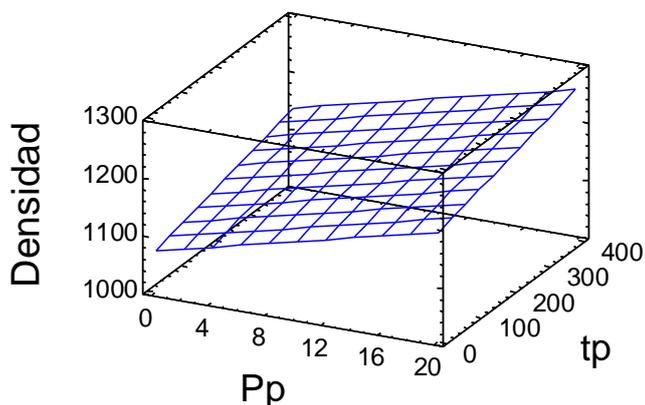
En esta regresión además de la Pp consideramos cuantitativamente el tiempo de prensado (tp).

Este modelo explica el 92.5 % de la variabilidad, habiendo una relación estadísticamente significativa entre los factores y la densidad, con un P-Valor <0.0001

Comparando las dos regresiones, se puede concluir que, para producción de tableros con prensado en frío seco, la densidad viene determinada mayoritariamente por la presión de prensado y, en menor grado, por el tiempo de prensado. A partir de los valores de Pp y tp podemos calcular el valor de la densidad de los tableros, dentro del rango de densidades obtenido.

$$\text{Densidad} = 1072,15 + 5,83796 \cdot Pp + 0,179621 \cdot tp$$

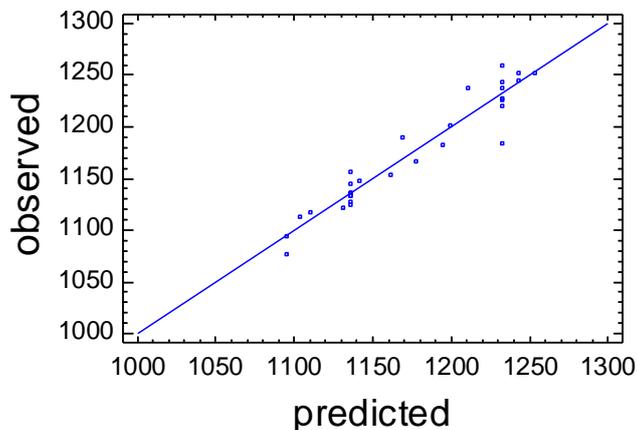
Estimated Response Surface



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-3: Serie 51(b). Densidad en función de la Pp y el tp

Plot of Densidad



Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.2-4: Serie 51(b). Densidad. Valores predichos versus observados

Densidad-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
52	Coef. Determinac.(R2)	80,94	57,22	82,92

Las densidades de la Serie 52 oscilan entre los 1087 y 1287 Kg/m³. Al igual que en la serie 51, el factor de mayor peso en la densidad es la presión de prensado, y presenta una menor relación con el tiempo de prensado.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	Densidad = $1087,14 + 7,62988 \cdot Pp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	Densidad = $1095,11 + 6,33766 \cdot Pp + 0,0867932 \cdot tp$

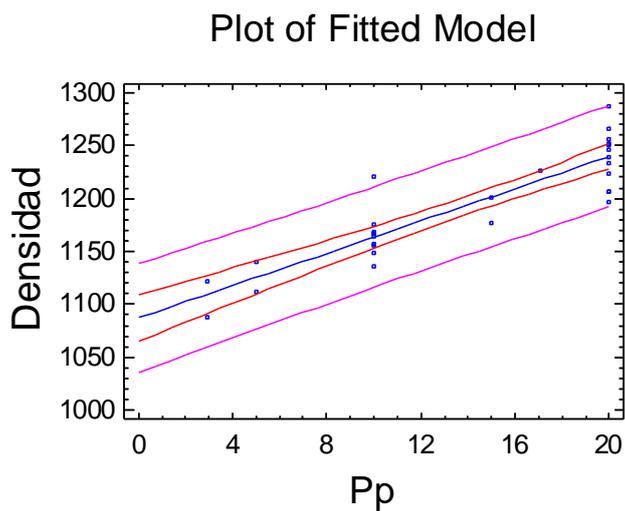
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	101,64		<0,0001			
	Pendiente	10,90		<0,0001			
	Modelo		118,9	<0,0001	0,8997	80,94	22,64
52 (b)	Pp	6,373		<0,0001			
	tp	1,769		0,0883			
	Modelo		65,53	<0,0001		82,92	21,82

Los coeficientes de determinación, aunque muy altos (82,9 %), son menores a los de la serie 51 (prensado en seco); lo que implica una peor modelización.

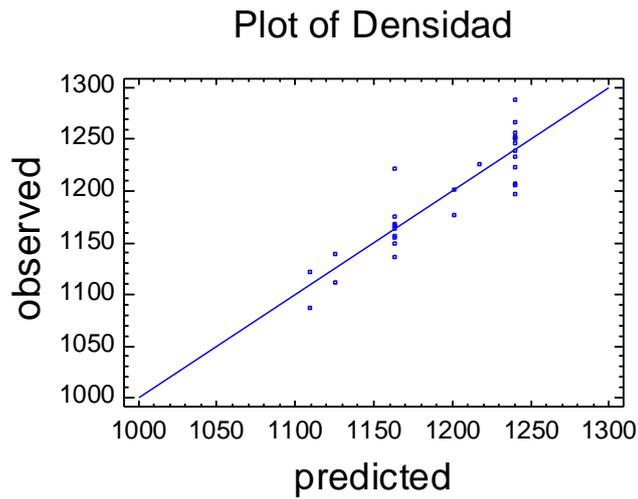
SERIE 52(a)

$$\text{Densidad} = 1087,14 + 7,62988 \cdot Pp$$



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-5: Serie 52(a). Densidad en función de la Pp



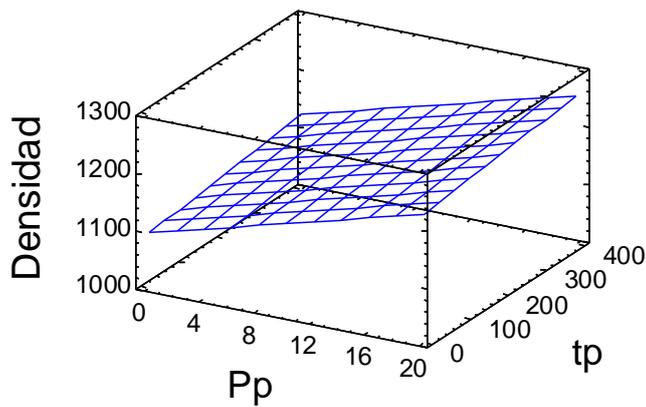
Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.2-6: Serie 52(a). Densidad. Valores predichos versus observados

SERIE 52(b)

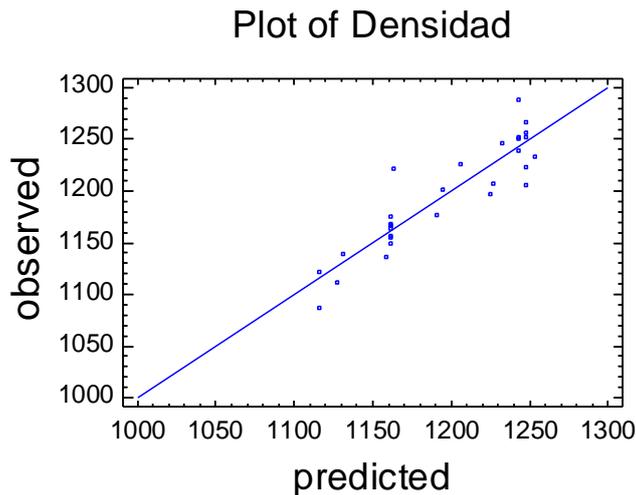
$$\text{Densidad} = 1095,11 + 6,33766 * Pp + 0,0867932 * tp$$

Estimated Response Surface



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-7: Serie 52(b). Densidad en función de la Pp y tp



Densidad en Kg/m³

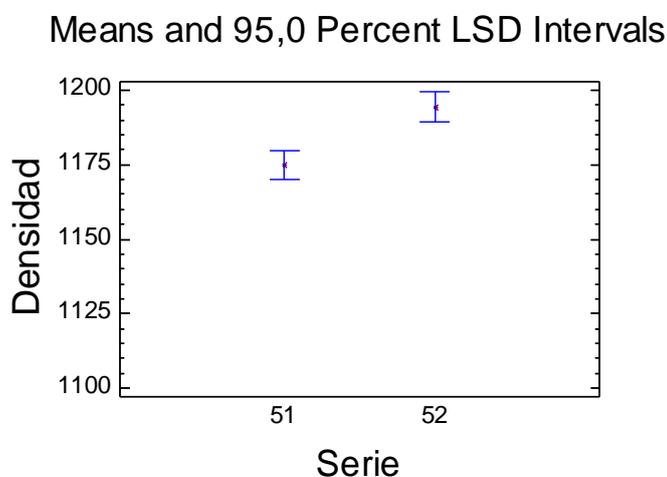
Figura 4.3.2-8: Serie 52(b). Densidad. Valores predichos versus observados

A partir de los valores de Pp y tp podemos obtener el valor de la densidad de los tableros, dentro del rango de densidades obtenido.

Densidad- SERIES 51-52 (prensado en frío seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	133,2	<0,0001	51	1174,96			
51+52			52	1194,32	51-52	*-19,36	9,88

Serie 51 prensado frío seco; Serie 52 prensado frío húmedo



Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.2-9: Series 51 y 52. Densidad. Separación de medias por LSD al 95 %

Con los valores obtenidos podemos concluir que, las diferencias de densidad entre el proceso seco y el proceso húmedo de prensado en frío, aunque estadísticamente

significativas por el método de LSD al 95 %, son de muy escaso valor (19,35 kg/m³ sobre 1174 kg/m³). Se obtienen mejores correlaciones en la modelización de los tableros obtenidos en proceso de prensado en frío seco (serie 51) que en húmedo (serie 52).

4.3.2.2.- MOE

MOE-SERIE 51

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
51	Coef. Determinac.(R2)	84,96	75,38	92,93

En la serie 51 se han alcanzado valores de 5514 Mpa; muy por encima de los requeridos a los tableros de uso estructural (3000 Mpa). La variable independiente de mayor peso es la presión de prensado, que por sí sola sería capaz de explicar casi el 85 % de la variabilidad del MOE en esta serie.

Realizamos el análisis de regresión para las mismas funciones que se hicieron para la Densidad.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$MOE = 1297,15 + 189,904 \cdot Pp$
51(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$MOE = 1675,88 + 127,05 \cdot Pp + 4,53048 \cdot tp$

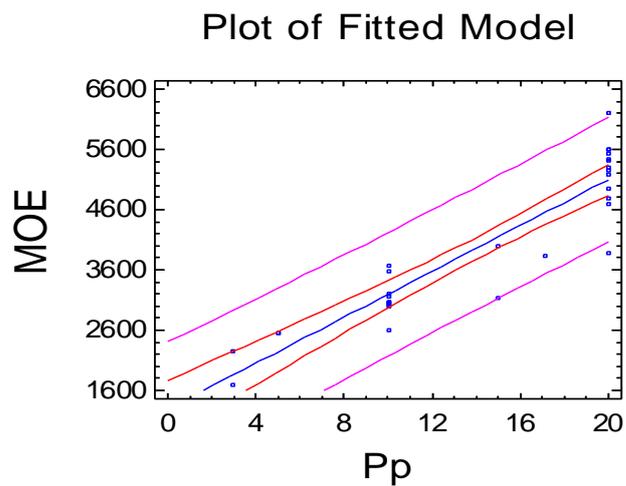
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	5,62		<0,0001			
	Pendiente	12,57		<0,0001			
	Modelo		158,11	<0,0001	0,9217	84,96	488,55
51(b)	Pp	8,18		<0,0001			
	tp	5,52		<0,0001			
	Modelo		177,31	<0,0001		92,93	341,18

La regresión lineal que incorpora las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) nos explica casi el 93 % de la variabilidad del MOE de la serie 51. Es clara la vinculación de las dos variables con el MOE (P-valor <0.0001 para los dos casos y el modelo).

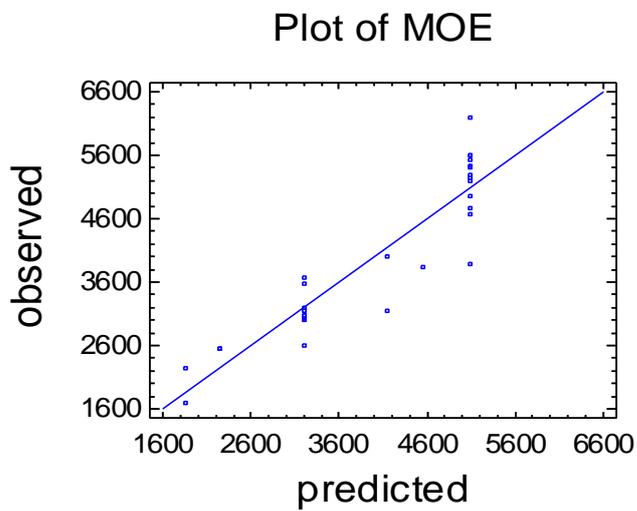
SERIE 51 (a)

$$\text{MOE} = 1297,15 + 189,904 * Pp$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-10: Serie 51(a). MOE en función de la Pp



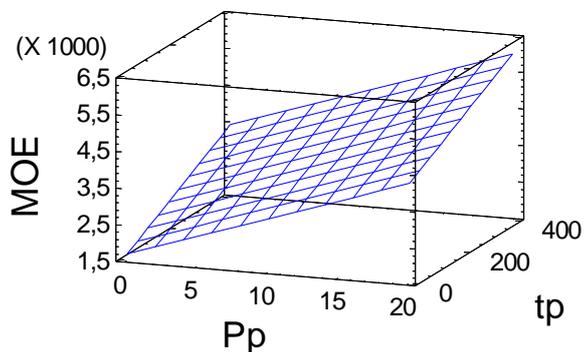
MOE en Mpa

Figura 4.3.2-11: Serie 51(a). MOE. Valores predichos versus observados

SERIE 51(b)

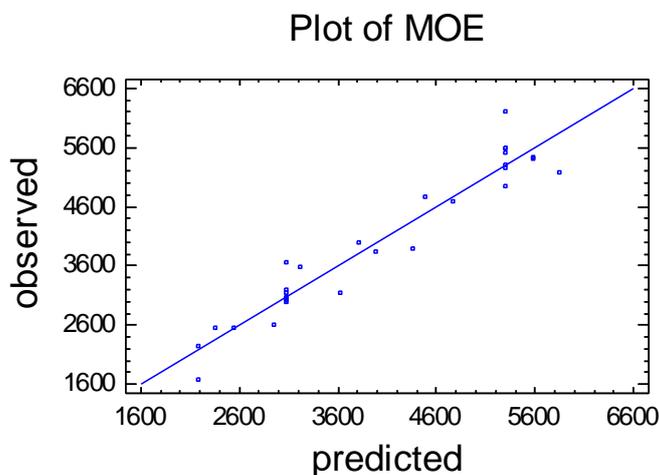
$$\text{MOE} = 1675,88 + 127,05 \cdot Pp + 4,53048 \cdot tp$$

Estimated Response Surface



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-12: Serie 51(b). MOE en función de la Pp y tp



MOE en Mpa

Figura 4.3.2-13: Serie 51(b). MOE. Valores predichos versus observados

Con el prensado en frío seco (serie 51) hemos alcanzado valores de MOE de 6199 Mpa, más del doble del requerido para tableros de uso estructural. Para un mismo material y proceso (serie 51), el MOE queda explicado ($R^2 = 92,9\%$) con una relación lineal de las dos variables utilizadas (Pp y tp). Al aumentar cualquiera de estas variables, aumenta el MOE.

MOE-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
	Coef. Determinac.(R2)	79,70	79,14	91,56

En el proceso de prensado en frío húmedo, las dos variables independientes quedan muy equilibradas en su explicación de la variabilidad del MOE en esta serie, aunque predomina la Pp al igual que en la Serie 51. Por separado, cada parámetro es capaz de explicar casi un 80 % de la variabilidad del MOE.

Los modelos de regresión considerados nos dan los siguientes resultados:

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$MOE = 1480,2 + 166,094 \cdot Pp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$MOE = 1908,64 + 96,6886 \cdot Pp + 4,66164 \cdot tp$

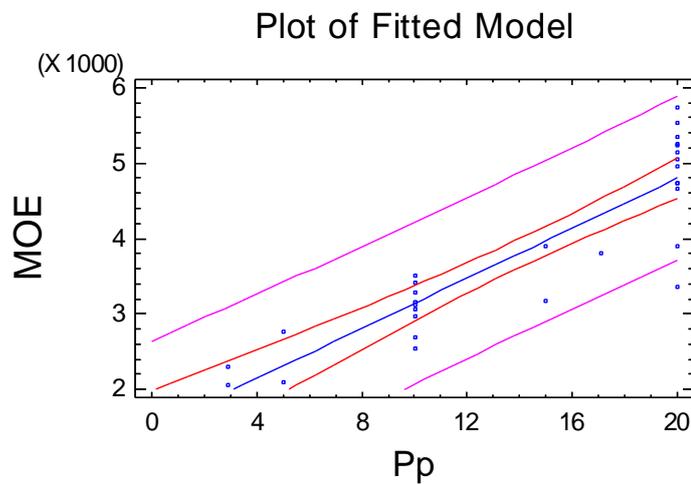
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	6,11		<0,0001			
	Pendiente	10,49		<0,0001			
	Modelo		109,93	<0,0001	0,8928	79,70	512,44
52 (b)	Pp	6,31		<0,0001			
	tp	6,16		0,0001			
	Modelo		146,51	<0,0001		91,56	336,42

La regresión lineal que incorpora las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) nos explica casi el 92 % de la variabilidad del MOE de la serie 52. Es clara la vinculación de las dos variables con el MOE (P-valor <0.0001 para las dos variables y el modelo).

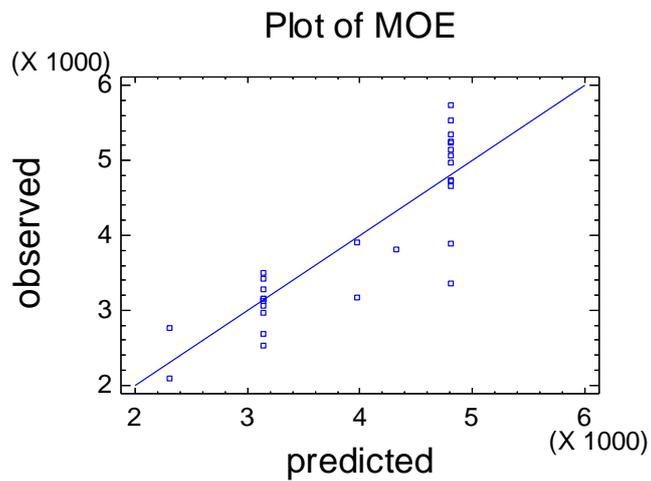
SERIE 52 (a)

$$\text{MOE} = 1480,2 + 166,094 * Pp$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-14: Serie 52(a). MOE en función de la Pp



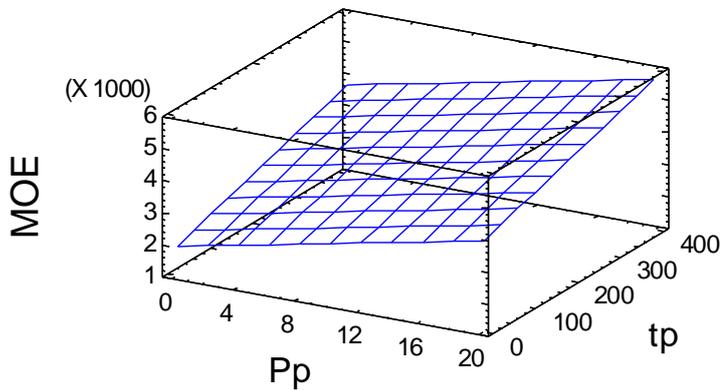
MOE en Mpa

Figura 4.3.2-15: Serie 52(a). MOE. Valores predichos versus observados

SERIE 52 (b)

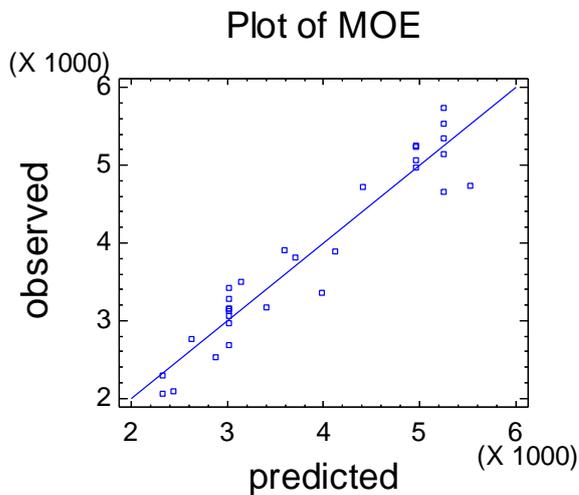
$$\text{MOE} = 1908,64 + 96,6886 \cdot Pp + 4,66164 \cdot tp$$

Estimated Response Surface



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-16: Serie 52(b). MOE en función de la Pp y tp



MOE en Mpa

Figura 4.3.2-17: Serie 52(b). MOE. Valores predichos versus observados

En la serie 52 se ha llegado a valores de MOE de 5740 Mpa. Estos valores están muy por encima de los requeridos a tableros de uso estructural. Los valores de MOE de esta serie se ajustan muy bien a las regresiones lineales propuestas ($R^2=91,6\%$). Al aumentar la Pp o el tp aumenta el MOE.

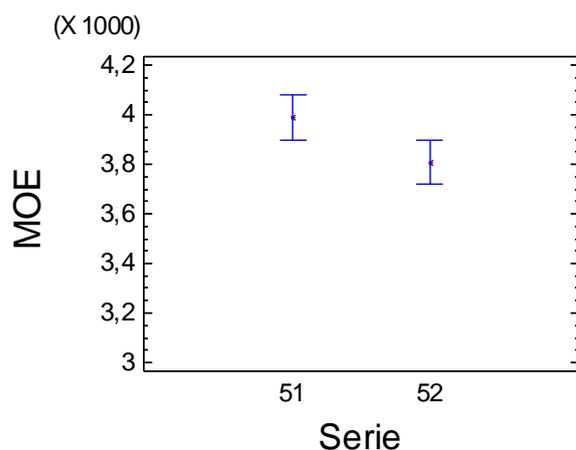
MOE- SERIES 51-52 (prensado en frío seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	209,60	<0,0001	51	3808,22			
51+52			52	3988,21	51-52	*179,99	178,02

Las diferencias entre las dos series, aunque significativas estadísticamente, son de escaso valor. Con niveles de exigencia ligeramente superiores (LSD 96 %) ya se considerarían iguales las dos medias.

Mediante el proceso de prensado en frío húmedo (serie 52), a pesar de obtener una ligera mayor densidad, hemos obtenido un MOE algo menor al proceso con prensado en frío en seco.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa

Figura 4.3.2-18: Series 51 y 52. MOE. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.2.3.- MOR

MOR-SERIE 51

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
51	Coef. Determinac.(R2)	73,61	80,24	88,96

En esta serie el tp ha tenido mayor repercusión sobre el MOR que la Pp. Esta es una diferencia con la Densidad y el MOE.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$MOR = 8,08106 + 1,327 \cdot Pp$
51(b)	Lineal(Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$MOR = 12,0262 + 0,672278 \cdot Pp + 0,0471926 \cdot tp$

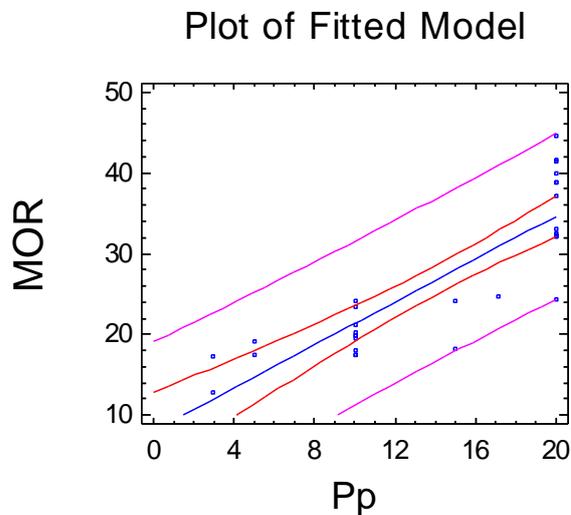
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	3,52		0,0015			
	Pendiente	8,84		<0,0001			
	Modelo		78,10	<0,0001	0,8580	73,61	4,86
51(b)	Pp	4,62		0,0001			
	tp	6,13		<0,0001			
	Modelo		108,74	<0,0001		88,96	3,20

La regresión lineal que incorpora las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) nos explica el 89 % de la variabilidad del MOR de la serie 51. Es clara la vinculación de las dos variables con el MOR (P-valor <0.0001 para los dos casos y el modelo).

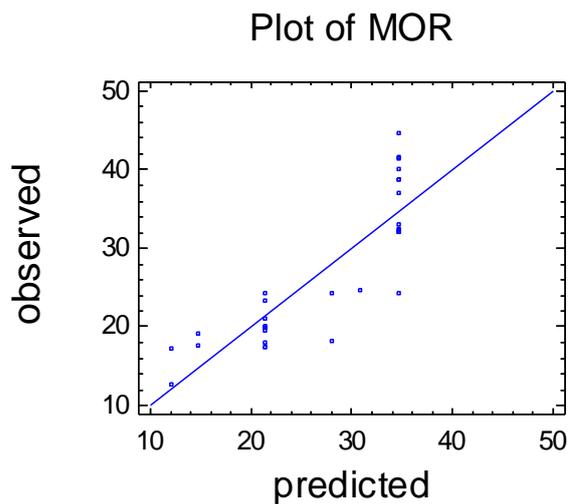
SERIE 51 (a)

$$\text{MOR} = 8,08106 + 1,327 * \text{Pp}$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa

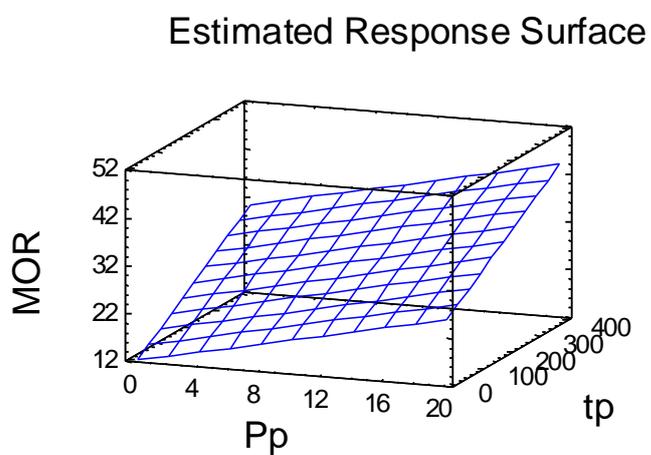
Figura 4.3.2-19: Serie 51(a). MOR en función de la Pp



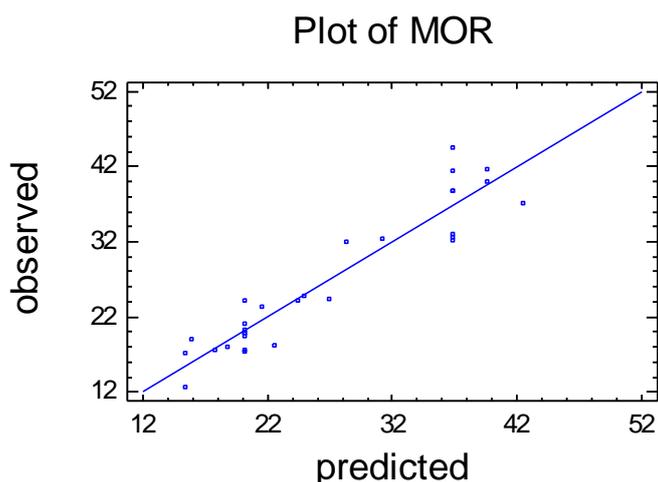
MOR en Mpa
Figura 4.3.2-20: Serie 51(a). MOR. Valores predichos versus observados

SERIE 51(b)

$$\text{MOR} = 12,0262 + 0,672278 * Pp + 0,0471926 * tp$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos
Figura 4.3.2-21: Serie 51(b). MOR en función de la Pp y tp



MOR en Mpa

Figura 4.3.2-22: Serie 51(b). MOR. Valores predichos versus observados

Con el prensado en frío seco (serie 51) hemos alcanzado valores de MOR de 44,6 Mpa, muy superiores al requerido para tableros de uso estructural. Para un mismo material y proceso (serie 51), el MOR queda explicado ($R^2 = 89\%$) con una relación lineal de las dos variables utilizadas (Pp y tp). Al aumentar cualquiera de ellos, aumenta el MOR.

MOR-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
52	Coef. Determinac.(R2)	68,64	79,74	86,20

El tiempo de prensado ofrece un mayor coeficiente de determinación que la Pp, al igual que en la serie 51 y a diferencia de lo ocurrido para el MOE y la densidad.

Los modelos de regresión considerados nos dan los siguientes resultados:

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$MOR = 10,3492 + 1,1308 \cdot Pp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$MOR = 14,1728 + 0,511406 \cdot Pp + 0,0416023 \cdot tp$

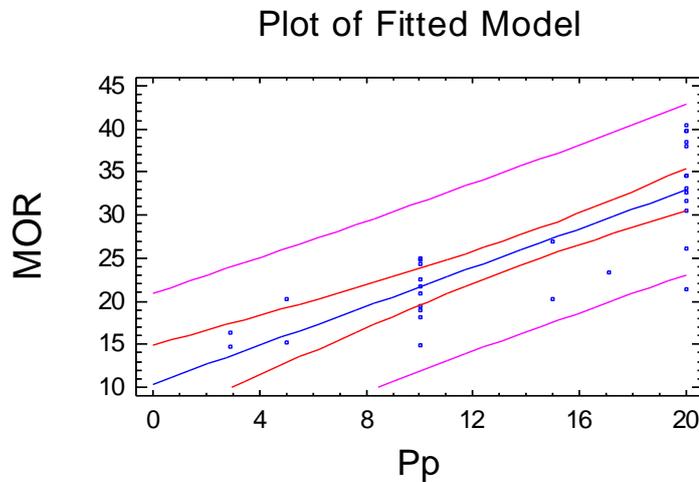
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	4,69		0,0001			
	Pendiente	7,83		<0,0001			
	Modelo		61,30	<0,0001	0,8285	68,64	4,67
52 (b)	Pp	3,56		0,0014			
	tp	5,86		<0,0001			
	Modelo		84,33	<0,0001		86,20	3,16

La regresión lineal que incorpora las dos variables de producción estudiadas (Pp y tp) nos explica el 86,2 % de la variabilidad del MOR de la serie 52. El P-valor tan bajo para las variables dependientes y el modelo, constatan la validez del modelo.

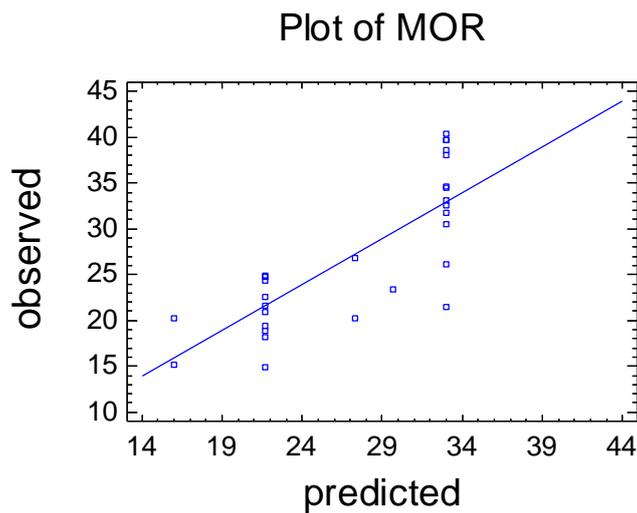
SERIE 52 (a)

$$\text{MOR} = 10,3492 + 1,1308 \cdot \text{Pp}$$



MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-23: Serie 52(a). MOR en función de la Pp



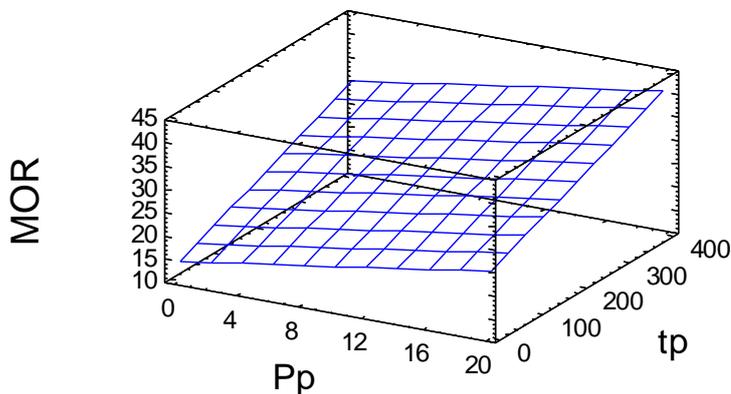
MOR en Mpa

Figura 4.3.2-24: Serie 52(a). MOR. Valores predichos versus observados

SERIE 52 (b)

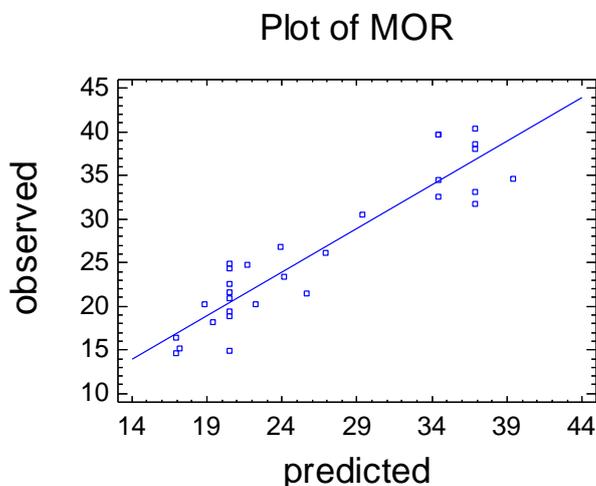
$$\text{MOR} = 14,1728 + 0,511406 * Pp + 0,0416023 * tp$$

Estimated Response Surface



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-25: Serie 52(b). MOR en función de la Pp y tp



MOR en Mpa

Figura 4.3.2-26: Serie 52(b). MOR. Valores predichos versus observados

Con el prensado en frío húmedo (serie 52) hemos alcanzado valores de MOR de 40,38 Mpa, superiores al requerido para tableros de uso estructural. Para un mismo material y proceso (serie 52), el MOR queda explicado ($R^2 = 86,2 \%$) con una relación lineal de las dos variables utilizadas (Pp y tp). Al aumentar cualquiera de ellos, aumenta el MOR.

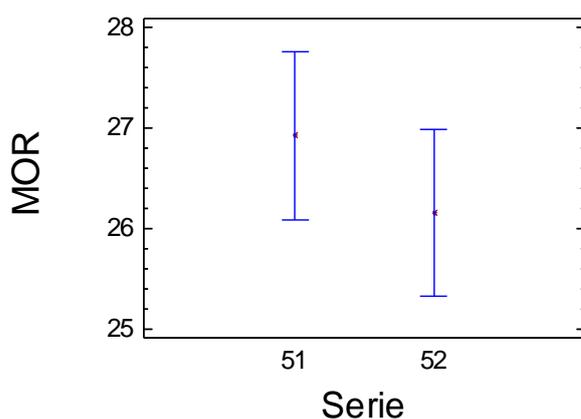
Se confirma una menor repercusión de la presión de prensado en la explicación de la variabilidad del MOR, respecto a lo ocurrido con el MOE y la densidad.

MOR- SERIES 51-52 (prensado en frío seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	125,10	<0,0001	51	26,92			
51+52			52	26,16	51-52	0,76	1,66

Podemos concluir que, entre el proceso de prensado en frío seco (serie 51) y el proceso de prensado en frío húmedo (serie 52), no existen diferencias significativas en cuanto al MOR obtenido.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa

Figura 4.3.2-27: Series 51 y 52. MOR. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.2.4.- IB

IB-SERIE 51

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
	Coef. Determinac.(R2)	77,44	72,20	86,45

El análisis establece una ligera preponderancia de la Pp sobre el tp, en la explicación de la variabilidad del IB, al igual que ocurre en la densidad y el MOE.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac. Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$IB = 0,458483 + 0,140239 \cdot Pp$
51(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + x \cdot Z$	$IB = 0,769937 + 0,0885509 \cdot Pp + 0,0037257 \cdot tp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

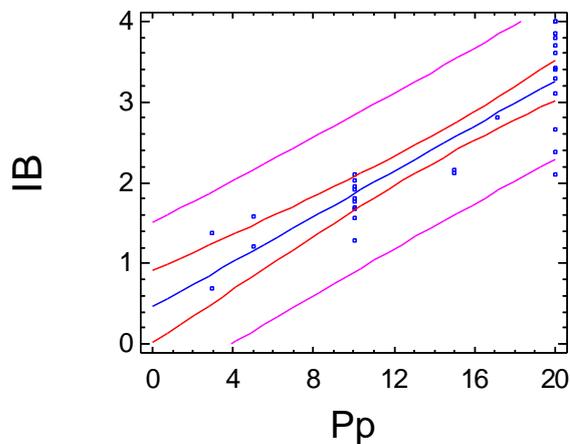
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	2,10		0,0452			
	Pendiente	9,80		<0,0001			
	Modelo		96,11	<0,0001	0,8800	77,44	0,46
51(b)	Pp	5,33		<0,0001			
	tp	4,24		0,0002			
	Modelo		86,11	<0,0001		86,45	0,37

En este caso, la regresión lineal que considera las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) explica el 86,5 % de la variabilidad del IB de esta serie. Es clara la vinculación de las dos variables con el MOR atendiendo a los P-Valor obtenidos para las variables independientes y el modelo.

SERIE 51(a)

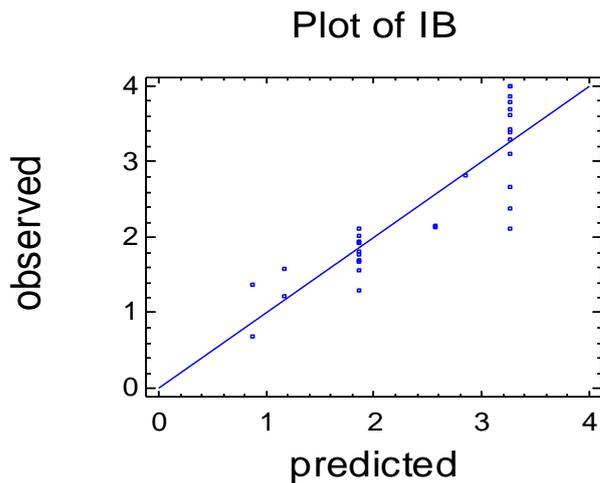
$$IB = 0,458483 + 0,140239 * Pp$$

Plot of Fitted Model



MOR en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-28: Serie 51(a). IB en función de la Pp



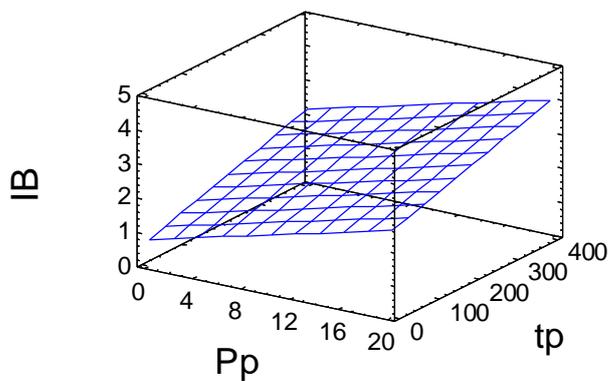
MOR en Mpa

Figura 4.3.2-29: Serie 51(a). IB. Valores predichos versus observados

SERIE 51(b)

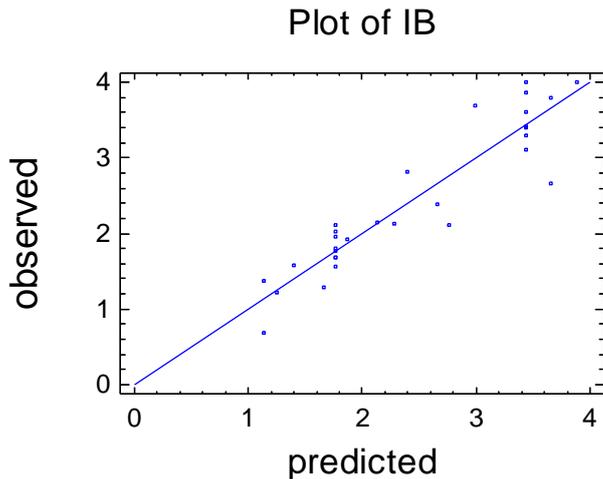
$$IB = 0,769937 + 0,0885509 * Pp + 0,0037257 * tp$$

Estimated Response Surface



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-30: Serie 51(b). IB en función de la Pp y tp



IB en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-31: Serie 51(b). IB. Valores predichos versus observados

Con el proceso de prensado en frío seco hemos conseguido $IB > 4$ Mpa, valor muy superior a los requeridos para los tableros de uso estructural (0,7 Mpa). Se demuestra que al aumentar la Pp y el tp aumenta el IB.

IB-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
	Coef. Determinac.(R2)	69,30	45,67	70,19

Mantiene la pauta de una mayor preponderancia de la Pp que del tp en la explicación de la variabilidad del IB, tal como ocurre en la serie 51.

También se mantiene la pauta (respecto a la densidad, MOE y MOR) de peores coeficientes de determinación en la serie 52, que en la serie 51, siendo más evidente en el IB. Aquí se comienza a apreciar que la modelización del proceso seco representa mejor la realidad.

Los modelos de regresión considerados nos dan los siguientes resultados:

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$IB = 0,578017 + 0,122504 \cdot Pp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$IB = 0,67113 + 0,107421 \cdot Pp + 0,00101311 \cdot tp$

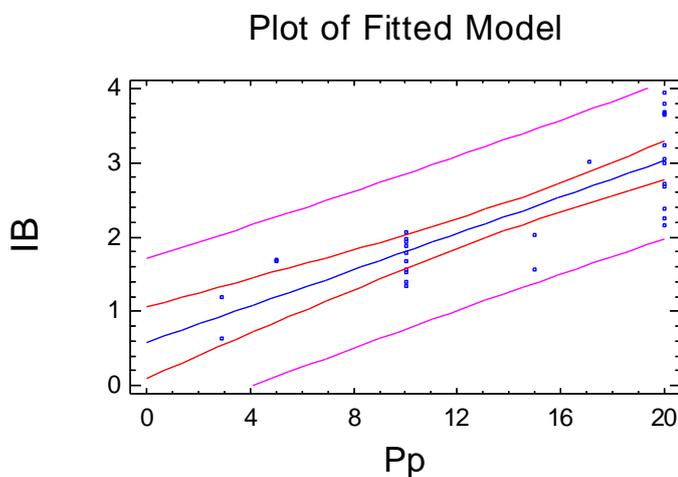
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	2,45		0,0206			
	Pendiente	7,95		<0,0001			
	Modelo		63,20	<0,0001	0,8325	69,30	0,50
52(b)	Pp	4,71		0,0001			
	tp	0,90		0,037			
	Modelo		31,79	<0,0001		70,19	0,50

En este caso, la regresión lineal que considera las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) explica el 70,2 % de la variabilidad del IB de esta serie. Es clara la vinculación de las dos variables con el IB atendiendo a los P-Valor obtenidos para las variables independientes y el modelo; a pesar de que la repercusión sobre el R2 de considerar o no el tp es mínima. También constatamos una mayor dificultad de modelizar el IB si lo comparáramos con las características estudiadas anteriormente (densidad, MOE y MOR).

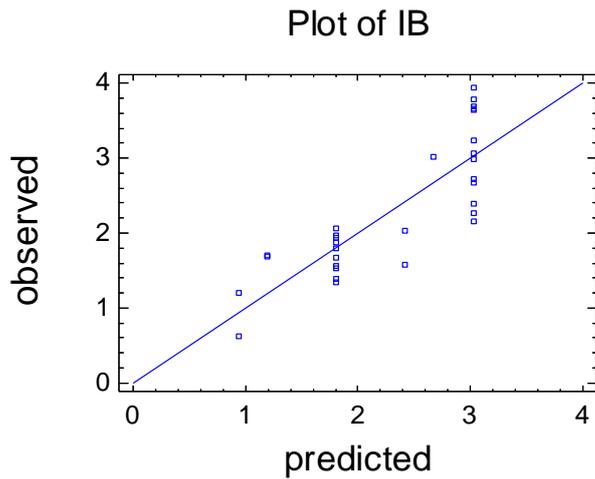
SERIE 52 (a)

$$IB = 0,578017 + 0,122504 * Pp$$



IB en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-32: Serie 52(a). IB en función de la Pp



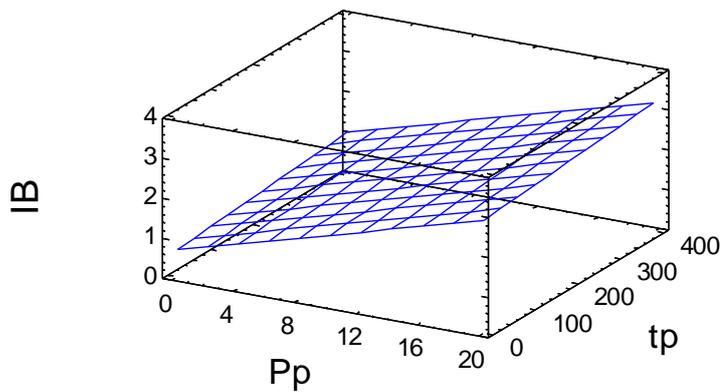
IB en Mpa

Figura 4.3.2-33: Serie 52(a). IB. Valores predichos versus observados

SERIE 52 (b)

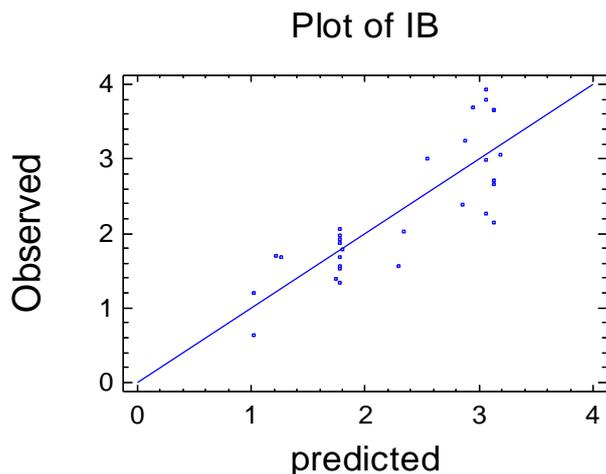
$$IB = 0,67113 + 0,107421 * Pp + 0,00101311 * tp$$

Estimated Response Surface



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-34: Serie 52(b). IB en función de la Pp y tp



IB en Mpa

Figura 4.3.2-35: Serie 52(b). IB. Valores predichos versus observados

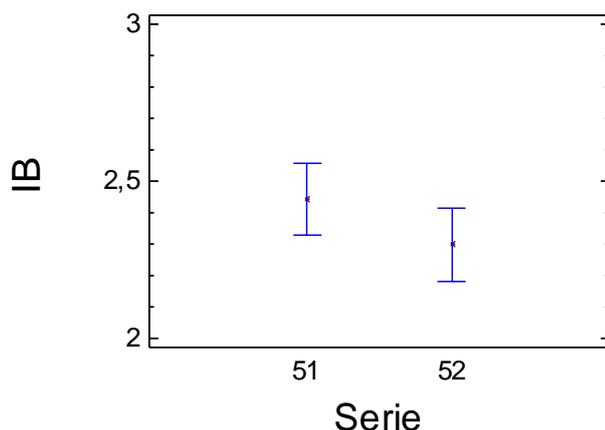
Con el prensado en frío húmedo (serie 52) hemos alcanzado valores de IB de 3,94 Mpa, muy similar al valor de la serie 51 y superiores al requerido para tableros de uso estructural. Para un mismo material y proceso (serie 52), el IB queda explicado con una relación lineal de las dos variables utilizadas (Pp y tp). Tanto al aumentar la Pp como el tp aumenta el IB.

IB- SERIES 51-52 (prensado seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie 51+52	63,50	<0,0001	51	2,44			
			52	2,30	51-52	0,14	0,23

Podemos concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de IB obtenidos mediante los dos procesos de producción comparados en este caso. También se debe manifestar que, en el IB, se mantiene la tendencia de menor valor de la media de la serie 52 respecto a la media de la serie 51, al igual que ha ocurrido con el MOE y MOR.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa

Figura 4.3.2-36: Series 51 y 52. IB. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.2.5.- TS

TS-SERIE 51

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variabes Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
	Coef. Determinac.(R2)	74,31	67,30	81,95

Tiene una mayor preponderancia la Pp que el tp en la explicación de la variabilidad del TS.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$TS = 12,4245 - 0,355102 \cdot Pp$
51(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$TS = 11,6835 - 0,23213 \cdot Pp - 0,00886382 \cdot tp$

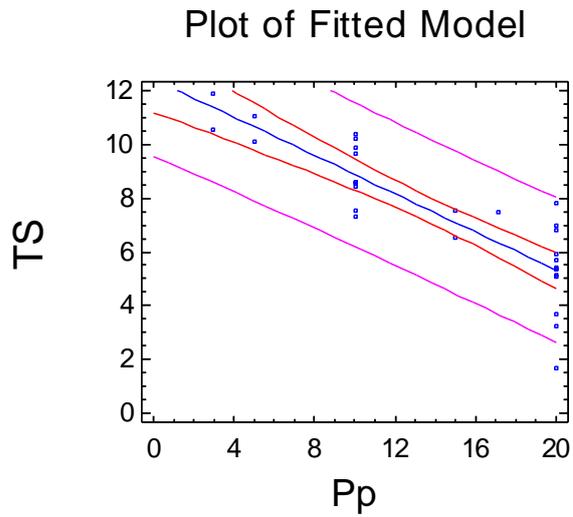
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	20,60		<0,0001			
	Pendiente	-9,00		<0,0001			
	Modelo		81,01	<0,0001	-0,8621	74,31	1,28
51(b)	Pp	-4,68		0,0001			
	tp	-3,38		0,0022			
	Modelo		61,28	<0,0001		81,95	1,09

La regresión con solo la Pp explica un 74 % de la variabilidad y la regresión que incorpora las dos variables (Pp y tp) consigue un coeficiente de determinación del 82 %.

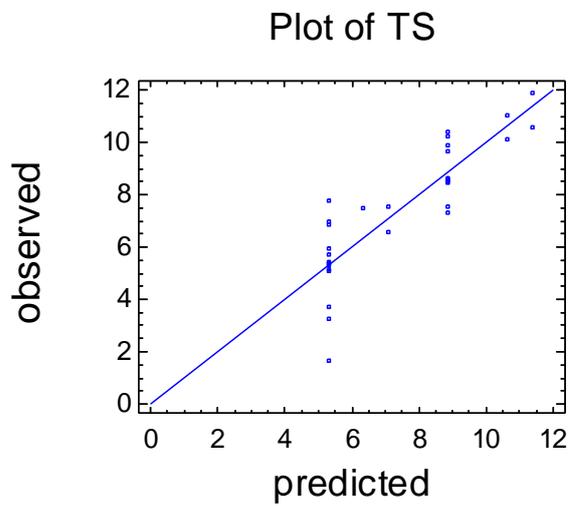
SERIE 51 (a)

$$TS = 12,4245 - 0,355102 * Pp$$



TS en %; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-37: Serie 51(a). TS en función de la Pp

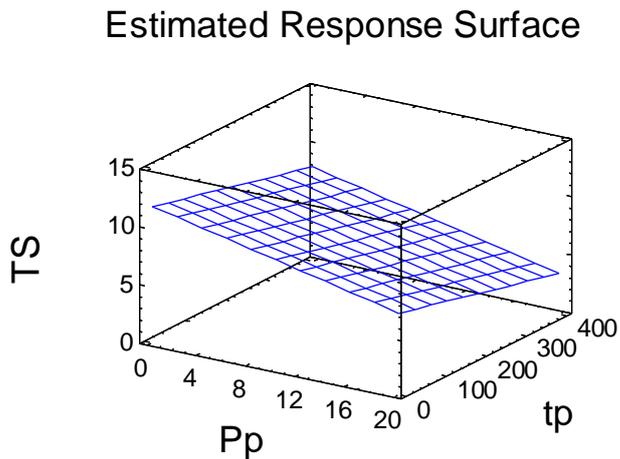


TS en %

Figura 4.3.2-38: Serie 51(a). TS. Valores predichos versus observados

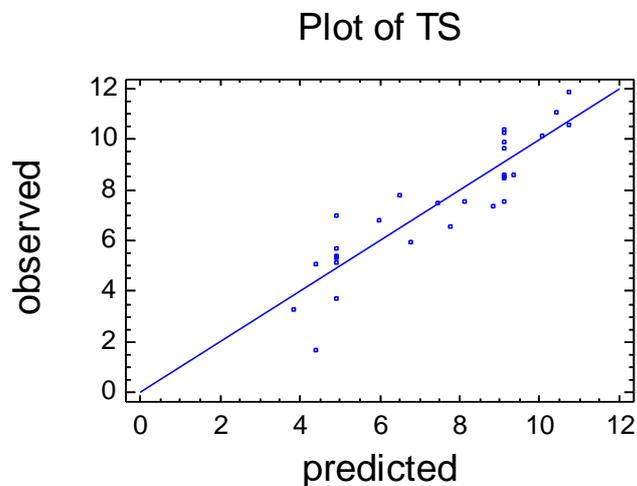
SERIE 51(b)

$$TS = 11,6835 - 0,23213 * Pp - 0,00886382 * tp$$



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-39: Serie 51(b). TS en función de la Pp y tp



TS en %

Figura 4.3.2-40: Serie 51(b). TS. Valores predichos versus observados

Con el prensado en frío seco (serie 51) hemos alcanzado valores de TS del 1,7 %, muy lejos del 35 % admitido para este parámetro por las normas EN para tableros de uso estructural.

Queda demostrada la relación entre la Pp y el tp con el hinchamiento de los tableros (TS). Tanto al aumentar la Pp como el tp, disminuye el hinchamiento.

TS-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
52	Coef. Determinac.(R2)	45,22	58,09	60,83

En este caso el tp supera a la Pp en coeficiente de determinación respecto al hinchamiento.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (tp)	$Y = a + b \cdot X$	$TS = 9,41685 - 0,0126371 \cdot tp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$TS = 10,2232 - 0,0821111 \cdot Pp - 0,0096599 \cdot tp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	27,62		<0,0001			
	Pendiente	-6,23		<0,0001			
	Modelo		38,80	<0,0001	-0,7621	58,09	1,33
52(b)	Pp	-1,38		0,18			
	tp	-3,28		0,0029			
	Modelo		20,97	<0,0001		60,83	1,31

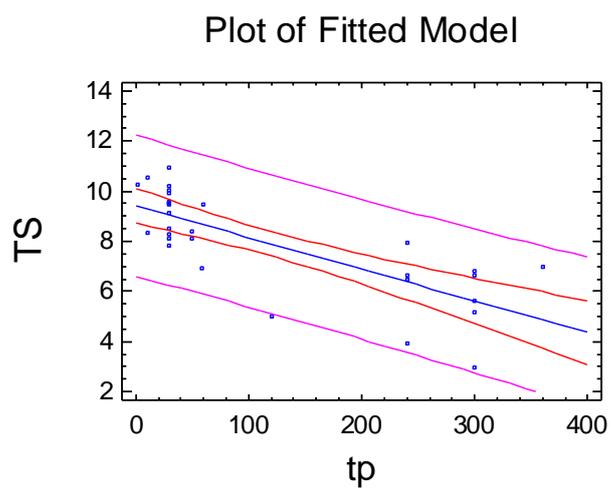
En este caso, la regresión lineal que considera las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) explica el 61 % de la variabilidad del TS de esta serie.

La vinculación de las dos variables con el TS, atendiendo a los P-Valor obtenidos para las variables independientes y el modelo, es clara para el tp pero dudosa para la Pp. En este caso la regresión más acertada, corresponde a la regresión lineal simple considerando solo el tp como variable independiente.

En este caso también se constata la peor modelización de los resultados del proceso húmedo, respecto a los del proceso seco, que presentan muy altos coeficientes de determinación.

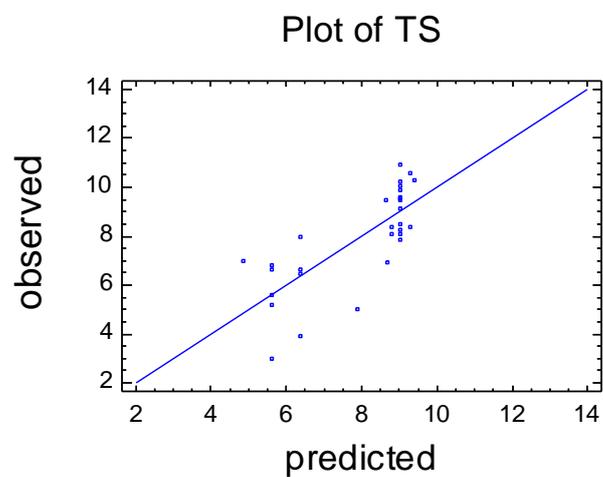
SERIE 52(a)

$$TS = 9,41685 - 0,0126371 * tp$$



TS en %; tp en segundos

Figura 4.3.2-41: Serie 52(a). TS en función del tp



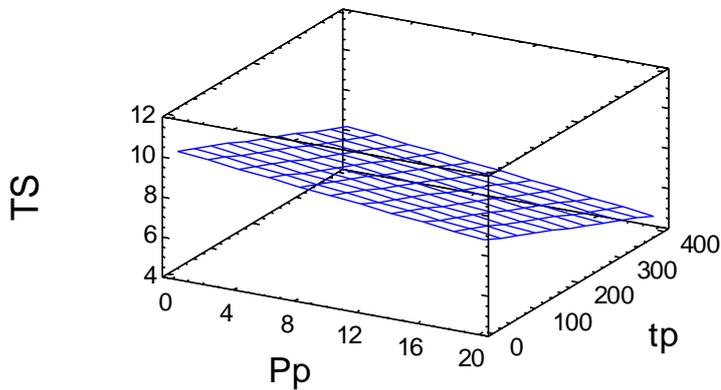
TS en %

Figura 4.3.2-42: Serie 52(a). TS. Valores predichos versus observados

SERIE 52(b)

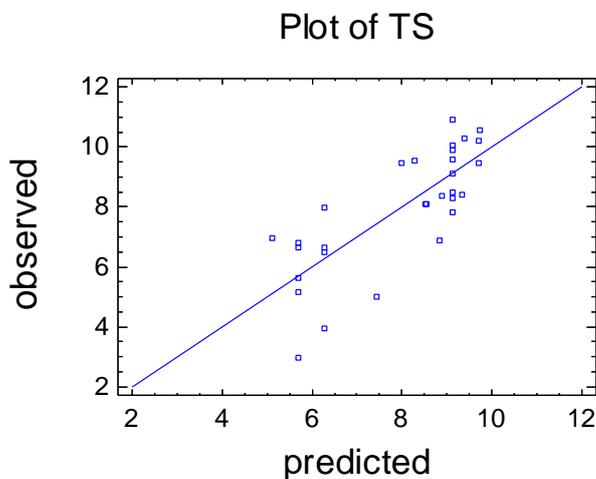
$$TS = 10,2232 - 0,0821111 * Pp - 0,0096599 * tp$$

Estimated Response Surface



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-43: Serie 52(b). TS en función de la Pp y tp



TS en %

Figura 4.3.2-44: Serie 52(b). TS. Valores predichos versus observados

En esta serie, el mejor valor obtenido para TS es del 2,97 %, muy lejos del 35 % admitido para este parámetro por las normas EN para tableros de uso estructural. A mayor tiempo de prensado y presión de prensado, nos ofrece un menor hinchamiento. Son las mismas conclusiones que la serie 51, pero aquí son menos evidentes; como ocurre con el resto de parámetros estudiados.

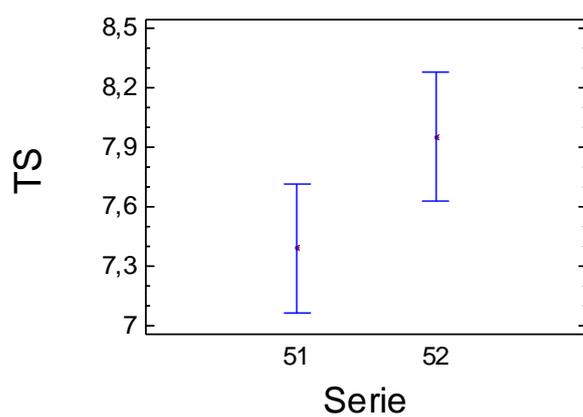
Como con el resto de parámetros, el prensado frío en húmedo aumenta la dispersión de resultado y empeora la correlación de las variables.

TS- SERIES 51-52 (prensado en frío seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	44,57	<0,0001	51	7,39			
51+52			52	7,95	51-52	-0,56	0,65

Como en las anteriores características, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos series. También se mantiene el criterio de mejor tendencia para el proceso de prensado en frío seco, respecto al húmedo.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %

Figura 4.3.2-45: Series 51 y 52. TS. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.2.6.- WA

WA SERIE 51

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
51	Coef. Determinac.(R2)	83,00	67,20	87,95

El análisis establece la preponderancia de la Pp sobre el tp en la explicación de la variabilidad del WA.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$WA = 13,5099 - 0,326953 \cdot Pp$
51(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$WA = 12,9901 - 0,24068 \cdot Pp - 0,00621856 \cdot tp$

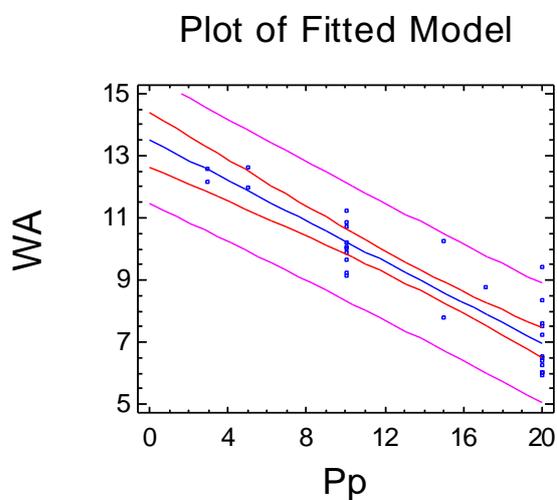
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51(a)	Ordenada	31,61		<0,0001			
	Pendiente	-11,69		<0,0001			
	Modelo		136,72	<0,0001	-0,9111	83,00	0,91
51(b)	Pp	-6,82		<0,0001			
	tp	-3,33		0,0025			
	Modelo		98,54	<0,0001		87,95	0,78

La regresión lineal que incluye las dos variables de producción valoradas (Pp y tp) explica el 88 % de la variabilidad del WA de esta serie. Es clara la vinculación de las dos variables con la WA atendiendo a los P-Valor obtenidos para las variables independientes y el modelo.

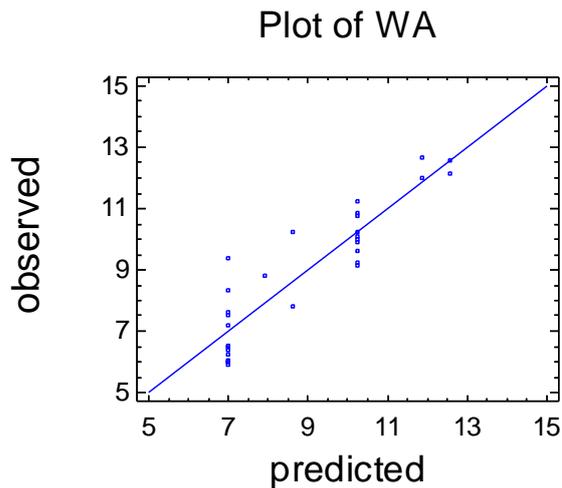
SERIE 51(a)

$$WA = 13,5099 - 0,326953 * Pp$$



WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-46: Serie 51(a). WA en función de la Pp

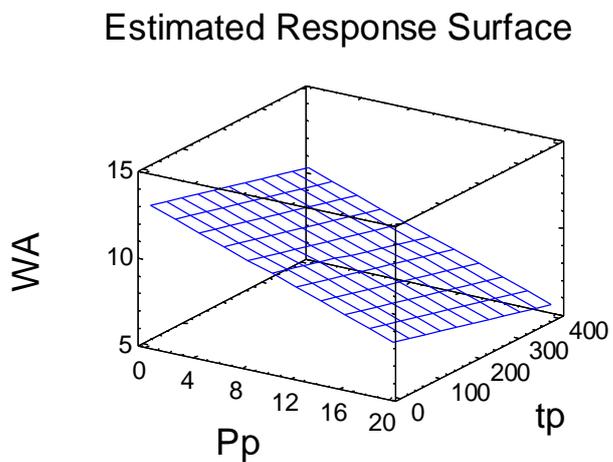


WA en %

Figura 4.3.2-47: Serie 51(a). WA. Valores predichos versus observados

SERIE 51(b)

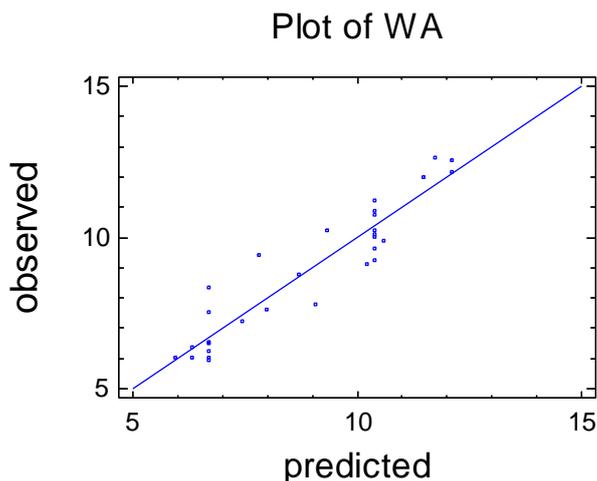
$$WA = 12,9901 - 0,24068 * Pp - 0,00621856 * tp$$



WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-48: Serie 51(b). WA en función de la Pp y tp

Las regresiones presentadas demuestran que al aumentar la Pp o el tp disminuye el WA.



WA en %

Figura 4.3.2-49: Serie 51(b). WA. Valores predichos versus observados

WA-SERIE 52

Selección de Modelo de Regresión				
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	AB
52	Coef. Determinac.(R2)	56,26	44,67	59,25

También en este caso la Pp tiene una mayor repercusión en la explicación de la variabilidad de los valores del WA.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
52(a)	Lineal (Pp)	$Y = a + b \cdot X$	$WA = 9,93814 - 0,198468 \cdot Pp$
52(b)	Lineal (Pp,tp)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$	$WA = 9,63223 - 0,148914 \cdot Pp - 0,00332835 \cdot tp$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
52(a)	Ordenada	19,66		<0,0001			
	Pendiente	-6,00		<0,0001			
	Modelo		36,01	<0,0001	-0,7500	56,26	1,07
52(b)	Pp	-3,11		0,0044			
	tp	-1,41		<0,1707			
	Modelo		19,63	<0,0001		59,25	1,05

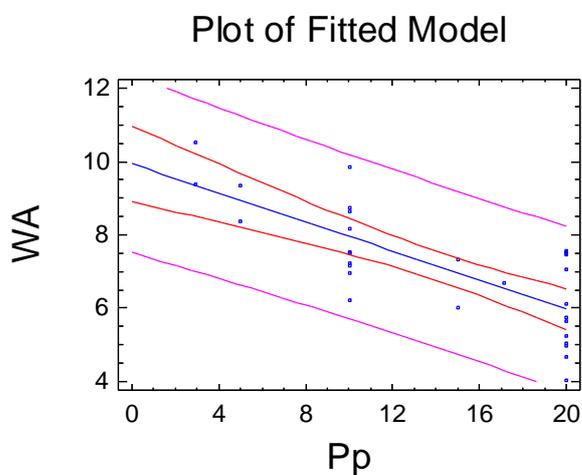
La regresión lineal, incorporando las dos variables independientes estudiadas, nos explica un 59 % de la variabilidad de los valores del WA.

La vinculación de las dos variables con el TS atendiendo a los P-Valor obtenidos para las variables independientes y el modelo, es clara para la Pp pero dudosa para el tp. En este caso la regresión más acertada, aunque con menor R2, corresponde a la regresión lineal simple considerando solo la Pp como variable independiente.

Con la WA también se constata la peor modelización de los resultados del proceso húmedo (serie 52), respecto a los del proceso seco (serie 51), que presenta coeficientes de determinación mucho más elevados.

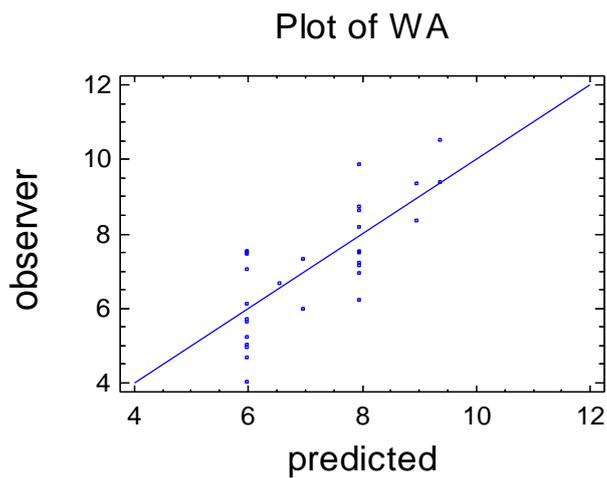
SERIE 52 (a)

$$WA = 9,93814 - 0,198468 * Pp$$



WA en %; Pp en Mpa

Figura 4.3.2-50: Serie 52(a). WA en función de la Pp



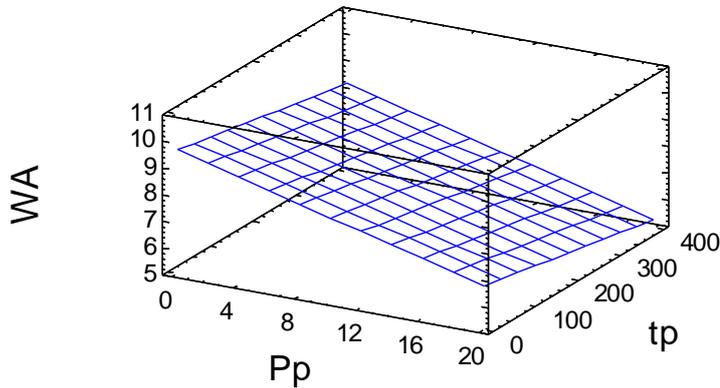
WA en %

Figura 4.3.2-51: Serie 52(a). WA. Valores predichos versus observados

SERIE 52 (b)

$$WA = 9,63223 - 0,148914 * Pp - 0,00332835 * tp$$

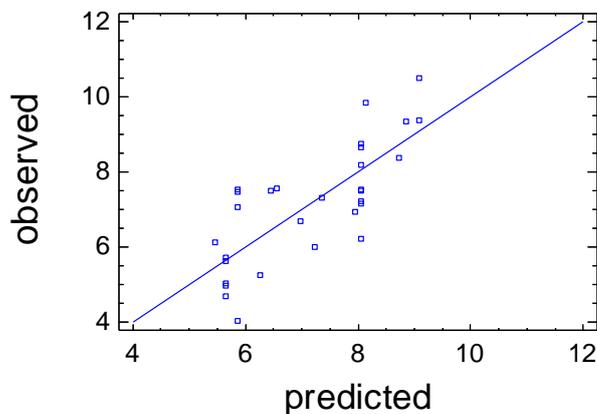
Estimated Response Surface



WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos

Figura 4.3.2-52: Serie 52(b). WA en función de la Pp y tp

Plot of WA



WA en %

Figura 4.3.2-53: Serie 52(b). WA. Valores predichos versus observados

Los mejores valores de WA obtenidos son de un 4,04 %. A mayor tiempo Pp y tp, nos ofrece un menor WA. Son las mismas conclusiones que la serie 51, pero aquí son menos evidentes; como ocurre con el resto de parámetros estudiados.

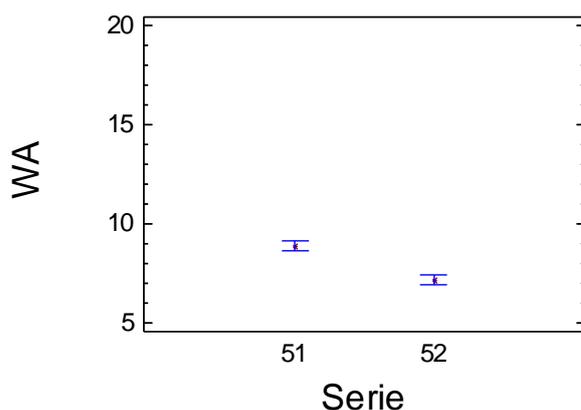
Como con el resto de parámetros, el prensado frío en húmedo aumenta la dispersión de resultado y empeora la correlación de las variables.

WA- SERIES 51-52 (prensado en frío seco y húmedo)

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Serie	65,96	<0,0001	51	8,88			
51+52			52	7,15	51-52	*1,73	0,52

Aparecen diferencias estadísticamente significativas, pero de muy escaso valor. Éste es el único caso en que la serie 52 muestra una ligera mejora respecto a la serie 51 en cuanto a media, pero con una mayor dispersión de valores.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %

Figura 4.3.2-54: Series 51 y 52. WA. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.2.7.-Conclusiones a la comparación entre el proceso seco y húmedo de prensado en frío

Con los dos procesos obtenemos valores y altos de todas las características estudiadas, tanto respecto a lo exigido por las norma EN para tableros de uso estructural, como a los valores obtenidos por otros autores con este mismo material sin aporte de adhesivos sintéticos.

La modelización de los resultados del proceso, a partir de los parámetros de producción, ha sido mejor en la serie 51 que en la 52 para todos los casos y todos los parámetros. Por lo que no deja lugar a dudas que el proceso con prensado en frío seco es más predecible que el proceso de prensado en frío húmedo.

Los valores óptimos obtenidos en las dos series son muy similares. En cuanto a las medias, se ha mantenido una tendencia de mejores valores de la serie 51, con diferencias significativas para la densidad y MOE y sin diferencias significativas para el IB y TS. Únicamente en el caso del WA la Serie 52 supera a la 51.

Con el proceso seco, teniendo en cuenta que se consiguen modelos más ajustados, podemos conseguir tableros con valores más predecibles de sus características físicas y mecánicas, que en el caso de proceso con prensado en frío seco. Si pretendemos obtener tableros con características físicas y mecánicas definidas “a

priori”, ajustando los valores de los parámetros de fabricación, obtendremos tableros más uniformes y más ajustados a nuestros requerimientos con un proceso de prensado en frío seco que con un proceso de prensado en frío en húmedo.

En la serie 51 también hemos estudiado la relación entre la densidad y el resto de características de los tableros. Se confirma que la densidad tiene una relación muy alta con todas las características (a mayor densidad tenemos mayores MOE, MOR e IB; y menores TS y WA). También se confirma que la modelización es mejor cuando se consideran los factores de producción y no la densidad.

4.3.3.- Producción de tableros con baja severidad y con proceso seco de prensado en frío (serie 61). Efecto de la Tpr y de la severidad (comparación de las series 51 y 61)

4.3.3.1.- Densidad

Densidad-SERIE 61

En la serie 61, además de Pp y tp, se tiene la variable temperatura de prensado (Tpr).

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tp)	AB	AC	BC	ABC
61	Coef.Determinac.(R2)	36,29	31,43	22,78	42,19	85,84	71,33	94,20

Se mantiene el mismo orden de preponderancia de las variables que en el caso de las series 51 y 52; es decir, la presión de prensado es la variable con mayor efecto sobre la densidad, seguido del tiempo de prensado. Aunque es la combinación Pp con Tpr la que da mayor coeficiente de determinación.

Análisis de Regresión

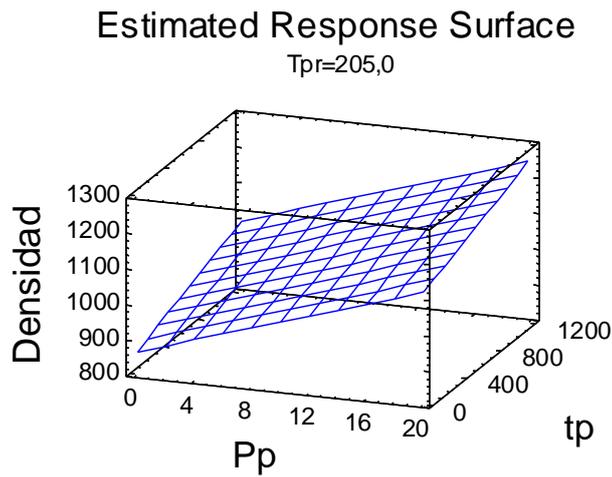
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W$	Densidad = $265,372 + 12,4734*Pp + 0,114425*tp + 2,92201*Tpr$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

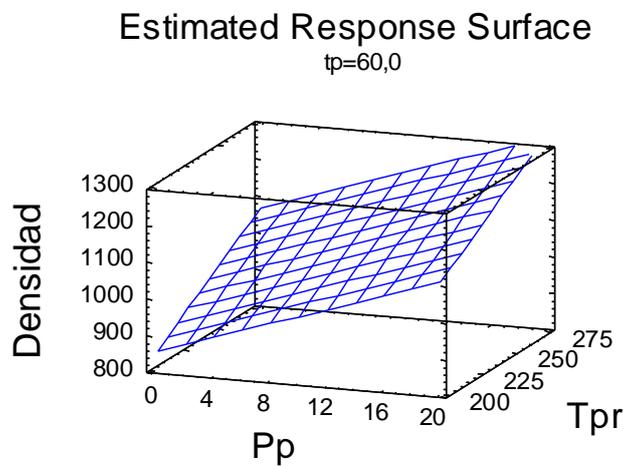
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	11,23		<0,0001			
	tp	6,79		<0,0001			
	Tpr	16,94		<0,0001			
	Modelo		173,17	<0,0001		94,20	25,36

Con la incorporación de las tres variables de producción estudiadas en la regresión lineal, se explica un 94,2 % de la variabilidad de los valores de la densidad de los tableros de esta serie. Como en la mayor parte de los casos anteriores, es de destacar la alta significación de la intervención de todas las variables de producción consideradas; tal como indica la probabilidad de cumplimiento de la hipótesis nula (P-valor < 0,0001).

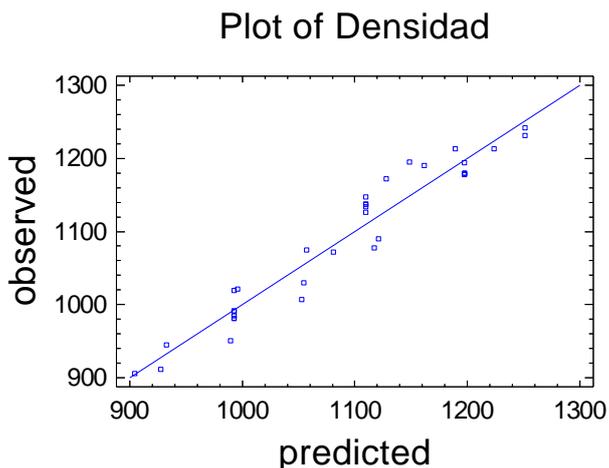
$$\text{Densidad} = 265,372 + 12,4734 * Pp + 0,114425 * tp + 2,92201 * Tpr$$



Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C
Figura 4.3.3-1: Serie 61. Densidad en función de la Pp y tp



Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C
Figura 4.3.3-2: Serie 61. Densidad en función de la Pp y Tpr



Densidad en Kg/m3

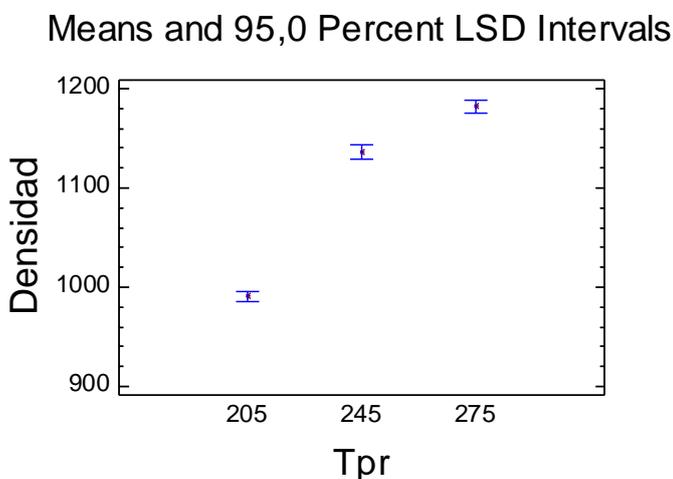
Figura 4.3.3-3: Serie 61. Densidad. Valores predichos versus observados

Se confirma también en este caso que, al aumentar cualquiera de las variables consideradas, aumenta la densidad.

Si tomamos solo los tableros de la serie 61 con de Pp y tp iguales, diferenciándose solo en la Tpr, obtenemos los siguientes resultados.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	652,1	<0,0001	205	990,84	205 - 245	*-145,37	12,17
			245	1136,22	205 - 275	*-190,95	12,17
			275	1181,79	245 - 275	*-45,57	13,50

Observamos que se presentan diferencias significativas entre los tres niveles de Tpr aplicados a los tableros. En esta serie 61 se demuestra claramente cómo al aumentar la Tpr aumenta la densidad de los tableros.



Densidad en kg/m3; Tpr en °C

Figura 4.3.3-4: Serie 61. Densidad por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

Esta serie 61, con un pretratamiento de severidad inferior, permite unas condiciones de prensado en caliente de más intensidad (que las series 5) hasta llegar al límite tecnológico. La relación entre los tres factores considerados y la densidad es extraordinariamente elevada (P-Value < 0,0001) en todos los factores y el modelo. Además el modelo lineal es capaz de explicar el 94,3 % de la variabilidad de la densidad.

Queda claro que al aumentar la presión de prensado, temperatura de prensado o el tiempo de prensado, la densidad aumenta linealmente.

Densidad-SERIES 51-61

La comparación entre las series 51 y 61 sirve para determinar nítidamente el efecto de la severidad en el pretratamiento, puesto que el proceso de producción de los tableros es idéntico excepto en dicha severidad.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp, Tpr)	200,0	<0,0001	51	1194,55			
			61	1068,35	51-61	*-126,20	14,11

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

Para las mismas condiciones de producción, vemos que en la serie 51 se consiguen mayores densidades. Al tener un pretratamiento con una mayor severidad, a igualdad de los otros factores de producción, nos da una mayor densidad.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variabes Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tp)	D(Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	41,29	22,34	2,96	23,02	57,10	83,38	92,92

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Considerando las dos series como una sola, con un factor de producción más, que es la severidad en el pretratamiento; comprobamos que el factor con más peso en la explicación de la variabilidad de la densidad es la Pp, al igual que en todas las series tratadas de forma individual.

El segundo factor con más peso en la densidad es la severidad, el tercero la Tpr y por último el tp.

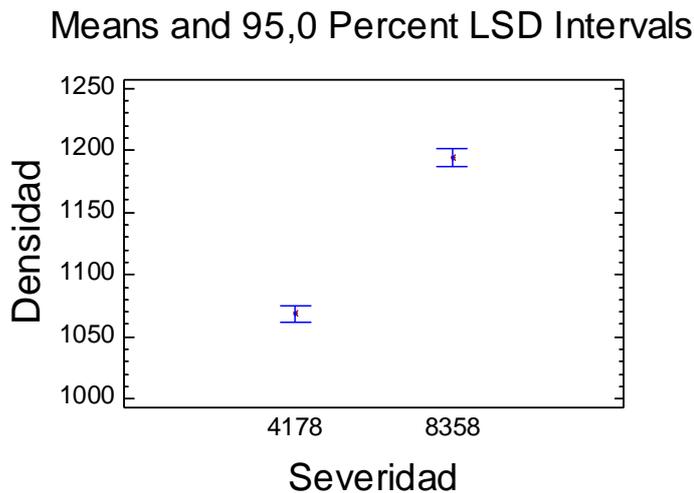
Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W + e*Q$	Densidad = 218,982 + 8,53477*Pp + 0,141846*tp + 2,76607*Tpr + 0,0301906*Severidad

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	11,99		<0,0001			
	tp	9,06		<0,0001			
	Tpr	16,14		<0,0001			
	Severidad	17,89		<0,0001			
	Modelo			<0,0001		92,92	25,74

Constatamos que, en un proceso de producción con prensado en frío seco, la regresión lineal que incorpora las cuatro variables de producción consigue explicar el 93 % de la variabilidad de la densidad. Todas las variables tienen una intervención altamente significativa en el valor de esta densidad (P-valor de todas las variables <0,0001).



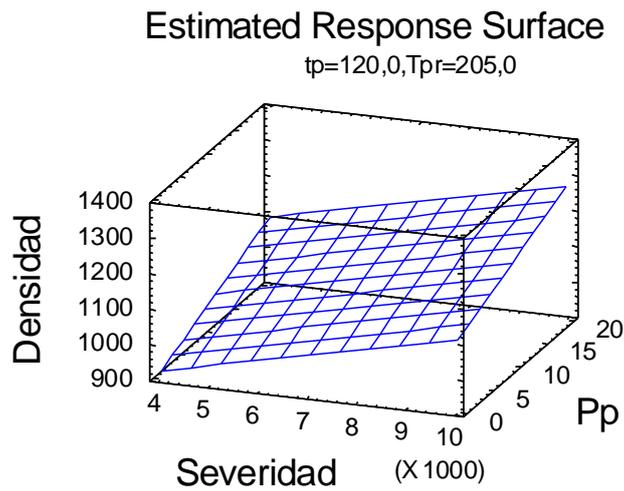
Densidad en kg/m³; Severidad []

Figura 4.3.3-5: Serie 51+ 61. Densidad por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

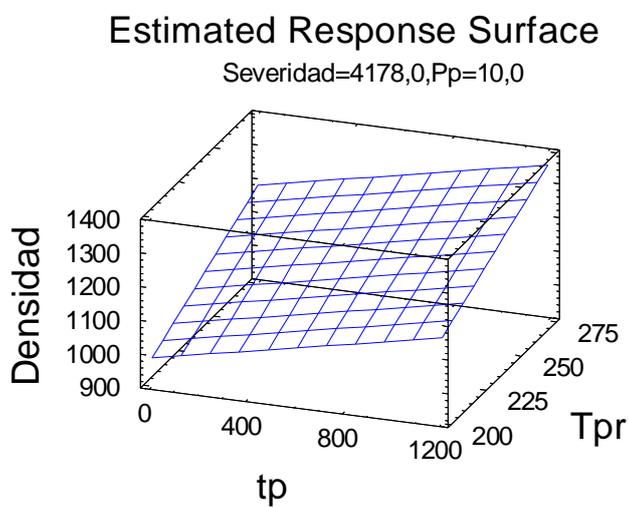
La separación de medias de los tableros sometidos a las dos severidades, no deja lugar a dudas del efecto de la severidad del pretratamiento. Los dos tratamientos tienen diferencias estadísticamente significativas. A igualdad del resto de factores de producción, podemos decir que al aumentar la severidad aumenta la densidad.

En todos los casos, al aumentar el valor de cualquiera de los factores de producción, aumentará la densidad del tablero.

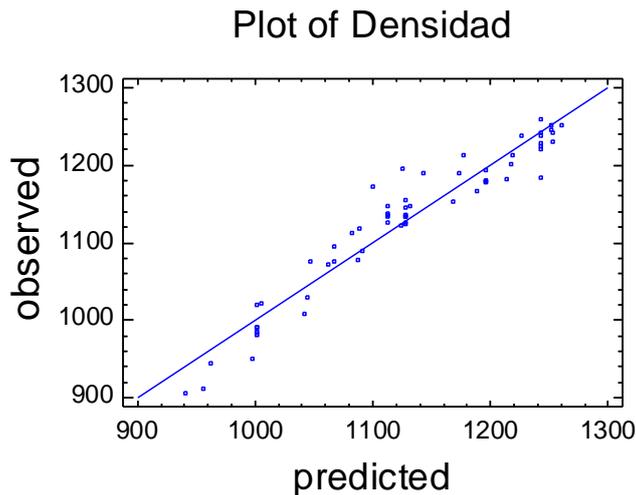
$$\text{Densidad} = 218,982 + 8,53477 * Pp + 0,141846 * tp + 2,76607 * Tpr + 0,0301906 * \text{Severidad}$$



Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-6: Serie 51+ 61. Densidad en función de la Severidad y Pp



Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-7: Serie 51+ 61. Densidad en función del tp y Tpr



Densidad en kg/m³

Figura 4.3.3-8: Serie 51+61. Densidad. Valores predichos versus observados

4.3.3.2.- MOE

MOE-SERIE 61

En la serie 61, además de Pp y tp, se incorpora la variable temperatura de prensado (Tpr).

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tpr)	AB	AC	BC	ABC
	Coef.Determinac.(R2)	21,80	34,07	30,26	36,00	75,89	84,81	93,96

El factor con mayor peso pasa a ser para el MOE, en esta serie, el tp. En una regresión con una variable independiente, el tp presenta la mayor R². En una regresión con dos variables independientes, es la combinación del tp y Tpr la que explica en mayor proporción la variabilidad del MOE. Por tanto, podemos decir que el orden de preponderancia de los factores de producción en esta serie es: tp>Tpr>Pp.

Vemos que es el primer caso estudiado hasta ahora en que la Pp es desplazada como el factor que más afecta a una de las características mecánicas de los tableros.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W$	$MOE = -8488,67 + 112,655*Pp + 2,40247*tp + 44,0332*Tpr$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	6,97		<0,0001			
	tp	9,79		<0,0001			
	Tpr	17,53		<0,0001			
	Modelo		165,99	<0,0001		93,96	369,2

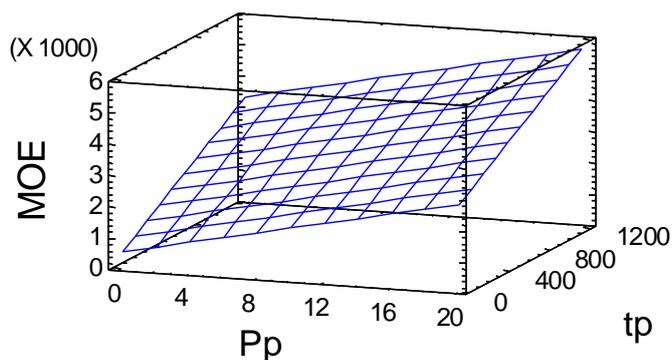
Con la regresión lineal ajustada que se presenta en los cuadros anteriores, haciendo intervenir a los tres factores de producción estudiados en esta serie, se explica el 94% de la variabilidad del MOE. Todos los factores de producción (Pp, tp y Tpr) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el MOE (P-Valor <0,0001 de todos los factores). También debemos destacar el alto nivel de significación del modelo ajustado (P-Valor < 0,0001).

En esta serie se alcanzan un MOE de 5514 Mpa, muy superior a los 3000 Mpa requeridos por la EN para tableros de uso estructural. Es importante comentar que esta serie es la única en la que no hemos llegado al límite tecnológico; puesto que hubiese requerido un tp muy prolongados o Tpr o Pp mucho más elevados de los utilizados. Todo ello es consecuencia de la baja severidad aplicada en el pretratamiento.

$$\text{MOE} = -8488,67 + 112,655 \cdot Pp + 2,40247 \cdot tp + 44,0332 \cdot Tpr$$

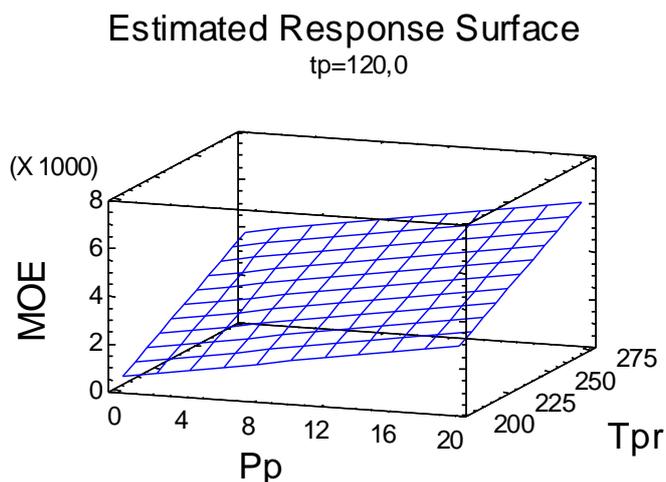
Estimated Response Surface

Tpr=205,0

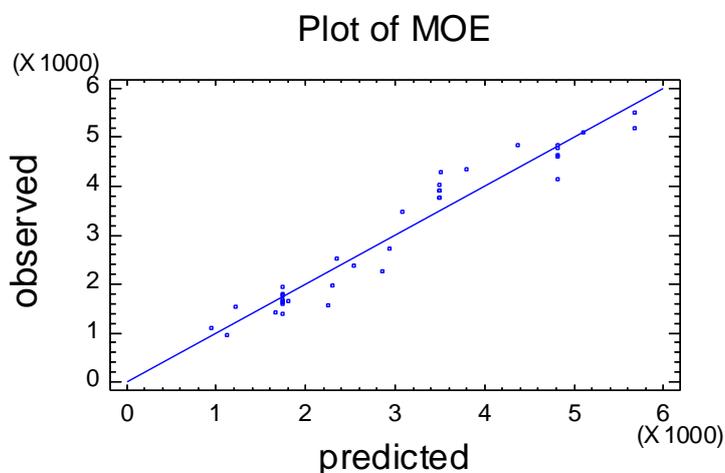


Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-9: Serie 61. MOE en función de la Pp y tp



Densidad en kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-10: Serie 61. MOE en función de la Pp y Tpr



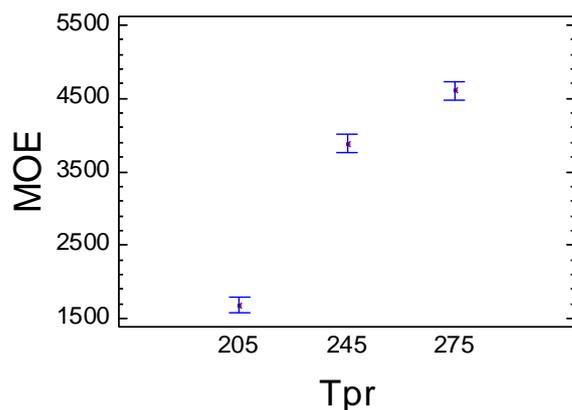
MOE en Mpa
Figura 4.3.3-11: Serie 61. MOE. Valores predichos versus observados

Si tomamos solo los tableros de la serie 61 con de Pp y tp iguales, diferenciándose solo en la Tpr, obtenemos los siguientes resultados.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	425,8	<0,0001	205	1684,63	205 - 245	*-2194,77	229,31
			245	3879,4	205 - 275	*-2916,57	229,31
			275	4601,2	245 - 275	*-721,80	254,40

Existen diferencias significativas del MOE para los tres niveles de Tpr.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-12: Serie 61. MOE por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

La temperatura de prensado, además de la Pp y tp, también mantiene una relación lineal con el MOE. El aumento de la Tpr, manteniendo el resto de condiciones de producción, implica aumento del MOE

El modelo lineal obtenido, donde todas las variables son significativas dentro de un intervalo de seguridad del 99 % (P-Valor <0,0001) e incluye todas las variables de la serie, explica casi el 94 % de la variabilidad de MOE de esta serie.

También es evidente, por separación de medias, el efecto de la temperatura de prensado.

Igualmente queda claro, en esta serie, la influencia del tiempo de prensado, con un P-Valor <0,0001.

El efecto del tiempo de prensado es equivalente al resto: a mayor tiempo de prensado se consigue mayor MOE. En esta serie se evidencia mucho mejor porque se han podido aplicar tiempos muy largos (al disponer de material más crudo, a mitad de severidad). En las otras series, la diferencia de tiempos aplicados es pequeña y el efecto queda algo enmascarado.

En esta serie también se confirma la relación entre densidad y MOE, con un coeficiente de correlación del 0,97 y un coeficiente de determinación del 94,9 %.

MOE-SERIE 51-61 (Prensado en frío seco)

El estudio de estas series nos permite observar el efecto de la severidad sobre el proceso con prensado en frío seco.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp, Tpr)	204,1	<0,0001	51	4304,9			
			61	2743,89	51-61	*-1561,02	212,27

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

Existen diferencias significativas entre las medias del MOE de las dos series. Teniendo en cuenta que estamos comparando los tableros que se han producido con las mismas condiciones de Pp, Tpr y tp y solo se diferencian en la severidad, por lo que esta diferencia de medias se le debe atribuir al efecto de la Severidad del pretratamiento.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	AC	ACD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	44,62	28,17	6,45	11,35	63,24	81,61	93,05

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Como se observa en este análisis, el factor que más variabilidad del MOE explica por sí solo es la Pp, seguido del tp. Observando las regresiones con dos variables independientes, será la combinación de Pp y Tpr la de mayor R2. En la regresión con tres variables será el tp la variable que queda fuera. Por ello, podemos concluir que el orden de preponderancia de los factores de producción en el MOE es el siguiente: Pp>Tpr>Severidad>tp.

Análisis de Regresión

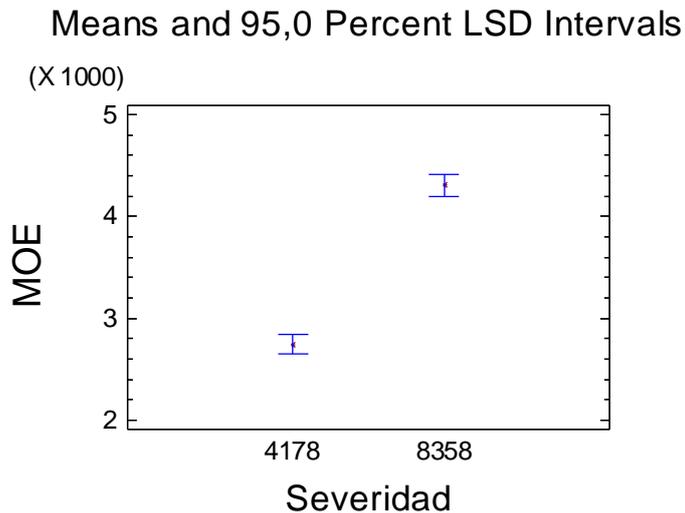
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W + e*Q$	$MOE = -10690,7 + 138,754*Pp + 2,36003*tp + 45,4797*Tpr + 0,373449*Severidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	12,96		<0,0001			
	tp	10,02		<0,0001			
	Tpr	17,64		<0,0001			
	Severidad	14,71		<0,0001			
	Modelo		204,14	<0,0001		93,05	387,24

Se ha obtenido una regresión lineal con las cuatro variables de producción con la que se explica más del 93 % de la variabilidad del MOE. Debemos exponer el alto nivel de significación del modelo y de la participación de todos los factores de producción, con P-Valor <0,0001 para todos los casos.

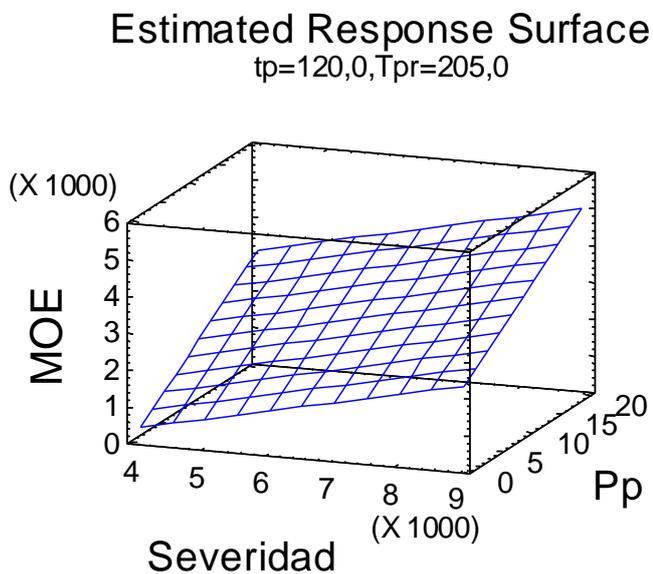
La función ajustada nos indica que al aumentar cualquiera de las variables de producción aumenta el valor del MOE.



MOE en Mpa; Severidad []

Figura 4.3.3-13: Serie 51+ 61. MOE por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

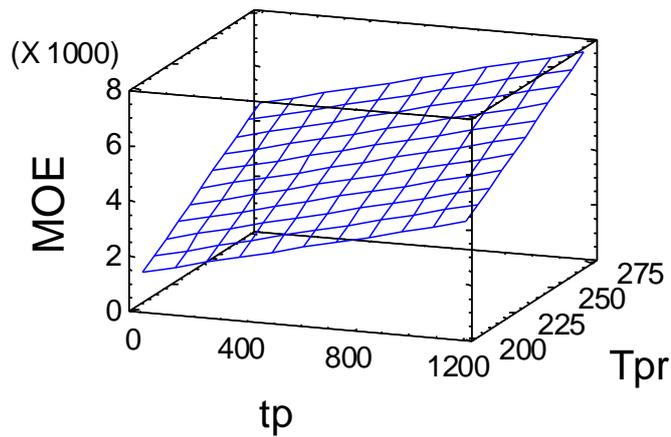
$$\text{MOE} = -10690,7 + 138,754 * Pp + 2,36003 * tp + 45,4797 * Tpr + 0,373449 * \text{Severidad}$$



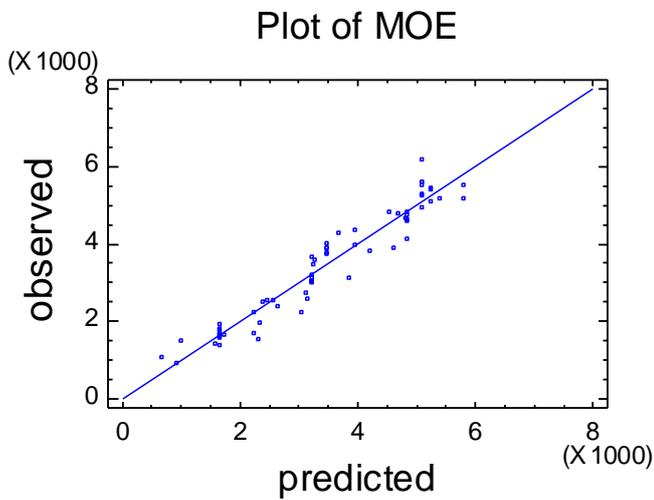
MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-14: Serie 51+ 61. MOE en función de la Severidad y Pp

Estimated Response Surface Severidad=4178,0,Pp=10,0

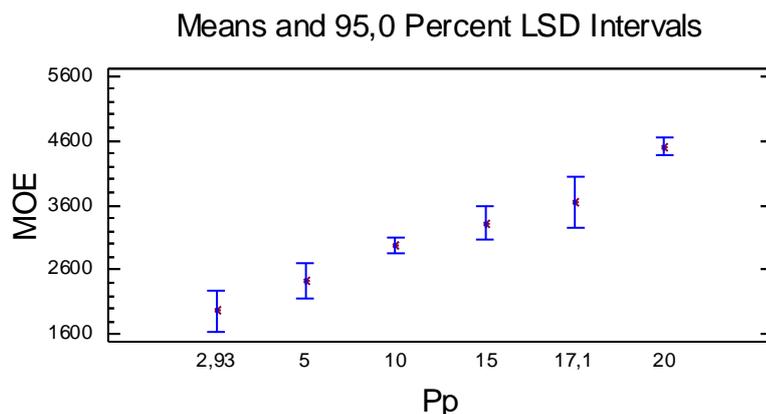


MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-15: Serie 51+ 61. MOE en función del tp y Tpr



MOE en Mpa
Figura 4.3.3-16: Serie 51+ 61. MOE. Valores predichos versus observados

En estas series se observa claramente que la severidad influye en el MOE. Para el proceso con prensado en frío seco se puede disponer de una ecuación lineal que nos explica más del 93 % de la variabilidad.



MOE en Mpa; Pp en Mpa

Figura 4.3.3-17: Serie 51+ 61. MOE por Pp. Separación de medias por LSD al 95 %

El factor que mayor variabilidad explica por sí solo es la Pp, que afecta de una forma lineal, como reflejan los análisis estadísticos y figuras anteriores.

4.3.3.3.- MOR

MOR-SERIE 61

En la serie 61, además de Pp y tp, se tiene la variable Temperatura de prensado (Tpr).

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	AB	AC	BC	ABC
	Coef.Determinac.(R2)	28,64	47,11	16,98	49,24	66,19	82,60	90,64

En esta característica se repite (como en el MOE), que el parámetro que mayor variabilidad explica por sí solo es el tp; y combinado con la Tpr nos da la regresión de dos variables con mayor R2 (82,6 %). Podemos concluir que el orden de preponderancia de los factores de producción para el MOR en la serie 61 es: tp>Tpr>Pp.

Análisis de Regresión

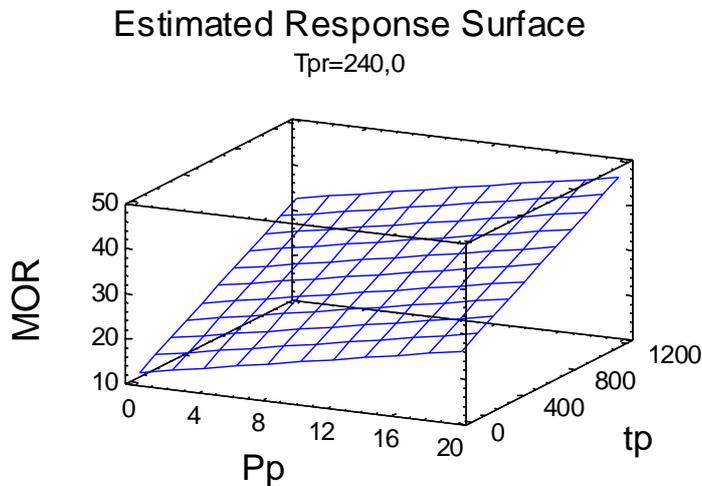
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W$	$MOR = -43,8308 + 0,662818*Pp + 0,01755*tp + 0,233731*Tpr$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	5,24		<0,0001			
	tp	9,14		<0,0001			
	Tpr	11,89		<0,0001			
	Modelo		103,26	<0,0001		90,64	2,89

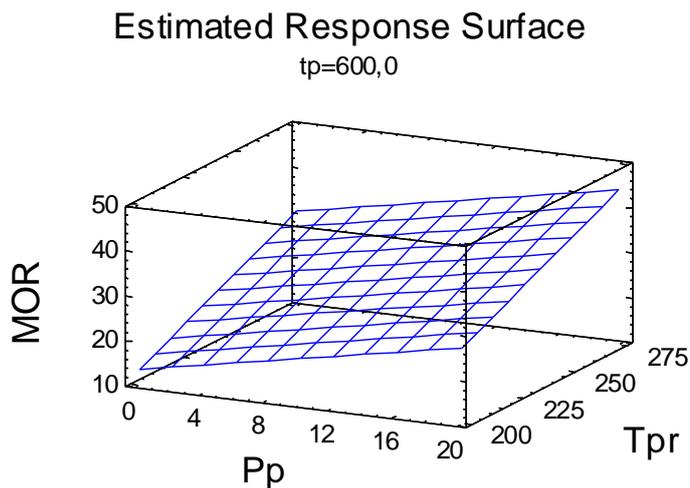
Se ha obtenido una regresión lineal, con las tres variables consideradas en la serie, que explica más del 90 % de la variabilidad de este parámetro. El estudio estadístico presenta una alta significación de la participación de las distintas variables y del modelo (P-valor <0,0001 de todas las variables y del modelo). Al aumentar cualquiera de las variables, aumenta el MOR.

$$\text{MOR} = -43,8308 + 0,662818 * Pp + 0,01755 * tp + 0,233731 * Tpr$$



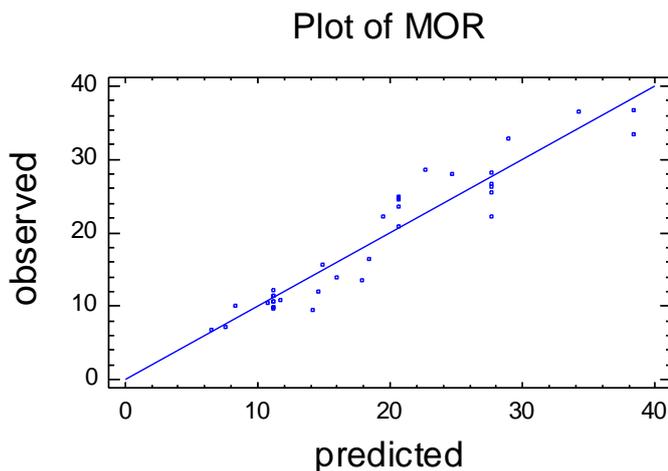
MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-18: Serie 61. MOR en función de la Pp y tp



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

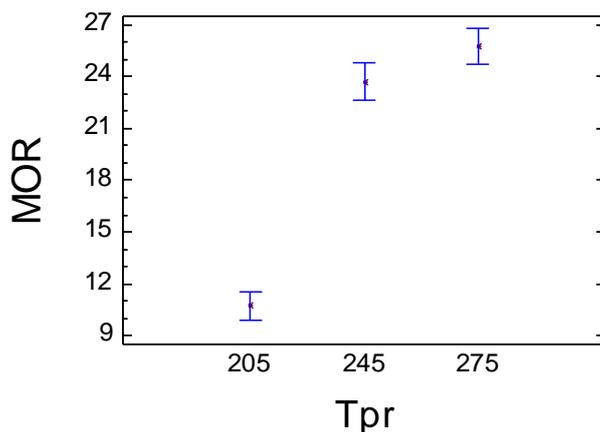
Figura 4.3.3-19: Serie 61. MOR en función de la Pp y Tpr



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-20: Serie 61. MOR. Valores predichos versus observados

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	182,4	<0,0001	205	10,72	205 - 245	*-13,00	1,90
			245	23,72	205 - 275	*-15,09	1,90
			275	25,81	245 - 275	-2,08	2,10

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-21: Serie 61. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

La comparación de las tres temperaturas se ha realizado con cinco repeticiones para cada tablero en cada temperatura, en las mismas condiciones del resto de parámetros (Pp=10 Mpa; tp= 30 sg).

Podemos apreciar una disminución de la pendiente del MOR entre 245 y 275.

MOR SERIE 51-61 (Prensado en frío seco)

Este análisis permite detectar cómo se ve afectado el MOR por todos los factores, incluida la severidad, en el proceso de producción con prensado frío seco.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp,	110,6	<0,0001	51	28,61			
Tpr)			61	17,32	51-61	*-11,29	1,95

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

Se demuestra que existen diferencias significativas entre las dos series. Como la severidad del pretratamiento es la única diferencia entre los dos procesos de producción, podemos atribuir esta diferencia de medias al efecto de dicha severidad.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variabes Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tpr)	D(Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	47,01	32,06	1,54	16,19	56,84	74,57	87,89

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Considerando en conjunto las dos series, el estudio estadístico nos muestra que la variable con mayor vinculación con el MOR es la Pp. El siguiente factor que más variabilidad explica por sí solo es el tp, pero esta preponderancia desaparece cuando realizamos una regresión con dos variables. En ese caso, las dos variables con mayor R2 serán la Pp y la Severidad. La regresión con tres variables de mayor R2 es la que incorpora la Tpr. El orden de los factores de producción en función su repercusión en el MOR es: Pp>Severidad>Tpr>tp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W + e*Q$	$MOR = -61,3663 + 0,898435*Pp + 0,0177343*tp + 0,248474*Tpr + 0,00269995*Severidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

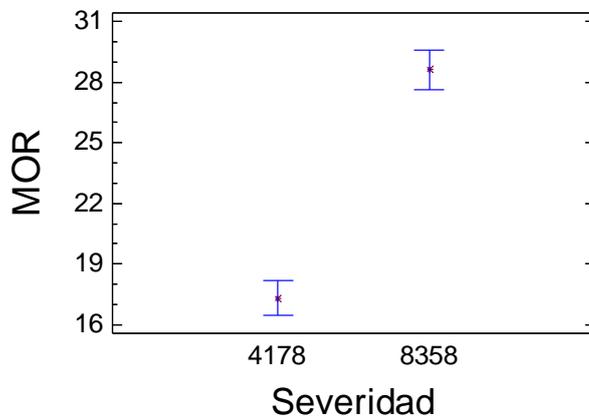
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	9,18		<0,0001			
	tp	8,18		<0,0001			
	Tpr	10,48		<0,0001			
	Severidad	11,56		<0,0001			
	Modelo		110,55	<0,0001		87,88	3,56

Se ha obtenido una regresión lineal con los cuatro factores de producción, que es capaz de explicar casi el 88 % de toda la variabilidad del MOR, para todos los tableros obtenidos mediante un proceso de producción con prensado en frío seco.

La repercusión de los distintos factores de producción en el valor del MOR presenta un alto nivel de significación (P-Valor < 0,0001 para todos ellos), al igual que la ecuación ajustada.

La separación de medias de las dos series es muy explícita en cuanto al efecto de la severidad. Para igualdad del resto de parámetros de producción, con mayor severidad obtenemos mayor MOR.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



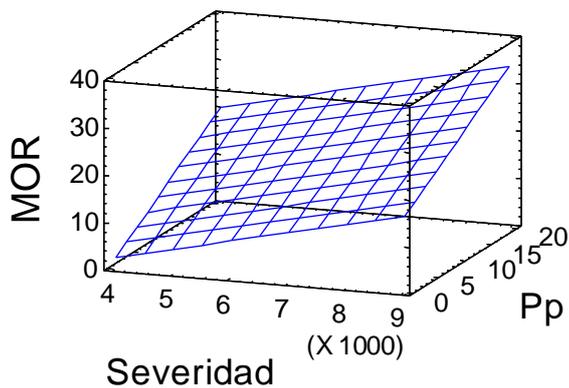
MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-22: Serie 51+ 61. MOR por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

$$\text{MOR} = -61,3663 + 0,898435 \cdot \text{Pp} + 0,0177343 \cdot \text{tp} + 0,248474 \cdot \text{Tpr} + 0,00269995 \cdot \text{Severidad}$$

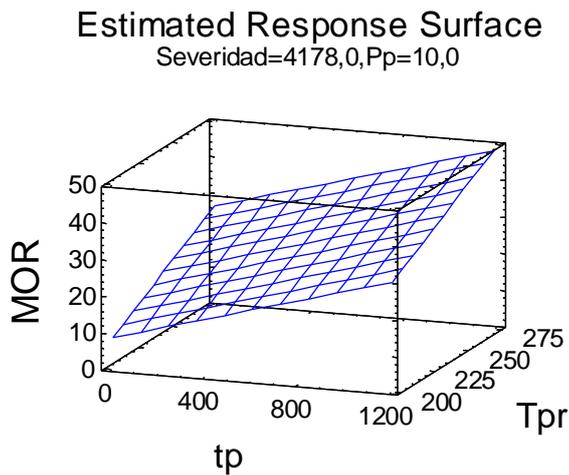
Estimated Response Surface

tp=120,0, Tpr=205,0

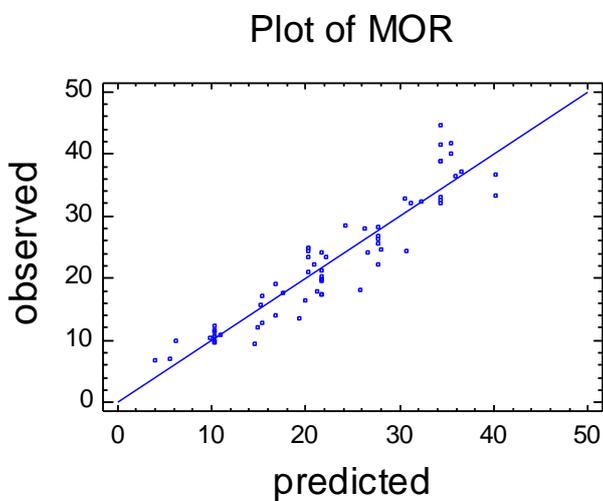


MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-23: Serie 51+ 61. MOR en función de la Severidad y Pp



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-24: Serie 51+ 61. MOR en función del tp y Tpr



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-25: Serie 51+61. MOR. Valores predichos versus observados

Podemos concluir que, dentro del mismo proceso de producción con prensado en frío en seco (series 51 y 61), se demuestra que casi toda la variabilidad (87,9 %) se puede explicar con una relación lineal de todas las variables que intervienen. Esta intervención la hacen en este orden de influencia: Pp>Severidad>Tpr>tp.

4.3.3.4.- IB

IB-SERIE 61

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tpr)	AB	AC	BC	ABC
61	Coef.Determinac.(R2)	10,21	26,88	34,96	26,88	63,45	81,42	84,28

El estudio estadístico nos marca que, en esta serie, el factor que por sí solo explica más variabilidad del IB es la Tpr. A este factor le sigue la tp y por último la Pp.

Análisis de Regresión

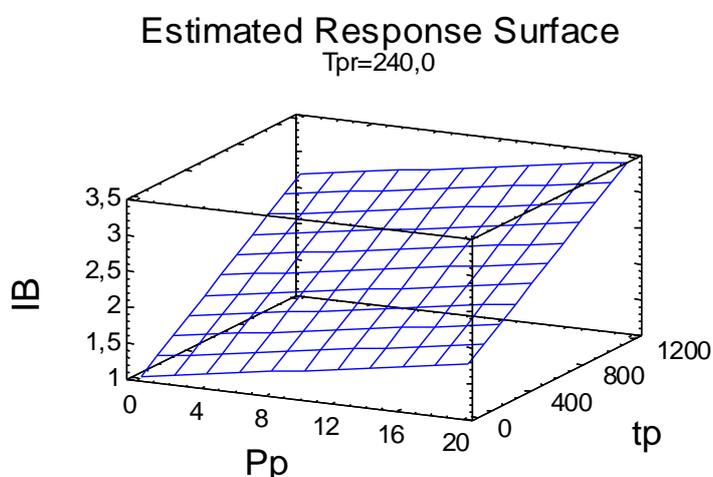
Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W$	$IB = -4,79606 + 0,0348502*Pp + 0,0014269*tp + 0,0242452*Tpr$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

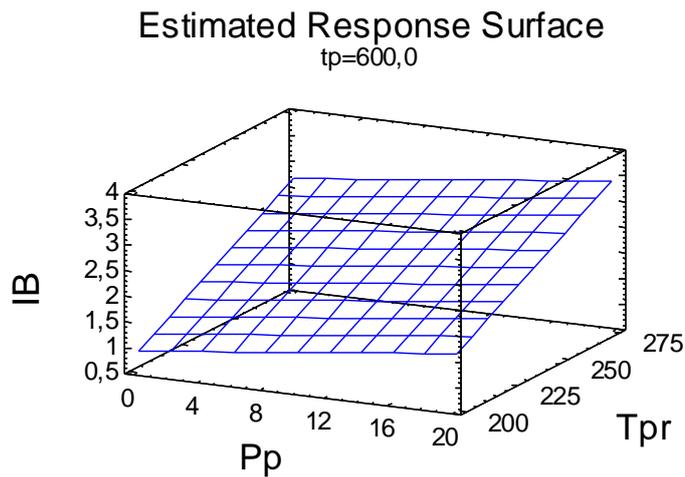
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	2,41		0,0217			
	tp	6,51		<0,0001			
	Tpr	10,81		<0,0001			
	Modelo		57,18	<0,0001		84,28	0,33

El modelo de regresión lineal ajustado explica el 84,3 % de la variabilidad del IB. Tanto el modelo como la participación de todos los factores de producción, tienen un alto nivel de confianza (P-Valor <0,0001 para todos los factores y modelo, excepto para Pp que tendría un nivel de confianza de un 97 %). La función ajustada indica que el IB aumenta al hacerlo el valor de cualquiera de los factores de producción.

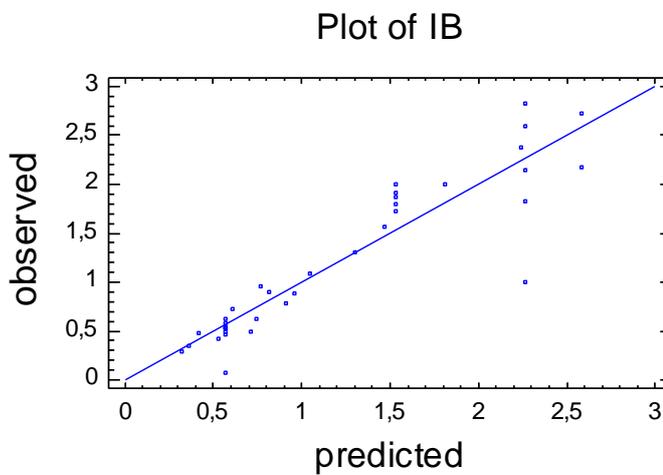
$$IB = -4,79606 + 0,0348502*Pp + 0,0014269*tp + 0,0242452*Tpr$$



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-26: Serie 61. IB en función de la Pp y tp



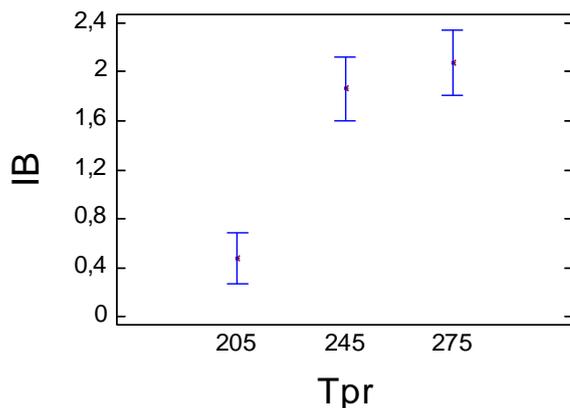
IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-27: Serie 61. IB en función de la Pp y Tpr



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-28: Serie 61. IB. Valores predichos versus observados

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	32,51	<0,0001	205	0,48	205 - 245	*-1,38	0,48
			245	1,86	205 - 275	*-1,60	0,48
			275	2,08	245 - 275	-0,21	0,53

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-29: Serie 61. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

La separación de medias expone diferencias significativas entre 205°C y las otras dos Tpr aplicadas.

IB SERIES 51 -61

La separación de medias de las series 51 y 61 nos permite analizar el efecto de la severidad del pretratamiento en el IB.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp,	84,58	<0,0001	51	2,62			
Tpr)			61	1,06	51-61	*-1,56	0,25

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

Se confirma que existe una diferencia clara entre las dos series. Vemos que a igualdad del resto de condiciones de producción, al aumentar la severidad, aumenta el IB.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tp)	D (Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	33,95	13,70	1,54	33,42	59,44	79,17	84,72

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Analizando el conjunto de todos los tableros de la serie 51+61 vemos que el factor con mayor peso, de forma individual, sobre el IB es la Pp; casi al par le sigue la severidad. El tercer factor con más peso es la Tpr y por último el tp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+ 61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X+c*Z+d*W+e*Q$	$IB = -7,58709 + 0,0885878*Pp + 0,00122621*tp + 0,0268874*Tpr + 0,000373838*Severidad$

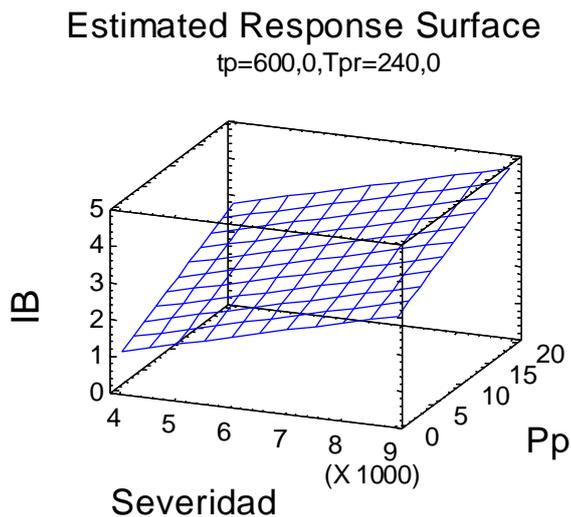
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	7,48		<0,0001			
	tp	4,71		<0,0001			
	Tpr	9,44		<0,0001			
	Severidad	13,32		<0,0001			
	Modelo		84,58	<0,0001		84,72	0,43

La regresión lineal obtenida, incluyendo todas las variables de producción, explica casi el 85 % de la variabilidad del IB, con un altísimo nivel de confianza en la participación de todos los factores y del modelo (P-Valor < 0,0001 para todos los casos).

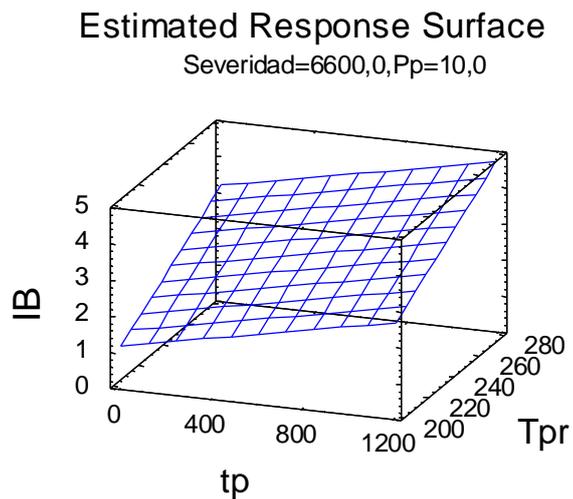
Como en las anteriores características, al aumentar el valor de cualquiera de los factores de producción, aumenta el valor del IB.

$$IB = -7,58709 + 0,0885878*Pp + 0,00122621*tp + 0,0268874*Tpr + 0,000373838*Severidad$$

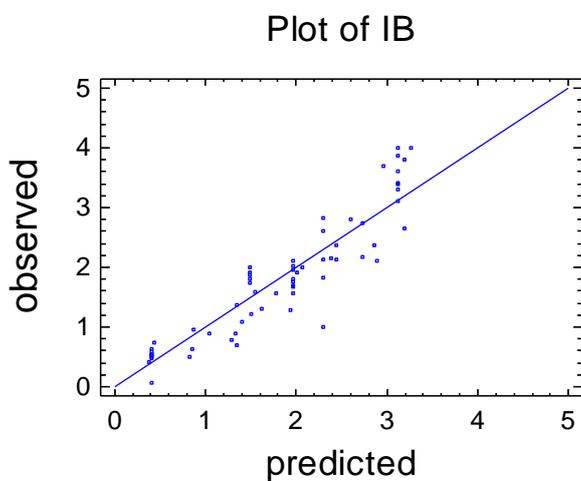


IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

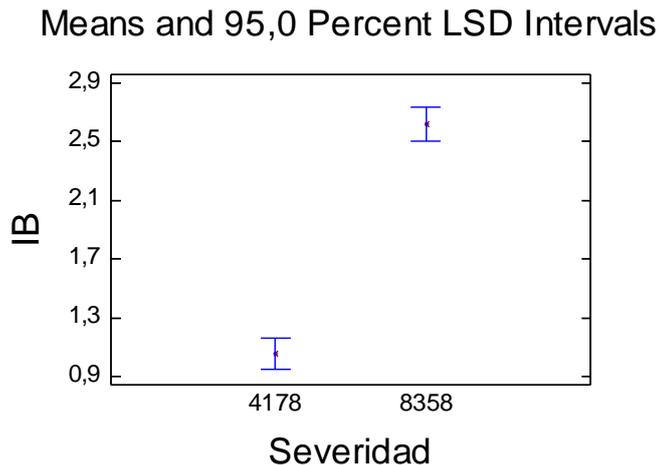
Figura 4.3.3-30: Serie 51+ 61. IB en función de la Severidad y la Pp



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-31: Serie 51+ 61. IB en función del tp y Tpr



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-32: Serie 51+61. IB. Valores predichos versus observados



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-33: Serie 51+61. IB por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

La separación de medias explicita muy bien el papel de la severidad, tal como queda reflejado en la figura.

4.3.3.5.- TS

TS-SERIE 61

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	AB	AC	BC	ABC
	Coef.Determinac.(R2)	2,86	6,64	56,57	6,86	70,81	77,08	79,05

Este análisis remarca el primordial efecto que tiene la Tpr sobre el TS en la serie 61. La Tpr es capaz de explicar por sí sola casi el 57 % de la variabilidad del TS. Le seguirá el tp y muy por detrás está la participación de la Pp. Con ello estamos comprobando que, al igual que para el resto de características de los tableros, al tratarse de material pretratado a severidad baja, la Pp es poco efectiva.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W$	$TS = 51,5146 - 0,178584*Pp - 0,00554708*tp - 0,168036*Tpr$

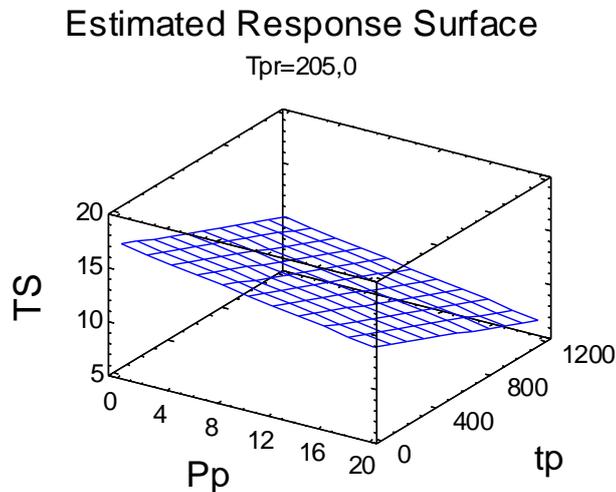
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	-1,73		0,0926			
	Tp	-3,55		<0,0012			
	Tpr	-10,50		<0,0001			
	Modelo		40,25	<0,0001		79,05	2,35

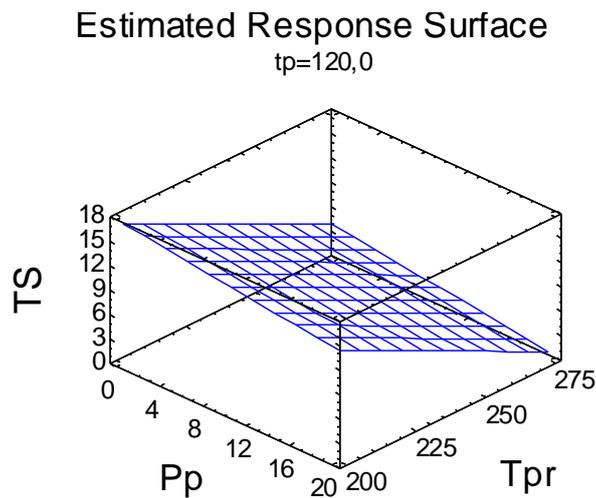
La regresión con los tres factores de producción considerados explica el 79,1 % de la variabilidad del TS, con un nivel de confianza muy alto para todas las variables y para el modelo (P-Valor <0,0001); excepto para la Pp cuyo nivel de confianza sería del 90 % (P-Valor =0,093).

El hinchamiento disminuye cuando aumenta el valor de cualquiera de los factores de producción.

$$TS = 51,5146 - 0,178584 * Pp - 0,00554708 * tp - 0,168036 * Tpr$$

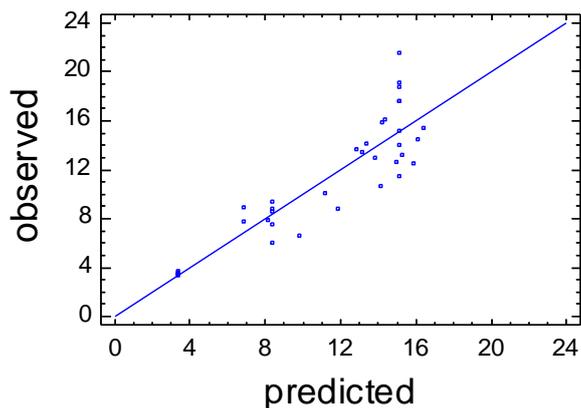


TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-34: Serie 61. TS en función de la Pp y tp



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-35: Serie 61. TS en función de la Pp y Tpr

Plot of TS

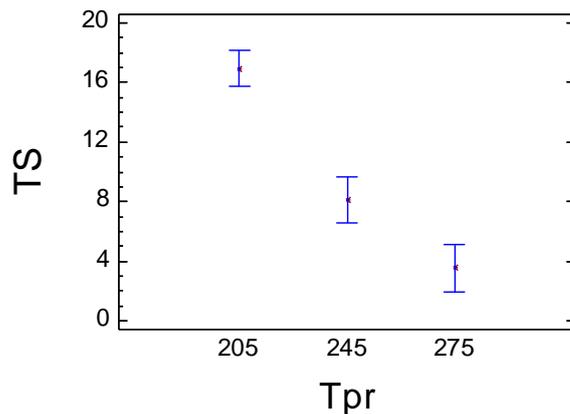


TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-36: Serie 61. TS. Valores predichos versus observados

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	57,35	<0,0001	205	16,94	205 - 245	*8,86	2,79
			245	8,08	205 - 275	*13,41	2,79
			275	3,53	245 - 275	*4,54	3,09

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-37: Serie 61. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

La separación de medias de los tres niveles de temperatura ensayados reconfirma su papel en el hinchamiento de los tableros. Al aumentar la temperatura de presión disminuye el hinchamiento de forma significativa y lineal.

TS-SERIES 51-61 (Prensado en frío seco)

Al comparar la serie 50 y 60, incorporamos un nuevo factor: la severidad.

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp,	75,14	<0,0001	51	6,04			
Tpr)			61	12,50	51-61	*6,46	1,03

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

La separación de medias entre las dos series nos marca el efecto de la severidad sobre el TS. Existen diferencias significativas entre las medias de TS de los dos niveles de severidad. Con ello queda claro que a igualdad del resto de los factores de producción, al aumentar la severidad, disminuye el hinchamiento de los tableros.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tp)	D (Sev.)	CD	BCD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	12,97	6,19	16,29	19,88	57,33	77,22	83,13

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Al considerar todos los tableros producidos con prensado en frío seco (serie 51+52) vemos que el factor con mayor peso en el TS es la severidad, seguido de la Tpr y tp; siendo la Pp el factor con menor peso en el valor del TS.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+ 61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W + e*Q$	$TS = 59,4079 - 0,240092*Pp - 0,00535467*tp - 0,171171*Tpr - 0,00154525*Severidad$

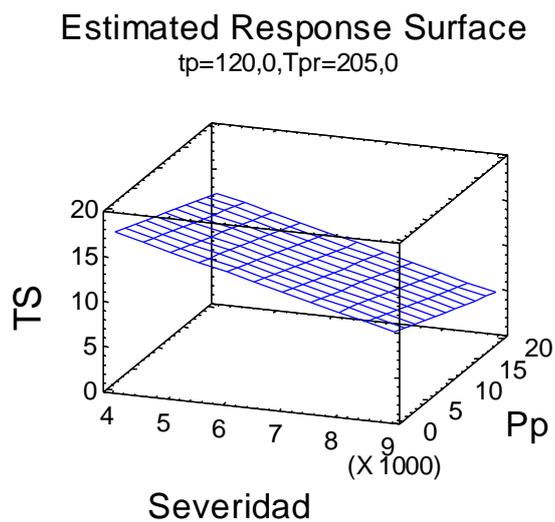
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	-4,62		<0,0001			
	tp	-4,67		<0,0001			
	Tpr	-13,69		<0,0001			
	Severidad	-12,54		<0,0001			
	Modelo		75,14	<0,0001		83,13	1,88

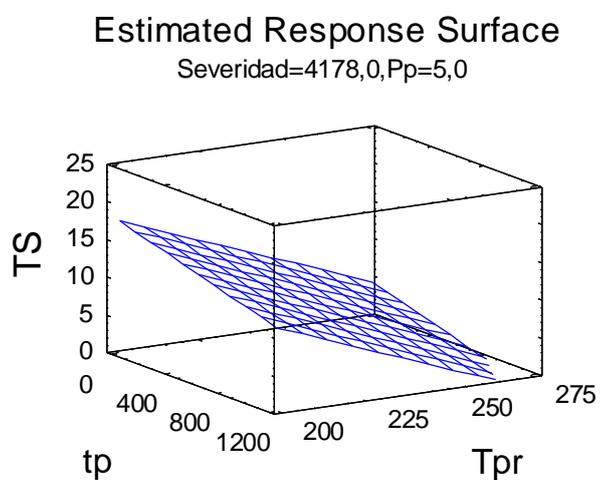
Se ha obtenido una regresión lineal que explica más del 83 % de la variabilidad del TS, incorporando los cuatro factores de producción.

Los cuatro factores tienen una repercusión clara en el valor del TS, como lo demuestra el P-Valor de todos los factores de producción y del modelo (P-Valor <0,0001 para todas las variables y modelo).

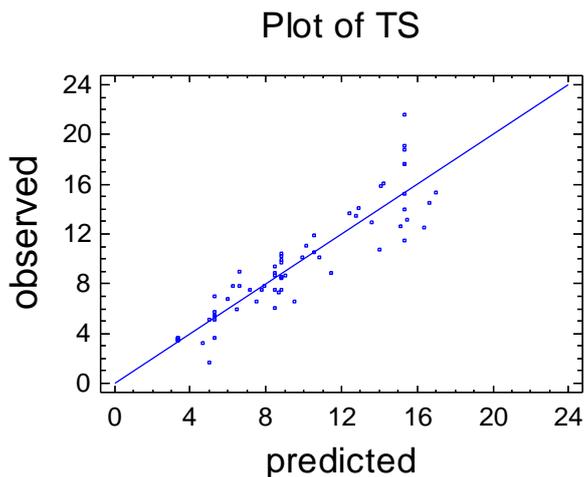
$$TS = 59,4079 - 0,240092*Pp - 0,00535467*tp - 0,171171*Tpr - 0,00154525*Severidad$$



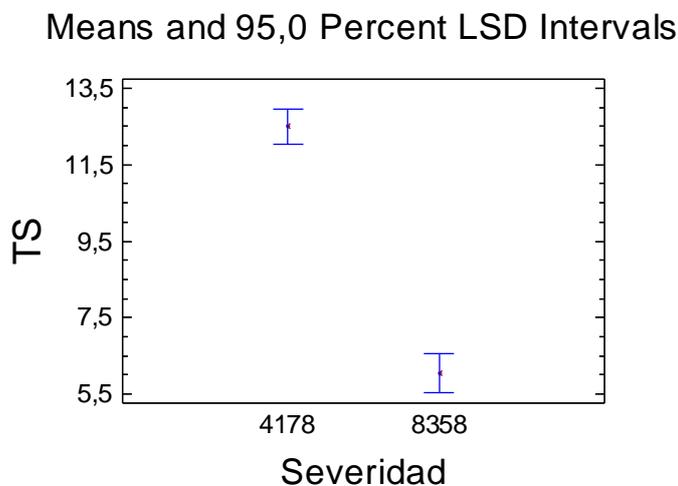
TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-38: Serie 51+ 61. TS en función de la Severidad y la Pp



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-39: Serie 51+ 61. TS en función del tp y Tpr



TS en %
Figura 4.3.3-40: Serie 51+ 61. TS. Valores predichos versus observados



TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-41: Serie 51+61. TS por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.3.6.- WA

WA-SERIE 61

En la serie 61, además de Pp y tp, se considera la variable temperatura de prensado (Tpr).

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	AB	AC	BC	ABC
	Coef.Determinac.(R2)	6,88	12,46	40,06	12,81	63,82	67,26	72,39

El WA ha respondido de forma idéntica al TS a la variación de los factores de producción. El factor con mayor peso (con mucha distancia del resto de factores) es la Tpr con un R2 = 40,1 %. De forma individual y combinada el tp tendría mayor

influencia en el WA que la Pp. De esta forma, el orden de influencia de los factores de producción en el WA (sin considerar la severidad) sería: Tpr>tp>Pp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
61	Lineal (Pp,tp, Tpr)	$Y = a + b*X+c*Z+d*W$	$WA = 66,4985 - 0,374667*Pp - 0,00735149*tp - 0,198362*Tpr$

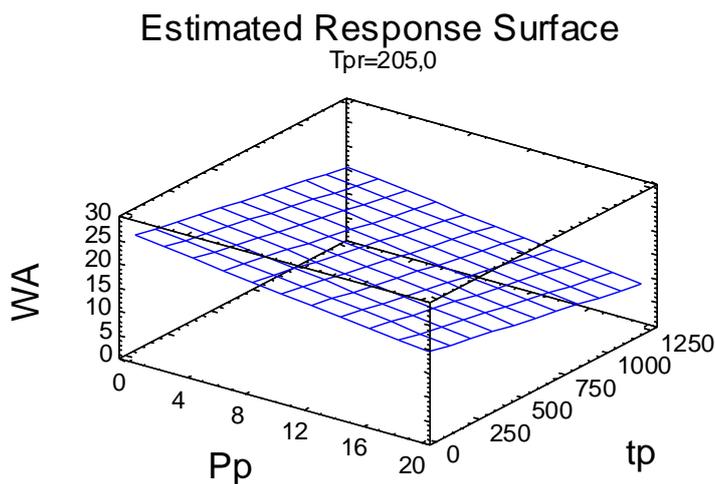
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
61	Pp	-2,44		0,0205			
	tp	-3,15		0,0035			
	Tpr	-8,31		<0,0001			
	Modelo		27,97	<0,0001		72,39	3,51

Se ha obtenido una regresión que explica el 72,4 % de la variabilidad del WA, incorporando la Pp, tp y Tpr. La participación de las distintas variables presenta un alto nivel de confianza con P-valor muy bajos para la Tpr y tp, y algo menor para la Pp, factor con menor peso en el WA.

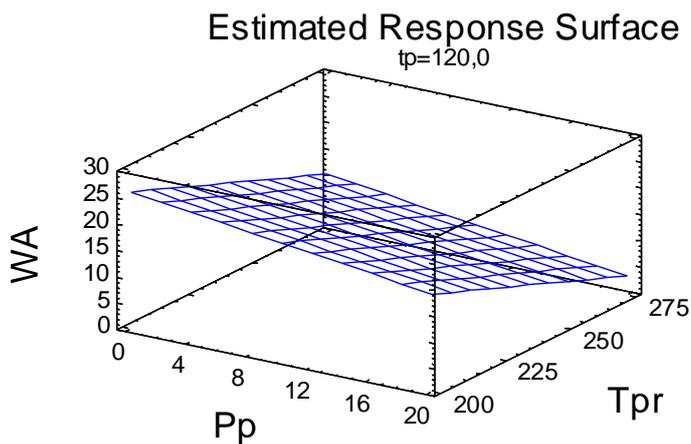
La ecuación ajustada del WA nos indica que, al aumentar cualquiera de los factores de producción (Tpr, tp o Pp), disminuye el WA.

$$WA = 66,4985 - 0,374667*Pp - 0,00735149*tp - 0,198362*Tpr$$

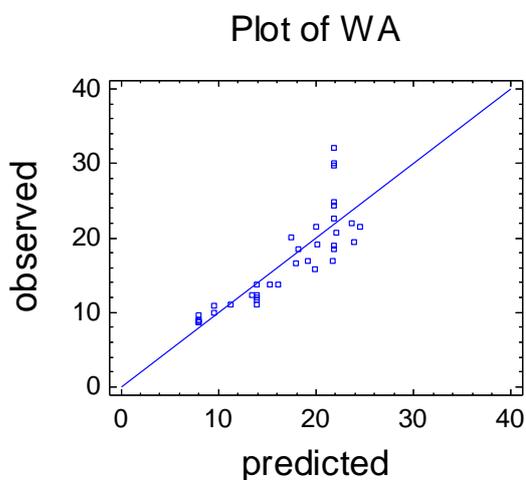


WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.3-42: Serie 61. WA en función de la Pp y tp



WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-43: Serie 61. WA en función de la Pp y Tpr

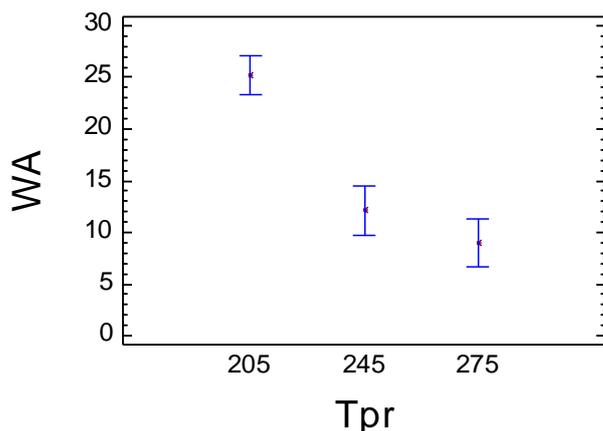


WA en %
Figura 4.3.3-44: Serie 61. WA. Valores predichos versus observados

Análisis de Varianza			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	38,74	<0,0001	205	25,15	205 - 245	*12,98	4,30
			245	12,17	205 - 275	*16,17	4,30
			275	8,99	245 - 275	3,18	4,77

La separación de medias de los tres niveles de temperatura ensayados reconfirma su papel en la WA de los tableros. Al aumentar la temperatura de prensado, disminuye la WA. En el TS es más nítido este efecto.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %; Tpr en °C

Figura 4.3.3-45: Serie 61. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

WA-SERIES 51-61

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad (Pp,tp,	79,49	<0,0001	51	7,30			
Tpr)			61	18,23	51-61	*10,93	1,44

Serie 51 Severidad 8358; Serie 61 Severidad 4178

La separación de medias de las dos series es muy clara. Como la única diferencia entre las dos series es la severidad, queda claro que, para los mismos valores del resto de parámetros de producción, al aumentar la severidad del pretratamiento disminuye la WA.

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variabes Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	CD	BCD	ABCD
51+61	Coef.Determinac.(R2)	13,38	5,91	4,03	40,10	62,03	80,08	83,90

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Observamos que en un proceso de producción de prensado en frío en seco, el factor que más afecta al WA es la severidad, con mucha diferencia con el resto de factores de producción. Aunque de forma individual, después de la Severidad aparece la Pp como siguiente factor que más variabilidad explica, vemos que al realizarse regresiones con más de un factor, el orden de influencia de los factores de producción en la WA es: Severidad>Tpr>tp>Pp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X+c*Z+d*W+e*Q$	$WA = 75,3085 - 0,27619*Pp - 0,00788679*tp - 0,194017*Tpr - 0,00261516*Severidad$

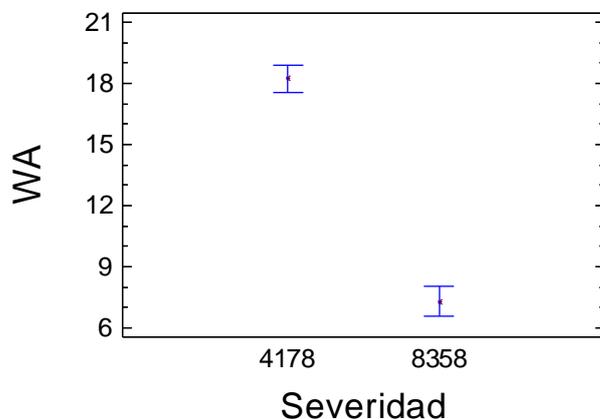
Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+61	Pp	-3,81		0,0003			
	tp	-4,94		<0,0001			
	Tpr	-11,12		<0,0001			
	Severidad	-15,21		<0,0001			
	Modelo		79,49	<0,0001		83,90	2,62

Considerando todos los factores de producción, se obtiene una regresión que explica casi el 84 % de la variabilidad, dentro de los tableros obtenidos con prensado en frío en seco. El efecto de todos los factores tienen un alto nivel de confianza (P-Valor < 0,0001 para todos los factores y el modelo y 0,0003 para la Pp).

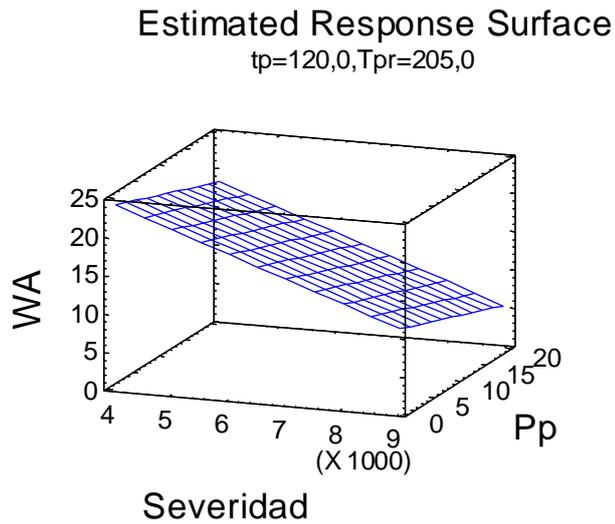
$$WA = 75,3085 - 0,27619 * Pp - 0,00788679 * tp - 0,194017 * Tpr - 0,00261516 * Severidad$$

Means and 95,0 Percent LSD Intervals

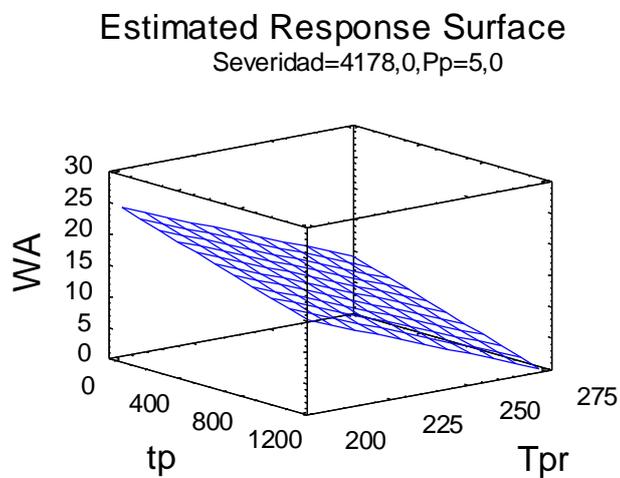


WA en %; Severidad []

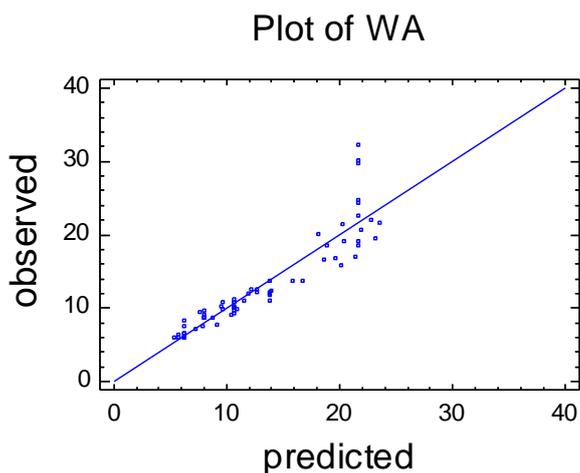
Figura 4.3.3-46: Serie 51+61. WA por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %



WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-47: Serie 51+ 61. WA en función de la Severidad y Pp



WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.3-48: Serie 51+ 61. WA en función del tp y Tpr



WA en %

Figura 4.3.3-49: Serie 51+61. WA. Valores predichos versus observados

Al aumentar la severidad y la Tpr fundamentalmente, disminuye el WA; al igual que al aumentar tp y Pp, pero en mucho menor grado.

4.3.3.7.- Conclusiones a las Serie 61 y Serie 51+61

Comentarios a la serie 61:

Queda claro en esta serie que la Pp tiene mucho menos peso que en las series 50 (51 y 52), excepto para la densidad. Esto se debe a que el pretratamiento tiene la mitad de severidad, por lo que el material de prensado está mucho más crudo. En estas circunstancias, la presión interviene claramente en todas las características de los tableros, pero es mucho menos efectiva que en las series anteriores. Esto también implica que se requiere más tiempo y temperatura de prensado para obtener resultados similares. Esta apreciación queda diluida cuando consideramos el conjunto de tableros de las series 51+61 (todo el proceso seco)

Comentarios a la serie 51+61:

En este conjunto vuelve a ser la Pp el factor preponderante en la definición de la densidad, MOE y MOR. En el caso del hinchamiento (TS) y la absorción de agua (WA), será la severidad el principal factor de conformación.

De manera individual, el segundo factor más influyente en las características de los tableros aparece más disperso, pero queda muy claro cuando analizamos los binomios con mayor R². En este caso vemos que en todos estos binomios aparece la severidad (excepto en el MOE), y que en la densidad, MOE, MOR e IB aparece la Pp completando el binomio, y en TS y WA es la Tpr la conforma el binomio junto con la severidad.

Si observamos las R2 de las regresiones que utilizan tres factores, vemos claramente que coincide que en densidad, MOE, MOR e IB, los tres factores principales son Pp, Tpr y Severidad; siendo el que menos influencia tiene el tp.

Igualmente coincide que los tres factores con más influencia en el TS y WA son el tp, Tpr y severidad, siendo la Pp el que menos influencia tiene.

4.3.4.- Análisis conjunto de las tres series de material lavado (51-52-61). Relación de la densidad con el resto de características

4.3.4.1.- Densidad

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B(tp)	C (Tpr)	D(Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	41,69	20,42	1,05	30,03	63,82	82,81	91,20

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

El parámetro con mayor influencia en la densidad, para las tres series elaboradas con material lavado, es la Pp, seguido de la severidad, la Tpr y por último el tp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+52+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b*X + c*Z + d*W + e*Q$	Densidad = $235,915 + 7,36884*Pp + 0,145182*tp + 2,70572*Tpr + 0,0327191*Severidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

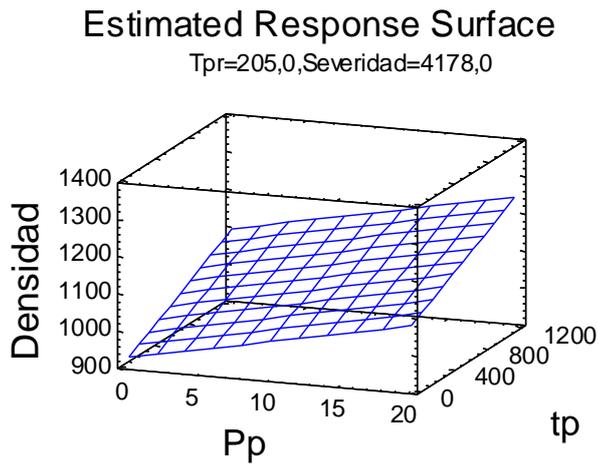
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61	Pp	12,35		<0,0001			
	tp	9,31		<0,0001			
	Tpr	15,25		<0,0001			
	Severidad	21,22		<0,0001			
	Modelo		235,72	<0,0001		91,20	26,82

Se ha obtenido una regresión lineal con todos los factores de producción, con la que se explica el 91 % de la variabilidad de la densidad de los tableros de las tres series elaboradas con material lavado.

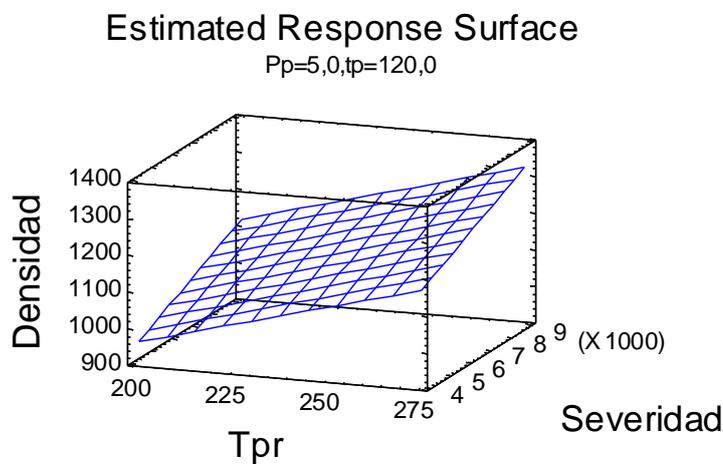
Todos los factores de producción (Pp, Tpr, tp y Severidad) participan con un alto grado de confianza (P-Valor < 0,0001), al igual que el modelo, en la ecuación ajustada.

Se confirma que al aumentar el valor de cualquiera de los factores de producción, aumenta la densidad de los tableros.

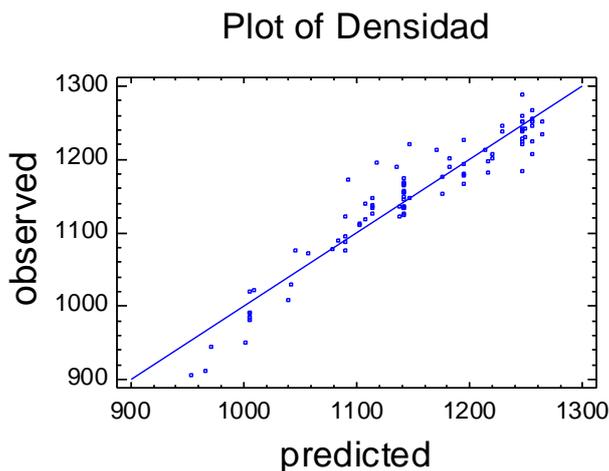
$$\text{Densidad} = 235,915 + 7,36884 * Pp + 0,145182 * tp + 2,70572 * Tpr + 0,0327191 * \text{Severidad}$$



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-50: Serie 51+52+ 61. Densidad en función de la Pp y tp



Densidad en Kg/m³; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-51: Serie 51+52+ 61. Densidad en función de la Tpr y Severidad



Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.3-52: Serie 51+52+61. Densidad. Valores predichos versus observados

4.3.4.2.- MOE

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	AC	ACD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	52,30	31,83	3,58	10,19	64,35	80,95	92,01

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

La Pp es el factor con mayor influencia en el MOE. El 52,3 % de la variabilidad del MOE se explica con una regresión con solo la Pp como variable. El segundo factor que, de manera individual, explica mayor proporción de variabilidad del MOE es el tp. Pero vemos que, al realizar una regresión con varias variables, este factor quedará relegado al que menos repercusión tiene. El orden de influencia de los factores de producción en el MOE resultará de la siguiente manera: Pp>Tpr>Severidad>tp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+52+61(a)	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b \cdot X + c \cdot Z + d \cdot W + e \cdot Q$	$MOE = -10597,1 + 132,464 \cdot Pp + 2,52529 \cdot tp + 45,5911 \cdot Tpr + 0,357879 \cdot Severidad$
51+52+61(b)	Lineal (Densidad)	$Y = a + bX$	$MOE = -12205,9 + 13,7496 \cdot Densidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61 (a)	Pp	15,39		<0,0001			
	tp	11,23		<0,0001			
	Tpr	17,81		<0,0001			
	Severidad	16,09		<0,0001			
	Modelo		262,08	<0,0001		92,01	386,98
51+52+61(b)	Ordenada	-16,2		<0,0001			
	Pendiente	20,30		<0,0001			
	Modelo		440,90	<0,0001	0,9079	82,43	564,77

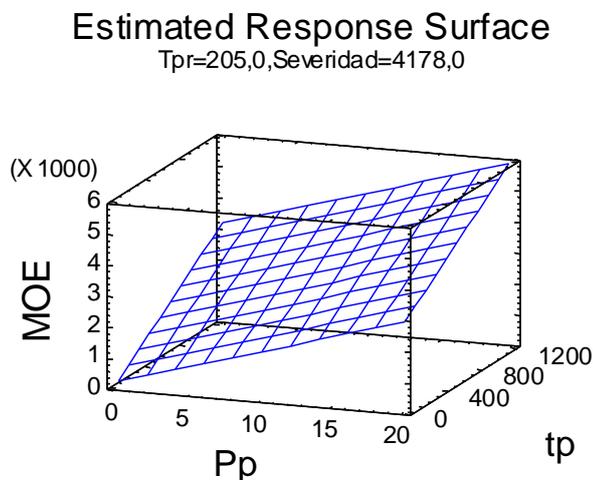
Se ha ajustado una función lineal considerando todos los factores de producción que explica más del 92% de la variabilidad del MOE. Presenta un altísimo nivel de confianza la participación de todas las variables y del propio modelo (P-Valor <0,0001).

También se ha ajustado una función lineal del MOE con la densidad, y vemos que tienen una alta vinculación, explicándose un 82,4 % del valor del MOE a través de su densidad.

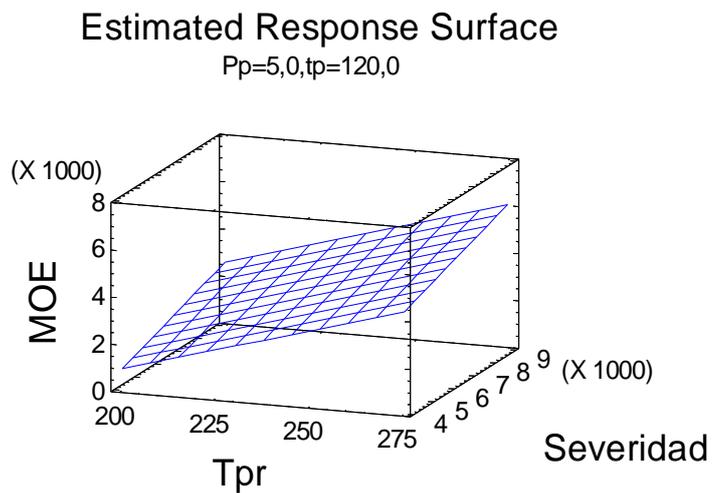
Tanto la ecuación ajustada como las figuras de superficie de respuesta, dejan claro que, al aumentar el valor de cualquiera de los factores de producción, aumenta el valor del MOE.

MOE SERIES 51+52+61 (a)

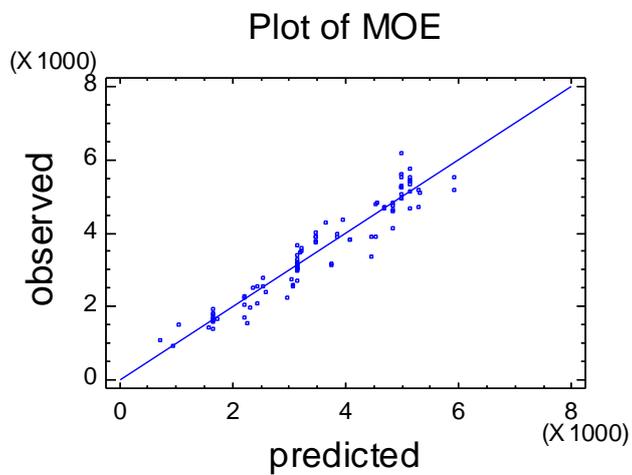
$$\text{MOE} = -10597,1 + 132,464 \cdot \text{Pp} + 2,52529 \cdot \text{tp} + 45,5911 \cdot \text{Tpr} + 0,357879 \cdot \text{Severidad}$$



MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-53: Serie 51+52+ 61(a). MOE en función de la Pp y tp



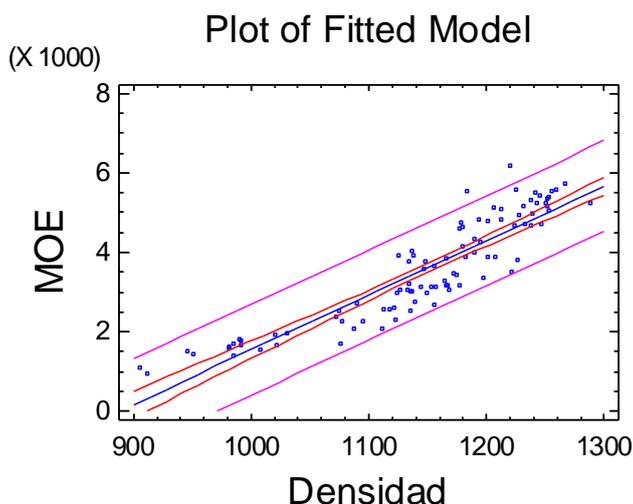
MOE en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-54: Serie 51+52+ 61(a). MOE en función de la Tpr y Severidad



MOE en Mpa
Figura 4.3.3-55: Serie 51+52+61(a). MOE. Valores predichos versus observados

MOE SERIES 51+52+61 (b)

$$\text{MOE} = -12205,9 + 13,7496 * \text{Densidad}$$



MOE en Mpa; Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.4-56: Serie 51+52+ 61(b). MOE en función de la Densidad

La densidad tiene una alta vinculación con el MOE resultante, pero por si sola es capaz de explicar menos variabilidad del MOE que la que se explica considerando todos los factores de producción.

4.3.4.3.- MOR

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variabes Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	51,68	34,30	1,05	15,44	60,97	73,78	86,64

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

En este caso también se mantiene la Pp como el parámetro con mayor vinculación en la variabilidad del MOR para las tres series en conjunto. Aunque de manera individual es el tp el segundo factor que más variabilidad explica, es el binomio Pp y Severidad el que mayor explicación ofrece. Podemos concluir que el orden de los factores de producción por su efecto en el MOR es: Pp>Severidad>Tpr>tp.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+ 52+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b * X + c * Z + d * W + e * Q$	$\text{MOR} = -61,3855 + 0,85256 * \text{Pp} + 0,0193774 * \text{tp} + 0,250586 * \text{Tpr} + 0,00266907 * \text{Severidad}$
51+ 52+61	Lineal (Densidad)	$Y = a + bX$	$\text{MOR} = -87,4658 + 0,096855 * \text{Densidad}$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61	Pp	10,76		<0,0001			
	tp	9,362		<0,0001			
	Tpr	10,64		<0,0001			
	Severidad	13,04		<0,0001			
	Modelo		147,57	<0,0001		86,64	3,56
51+52+61	Ordenada	-15,59		<0,0001			
	Pendiente	19,89		<0,0001			
	Modelo		394,68	<0,0001	0,90	80,76	4,20

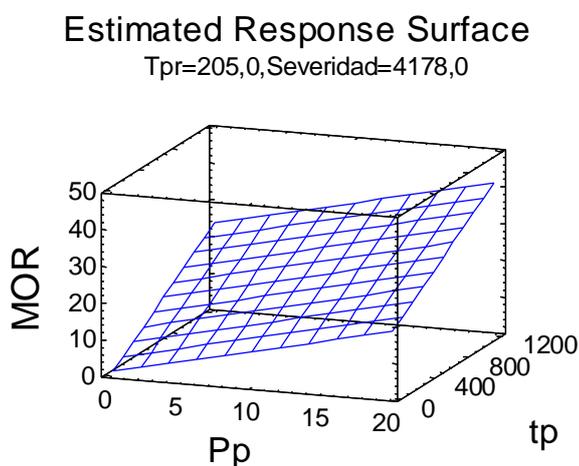
Se ha ajustado una función lineal considerando todos los factores de producción (Pp, tp, Tpr y severidad) que explica el 86,6 % de la variabilidad del MOR. Presentan un altísimo nivel de confianza la participación de todas las variables y el propio modelo (P-Valor <0,0001).

También se ha ajustado una función lineal del MOR con la densidad, y vemos que tienen una alta vinculación, explicándose un 80,8 % del valor del MOR a través de su densidad.

Al igual que para el caso de la densidad y del MOE, la ecuación ajustada y las figuras de superficie de respuesta, indican que al aumentar el nivel de cualquiera de los factores de producción, aumenta el valor del MOR.

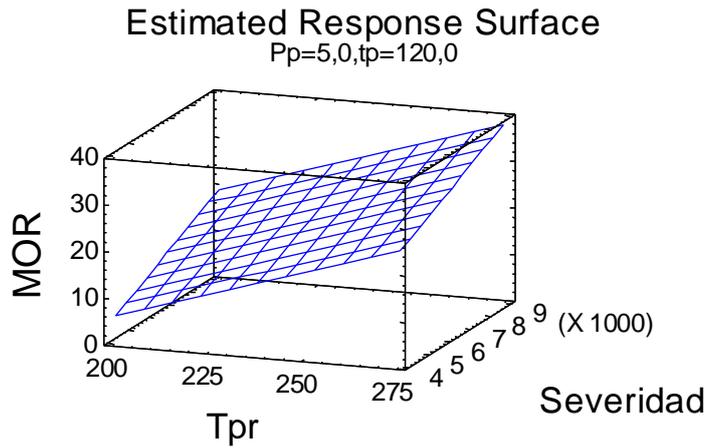
MOR SERIES 51+52+61 (a)

$$\text{MOR} = -61,3855 + 0,85256 \cdot \text{Pp} + 0,0193774 \cdot \text{tp} + 0,250586 \cdot \text{Tpr} + 0,00266907 \cdot \text{Severidad}$$

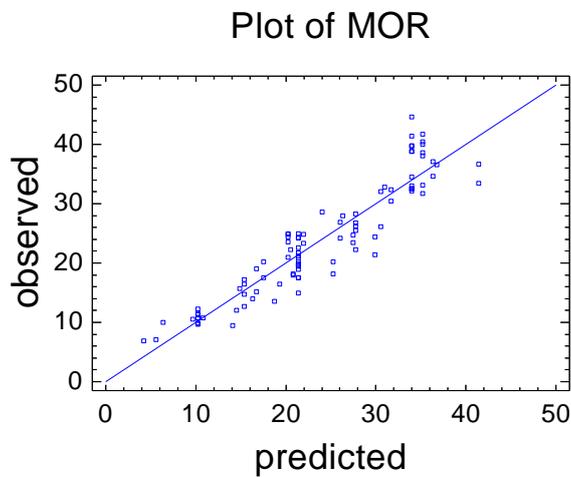


MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.4-57: Serie 51+52+ 61(a). MOR en función de la Pp y tp



MOR en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-58: Serie 51+52+ 61(a). MOR en función de la Tpr y Severidad

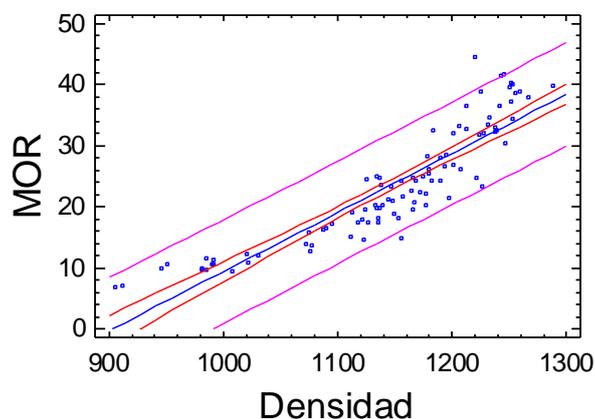


MOR en Mpa
Figura 4.3.3-59: Serie 51+52+61(a). MOR. Valores predichos versus observados

MOR SERIES 51+52+61 (b)

$$\text{MOR} = -87,4658 + 0,096855 * \text{Densidad}$$

Plot of Fitted Model



MOR en Mpa; Densidad en Kg/m3

Figura 4.3.4-60: Serie 51+52+ 61(b). MOR en función de la Densidad

4.3.4.4.- IB

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	AD	ACD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	41,63	14,94	1,05	29,61	63,40	77,92	81,94

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

La presión de prensado es el factor de producción con mayor peso en la variabilidad del IB (al igual que en el resto de propiedades mecánicas estudiadas y de la densidad de los tableros). La severidad será el segundo factor con mayor peso, seguido de la Tpr y el tp por último.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+52+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b * X + c * Z + d * W + e * Q$	$IB = -7,64325 + 0,0953611 * Pp + 0,00117443 * tp + 0,0271418 * Tpr + 0,000355356 * Severidad$
51+52+61	Lineal (Densidad)	$Y = a + bX$	$IB = -9,41668 + 0,00989582 * Densidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61	Pp	9,54		<0,0001			
	tp	4,50		<0,0001			
	Tpr	9,13		<0,0001			
	Severidad	13,76		<0,0001			
	Modelo		103,19	<0,0001		81,94	0,449
51+52+61	Ordenada	-12,73		<0,0001			
	Pendiente	15,40		<0,0001			
	Modelo		237,08	<0,0001	0,8462	71,61	0,55

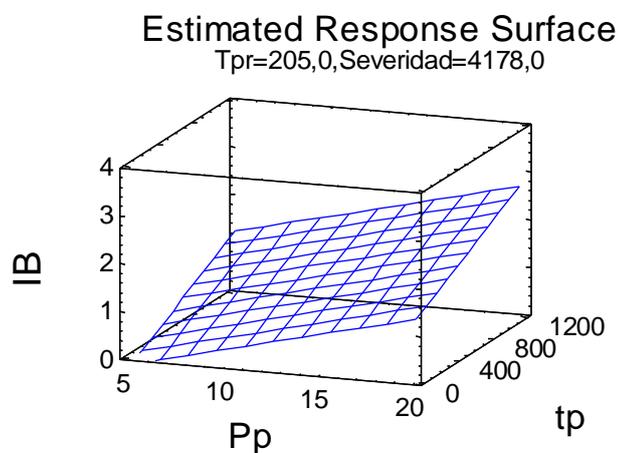
Hemos obtenido una función ajustada para el IB, considerando las tres series de forma conjunta con unos buenos resultados, puesto que explica el 82 % de la variabilidad, incorporando todos los factores de producción. Como en los casos anteriores, la participación de los distintos factores presenta un alto nivel de confianza, al igual que el modelo ajustado (P-Valor <0,0001).

La función ajustada exclusivamente con la densidad también presenta un coeficiente de determinación muy importante (R2=71,6 %), pero claramente inferior al coeficiente de determinación de la función ajustada con todos los parámetros de producción.

Queda demostrado, con un alto nivel de confianza, que al aumentar el valor de cualquiera de los parámetros de producción aumenta el valor del IB.

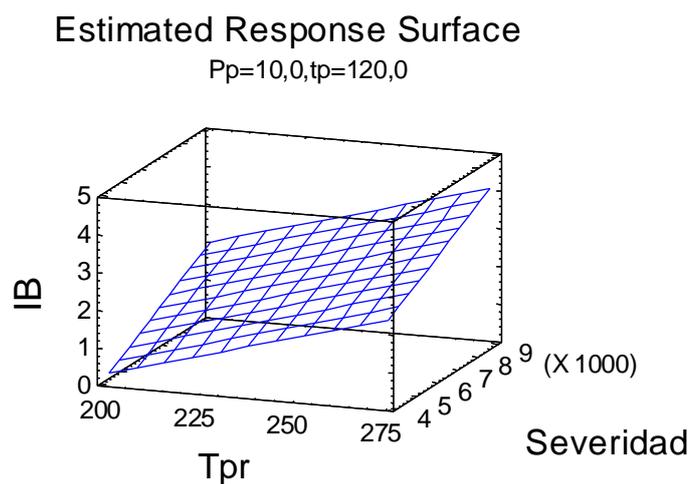
IB SERIES 51+52+61 (a)

$$IB = -7,64325 + 0,0953611 * Pp + 0,00117443 * tp + 0,0271418 * Tpr + 0,000355356 * Severidad$$



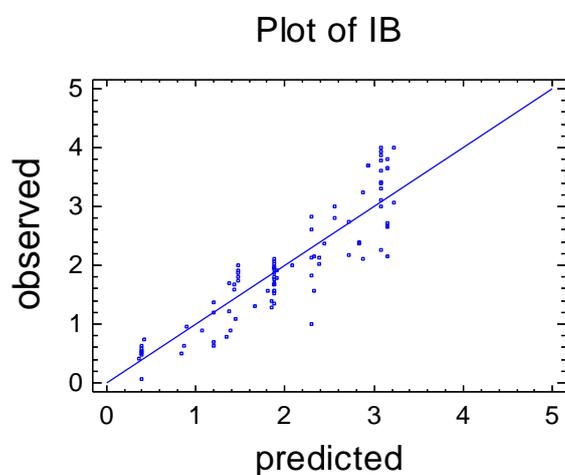
IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.4-61: Serie 51+52+ 61(a). IB en función de la Pp y tp



IB en Mpa; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.4-62: Serie 51+52+ 61(a). IB en función de la Tpr y Severidad

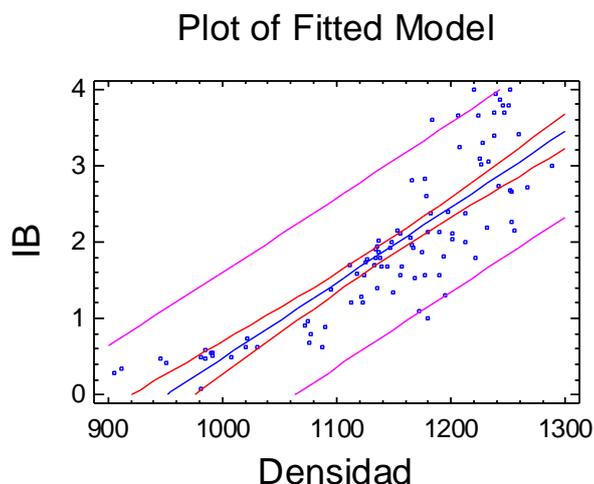


IB en Mpa

Figura 4.3.3-63: Serie 51+52+61(a). IB. Valores predichos versus observados

IB SERIES 51+52+61 (b)

$$IB = -9,41668 + 0,00989582 * \text{Densidad}$$



IB en Mpa; Densidad en Kg/m3

Figura 4.3.4-64: Serie 51+52+ 61(b). IB en función de la Densidad

4.3.4.5.- TS

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	CD	BCD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	15,85	7,87	10,64	21,06	54,02	75,68	81,04

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

El análisis de las diferentes posibles regresiones nos marca que el factor de producción con mayor influencia en el hinchamiento de los tableros es la severidad del pretratamiento. El segundo factor con mayor repercusión sobre el hinchamiento es la Tpr, aunque de forma individual nos daría mayor R2 la Pp. El orden de influencia de los factores de producción sobre el TS, resultante del análisis de las regresiones posibles, queda así: severidad>Tpr>tp>Pp. Es de destacar que sea la severidad la que presenta mayor repercusión sobre el TS, frente a la Pp que es el factor que mayoritariamente tiene un efecto dominante sobre las anteriores características estudiadas. Se manifiesta un mayor efecto de los factores de producción claramente térmicos (severidad, Tpr) sobre el claramente mecánico (Pp); a diferencia de las características mecánicas de los tableros, que se ven más afectadas por la Pp que por los factores claramente térmicos (severidad y Tpr).

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+52+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b * X + c * Z + d * W + e * Q$	$TS = 58,4484 - 0,196126 * Pp - 0,0058258 * tp - 0,16992 * Tpr - 0,00149652 * Severidad$
51+52+61	Lineal (Densidad)	$Y = a + bX$	$TS = 51,2382 - 0,0367698 * Densidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61	Pp	-5,07		<0,0001			
	tp	-5,77		<0,0001			
	Tpr	-14,79		<0,0001			
	Severidad	-14,98		<0,0001			
	Modelo		97,26	<0,0001		81,04	1,74
51+52+61	Ordenada	17,66		<0,0001			
	Pendiente	-14,60		<0,0001			
	Modelo		213,02	<0,0001	-0,8330	69,38	2,17

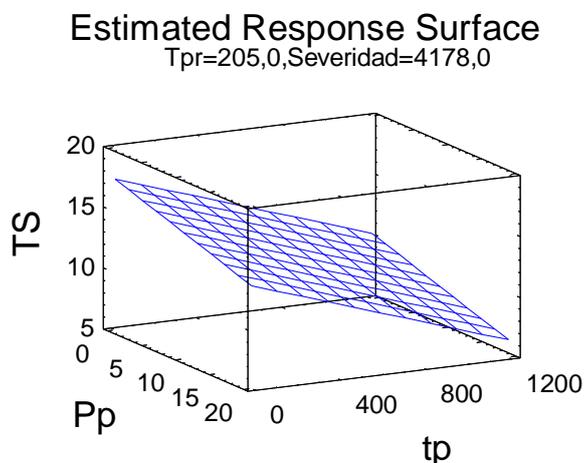
La función ajustada obtenida con la combinación de los cuatro factores de producción (Pp, tp, Tpr y severidad) es capaz de explicar más del 81 % de la variabilidad del hinchamiento; con un alto nivel de confianza, tanto de la participación de las distintas variables como del modelo obtenido.

Tanto en la función como en las figuras de superficie de respuesta, se aprecia cómo al aumentar cualquiera de los factores de producción disminuye el hinchamiento. Por tanto, al igual que con el resto de características, al aumentar los valores de los factores de producción obtenemos mejores tableros.

La función ajustada obtenida como regresión de los valores de la densidad, explica el 69 % de la variabilidad de l hinchamiento.

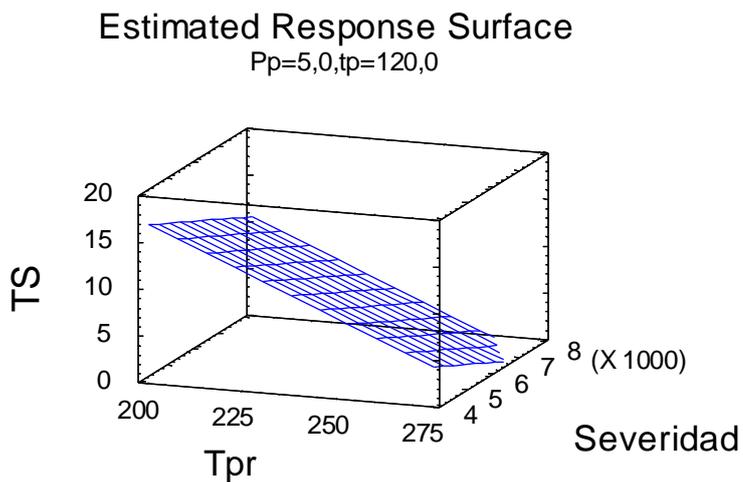
TS SERIES 51-52-53 (a)

$$TS = 58,4484 - 0,196126 * Pp - 0,0058258 * tp - 0,16992 * Tpr - 0,00149652 * Severidad$$

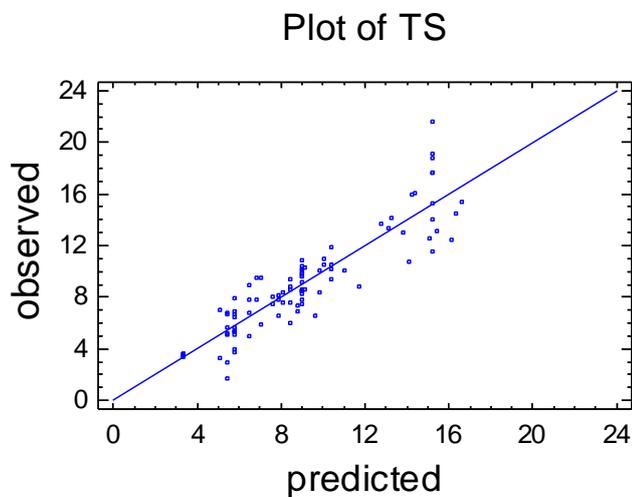


TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.4-65: Serie 51+52+ 61(a). TS en función de la Pp y tp



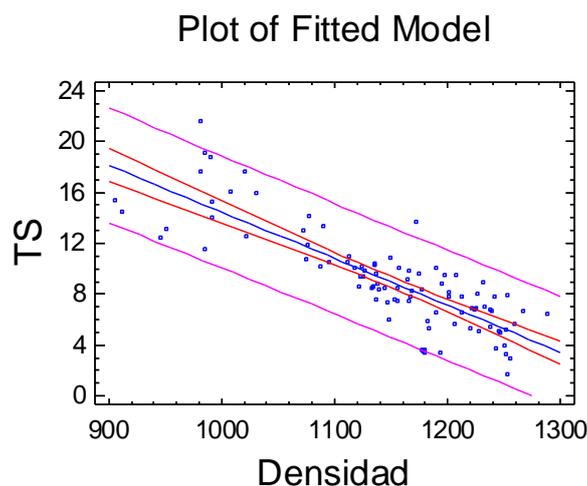
TS en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-66: Serie 51+52+ 61(a). TS en función de la Tpr y Severidad



TS en %
Figura 4.3.3-67: Serie 51+52+61(a). TS. Valores predichos versus observados

TS SERIES 51-52-53 (b)

$$TS = 51,2382 - 0,0367698 * \text{Densidad}$$



TS en %; Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.4-68: Serie 51+52+ 61(b). TS en función de la Densidad

4.3.4.6.- WA

Selección de Modelo de Regresión								
Serie	Variables Incluidas	A (Pp)	B (tp)	C (Tpr)	D (Sev.)	CD	BCD	ABCD
51+52+61	Coef.Determinac.(R2)	12,36	4,42	1,05	51,31	67,86	82,47	84,86

Solo se han expuesto las combinaciones que han ofrecido mayor R2

Siguiendo la misma tendencia marcada en el hinchamiento, el factor con mayor influencia en los valores del WA es la severidad, con mucha diferencia del resto; pues por sí solo es capaz de explicar más del 51 % de toda la variabilidad del WA. Si la severidad la combinamos con la Tpr, vemos que los dos factores de producción estrictamente térmicos nos explican casi el 68 % del WA. La Pp será el factor con menor peso en la WA.

Análisis de Regresión

Serie	Modelo	Ecuac.Tipo	Modelo Ajustado
51+ 52+61	Lineal (Pp,tp, Tpr, Severidad)	$Y = a + b * X + c * Z + d * W + e * Q$	$WA = 74,4264 - 0,201867 * Pp - 0,00805014 * tp - 0,190023 * Tpr - 0,00283317 * Severidad$
51+ 52+61	Lineal (Densidad)	$Y = a + bX$	$WA = 78,2806 - 0,0583413 * Densidad$

Resultados del Análisis de Regresión y de Varianza

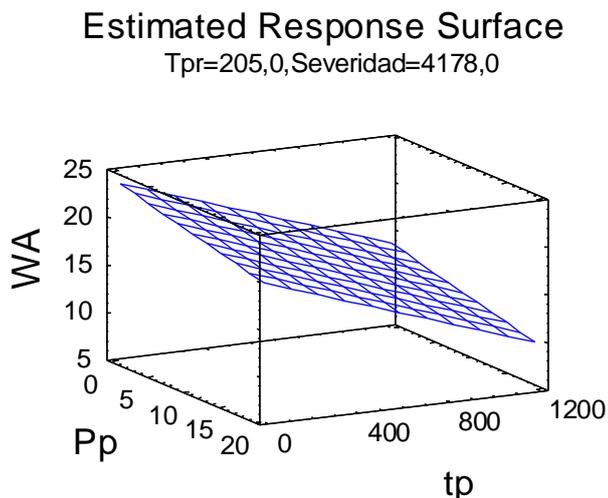
Serie	Fuente variación	T	F	P-Valor	Coef. Correlac.	Coef.Determ (R2 en %)	Error estándar
51+52+61	Pp	-3,79		<0,0001			
	Tp	-5,78		<0,0001			
	Tpr	-11,99		<0,0001			
	Severidad	-20,57		<0,0001			
	Modelo		127,46	<0,0001		84,86	2,40
51+52+61	Ordenada	18,76		<0,0001			
	Pendiente	-16,087		<0,0001			
	Modelo		258,80	<0,0001	-0,8565	73,36	3,13

La función ajustada de la WA, con la incorporación de los cuatro factores de producción, nos explica casi el 85 % de la variabilidad. Al igual que en casos anteriores, el nivel de confianza es muy elevado tanto para cada una de las variables como para el modelo (P-Valor <0,0001). Al aumentar cualquiera de los valores de los factores de producción disminuye el valor de la WA, al igual que ocurre con el TS.

Por otra parte, la ecuación ajustada de la WA en función de la densidad presenta un coeficiente de determinación alto (R2 = 73,4 %), aunque muy inferior al obtenido en la regresión que considera todos los factores de producción.

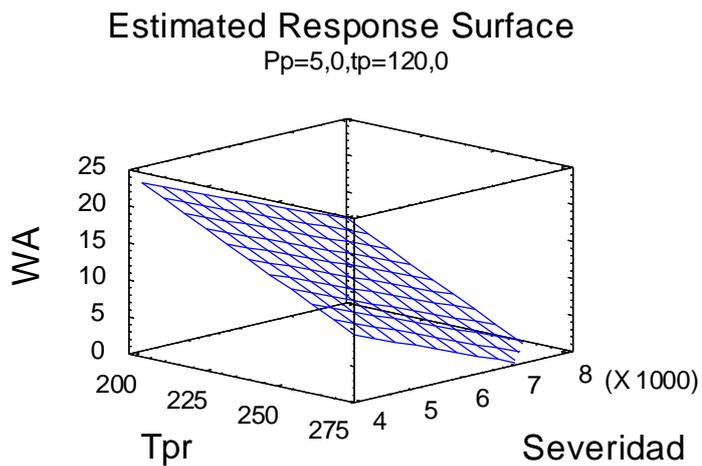
WA SERIES 51-52-61(a)

$$WA = 74,4264 - 0,201867 * Pp - 0,00805014 * tp - 0,190023 * Tpr - 0,00283317 * Severidad$$

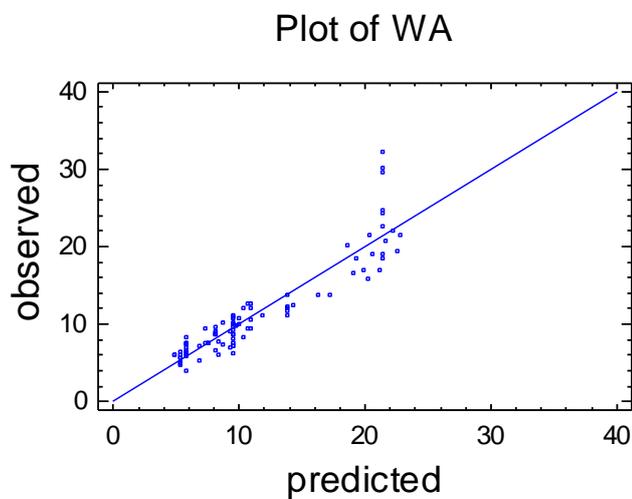


WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []

Figura 4.3.4-69: Serie 51+52+ 61(a). WA en función de la Pp y tp



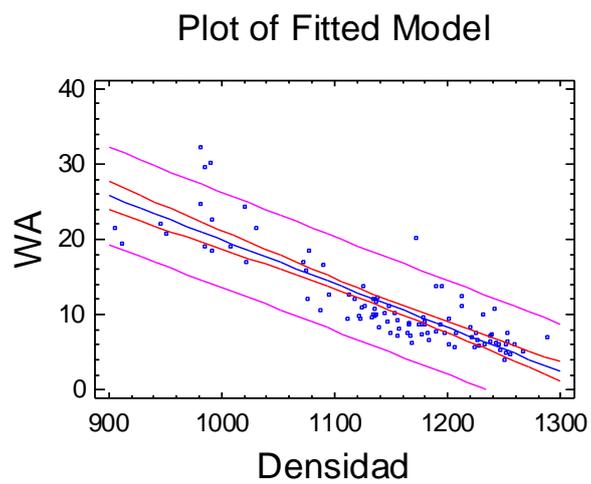
WA en %; Pp en Mpa; tp en segundos; Tpr en °C; Severidad []
Figura 4.3.4-70: Serie 51+52+ 61(a). WA en función de la Tpr y Severidad



WA en %
Figura 4.3.3-71: Serie 51+52+61(a). WA. Valores predichos versus observados

WA SERIES 51-52-61(b)

$$WA = 78,2806 - 0,0583413 * \text{Densidad}$$



WA en %; Densidad en Kg/m³

Figura 4.3.4-72: Serie 51+52+ 61(b). WA en función de la Densidad

4.3.5.- Producción de tableros con material no lavado en alta y baja severidad (series 53 y 63)

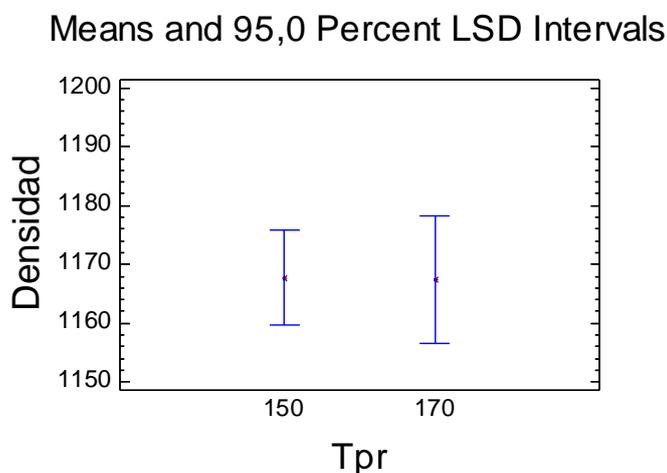
4.3.5.1.- Serie 53

La serie 53 se ha elaborado con material pretratado no lavado. A esta serie no se le pudo aplicar 205 °C, que era la menor de las Tpr aplicada a la Serie 51, puesto que a esa temperatura se supera prematuramente el límite tecnológico de esta serie 53. Es decir, no se conforman tableros (el material no tiene capacidad de aguantar la presión y se desparrama) o éstos son de muy mala calidad (el material se engancha en la malla de evacuación de vapor, formándose cráteres y burbujas). La severidad corresponde a la series 50 (8358) y las temperaturas de prensado han sido 150 y 170 °C.

Dentro de esta serie podemos analizar el efecto de la Tpr en las distintas propiedades de los tableros producidos con material no lavado. Para ello hemos hecho la comparación de los tableros producidos a una Pp = 10 Mpa y un tp = 30 segundos y a dos temperaturas diferentes: 150 y 170 °C. Para ninguna de las características (densidad, MOE, MOR, IB, TS o WA) se han encontrado diferencias estadísticamente significativas.

Hay que tener en cuenta que en esta serie estamos muy al límite de las condiciones máximas de prensado, con tableros con problemas de conformación y menos homogéneos, lo que dificulta la valoración de los efectos de los parámetros de producción.

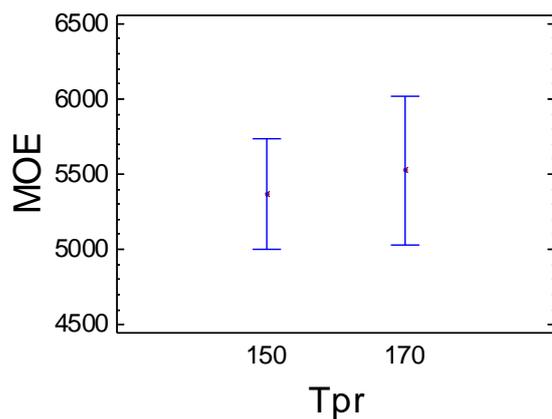
Debemos comentar que las dificultades de conformación de esta serie no ha impedido que consigamos obtener tableros de características físicas y mecánicas con valores que superan los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural: Densidad entre 1133 y 1202 Kg/m³; MOE = 6341 > 3000 Mpa; MOR = 33,5 > 29 Mpa; IB = 3,62 > 0,7 Mpa; TS = 0,32 < 35 %



Densidad en Kg/m³; Tpr en °C

Figura 4.3.5-1: Serie 53. Densidad por Tpr Separación de medias por LSD al 95 %

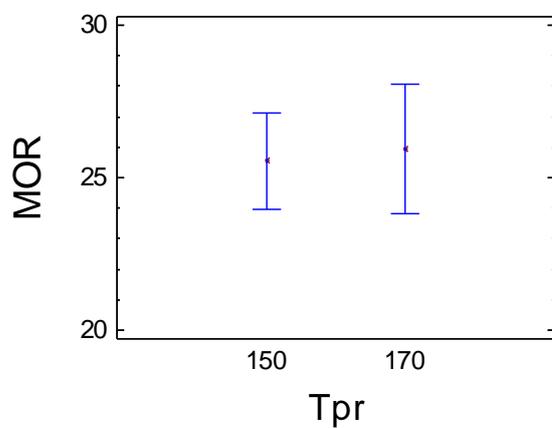
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOE en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-2: Serie 53. MOE por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

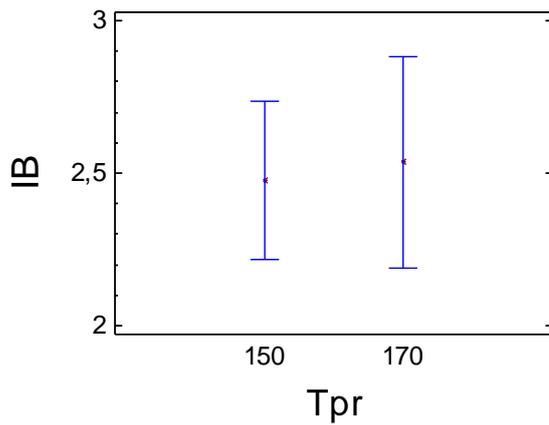
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-3: Serie 53. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

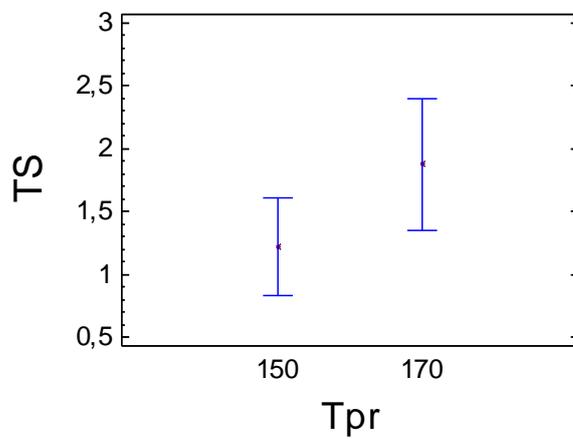
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-4: Serie 53. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

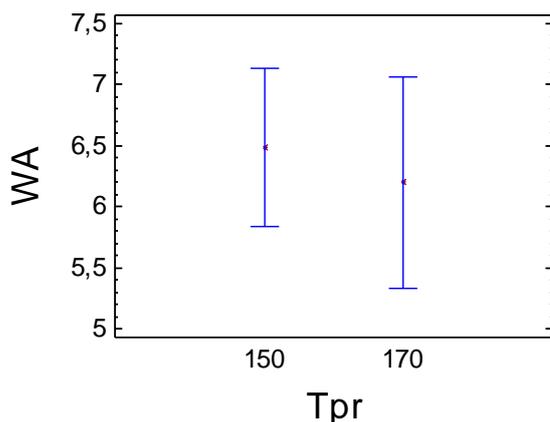
Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %; Tpr en °C

Figura 4.3.5-5: Serie 5. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %; Tpr en °C

Figura 4.3.5-6: Serie 53. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

4.3.5.2.- Serie 63

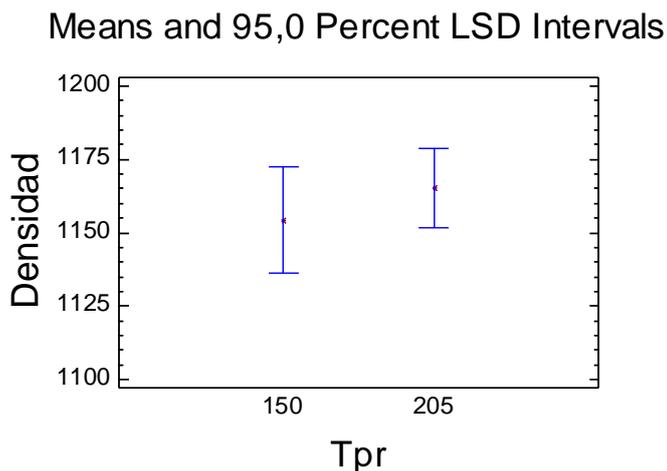
La imposibilidad de realizar tableros tratados a una severidad de 8358, porque no admitía su prensado en caliente a las condiciones más bajas aplicadas al material lavado, nos llevó a generar la serie 60 a mitad de severidad; permitiéndonos valorar el efecto de la severidad tanto en material no lavado como en el lavado.

En todo el Trabajo hemos ido, en el análisis estadístico, de menor a mayor complicación del análisis y de sus interpretaciones, con el objetivo de simplificar y clarificar al máximo las relaciones entre factores de producción y características de los tableros. De esta forma se ha llegado a las series 51, 52 y 61, donde con regresiones lineales sencillas en las que intervienen todos los factores de producción, se consigue explicar la variabilidad de las características de los tableros. En el caso de la serie 63, las relaciones entre factores de producción y características de los tableros no se pueden demostrar estadísticamente con la misma claridad y sencillez que se ha conseguido en las series 51, 52 y 61.

Como disponemos de 8 repeticiones del tablero central ($P_p = 10$ Mpa y $t_p = 30$ segundos) de la serie para dos Tpr (150 °C y 205 °C), hemos realizado la separación de medias para ver el efecto de la Tpr sobre las distintas propiedades de los tableros.

SERIE 63 DENSIDAD

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	0,57	0,4631	150°C	1154,14			
			205°C	1165,23	150-205 °C	-11,09	31,88



Densidad en Kg/m³; Tpr en °C

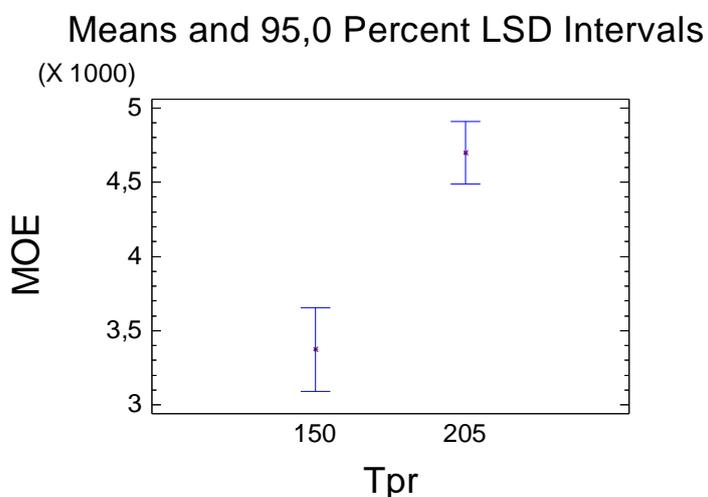
Figura 4.3.5-7: Serie 63. Densidad por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

Observamos que, aunque se mantiene el criterio obtenido en las series lavadas de que, a mayor Tpr, se obtiene mayor densidad; las diferencias no son estadísticamente significativas.

El rango en el que se han movido los valores de la Densidad de esta serie es muy similar al del resto de series incluidas las elaboradas con material lavado (1059,9-1196,8 Kg/m³).

SERIE 63 MOE

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	33,78	<0,0001	150°C	3372,60			
			205°C	4699,78	150-205°C	*-1327,18	497,55



MOE en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-8: Serie 63. MOE por Tpr Separación de medias por LSD al 95 %

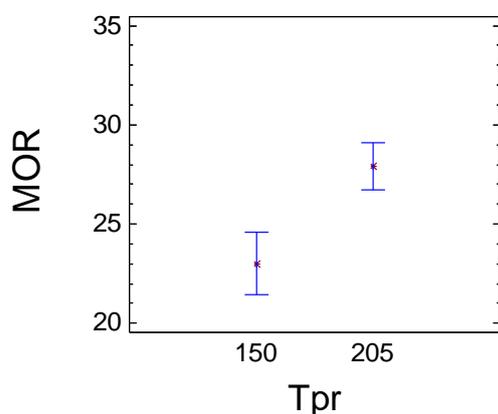
En este caso sí se verifica con claridad que, al aumentar la Tpr, aumenta el MOE; tal como se había determinado en los tableros con material lavado.

También se debe resaltar que los valores obtenidos de MOE superan con creces los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural (MOE máx. = 5413 > 3000 Mpa de la EN).

SERIE 63 MOR

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	15,07	0,0022	150°C	23,00			
			205°C	27,92	150-205°C	*-4,92	2,76

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-9: Serie 63. MOR por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

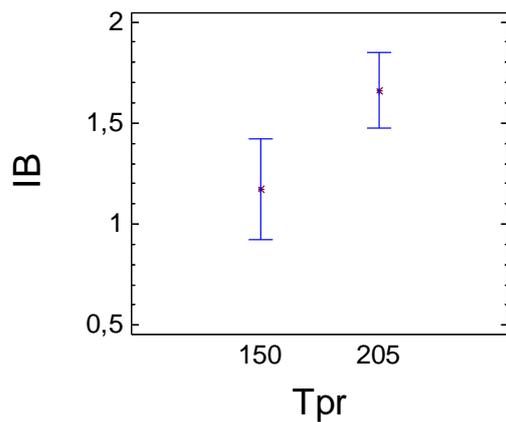
También se obtiene un mayor MOR al aumentar la Tpr, con diferencias estadísticamente significativas.

Además se observa que hemos obtenido valores de MOR que superan los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural (MOR máx. = 30,52 > 29 Mpa de la EN).

SERIE 63 IB

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	5,93	<0,0314	150°C	1,17			
			205°C	1,66	150-205°C	*-0,49	0,44

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



IB en Mpa; Tpr en °C

Figura 4.3.5-10: Serie 63. IB por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

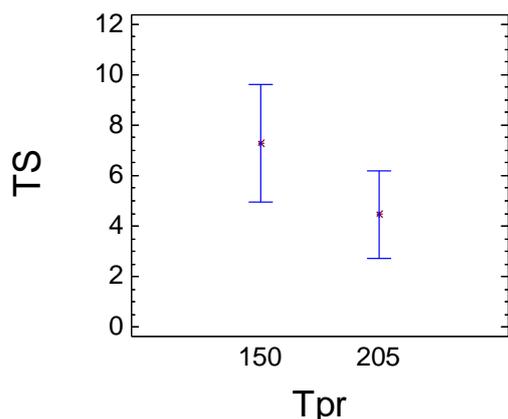
El IB responde de la misma manera que las características mecánicas anteriores: al aumentar la Tpr aumenta el IB de manera estadísticamente significativa.

También se debe indicar que los valores obtenidos de IB superan con creces los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural (IB máx. = 2,69 > 0,7 Mpa de la EN).

SERIE 63 TS

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	2,25	0,1594	150°C	7,28			
			205°C	4,46	150-205°C	2,82	4,10

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



TS en %; Tpr en °C

Figura 4.3.5-11: Serie 63. TS por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

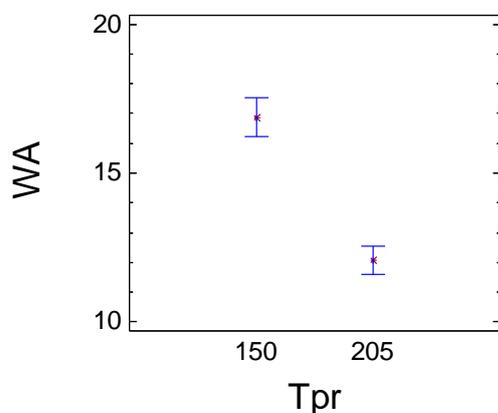
Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, se mantiene una clara tendencia de menor hinchamiento (TS) al aumentar la Tpr.

Los valores obtenidos de TS superan con creces los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural (TS mín. = 1,47 << 35 %) (EN 317: 1993, 1994).

SERIE 63 WA

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Tpr	81,77	<0,0001	150°C	16,86			
			205°C	12,07	150-205°C	*4,79	1,16

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



WA en %; Tpr en °C

Figura 4.3.5-12: Serie 63. WA por Tpr. Separación de medias por LSD al 95 %

Se observa claramente que al aumentar la Tpr disminuye la WA. Se demuestran claras diferencias estadísticas entre las medias de WA para las dos Tpr ensayadas. Tal como aquí ocurre, en la mayor parte de las series, la claridad de los resultados en el WA es muy superior al caso del TS, debido a que el valor del WA está menos influido por el espesor, parámetro menos homogéneo que determina directamente el TS.

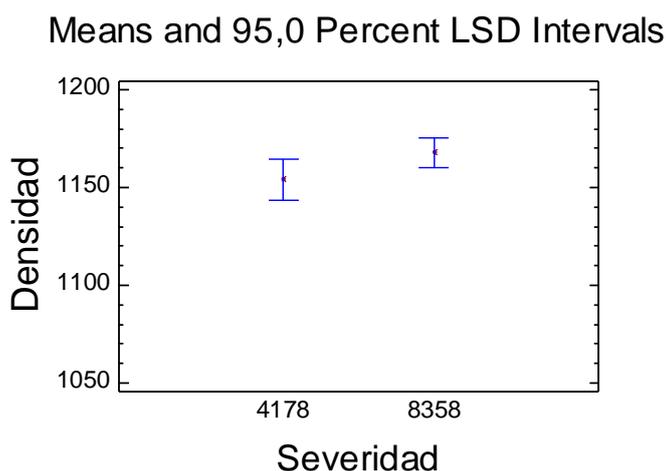
Los valores obtenidos de WA en la serie 63 son muy similares a los obtenidos en la serie 61.

4.3.5.3.- Comparación de las Series 53 y 63 (efecto de la severidad)

De cada una de las series tenemos tableros que han tenido las mismas condiciones de prensado en caliente ($P_p = 10$ Mpa; $T_{pr} = 150$ °C; $t_p = 30$ segundos). Esto nos permite obtener información del efecto de la severidad puesto que es el único factor que diferencia a estos tableros de las series 53 y 63.

SERIES 53-63 DENSIDAD

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	2,59	0,1336	4178	1154,14			
			8358	1167,72	4178-8358	-13,58	18,39



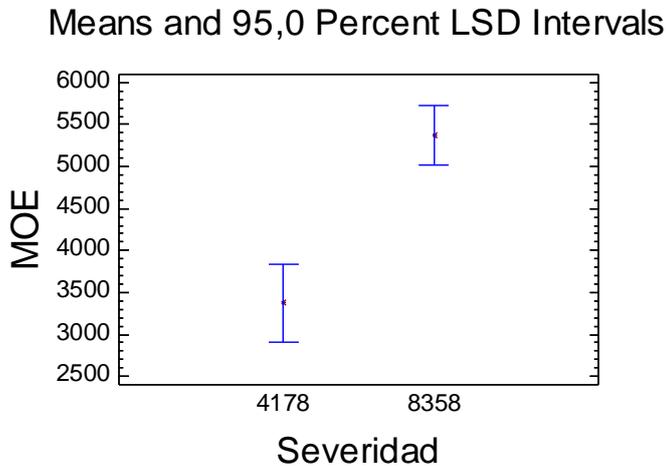
Densidad en Kg/m³; Severidad []

Figura 4.3.5-13: Serie 53+ 63. Densidad por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

Las diferencias existentes en la densidad no llegan a ser estadísticamente significativas, pero mantienen la tendencia demostrada en las series de material lavado: se consigue una mayor densidad al aumentar la severidad, o cualquiera del resto de factores.

SERIES 53-63 MOE

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	27,40	0,0002	4178	3372,60			
			8358	5368,44	4178-8358	*-1995,84	830,82



MOE en Mpa; Severidad []

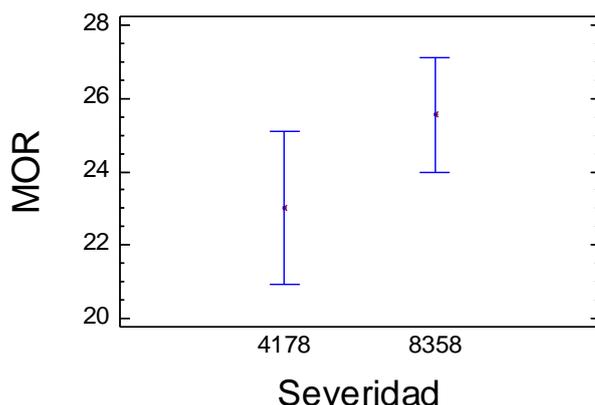
Figura 4.3.5-14: Serie 53+ 63. MOE por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

En el MOE sí se consiguen diferencias estadísticamente significativas entre las medias en las dos severidades valoradas, cumpliéndose que, a mayor severidad se obtiene mayor MOE (a igualdad del resto de condiciones).

SERIES 53-63 MOR

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	2,25	0,1592	4178	23,00			
			8358	25,55	4178-8358	-2,55	3,69

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



MOR en Mpa; Severidad []

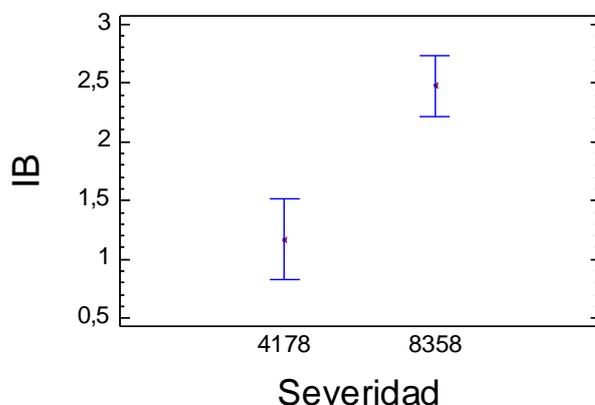
Figura 4.3.5-15: Serie 53+ 63. MOR por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

Tal como ha ocurrido con la densidad, las diferencias existentes entre las medias no son estadísticamente significativas, pero mantienen las tendencias demostradas para las series de material lavado: al aumentar la severidad aumenta el MOR.

SERIES 53-63 IB

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	21,88	0,0005	4178	1,17			
			8358	2,48	4178-8358	*-1,31	0,61

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



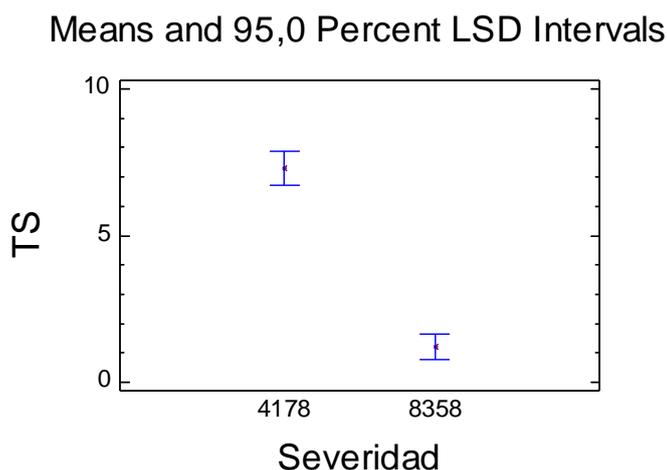
IB en Mpa; Severidad []

Figura 4.3.5-16: Serie 53+ 63. IB por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

Se demuestra el efecto de la severidad sobre el IB. Se puede concluir que al aumentar la severidad, a igualdad del resto de factores de producción, el IB aumenta.

SERIES 53-63 TS

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	162,43	<0,0001	4178	7,28			
			8358	1,22	4178-8358	*6,06	1,04



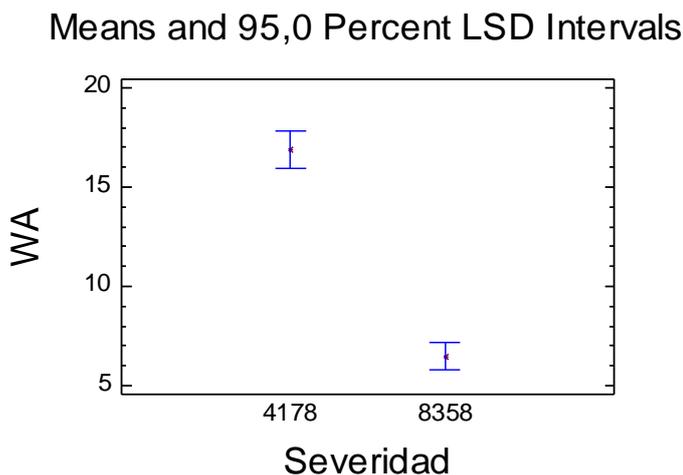
TS en %; Severidad []

Figura 4.3.5-17: Serie 53+ 63. TS por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

También son estadísticamente significativas las diferencias en TS para las dos severidades estudiadas. Se mantiene el criterio de menor TS al aumentar la severidad.

SERIES 53-63 WA

Análisis de Varianza Factorial			Separación de medias por LSD al 95 %				
Fuente	F	P-Valor	Serie	Media	Contraste	Diferencia	+/- Límites
Severidad	185,95	<0,0001	4178				
			8358	6,48	4178-8358	*10,38	1,66



WA en %; Severidad []

Figura 4.3.5-18: Serie 53+ 63. WA por Severidad. Separación de medias por LSD al 95 %

Son estadísticamente significativas las diferencias en WA para las dos severidades estudiadas. Al igual que en el TS y al contrario del resto de parámetros físicos y mecánicos, se mantiene el criterio de menor WA al aumentar la severidad.

4.3.5.4 Conclusiones a los tableros producidos con material no lavado

La serie 53, elaborada con material no lavado, a 205 °C (Tpr mínima aplicada a la serie 51) supera el límite tecnológico. Se pudieron conformar tableros bajando la Tpr (150 y 170 ° C). Queda claro que los componentes solubles (fundamentalmente hemicelulosas) determinan una bajada del límite tecnológico y una dificultad añadida de conformación de los tableros. Los tableros se pueden conformar pero con unas condiciones menos agresivas de prensado en caliente. Al estar al límite de las condiciones máximas de prensado, obtenemos tableros menos homogéneos en los que no se valora correctamente el efecto de los parámetros de producción y por tanto también serán menos predictibles.

A pesar de todos los problemas, se han obtenido tableros de características físicas y mecánicas con valores que superan los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural.

Después de realizar numerosos análisis estadísticos sobre la serie 63, se ha visto que da diferencias estadísticas y tendencias más claras que la Serie 53, fundamentalmente porque los tableros se han podido conformar correctamente; pero no podemos argumentar estadísticamente, relaciones simples y nítidas entre todos los factores de producción y las características físicas y mecánicas de los tableros realizados con material NO lavado. La tendencia del efecto de los parámetros es muy similar, pero las pequeñas irregularidades de los tableros enmascaran las relaciones descritas en las series elaboradas con material lavado.

Al disponer de bastantes repeticiones, sí hemos podido demostrar el efecto de la Tpr sobre todas las características físicas y mecánicas de los tableros, confirmando que

se mantienen las mismas relaciones (o al menos tendencias) que se producían en los tableros de material lavado. Al aumentar la Tpr mejoran las propiedades de los tableros, con tendencias no significativas estadísticamente para la densidad y el TS, y con diferencias estadísticamente significativas para el resto de características (MOE, MOR, IB y WA).

Para todas las características de los tableros producidos con material no lavado se cumplen los mismos criterios obtenidos en las series lavadas; de tal forma que al aumentar la severidad, los valores de estas propiedades mejoran. En algún caso la tendencia no es estadísticamente significativa (densidad y MOR) y sí lo es en el resto de propiedades (MOE, IB, TS y WA).

5.- Conclusiones generales

5.1.- Conclusiones generales al *Arundo donax L.*

Se ha demostrado que el *Arundo donax L.* es un material adecuado para la producción de tableros de fibra, incluso de uso estructural, sin aporte de adhesivos; puesto que se han obtenido valores superiores a los requeridos por las normas EN 622-5: 2006 para las distintas propiedades físicas y mecánicas estudiadas.

La densidad, MOE, MOR, TS y WA se ven muy significativamente determinadas por la Pp. En todos los casos, al aumentar la Pp obtenemos tableros con mayor densidad, MOE y MOR y con menores TS y WA. Al aumentar Pp también aumenta el IB, con relaciones estadísticamente muy significativas solo en las series optimizadas.

En el caso del *Arundo donax* se demuestra que los procesos de prensado en frío seco y húmedo no comportan diferencias, estadísticamente significativas, para ninguna de las características de los tableros y ninguna de las series. Solo entre las series 11 y 12 (no optimizadas) la densidad y el TS presentan pequeñas diferencias entre los dos procesos. Estas conclusiones son nuevamente tratadas en el estudio de *Saccharum officinarum*.

La aplicación del tratamiento térmico final permite la obtención de tableros más homogéneos, con menores desviaciones, y mejores IB, TS y WA.

Conseguir tableros más homogéneos nos permite modelizar mejor su comportamiento físico-mecánico y las relaciones entre factores de producción y características de los mismos.

La comparación de las fotografías de microscopio electrónico demuestra una mayor y mejor distribución de la lignina cuando se aplica el tratamiento térmico final, lo que justifica los resultados anteriores.

Dado que la característica más crítica de los tableros en estudios realizados por otros autores ha sido el IB y que, el Tratamiento térmico final, nos ha permitido mejorar el IB, TS y WA, así como obtener tableros más homogéneos en *Arundo donax L.*; se decidió aplicar el Tratamiento térmico final al siguiente material de estudio: *Saccharum Officinarum L.*

El efecto de la Pp sobre las características físicas y mecánicas se puede modelizar con ajustes muy simples y estadísticamente muy significativos. El modelo matemático de mejor ajuste varía con el proceso de producción.

El modelo recíproco y su inverso el doble recíproco, se han revelado como los más adecuados para la modelización de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros del proceso no optimizado (Series 11,12 y 21).

La serie 22, de manera independiente, se ajusta bien a una regresión de raíz cuadrada en X, similar a las recíprocas de las series 11,12 y 21. La serie 3 en particular o el proceso optimizado en conjunto, serie 22+3, responde muy bien al modelo lineal. Este es el modelo que se generalizará posteriormente en el análisis del bagazo de *Saccharum officinarum*.

Los tableros de la serie no lavada (serie 4), respecto a las series lavadas (series 2 y 3), no han presentado diferencias estadísticamente significativas en densidad e IB, presenta valores ligeramente inferiores en MOR y han mejorado en menor grado en MOE, TS y WA. También presentan un límite tecnológico más bajo y una mayor variabilidad; por lo que en las series lavadas se pueden conseguir mejores tableros. A pesar de ello, se pueden obtener tableros de calidad comercial partiendo de *Arundo donax* L. pretratado no lavado (serie 4).

Los tableros obtenidos con material no lavado muestran la posibilidad de seguir mejorando el proceso desde la vertiente medioambiental.

5.2.- Conclusiones al *Saccharum officinarum* L.

5.2.1.- Conclusiones por características de los tableros en *Saccharum Officinarum* L.

Para exponer con detalle cómo repercute cada factor de producción en cada una de las características de los tableros, se ha generado una tabla síntesis que nos facilita la interpretación global de los resultados. En esta tabla se exponen los factores de producción de tableros estudiados en cada serie (solo de las series realizadas con material lavado), en orden de mayor a menor repercusión sobre el parámetro estudiado (orden de mayor a menor R2).

Tabla 5.2.1-1: Orden de preponderancia de los factores de producción por Características

CARACTERÍSTICA	SERIE	1	2	3	4	5	6	7
Densidad	51	A	B					
	52	A	B					
	61	A	B	C		A C		
	51+61	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D
	51+52+61	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D
MOE	51	A	B					
	52	A	B					
	61	B	C	A		B C		
	51+61	A	B	D	C	A C	A C D	A B C D
	51+52+61	A	B	D	C	A C	A C D	A B C D
MOR	51	B	A					
	52	B	A					
	61	B	A	C		B C		
	51+61	A	B	D	C	A D	A C D	A B C D
	51+52+61	A	B	D	C	A D	A C D	A B C D
IB	51	A	B					
	52	A	B					
	61	C	B	A		B C		
	51+61	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D
	51+52+61	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D
TS	51	A	B					
	52	B	A					
	61	C	B	A		B C		
	51+61	D	C	A	B	C D	B C D	A B C D
	51+52+61	D	A	C	B	C D	B C D	A B C D
WA	51	A	B					
	52	A	B					
	61	C	B	A		B C		
	51+61	D	A	B	C	C D	B C D	A B C D
	51+52+61	D	A	B	C	C D	B C D	A B C D

A Presión de prensado (Pp); B tiempo de prensado (tp); C Temperatura de prensado (Tpr); D Severidad

5.2.1.1.- Conclusiones a la Densidad

Todos los factores tienen una relación lineal significativa con la densidad final del tablero, dentro de un P-Valor < 0,0001. Incluso sin diferenciar entre procesos o series.

La presión de prensado determina mayoritariamente la densidad del material, dentro de una serie; y con los tres factores restantes explicarían casi la totalidad de la variabilidad para todas las series ($R^2 = 91,2 \%$).

En todas las series el factor con mayor repercusión en la variabilidad de la densidad es la Pp (sin excepción alguna). Esto pone de relieve la importancia que se le debe dar a este factor en el proceso de producción de los tableros, en cuanto a densidad se refiere.

Si observamos la serie 61 (donde contrastamos Pp, tp y Tpr) observamos que el segundo factor con más peso (solo de forma individual y en esta serie) es el tp, pero en las regresiones con dos variables independientes será el binomio Pp con Tpr quien presenta mayor R^2 .

En el estudio estadístico del proceso seco (series 51+61), se observa que el factor individual con más peso es la Pp y el segundo factor de producción que más variabilidad explica es la severidad; tanto de forma individual como en las regresiones con dos variables. En la regresión con tres variables, a los dos factores anteriores (Pp y severidad) se le suma la Tpr; siendo la regresión con esta combinación de tres factores la que presenta mayor R^2 . Queda, por tanto, como factor con menor peso el tp.

En el estudio conjunto de las tres series (51+52+61) se replican los resultados obtenidos en el estudio de las series 51+61; por lo que podemos concluir que el orden de influencia de los factores de producción en la variabilidad de la densidad de estos tableros es: Pp>Severidad>Tpr>tp

El R^2 llega al 93 % dentro del proceso seco (Series 51 y 61), siempre para regresiones lineales y considerando todos los factores, incluida la severidad del pretratamiento.

La diferencia entre el prensado en frío húmedo y seco es escaso aunque significativo estadísticamente. Los tableros prensados en frío en húmedo consiguen una densidad ligeramente superior.

En todos los casos, al aumentar cualquiera de los factores considerados, aumenta la densidad.

Se puede disponer de una ecuación que nos dé la densidad en función de las distintas variables que intervienen. Para Saccharum officinarum, en los intervalos estudiados sería: $Densidad = 235,915 + 7,36884 * Pp + 0,145182 * tp + 2,70572 * Tpr + 0,0327191 * Severidad$

5.2.1.2.- Conclusiones al MOE

Se puede concluir que hay diferencias significativas entre las series 50 y la 61. Ello se debe al evidente efecto del pretratamiento. Recordemos que la serie 61 se le ha aplicado la mitad de severidad que a las series 50. Esto nos está diciendo que la media del MOE, con los valores de los factores de prensado aplicados, es menor en la serie 61 que en las series 50. Pero esto no implica que no se puedan alcanzar valores tan altos o mayores en la serie 61, sino que deberemos aumentar los valores de los factores de producción durante el prensado en caliente. De hecho, el mayor MOE obtenido en la serie 61 es de 5514 Mpa, que solo es ligeramente inferior al obtenido en la serie 52 (5740 Mpa), pero con la diferencia de que en la series 50 hemos llegado al límite tecnológico y en la serie 61 no, por lo que cabe mejorar este valor.

La presión de prensado es el factor con mayor peso en la variabilidad del MOE. Si lo estudiamos como único factor cuantitativo, y el resto como factores de clase, se observa que éste explica casi el 97 % de la variabilidad; lo que confirma las altas correlaciones y la bondad de los datos.

La escasa diferencia entre el coeficiente de determinación conseguido sin considerar ningún factor clase ($R^2 = 92,01\%$), y el coeficiente conseguido considerando grupo clase las series ($R^2 = 92,26\%$), nos confirma la escasa diferencia entre los procesos de prensado en seco y húmedo.

Una regresión lineal entre el MOE y la densidad explica una gran proporción de la variabilidad del MOE ($R^2 = 82,1\%$), pero queda mucho mejor explicado considerando los distintos factores de forma independiente ($R^2 = 92\%$).

Observando el MOE de todas las series y combinación de las mismas (51+61 o 51+52+61) comprobamos que (excepto en la serie 61) en todos los casos, de forma individual, el factor que más variabilidad explica es la Pp. Este mismo criterio se mantiene en las regresiones que incorporan dos variables. El segundo es siempre la Tpr y el tercero la severidad.

Se puede concluir que los factores de mayor influencia en el MOE son la presión de prensado y la temperatura de prensado, seguido de la severidad del pretratamiento. El tiempo de prensado también mantienen una relación lineal con el MOE, estadísticamente significativa pero de efectos menores.

En el caso de la serie 61, con baja severidad, se demuestra que el efecto de la Pp repercute menos que el tp e incluso que la Tpr. Podemos concluir que con baja severidad en el pretratamiento, la Pp pierde efectividad y la conformación del tablero exige una mayor transferencia de energía térmica en el prensado, para conseguir similares propiedades físicas y mecánicas.

Se puede disponer, para cada material, de una ecuación que nos dé el MOE en función de las distintas variables que intervienen. Para *Saccharum officinarum* L., en los intervalos estudiados, sería: $MOE = -10597,1 + 0,357879 * Severidad + 132,464 * Pp + 45,5911 * Tpr + 2,52529 * tp$

Se pueden obtener valores de MOE muy superiores a los exigidos por la norma EN-625-5 para todo tipo de tableros, incluidos los estructurales. MOE exigido: 3000 Mpa; MOE conseguido: 6199 Mpa. También son valores superiores a los obtenidos por otros autores: 3,8 Gpa (S. Lee et al 2006); 2,12 Gpa (Tabarsa, T. et al 2011).

5.2.1.3.- Conclusiones al MOR

En la separación de medias del MOR entre las tres series de *Saccharum Officinarum*, se llega a las mismas conclusiones que en el caso del MOE: se diferencian las series 50 de la 61, con menor severidad. Esto indica que, si le hemos aplicado menos energía en la fase de pretratamiento, para obtener resultados similares se debe hacer un mayor aporte de energía a los tableros en su fase de conformación en caliente.

La repercusión de los distintos factores sobre el MOR presenta menos diferencias que en otras características de los tableros.

Si consideramos la regresión de la serie 51+52+61, se replican los resultados con respecto a la Serie 51+52. El orden de repercusión de los factores sobre el MOR, en el conjunto de las tres series, es el mismo que en la densidad: Pp>Severidad>Tpr>tp. Se diferencia respecto al MOE en que en éste la severidad ocupa el tercer puesto.

No se presentan diferencias significativas en el MOR entre el proceso de prensado en frío seco y húmedo (Series 51 y 52).

La ecuación que define el MOR del conjunto de las tres series (51+52+61) atendiendo a todas las variables, sin hacer separación por clases es: $MOR = -61,3855 + 0,00266907 * Severidad + 0,85256 * Pp + 0,250586 * Tpr + 0,0193774 * tp$

Al aumentar cada uno de estos factores, aumenta la Densidad, el MOE y también el MOR.

Al igual que el MOE, la densidad define una parte importante de la variabilidad del MOR ($R^2 = 80,7\%$), pero queda mucho mejor definido considerando todos los factores de producción ($R^2 = 86,7\%$); y aumenta si se considera dentro de cada serie (90,64 % para la serie 61).

Se pueden obtener valores de MOR muy superiores a los exigidos por la norma EN-625-5 para todo tipo de tableros, incluidos los estructurales. MOR exigido: 29 Mpa; MOR conseguido: 44 Mpa. También son valores superiores a los obtenidos por otros autores: 40 Mpa aproximado (Lee, Shupe, & Hse, 2006); 20,5 Mpa (Tabarsa, Ashori, & Gholamzadh, 2011).

5.2.1.4.- Conclusiones al IB

El IB depende linealmente de todos los factores que intervienen en el proceso para un P-Valor <0.0001. Se determina una ecuación lineal que explica el 81,9 % de la variabilidad del IB, sin diferenciar entre procesos ni series.

El parámetro de producción que mayor % de variabilidad explica, en una regresión de una o dos variables, es la Pp, en todas las regresiones de series individuales o en combinación (51, 52, 51+61, 51+52+61), excepto para la serie 61 tratada aisladamente. Al igual que ocurre para el MOE y MOR, la Pp es menos significativa a severidades bajas. Este efecto queda diluido cuando consideramos la serie 61 junto con otras; predominando de nuevo la Pp sobre el resto de factores.

En las regresiones de la serie 51+52, donde se puede valorar el efecto de las cuatro posibles variables, en las regresiones con dos variables se incorpora la severidad como segundo factor con mayor peso en la explicación de la variabilidad. En la regresión con tres factores aparecerá, además de los dos anteriores la Tpr y por último el tp.

En las regresiones de la serie 51+52+61, se repite exactamente el mismo orden de preponderancia entre factores respecto a su efecto en el IB, por lo que podemos concluir que claramente este orden es: Pp>Severidad>Tpr>tp. En el caso de baja severidad, la presión de prensado es superada por el resto de factores.

La diferencia entre series es significativa solo entre las series 50 y 60; como consecuencia de la diferencia de severidad. Por tanto, también se puede concluir que no existen diferencias significativas en el IB como consecuencia del prensado en frío en seco o húmedo.

La vinculación del IB con la densidad, aunque alta, es menor que para otros parámetros ($R^2 = 71,8 \%$).

Se pueden obtener valores de IB muy superiores a los exigidos por la norma EN-625-5 para todo tipo de tableros, incluidos los estructurales. IB exigido: 0.7 Mpa; IB conseguido: Superior a 4 Mpa. También son valores superiores a los obtenidos por otros autores: 1,4 Mpa (S. Lee et al 2006); < 0.5 Mpa (Tabarsa, T. et al 2011)

La ecuación que define el IB del conjunto de las tres series (51+52+61) atendiendo a todas las variables, sin hacer separación por clases es: $IB = -7,64325 + 0,0953611*Pp + 0,00117443*tp + 0,0271418*Tpr + 0,000355356*Severidad$.

5.2.1.5.- Conclusiones al TS

Se ha obtenido un modelo lineal que explica el 81 % de la variabilidad del TS, sin diferenciar entre ninguna de las series. Este valor aumenta al 83 % en el proceso seco (series 51 y 61), o al 87,6 % si nos limitamos a la serie 61 y dejamos la temperatura de prensado como único factor cuantitativo. Ello nos demuestra el gran efecto que tiene la temperatura de prensado sobre el TS.

No hay diferencias estadísticamente significativas, en cuanto a TS, para el proceso húmedo y seco de prensado en frío (series 51 y 52). Sí son claramente significativas para la serie 61 por su diferencia de severidad en el pretratamiento.

Los cuatro factores de producción estudiados tienen un efecto significativo (P-Valor <0.0001) sobre el TS. Al aumentar cualquiera de ellos, disminuye el hinchamiento.

El estudio de las regresiones de la serie 51+52 muestra que el mayor peso de la variabilidad recae en la severidad, seguido de la temperatura de prensado. Le seguirá el tiempo de prensado y por último la presión de prensado: Severidad>Tpr>tp>Pp. Este mismo orden se mantiene cuando analizamos las tres series en conjunto, por lo que podemos ratificar esta conclusión.

La densidad también tiene un papel importante en el hinchamiento pues explicaría un 69 % de la variabilidad.

Es de destacar que los factores principalmente determinantes del hinchamiento son la severidad y la temperatura de prensado, quizás por un efecto “sellado” de la superficie del tablero.

Se puede disponer, para cada material, de una ecuación que nos dé el TS en función de las distintas variables que intervienen. Para Saccharum officinarum, en los intervalos estudiados, sería: $TS = 58,4484 - 0,196126 * Pp - 0,0058258 * tp - 0,16992 * Tpr - 0,00149652 * Severidad$

Se pueden obtener valores de TS muy inferiores a los máximos permitidos por la norma EN-625-5 para todo tipo de tableros, incluidos los estructurales. TS máx.: 35 %; TS conseguido: Inferior al 5 %. También son valores inferiores a los obtenidos por otros autores: 13 % (S. Lee et al 2006), > 22 % (Tabarsa, T. et al 2011).

5.2.1.6.- Conclusiones a la WA

El estudio estadístico de los resultados nos muestra que todos los factores de producción considerados son significativos (P-Valor <0.0001) en el WA de los tableros.

En el estudio de las series 51 y 52 por separado, la regresión considerando solo la Pp nos da un mayor R2 que considerando solo tp (únicos parámetros variables). En la serie 61 ocurre lo mismo que en el resto de características, y es el hecho de que la Pp pierde repercusión por tratarse de material al que se le ha aplicado poca severidad en el

pretratamiento. Será la Tpr el parámetro que por sí solo explicará mayor variabilidad del WA en esta serie, seguido del tp y por último la Pp.

Cuando consideramos la regresión de la serie 51+61, donde ya podemos valorar el efecto de la Severidad, queda claro que ésta es el factor que mayor efecto tiene sobre el WA, tanto de manera individual (regresión con una sola variable), como en las regresiones considerando dos, tres o todos los factores de producción. Por tanto se puede concluir que el factor con mayor repercusión en el WA para el proceso seco es la severidad. El mismo análisis nos revelará que el segundo factor de mayor impacto es la Tpr, el tercero el tp y por último la Pp.

Aunque las tres series son estadísticamente diferentes, la fundamental diferencia está entre las series 50 y 60; es decir, el factor que marca las principales diferencias en el WA es la severidad en la explosión de vapor.

Si observamos las regresiones de la serie 51+52+61, veremos que se reproducen los mismos patrones que en análisis exclusivamente de la serie 51+52. Podemos concluir que la secuencia de mayor a menor repercusión de los factores de producción en la WA es: Severidad>Tpr>tp>Pp. Esta es la misma secuencia del TS.

Casi el 85 % de la variabilidad queda explicada con una relación lineal de todos los factores, para todos los tableros (sin distinción del proceso seguido ni de la serie). Este coeficiente de determinación es ligeramente superior al conseguido en el TS, posiblemente porque la medición de este parámetro es sensiblemente más fácil y con menos errores que el TS. Este último está afectado por la medida del espesor y éste no es absolutamente homogéneo y su medida no es tan repetible como el peso.

En todos los casos, al aumentar la Severidad y la Tpr, disminuye la WA; al igual que al aumentar tp y Pp, pero en mucho menor grado.

La densidad explica el 73,7 % de la variabilidad de la WA. Al aumentar la densidad, disminuye la absorción de agua.

La ecuación que nos da el WA en función de las distintas variables que intervienen, para Saccharum officinarum y en los intervalos estudiados, es: $WA = 74,4264 - 0,201867 * Pp - 0,00805014 * tp - 0,190023 * Tpr - 0,00283317 * Severidad$.

5.2.2.- Conclusiones por factores de producción con *Saccharum Officinarum* L.

Todos los parámetros de producción estudiados han resultado significativos estadísticamente en las propiedades de los tableros obtenidos. La diferencia entre unos y otros factores de producción está, fundamentalmente, en el peso que han ejercido en la definición de una determinada propiedad de los tableros.

Al igual que en el apartado anterior, exponemos una tabla resumen que completa la anterior, exponiendo los factores de producción por orden de mayor a menor variabilidad explicada para cada característica de los tableros. Este cuadro nos ayudará exponer en detalle los resultados y conclusiones.

Tabla 5.2.1-2: Orden de preponderancia de los factores de producción por Serie

Serie	Característica	1	2	3	4	5	6	7	Valor máx.
51	Densidad (kg/m3)	A	B						1076-1259
	MOE (Mpa)	A	B						6199
	MOR (Mpa)	B	A						44,6
	IB (Mpa)	A	B						>4
	TS (%)	A	B						1,7
	WA (%)	A	B						5,9
52	Densidad	A	B						1087-1287
	MOE	A	B						5740
	MOR	B	A						40,4
	IB	A	B						3,9
	TS	B	A						2,9
	WA	A	B						4,0
61	Densidad	A	B	C		A C			906-1241
	MOE	B	C	A		B C			5514
	MOR	B	A	C		B C			36,6
	IB	C	B	A		B C			2,8
	TS	C	B	A		B C			3,4
	WA	C	B	A		B C			8,7
51+61	Densidad	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D	
	MOE	A	B	D	C	A C	A C D	A B C D	
	MOR	A	B	D	C	A D	A C D	A B C D	
	IB	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D	
	TS	D	C	A	B	C D	B C D	A B C D	
	WA	D	A	B	C	C D	B C D	A B C D	
51+52+61	Densidad	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D	
	MOE	A	B	D	C	A C	A C D	A B C D	
	MOR	A	B	D	C	A D	A C D	A B C D	
	IB	A	D	B	C	A D	A C D	A B C D	
	TS	D	A	C	B	C D	B C D	A B C D	
	WA	D	A	B	C	C D	B C D	A B C D	

A Presión de prensado (Pp); B tiempo de prensado (tp); C Temperatura de prensado (Tpr); D Severidad

5.2.2.1.- Presión de prensado (Pp)

Se convierte en el parámetro con más peso en todas las características mecánicas de los tableros (MOE, MOR e IB) y también de la densidad. En el caso del MOR no se cumple cuando analizamos las series individualmente. En la densidad no existe ninguna excepción a esta norma.

Para TS y WA, la Pp supera al tp cuando solo consideramos estos dos parámetros, pero pierde repercusión cuando incorporamos la Tpr y la Severidad; pasando a ser la severidad el factor preponderante.

La serie 61 es una excepción (menos para la densidad): En este caso la Pp queda relegada por detrás de la Tpr y tp. Se confirma y concluye que la Pp tiene mucho menos efecto con severidades bajas de pretratamiento.

5.2.2.2.- Tiempo de prensado (tp)

Únicamente aparece como factor dominante, y solo en el MOR, cuando tratamos por separado cada una de estas tres series (51, 52 y 61).

Queda en la última posición, en cuanto a influencia, cuando tratamos los conjuntos de series 51+52 o 51+52+61, en densidad, MOE, MOR e IB. Es decir, para estas cuatro características de los tableros es el factor que menos afecta, aunque es estadísticamente significativo. Por otra parte, queda en tercera posición en TS y WA, superado por la severidad y la Pp en regresiones individuales, o del binomio Tpr y severidad.

Es de destacar que en la serie 61, con una severidad baja, es donde el tp se ha manifestado más efectivo. La regresión considerando Tpr y tp también superó, en todas las características, a otros binomios que excluyeran el tp, excepto para la densidad.

Como conclusión de este factor, podemos decir que es el que menos efecto ha tenido en las características mecánicas y densidad de los tableros, excepto a severidades bajas.

El TS y la WA se ven más afectados por el tp, por lo que también podemos concluir que favorece el carácter hidrófobo de estos tableros, como ocurrirá con los otros factores más directamente ligados a la transmisión de calor al material (Tpr y severidad).

5.2.2.3.- Temperatura de prensado (Tpr)

Como factor individual resulta predominante solo en la explicación de la variabilidad de IB, TS y WA de la serie 61 (baja severidad). Para todas las características de esta serie (densidad, MOE, MOR, IB, TS y WA), forma parte de las regresiones con dos variables que mayor R2 presentan en dicha serie.

Concluimos por tanto que, cuando la severidad es baja, la temperatura de prensado tiene un mayor peso, incluso superior a la Pp (excepto para la densidad), que cuando la severidad es alta; en cuyo caso, quedará relegada a un tercer puesto, solo por delante del tp.

En el estudio que engloba las dos series de proceso seco (series 51+61), las conclusiones son prácticamente idénticas a las indicadas para las tres series (51+52+61). En las regresiones que engloban todos los tableros de estas series, considerada la Tpr como única variable, presenta la menor R2 para todas las características excepto para TS. Por tanto, es el factor que menos variabilidad explica, por sí solo, de cualquiera de las características (excepto TS). Sin embargo, presenta una cierta sinergia con la severidad, pues las regresiones con dos factores con mayor R2 para TS y WA la formarían este binomio Tpr-severidad, desplazando en este caso a la Pp y tp. En el caso del MOE, con dos factores, es el binomio Pp-Tpr el que mayor R2 presenta.

En las mejores regresiones con tres factores, en todos los casos interviene la Tpr, lo que nos lleva a concluir que sí que podemos considerarlo como el tercer factor que explica más variabilidad de las características de los tableros de estas tres series.

También podemos concluir que, tras la severidad, es el parámetro que más carácter hidrófobo confiere a los tableros.

5.2.2.4.- Severidad

La comparación de la serie 51 y 61 es la que nos permite estudiar el efecto de la severidad en las características de los tableros.

Tanto en las regresiones que engloban las series 51+61 como las que engloban las tres series estudiadas (51+52+61), los resultados resultan idénticos en cuanto a conclusiones respecto a la severidad.

En los dos casos reseñados la severidad se convierte en el parámetro que, por sí solo, explica en mayor grado el TS y el WA. Por lo tanto, está claro el papel en impermeabilización que ejerce la severidad (a mayor severidad menores TS y WA). Esta conclusión deriva también de que en todas las regresiones con dos y tres parámetros de producción como variables independientes, la severidad está presente. Podemos concluir que es el parámetro que más carácter hidrófobo confiere a los tableros.

Si observamos el resto de características (densidad, MOE, MOR e IB), en ningún caso aparece, por sí solo, como factor principal (mayor R2). Aparecerá como segundo en la densidad y en IB; y como tercero para MOE y MOR. Esto cambia cuando las regresiones son con dos factores, en ese caso aparece en todas las regresiones excepto en la del MOE. Cuando se consideran tres variables independientes en las regresiones, para todas las características se incorpora la severidad.

Con todos estos resultados, podemos concluir que la severidad es el parámetro que mayor variabilidad explica en el TS y WA; que es el factor con segundo mayor

peso en densidad, MOR e IB (por detrás de la Pp) y ocuparía el tercer lugar en el MOE (detrás de Pp y Tpr).

5.2.3.- Conclusiones generales al *Saccharum Officinarum L.*

En el diseño, desarrollo y análisis estadístico de todo el trabajo hemos ido de menor a mayor complicación del estudio y de sus interpretaciones, con el objetivo de clarificar al máximo dichas relaciones. De esta forma se ha llegado a las series 51, 52 y 61 en que con regresiones lineales sencillas en las que intervienen todos los factores de producción, se consigue explicar la variabilidad de las características de los tableros. Las principales conclusiones son comentadas y expuestas en este apartado.

Se pueden obtener tableros comerciales de bagazo con características superiores a las exigidas por las normas EN para uso general y estructural.

Los límites superiores de las características de los tableros han venido establecidos por el “límite tecnológico”, entendiéndolo éste como el valor superior de cualquier factor de producción que provoca la adhesión del tablero a la malla de evacuación de vapor e impide, por tanto, la correcta conformación del mismo.

El proceso de prensado en frío húmedo ofrece una mayor variabilidad y, en consecuencia, unas peores correlaciones con sus factores de producción, respecto al proceso de prensado en frío en seco y, en general, no aporta claras mejoras de las características mecánicas y físicas de los tableros.

Con el proceso de prensado en frío seco, teniendo en cuenta que se consiguen modelos más ajustados, podemos conseguir tableros con valores más predictibles que con el proceso húmedo. Es decir, si pretendemos obtener tableros con características físicas y mecánicas definidas “a priori”, ajustando los valores de los parámetros de fabricación, obtendremos tableros más uniformes con un proceso de prensado en frío en seco que con el prensado en frío en húmedo.

Todas las características físicas y mecánicas de los tableros están parcialmente ligadas a su densidad, aunque la variabilidad de estas características queda mejor explicada estadísticamente, considerando todos los factores de producción. En general, a mayor densidad tenemos mayor MOE, MOR, IB y menor TS y WA.

A partir de material explotado pero no lavado, se han obtenido tableros de características físicas y mecánicas con valores que superan los requerimientos de las normas EN para tableros de uso estructural. Estos tableros son menos uniformes, presentan un límite tecnológico más bajo y son de peor calidad que los obtenidos con material lavado.

La tendencia de los efectos de los parámetros de producción sobre las características de los tableros elaborados con material no lavado, es muy similar a lo ocurrido con tableros de material lavado; pero su modelización está dificultada por la falta de uniformidad de los mismos.

La conformación de tableros con material no lavado y la uniformidad de éstos mejoran con la aplicación de severidades más bajas en el pretratamiento, respecto a las aplicadas cuando el material está lavado.

6.- Bibliografía

Bibliografía

- Angelini, L., Ceccarini, L., Nassi, N., & Bonari, E. (2009). Comparison of Arundo donax L. and Miscanthus x giganteus in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *biomass and bioenergy* 33, 635-643.
- Anglés, M. (1999). *Producció de taulers amb material lignocel·lulòsic residual sense addició d'adhesius sintètics. Tesis Doctoral URV*. Tarragona: URV.
- Anglés, M., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvadó, J. (2001). Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass & Bioenergy* 21, 211.
- Anglès, M., Reguant, J., Montané, D., Ferrando, F., & Salvadó, J. (1999). Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 73, 2485-2491.
- Anglés, M., Reguant, J., Montané, D., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvadó, J. (1999). Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood. *Journal of Applied Polymer Science* 73, 2485.
- Ashori, A., Nourbakhsh, A., & Karegarfard, A. (2009). Ashori Properties of Medium Density Fiberboard Based on Bagasse Fibers. *Journal of Composite Materials* 43.
- Avellar, B., & Glasser, W. (1998). Steam- assisted biomass fractionation. I. Process considerations and economic evaluation. *Biomass Bioenerg.*, 14, 205- 218.
- Ballesteros, I., Oliva, J., Navarro, A., González, A., Carrasco, J., & Ballesteros, M. (2000). Effect of chip size on steam explosion pretreatment of softwood. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 84-86, 97-100.
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., & Sánchez, R. (1988). La pared celular vegetal. A J. Barceló, G. Nicolás, B. Sabater, & R. Sánchez, *Fisiología vegetal* (p. 36-73). Madrid: Ediciones Pirámide S.A.
- Boehm, R. (1930). The Masonite process. *Industrial and Engineering Chemistry*, 22, 493-497.
- Bouajila, J., Dole, P., & Limare, A. (2006). Some laws of a lignin plasticization 2,. *Journal of Applied Polymer Science* Vol. 10, 1445-1451.
- Bouajila, J., Limare, A., Joly, C., & Dole, P. (2005). Lignin plasticization to improve binderless fiberboard mechanical properties. *Polymer Engineering and Science*, 45(6), 809-816.
- Box, G. E., Hunter, J., & Hunter, W. (1978). *Statistics for Experimenters: An introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley & Sons.
- Brownell, H., Yu, E., & Saddler, J. (1986). Steam- explosion pretreatment of wood: effect of chip size, acid, moisture content and pressure drop. *Biotechnol. Bioeng.*, 28, 792-801.
- Caparros, S., Ariza, J., Díaz, M., & López, F. (2007). Optimizing cellulosic paper obtained from Arundo donax L. Under hydrothermal treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13 (3):, 465-473.
- Caparros, S., Ariza, J., Hernanz, D., & Díaz, M. (2006). Arundo donax L. Valorization under hydrothermal an pulp procesing. *Industrial & Engineering Chemistry and Research*, 45,, 2940-2948.
- Caparros, S., Garrote, G., Ariza, J., & López, F. (2007). Autohydrolysis of Arundo donax L., a kinetic assessment. *Industrial & Engineering. Chemistry. Research*, 45 (26):, 8909-8920.

- Ceotto, E., & Di Candilo, M. (2010). Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? *Biomass and Bioenergy* 34, 1614-1623.
- Chen, R., & Wu, Q. (1994). Modified lignosulfonate as adhesive. *Journal of Applied Polymer Science*, 52, 437-443.
- Dunky, M. (2006). Neue Begriffe in der Beurteilung der Emission (E1, E0, F**, F***, F****, F0) und ihre technologische Bedeutung. . In: 3. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, 18. und 19. Tagungsband (p. 75-88). Göttingen, Germany: Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie.
- El Mansouri, N., & Salvadó, J. (2006). Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins. *Industrial Crops and Products July 2006:(Volume 24, Issue 1)*, 8-16.
- El Mansouri, N., & Salvadó, J. (2007). Analytical methods for determining functional groups in various technical lignins. *Industrial Crops and Products Vol. 26, Issue 2*, 116-124.
- EN 310:1993. (1994). Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. *AENOR*.
- EN 316:1999 . (2000). Tableros de fibras. Definición, clasificación y símbolos. *AENOR*.
- EN 317: 1993. (1994). Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. . *AENOR* .
- EN 319: 1993. (1994). Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. *AENOR* .
- EN 323:1993. (1994). Tableros derivados de la Madera. Determinación de la densidad. *AENOR*.
- EN 325: 1993. (1994). Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de las probetas. *AENOR*.
- EN 622-1:2003. (2004). Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 1: Requisitos generales. *AENOR*.
- EN 622-2:2004/AC . (2006). Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Requisitos para tableros de fibras duros. *AENOR*.
- EN 622-5: 2006. (2007). Requisitos de los tableros de fibras fabricadas por proceso seco (MDF). *AENOR* .
- Faix, O., Meier, D., & Beinhoff, O. (1989). Analysis of Lignocelluloses and Lignins from *Arundo donax* L. and *Miscanthus sinensis* Anders., and Hydroliquefaction of *Miscanthus*. *Biomass* 18, 109-126.
- Fangudes, F., Oliveira, F., Ferreira, D., Ehlers, M., & Pereira, M. (2011). Determination of Sugarcane Bagasse Lignin S/G/H Ratio by Pyrolysis GC/MS. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31, 309–323.
- Farinassi, R., Marin, L., Guimaraes, J., Cavalcante, R., & Bufalino, L. (2012). The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. *Revista de ciências agrárias*, 209-218.
- Felby, C., Pedersen , L., & Nielsen, B. (1997). Enhanced auto-adhesion of wood fibers using phenol oxidases. *Holzforschung*, 51, 281-286.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1984). A D. Fengel, & G. Wegener, *Wood: Chemistry, ultrastructure and reactions*. Berlin/New York: Walter de Gruyter.
- Fernaud, J., Carnicero, A., Perestelo, F., Cutuli, M., Arias, F., & Falcón, M. (2006). Upgrading of an industrial lignin by using laccase produced by *Fusarium*

- proliferatum and different laccase-mediator systems. *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 40-48.
- Focher, B., Marzetti, A., Beltrame, P., & Avella, P. (1998). Steam exploded biomass for the preparation of conventional and advanced biopolymer- based materials. *Biomass Bioenerg.*, 14, 187- 194.
- Fontana, J., Ramos, L., & Deschamps, F. (1995). Pretrated sugar cane bagasse as a model for cattle feeding. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 51-52, 105-116.
- Gadhe, J., Gupta, R., & Elder, T. (2006). Surface modification of lignocellulosic fibers using highfrequency ultrasound. *Cellulose*, 13, 9-22.
- García, M., Torre, M., Marina, M., & Laborda, F. (1997). Composition and characterization of soyabean and related products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37, 361-391.
- García-Jaldón, C., Dupeyre, D., & Vignon, M. (1998). Fibres from semi- retted hemp bundles by steam explosion treatment. *Biomass Bioenerg.*, 14, 251-260.
- Glasser, W. (1989). Cross-linking options for lignins. . . ACS Symposium Series, 385, 43-54.
- Gonçalves, R., & Ruzene, S. (2003). Influence of pressure in ethanol/water pulping of sugarcane bagasse. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 105, 195-204.
- Gross, W., Converse, A., & Grethlein, H. (1986). Effect of steam explosion pretreatment on pore size and enzymatic hydrolysis of poplar. *Enzyme Microb. Technol.*, 16, 933-943.
- Halvarsson, S., Edlund, H., & Norgren, M. (2009). Manufacture of non-resin wheat-straw fibreboards. *Industrial Crops and Products* 2009, 29(1-2), 437-445.
- Halvarsson, S., Edlund, H., & Norgren, M. (2010). Manufacture of High-Performance Rice-Straw Fibreboards. *Industrial & Engineering Chemistry Research* , 49(3), 1428-1435.
- Halvarsson, S., Edlund, H., & Norgren, M. (2010). Wheat-straw as a raw material for manufacture of straw MDF. *BioResources*, 5(2), 1215-1231.
- Hoareau, W., Oliveira , F., Grelier, S., Siegmund, B., Frollini, E., & Castellan, A. (2006). Fiberboard Based on Sugarcne Bagasse Lignin an Fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 291: 829-839. Hoareau W., Oliveira F.B., Grelier S., Siegmund B., Frollini E., Castellan A *Macromolecular Materials and Engineering*, 291, 829-839.
- Holtzapple, M. (1993 a). Cellulose. A M. Holtzapple, *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition* (p. 758-767). Londres: Academic Press.
- Holtzapple, M. (1993 b). Hemicelluloses. A M. Holtzapple, *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition* (p. 2324- 2334). Londres: Academic Press.
- Holtzapple, M. (1993 c). Lignin. A M. Holtzapple, *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition* (p. 2731-2738). Londres: Academic Press.
- Hunt, J., & Supan, K. (2006). Binderless fiberboard: Comparison of fiber from recycled corrugated containers and refined small-diameter whole treetops. *Forest Products Journal*, 56(7-8), 69-74.
- Hüttermann, A., Mai, C., & Kharazipour, A. (2001). Modification of lignin for the production of new compounded materials. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55, 387-394.
- Hüttermann, J., & Hüttermann, A. (2000). Enzymatic activation of lignin leads to an unexpected copolymerization with carbohydrates. *Naturwissenschaften*, 87, 539-541.

- Kawai, S. (2005). Development of high-performance kenaf bast oriented fiberboard and kenaf core binderless particleboard. *Sustainable Humanosphere*, (1), 12.
- Kharazipour, A., Hüttermann, A., & Lüdemann, H. (1997). Enzymatic activation of wood fibers as a means for the production of wood composites. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 11, 419-427.
- Kuo, M., Hse, C., & Huang, D. (1991). Alkali treated kraft lignin as a component in flakeboard resins. *Holzforschung*, 45, 47-54.
- Laemsak, N., & Okuma, M. (2000). Development of boards made from oil palm frond II: Properties of binderless boards from steam-exploded fibers of oil palm frond. *Journal of Wood Science*, 46(4), 322-326.
- Lee, S., Shupe, T., & Hse, C. (2006). Mechanical and physical properties of agro-based fibreboard. *Holz Als Roh-Und werkstoff*, 64, 74-79.
- Lewandowski, I., Scurlock, J., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous. *Biomass and Bioenergy* 25, 335 – 361.
- Mancera, C. (2008). *Binderless fiberboard production from Cynara cardunculus and Vitis vinifera. Tesis Doctoral*. Tarragona: URV.
- Mancera, C., El Mansouri, N., Pelach, M., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2012). Feasibility of incorporating treated lignins in fiberboards made from agricultural waste. *Waste Management*, In press.
- Mancera, C., El Mansouri, N., Vilaseca, F., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2011). The effect of lignin as a natural adhesive on the physico-mechanical properties of Vitis vinifera fiberboards. *bioresources.com*, 2851-2860.
- Mancera, C., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2008). Cynara cardunculus as raw material for the production of binderless fiberboards: Optimization of pretreatment and pressing conditions. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 28(3), 207-226.
- Mancera, C., Ferrando, F., Salvadó, J., & El Mansouri, N. (2011). Kraft lignin behavior during reaction in an alkaline medium. *Biomass and Bioenergy* XXX, 1-8.
- Manninen, A., Pasanen, P., & Holopainen, J. (2002). Comparing the VOC emissions between airdried and heat-treated Scots pine wood. *Atmospheric Environment*, 36, 1763-1768.
- Medvedev, M., Sulfigarov, O., & Grechko, A. (1985). Oxidation of lignosulfonates in low concentration by ozone. *Journal of Applied Chemistry USSR*, 58, 779-782.
- Mejdi, J., Dorge, S., & Trouvé, G. (2009). Thermogravimetric analysis and emission characteristics of two energy crops. *Bioresource Technology* 101 (2010) , 788–793.
- Meyer, B., & Boehme, C. (1995). Wood and its formaldehyde content. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53, 135.
- Meyer, B., & Boehme, C. (1997). Formaldehyde emission from solid wood. *Forest Products Journal*, 47, 45-48.
- Miyamoto, K., Tohmura, S., & Inoue, A. (2006). Aldehyde and volatile organic compound emissions from laminated veneer lumber. *Mokuzai Gakkaishi*, 52, 113-118.
- Mobarak, F., Fahmy, Y., & Augustin, H. (1982). Binderless Lignocellulose Composite from Bagasse and Mechanism of Self-Bonding. *Holzforschung* 36, 131-135.
- Montané, D., Farriol, X., Salvadó, J., Cornet, E., & Jollez, P. (1998). Fractionation of Wheat Straw by Steam-Explosion Pretreatment and Alkali Delignification. Cellulose Pulp and Byproducts from Hemicellulose and Lignin. *Montané, D.*

- Farriol X., Salvadó j., Jollezp., Cornet E. "Fractionation of Wood Chemistry and Technology 18, 171.
- Monti, A., Di Virgilio, N., & Venturi, G. (2008). Mineral composition and ash content of six major. *Biomass and Bioenergy* 32, 216-223.
- Nada, A., Nasar, M., & Soliman, A. (1998). ASAM pulping of bagasse. *J. Sci. Ind. Res.*, 57 (4), 205-210.
- Nassi, N., Angelini, L., & Bonari, E. (2010). Influence of fertilisation and harvest time on fuel quality of giant reed (*Arundo donax* L.) in central Italy. *Europ. J. Agronomy* 32, 219–227.
- Nielsen, N. (1985). Structure of soy proteins . A N. Y. Academic Press, *New protein foods, volume 5* (p. 27-64). Orlando, Florida: Altschul, A.M. & Wilcke, H.D., Academic Press.
- Nimz, H., Gurang, I., & Mogharab, I. (1976). Untersuchungen zur Vernetzung technischer Sulfitablaugen. *Liebigs Annalen der Chemie*, 1976, 1421-1434.
- Okuda, N., & Sato, M. (2004). Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *Journal of Wood Science*, 50(1), 53-61.
- Okuda, N., & Sato, M. (2008). Bond durability of kenaf core binderless boards II: outdoor exposure test. *Journal of Wood Science*, 54, 36-44.
- Overend, R., & Chornet, E. (1987). Fractionation of lignocellulose by steam-aqueous pre-treatment. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, A321, 523-536.
- Peraza, F., Arriaga, F., & Peraza, J. (2004). *Tableros de madera de usos estructural. AITIM. Ministerio de ciencia y tecnología.2004*. Madrid: AITIM. Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Pereira, H., & Shatalov, A. (2002). Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L. reed. *Industrial Crops and Products* 15, 77–83.
- Pizzi, A. (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20, 829-846.
- Quintana, G., & Velásquez, J. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops And Products* 29, 60-66.
- Quintana, G., Velásquez, J., Betancourt, S., & Gañán, P. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 60-66.
- Roffael, E. (2006). Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels. *Holz- als Roh- und Werkstoff*, 64, 144-149.
- Saini, G., Narula, A., Choudhary, V., & Bhardwaj, R. (2010). Effect of Particle Size and Alkali Treatment of Sugarcane Bagasse on Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of PVC-Bagasse Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29, 731-740.
- Salvadó, J., Velásquez, J., & Ferrando, F. (2003). Binderless fiberboard from steam exploded miscanthus sinensis: Optimization of pressing and pretreatment conditions. *Wood Science and Technology*, 37(3-4), 279-286.
- Schäfer, M., & Roffael, E. (1999). Influence of spruce and pine chip extracts on formaldehyde release. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57, 340.
- Schäfer, M., & Roffael, E. (2000). On the formaldehyde release from wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58, 259-264.
- Sefain, M., Naim, N., & Rakha, M. (1978). Effect of thermal treatment on the properties of sugar cane bagasse hardboard. *J. Appl Chem. Biotechnol* 28 (2), 79-84.
- Shardein, J., & Macina, O. (2006). Human Development Toxicants. Aspects of Toxicology and Chemistry. *Informa Healthcare* 2006, 77-80.

- Shatalov, A., & Pereira, H. (2002). Ethanol-Enhanced Alkaline Pulping of Arundo donax L. Reed: Influence of Solvent on Pulp Yield and Quality. *Holzforschung* 56, 507-512.
- Stephanou, A., & Pizzi, A. (1993a). Rapid curing lignins-based exterior wood adhesives, part 1: diisocyanates reaction mechanisms and application to panel products. *Holzforschung*, 47, 439-445.
- Stephanou, A., & Pizzi, A. (1993b). Rapid curing lignins-based exterior wood adhesives, part 2: acceleration mechanisms and application to panel products. *Holzforschung*, 47, 501-506.
- Suchsland, O., Woodson, G., & McMillin, C. (1983). Effect of hard board process variables on fiberbonding. *Forest Products Journal* 33, 58.
- Suchsland, O., Woodson, G., & McMillin, C. (1985). Binderless fibreboard from two different types of fiber founishes. *Forest Products Journal* 35, 63.
- Suchsland, O., Woodson, G., & McMillin, C. (1987). Effect on cooking conditions on fiber bonding in dry-formed binderless hardboard. *Forest Proucts Journal* 37, 65.
- Szabó, P., VArhegyi, G., Till, F., & Faix, O. (1996). Thermogravimetric/mass spectrometric characterization of two energy crops, Arundo donax and Miscanthus sinensis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 36, 179-190.
- Tabarsa, T., Ashori, A., & Gholamzadh, M. (2011). Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. *Composites: Part B. doi:10.1016/j.compositesb.2010.12.018*.
- Taskinen, H., Kyyrönen, P., Sallmén, M., Virtanen, S., Liukkonen, T., Huida, O., et al. (1999). Reduced Fertility Among Female Wood Workers Exposed to Formaldehyde. *American Jornal of Industrial Medicine* 36, 206-212.
- USDA FOREST SERVICE. (1977). *THE FORMALDEHYDE PROBLEM IN WOOD-BASED PRODUCTS AN ANNOTATED BIBLIOGRAPHY*. MADISON: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
- van Dam , J., van den Oever, M., & Keijsers , E. (2004). Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. *Industrial Crops Prod.* 20, 97-101.
- Velásquez, J. (2002). *Producción de tableros de fibras a partir de Miscanthus sinensis*. Tesis doctoral URV. Tarragona: URV.
- Velásquez, J. A., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2002). Binderless fiberboard from steam exploted miscanthus sinensis: The effect of a grinding process. *Holz Als Roh- Und werkstoff*, 60(4), 297-302.
- Velásquez, J., Ferrando, F., & Salvadó, J. (2003). Effects of kraft lignin addition in production of binderless fiberboard from steam exploded Miscanthus sinensis. *Industrial Crops and Products*, 18, 17-23.
- Velásquez, J., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvadó, J. (2003). Binderless Fiberboard from Steam Exploded Miscanthus Sinensis. *Wood Science and Technology* Vol.37 (3-4), 269-278.
- Westin, M., Simonson, R., & Östman, B. (2001). Kraft lignin wood fiberboards – the effect of kraft lignin addition to wood chips or board pulp prior to fiberboard production. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58, 393-400.
- Widsten, P. (2002). Oxidative activation of wood fibres for the manufacture of medium-density fiberboard (MDF). *Helsinki University of Technology, Laboratory of Paper Technology Reports, Series A15. Helsinki, Finland*.

- Widyorini , R., Xu, J., Umemura, K., & Kawai, S. (2005). Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. *Journal of Wood Science*, 51, 648-654.
- Xu, J., Widyorini, R., Yamauchi, H., & Kawai, S. (2006). Development of binderless fiberboard from kenaf core. *Journal of Wood Science*, 52(3), 236-243.

II ANEJOS

ANEJO I: EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS

1.- Pretratamiento

1.1.- Caldera de vapor

Se trata de una caldera eléctrica de la marca Boreal, 380 V/ 82 KW de 42 kgf/Cm2 e IP 65. Su llenado de agua se realiza a partir de un depósito nodriza y éste a partir de un equipo de desionizado marca Millipore de 500 VA que se encuentra en el mismo recinto, así como un sistema de pretratamiento complementario de purificación de agua Milli-RX 45, dotado de filtro de carbón activo.

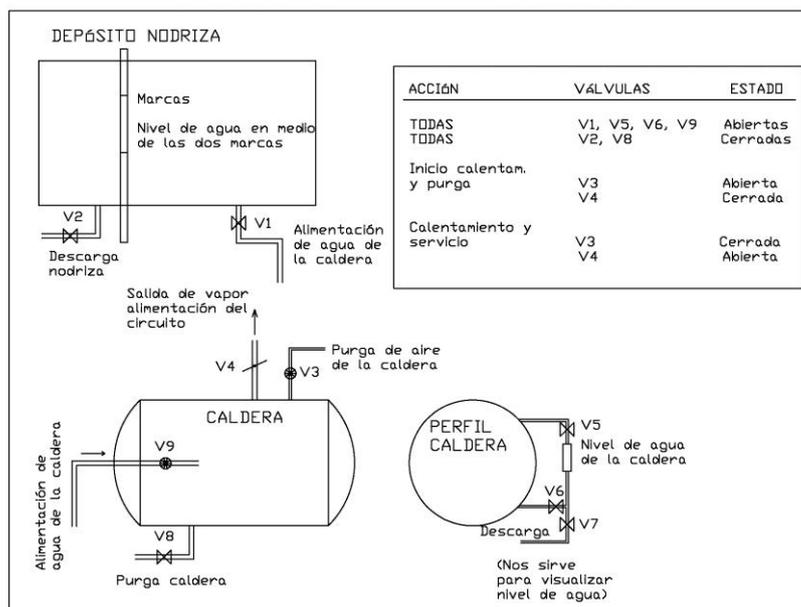


Figura Anejo I-1.1-1: Esquema general de la caldera de vapor

PROCEDIMIENTO ACTUACIÓN CON LA CALDERA

- 1.- Control de válvulas. Comprobación de posición correcta
 - 2.- Magnetotérmicos: 2F1, 2F2 y 2F3 => Ruido de claxon
 - 3.- Rearme de claxon
 - 4.- Comprobación de los niveles de agua
 - 1.1 Nivel de Nodriza: Debe estar entre las dos marcas del nivel
 - 1.2 Nivel de la caldera: Para visualizarlo abrimos-cerramos la válvula V7. El panel también nos lo marca.
- Cuando está muy bajo => acción manual de la bomba.
 Cuando solo está bajo (o correcto) => acción automática de la bomba.

Reiniciar regulador del nivel de agua: Hay que hacer un reset para que el automatismo interprete correctamente y la bomba actúe automáticamente.



Conjunto de caldera y nodriza



Equipo de desionizado

Figura Anejo I-1.1-2: Conjunto de caldera y equipo de desionizado

5.- Conexión de calentadores. Inicialmente 2 resistencias, después dejamos una resistencia).

“Rearme seguridades” En caso contrario las resistencias no se accionan. Comprobar que los pilotos de las resistencias están encendidos.

6.- Purga de caldera

Comprobar que V3 abierta y V4 cerrada

A los 40 minutos (con una resistencia) comenzará a salir vapor por V3

7.-Inicio de presurización

Cuando comienza a salir vapor por V3:

- Cerramos V3
- Abrimos V4

8.- Paso a acción remota

9.- Mantenimiento: Cada dos horas nos avisará de que las resistencias se paran y tenemos que bajar a la caldera a “Rearmar seguridades” y poner en marcha de nuevo los calentadores.

10.- Desconexión: Cortaremos en los magnetotérmicos 2F1, 2F2 y 2F3.

1.2.- Reactor discontinuo

El reactor se compone de dos partes diferenciadas, el reactor propiamente dicho y su cámara de expansión. Todo el sistema fue diseñado por el equipo de investigación y construido por la empresa Justinox. El reactor está encamisado, tiene una capacidad de 10 litros, con una válvula superior de llenado de 2” y una válvula neumática inferior que comunica con la cámara de expansión.

La carga de vapor se realiza mediante conducciones de alta presión aisladas térmicamente y reguladas por dos válvulas en serie para cada circuito: el que inyecta vapor en el reactor y el de llenado de la camisa.

La cámara de expansión, también de acero inoxidable, consiste en un cilindro de 49,5 Cm de diámetro y un volumen total de 100 l, con una puerta de descarga que cubre todo el diámetro. Este cilindro dispone además, de una válvula superior de escape de vapor y otra inferior para salida de líquidos.



Vista general del reactor



Reactor discontinuo



Cámara de descarga



Panel de control

Figura Anejo I-1.2-1: Conjunto del reactor discontinuo

1.3.- Procedimiento en la explosión del material

1.- Dado que es imprescindible disponer de vapor a alta presión, la primera actividad consiste en poner en marcha la caldera con tiempo suficiente, tal como se ha indicado en el apartado correspondiente.

2.- Una vez que se dispone de vapor en las condiciones requeridas, realizamos varias cargas y descargas de vapor, para garantizar la limpieza de todos los elementos y realizar un precalentamiento que ayuda a mantener la estabilidad de la temperatura durante el proceso.

3.- Se abrirá la cámara de descarga y limpiamos algún pequeño residuo que haya podido arrastrarse del reactor.

4.-Acabada esta comprobación se cierra la cámara de descarga y se comprueba la posición correcta de todas las válvulas.

5.- Preparación del material: El material utilizado, en nuestro caso, ha sido bagazo de *Saccharum officinarum* y *Arundo donax*. En el primer caso el material es el bagazo industrial, sin ningún tratamiento por nuestra parte, en trozos de muy distintas dimensiones: de 0,5-4 Cm de grueso y de 1 a 14 cm de longitud. En el caso de *Arundo donax* las cañas fueron trituradas con una astilladora Black & Dekker GA 100, consiguiéndose astillas de 0,5-2 Cm de ancho y 2-8 Cm de longitud.

6.- Pesado del material: Previamente se habrá definido la cantidad de material que se introducirá en el reactor en función del tipo de material y de los objetivos perseguidos. Lo tendremos dispuesto en bolsas individuales, para cada una de las explosiones previstas. Las cantidades oscilaron entre 700 y 1500 gramos.

7.- Carga del material: El material, previamente pesado, es introducido al reactor a través de la válvula superior del mismo, mediante la ayuda de un embudo metálico y una varilla. Una vez introducido se cierra la válvula de alimentación.

8.- Presurizado del reactor: El estudio previo y el diseño estadístico nos habrá definido la presión y el tiempo que mantendremos el material lignocelulósico en el reactor. Se introduce vapor hasta conseguir la presión/temperatura deseada. Para mantener la presión actuaremos de manera continua sobre la válvula de carga de vapor, manteniendo constantes las condiciones del reactor.

9.- Explosionado del material: Una vez pasado el tiempo de reacción se actuará sobre la válvula neumática de descarga, que provoca la descompresión súbita del reactor y su descarga en la cámara de expansión. Se actuará varias veces sobre la válvula neumática para garantizar que queda despresurizada.

10.- Despresurizamos la cámara de descarga mediante la apertura de la válvula superior de despresurizado de forma muy pausada. Dejando que vaya enfriando.

11.- Drenamos los efluentes líquidos de la cámara de descarga mediante la apertura de la válvula inferior de drenado. Verificar siempre la previa despresurización (paso anterior).

12.- Para garantizar que no quedan restos de material en el reactor, se hacen cargas parciales de vapor y sus correspondientes descargas.

En cada carga y descarga se despresuriza y se drena la cámara de descarga.

En el caso de las series que son sin lavado posterior, primero se extraerá el material explosionado y después realizaremos las cargas de limpieza.

13.- La extracción del material se realiza mediante la apertura de la tapa atornillada de la cámara de expansión.

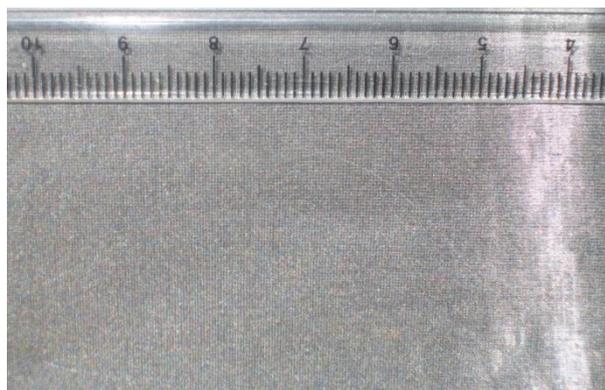
14.- Limpieza de la cámara de expansión: Cuando se ha extraído el material se limpian todos los restos por pequeños que sean, evitando que se pueda contaminar el material de la siguiente explosión.

2.- Lavado del material

Para el lavado del material recién extraído de la cámara de expansión, se ha utilizado un carro de limpieza con un tamiz de 170 Mesh.



Carro de lavado



Tamiz de 170 Mesh

Figura Anejo I-2-1: Carro de lavado y tamiz de 170 Mesh

3.- Trituración del material explosionado

El material explosionado, lavado (no en todas las series) y seco, antes del prensado en frío es triturado.

El triturado del material se realiza mediante un molino Restsch SM 100, de 1390 rpm y 1,5 KW; fabricado en Alemania. El tamiz utilizado es de 4 mm.

El material triturado es embolsado hasta el prensado en frío.

4.- Caracterización del material lignocelulósico

4.1.- Humedad

(Método analítico MA/LC/001/rev1.0)

Normas originales:

- TAPPI standard T-15

Objeto:

El objetivo del método es determinar el contenido en agua (humedad) de un material lignocelulósicos (madera, madera hidrolizada, papel, etc.). El método se fundamenta en medir la pérdida de peso de la muestra húmeda en secar a 105 ° C hasta peso constante.

Se parte de cualquier muestra de materiales lignocelulósicos que esté en polvo con un diámetro menor a 0.5mm. También es aplicable a materiales de granulometría mayor (astillas, etc.), Pero se necesitan tiempo de secado superiores.

Si la muestra a estudiar se ha tratado con un ácido o una base fuerte y no se ha lavado previamente, hay que lavarla con agua destilada sobre un filtro de papel y secar a 50 ° C en una estufa durante 2 días. A continuación se puede medir su humedad residual según el procedimiento descrito en este método. De esta manera se evita perder parte de la muestra por pirolisis.

Procedimiento:

El análisis de cada muestra se realizará, como mínimo, por triplicado.

- Tarar el vaso de precipitados (M1).

-Añadir aproximadamente 2g de muestra húmeda en el vaso de precipitados (M1).Hay que utilizar una muestra lo más homogénea posible. La pesada se realiza rápidamente porque el peso puede variar al ajustarse la humedad de la muestra con la humedad ambiental. La balanza debe tratarse con cuidado y no se debe tocar nunca el material con los dedos

-Colocar el vaso de precipitados destapado en la estufa a 105 ° C y dejarlo un día.

-Sacar el vaso de precipitado de la estufa e introducirlo inmediatamente en un desecador. Conectar el desecador al vacío y esperar durante 2 horas para que los vasos de precipitado se equilibren con la temperatura ambiente. Pasadas las dos horas se pesa el vaso de precipitados rápidamente (M3). Para muestras de tamaño mayor a 0.5 mm hay que repetir la operación hasta obtener un peso constante en intervalos de calentamiento de 4 horas como máximo.

Cálculo:

La humedad, en base el material húmedo de partida, se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Humedad (\%)} = 100 \frac{(M2 - M3)}{(M2 - M1)}$$

4.2.- Extractivos acuosos

Se aplica el procedimiento de análisis 03 del grupo SYSTEMIC.

Normas originales (incluyen extractivos acuosos y orgánicos):

ASTM standard D-1110-56 (reapro. 1977), ASTM standard D-1105-56 (reappr. 1972) y TAPPI standard T-12 m-45 (1959)

Objeto:

Consiste en extraer, de los materiales lignocelulósicos, las sales minerales, el almidón, los galactanos, las sustancias pépticas, los colorantes y algunos azúcares, utilizando para ello un equipo soxhlet.

En nuestro caso, cuando esta extracción la aplicamos a materiales pretratados (steam explosion), la mayoría de estos componentes ya habrán sido eliminados, por lo que mayoritariamente extraeremos hemicelulosas.

Procedimiento:

-Se tara el cartucho soxhlet una vez seco a 105 °C, según método de análisis 01 (procedimientos del grupo SYSTEMIC). (M1 = tara de cartucho).

-Se llena el cartucho de material lignocelulósico hasta $\frac{3}{4}$ partes de su volumen y se determina el peso del sistema cartucho-muestra seca, según método de análisis 01.

-Se llena el matraz esférico de 250 ml con agua destilada hasta $\frac{3}{4}$ partes de su volumen, añadiendo 4 bolas para evitar salpicaduras cuando se alcanza la ebullición.

-Montamos el sistema soxhlet y nos aseguramos de la circulación de agua de refrigeración por el equipo soxhlet antes de conectarlo. El nivel de calentamiento se ajustará para conseguir la correcta evaporación del agua evitando salpicaduras. Si se aísla el sistema soxhlet con aluminio u otros aislantes, conseguimos optimizarlo (mejor evaporación con menos energía).

El proceso se mantiene funcionando hasta conseguir que el agua en contacto con el cartucho sea totalmente transparente. Este proceso puede durar por encima de 6 horas y varía mucho en función del material tratado.

También se suele requerir la renovación del agua por saturación, para lo que depositaremos las primeras aguas en un vaso de precipitados previamente tarado (M3).

Una vez recogidas todas las aguas de lavado en el vaso de precipitados, incluyendo además aquellas otras utilizadas en la limpieza del matraz de bola, se pesa el conjunto vaso-agua de extracción a temperatura ambiente (M4).

Una alícuota de las aguas de lavado se recoge en un vaso de precipitados de 100 ml previamente tarado (M5), y se determina su residuo seco.

Para calcular el residuo seco se introduce el conjunto vaso-alícuota de masa conocida (M6), en el interior de una estufa a 60 °C durante varios días, hasta la evaporación completa del disolvente acuoso. El sistema vaso-residuo se enfría en un desecador a vacío pesándose posteriormente en una balanza de precisión (M7). Si se trabajara a 105 °C se produciría la caramelización de los azúcares con la consiguiente pérdida de muestra.

Por otro lado, la fibra sólida libre de extractivos acuosos y el cartucho soxhlet que la contiene, se secan a 105 °C pesándose posteriormente.

Cálculos:

$$\%Ext H_2O = 100 \times \frac{(M7 - M5) \times (M4 - M3)}{(M2 - M1)}$$

Cartucho soxhlet seco (M1)

Cartucho con muestra seca (M2)

4.3.- Extractivos orgánicos

Se aplica el procedimiento de análisis 04, del grupo SYSTEMIC.

Normas originales:

ASTM standard D-1110-56 (reapro. 1977), ASTM standard D-1105-56 (reappr. 1972) y TAPPI standard T-12 m-45 (1959)

Objeto:

Para realizar el análisis de la composición de sólidos (holocelulosa, α -celulosa, lignina Klason y azúcares elementales), previamente de deben eliminar los extractivos acuosos y orgánicos, éstos últimos se extraen con una mezcla 1/2 de etanol/tolueno.

Los extractivos orgánicos están compuestos principalmente por ceras, grasas, resinas, aceites y taninos.

Procedimiento:

Se parte del cartucho soxhlet con fibra seca libre de extractivos acuosos y lo colocamos en el mismo sistema de extracción soxhlet utilizado para los extractivos acuosos.

A continuación taramos el matraz de bola de 250 ml con al menos cuatro bolitas (M9). Después lo llenamos con la mezcla etanol/tolueno hasta $\frac{3}{4}$ partes de su volumen.

Se abre el circuito de refrigeración del soxhlet y posteriormente se conecta la manta calefactora del mismo. Todo el procedimiento es similar al caso de los extractivos acuosos.

El proceso se mantendrá hasta que el disolvente que cubre el cartucho esté totalmente transparente.

Para determinar el residuo seco evaporamos la fase líquida de cada uno de los matraces, preferiblemente en un rotavapor, recuperando así los disolventes.

El matraz se introduce en una estufa ventilada a baja temperatura (40 °C) durante uno o dos días hasta peso constante (M10). Los extractivos orgánicos habrán quedado adheridos en las paredes del matraz.

Se deja enfriar el soxhlet, se extrae el cartucho con la fibra libre de extractivos. El sólido se lava bajo vacío con 100 ml de etanol al 95 % y 50 ml de éter. Después, la fibra se deja secar al aire libre.

Cálculos:

$$\% \text{ Ext. } \frac{\text{EtOH}}{\text{Tolueno}} = 100 \times \left(\frac{\Sigma(M10 - M9)}{(M2 - M1)} \right)$$

Cartucho soxhlet seco (M1)

Cartucho con muestra seca (M2)

Matraz de bola con cristales (M9)

Matraz de bola con cristales y residuo seco (M10)

4.4.- Lignina Klason y monosacáridos elementales por HPLC (MA/LC/006/rev1.0)

Normas originales:

- TAPPI standard T-13, 1954.
- ANSI/ASTM standard D 1106-56

Objeto:

Este método determina el porcentaje de lignina insoluble en medio ácido (método Klason) de un material lignocelulósico. Al hidrolizar el sustrato lignocelulósico con un ácido fuerte a temperatura ambiente y con un ácido diluido a temperatura moderada se liberan los monosacáridos constituyentes quedando como residuo sólido la lignina. La lignina se cuantifica por gravimetría, y también se obtiene el hidrolizado donde se cuantifican los monosacáridos por HPLC.

El método es aplicable a muestras trituradas y cribadas en una diámetro inferior a 0.5 mm. Si se aplica a una materia prima esta debe estar libre de extractores orgánicos y acuosos. Las muestras procedentes de hidrólisis, tanto ácida como alcalina, no requieren extracción previa.

Procedimientos:

El análisis se realiza por triplicado.

1.- Hidrólisis primaria

En esta primera etapa de hidrólisis los polisacáridos se despolimerizan a oligómeros de cadena corta que son solubles en el medio ácido donde se hace el análisis.

-En un Erlenmeyer de 150 ml, previamente tarado, pesar aproximadamente 0.3g de sustrato lignocelulósicos húmedo sin extractables (M1), (en caso de que la muestra sea muy húmeda, pese su 0.5g). Simultáneamente determinar la humedad de la muestra por los protocolos MA/LC/001 y / o MA/LC/002.

- Añadir 1 ml de ácido sulfúrico 24.1N por cada 0.1g de sustrato a hidrolizar. Asegurarse, con la ayuda de una varilla de vidrio, de que todo el sólido queda perfectamente empapado por el ácido.

-Introducir el Erlenmeyer con la muestra problema en el interior de un baño de agua a 30 ° C durante una hora. Mezclar a menudo la pasta con la varilla para conseguir una distribución homogénea del ácido en todo el sustrato lignocelulósicos.

2.- Hidrólisis secundaria

En esta etapa de hidrólisis los oligómeros liberados en la primera etapa se despolimerizan para liberar a los monosacáridos que los forman. Una pequeña fracción de los monosacáridos se degrada a furfural e hidroximetilfurfural.

-Se retiran los erlenmyers del baño y adicionamos 28 ml de agua desionizada por cada ml de ácido sulfúrico 24.1 N empleado en la hidrólisis primaria (por ejemplo, 0.4 g de

muestra inicial requieren 4 ml de ácido sulfúrico 1.24 N y, consecuentemente, 112 ml de agua). En nuestro caso han sido 84 ml. La adición de agua la podemos utilizar para lavar las varillas y retirarlas evitando que quede residuo sólido en ellas.

-Tapar el erlenmeyer con un vidrio de reloj y colocar en un autoclave a 120 ° C durante 45 minutos. Es conveniente que el autoclave esté ya a 100 ° C antes de poner el Erlenmeyer.

-Pasado este tiempo, desconectar el autoclave dejando que baje la presión por enfriamiento durante unos 10 minutos. Seguidamente abrir poco a poco la salida de vapor. Una despresurización rápida puede provocar proyecciones del líquido del erlenmeyer con la consiguiente pérdida de muestra. Dejar enfriar el erlenmeyer en un baño de agua hasta conseguir una temperatura inferior a 30 ° C.

3.- Filtrado

-Filtrar el residuo insoluble (lignina Klason) al vacío sobre una placa porosa del n ° 3 previamente tarada (M2).

-Recoger el líquido filtrado en un primer quitasatos de 250ml. Medir el volumen de este filtrado (V1) en una probeta graduada de 100 o 250ml. El filtrado se utilizará para la posterior cuantificación de los azúcares disueltos por HPLC. Hay que tener un cuidado especial para recuperar la máxima cantidad de filtrado posible ya que esta etapa determina la validez de la medida de los monosacáridos por HPLC. Si no se puede condicionar la muestra líquida para el análisis por HPLC el mismo día, conservarla en la nevera.

-Sin sacar la muestra de lignina Klason del filtro, lavarse repetidamente con agua destilada para eliminar los restos de monosacáridos y llevar su pH a neutralidad.

- Secar en la estufa a 105 ° C durante una noche.

- Colocar la muestra en un desecador durante 30 minutos bajo vacío para enfriarla. Desconectar del vacío, aumentar la presión lentamente y pesar rápidamente el filtro de placa porosa con la muestra de lignina Klason (M3).

Lavar los filtros con una disolución formada por agua, ácido acético y clorito sódico.

4.- Preparación de la muestra líquida para el análisis de monosacáridos por HPLC

La analítica de monosacáridos por HPLC se puede hacer mediante dos columnas diferentes, según se utilice fase móvil ácida (columna AMINEX HPX 87H) o fase móvil neutro (columna AMINEX HPX 87P).

1. Preparación de la muestra para la columna AMINEX HPX 87H:

Esta columna permite inyectar la muestra tal y como la hemos obtenido. Sólo hay que filtrar 2 ml de muestra en un filtro de jeringa de 0.22 µm y guardarlos en un vial encapsulado apto para el inyector automático del HPLC. Esta columna tiene el inconveniente de que no separa la manosa ni la galactosa de la xilosa, por lo que no se puede utilizar en sustratos que presenten concentraciones similares de dos de estos azúcares.

2. Preparación de la muestra para la columna AMINEX HPX 87P:

Esta columna consigue separar bien glucosa, xilosa, galactosa, arabinosa, y manosa. Tiene el inconveniente de que hay que neutralizar la muestra hasta un pH alrededor de 6. La neutralización se hace con hidróxido de bario y posteriormente se separa el sulfato de bario que precipita. El procedimiento es más laborioso y la neutralización con hidróxido de bario provoca una importante dilución de la muestra, y eso hace perder sensibilidad al análisis especialmente por los azúcares minoritarios.

El procedimiento es:

- Poner una muestra de 25 ml (V2) de la disolución de monosacáridos en un tubo de centrífuga de plástico (PP), y añadir un imán agitador pequeño.
- Añadir 2 ml (V3) de una disolución patrón de manitol de concentración conocida (C manitol; aproximadamente 15 g / L), que se utiliza como estándar interno para los cálculos.
- Añadir 3.2 g de hidróxido de bario sólido: Ba (OH) 2 • 8H2O.
- Mezclar el contenido del tubo con la ayuda de una placa agitadora.
- Introducir la sonda de pH y medir el pH de la mezcla
- Ajustar el pH a un valor de 6.0 ± 0.2 añadiendo unas gotas de disolución saturada de hidróxido de bario (aprox. 70 g / L de Ba (OH) 2 • 8H2O).
- Centrifugar
- Filtrar 2 ml de la muestra líquida a través de un filtro de jeringa de 0.22 μm y guardarlos en un vial encapsulado para su análisis en el HPLC.

Cálculos:

Materia prima libre de extractivos y con un contenido de cenizas bajo:

$$\text{Lignina}(\%) = 100 \frac{(M_3 - M_2)}{M_1 \left(1 - \frac{\text{Humitat}}{100}\right)} \left(1 - \frac{\text{Extract.}_{AQ}}{100}\right) \left(1 - \frac{\text{Extract.}_{ORG}}{100}\right)$$

4.5.- Holocelulosa

(Método analítico) MA/LC/007/rev1.0)

Normas originales:

TAPPI standard T-203 02-74

Objeto:

Determinará el tanto por ciento de holocelulosa en base de material seco libre de extractivos. La holocelulosa es el conjunto de polímeros que forman parte de los materiales lignocelulósicos y que están constituidos principalmente por azúcares.

Fundamento:

Para determinar la holocelulosa, previamente se elimina la lignina a partir de una muestra libre de extractivos orgánicos acuosos sometiendo el sustrato a un ataque ácido con clorito de sodio que degrada la lignina a productos solubles.

Utilidad:

Medida de los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) que se encuentran en una muestra lignocelulósica.

Muestra:

Se parte de un material lignocelulósico con una granulometría inferior a 0.5 mm. Se puede aplicar a madera, paja, etc. (hay que preparar el material libre de extractivos según los protocolos P03 y P04) y a muestras de material prehidrolizado, muestras de pasta de celulosa (se pueden analizar directamente), etc.

Procedimiento:

El análisis se realiza por triplicado.

- 1- El día anterior a la realización de la extracción, colocar en la estufa a 105°C los embudos placa filtrante del nº 0.
- 2- Comprobar que la balanza está calibrada y tarada. Pesar en un vidrio de reloj aproximadamente 5.5 g de muestra húmeda libre de extractivos (P1).
- 3- Medir 160 ml de agua destilada con una probeta y arrastrar con ellos la muestra al Erlenmeyer.
- 4- Llevar los Erlenmeyer a la campana de gases y añadir a cada uno de ellos, con pipeta automática 0.5 ml de ácido acético. Pesar en el granatario 1.5 g de clorito sódico en un vidrio de reloj y ponerlo en el Erlenmeyer con cuidado que no quede adherido a las paredes del matraz.
- 5- Agitar manualmente con suavidad comprobando que toda la muestra está cubierta por el extractante.
- 6- Taparlos con un vidrio de reloj y llevarlos a un baño de agua a una temperatura de 70-80°C. Cada 20 minutos debemos agitar manualmente con suavidad los Erlenmeyer. Se advierte que la mezcla adquiere una tonalidad amarilla debido al

clorito. Los vapores también tienen poder atacante, con lo que sí quedara algún resto de muestra en la pared del erlenmeyer también sería atacado por el extractante. Pasada una hora, se retiran los Erlenmeyer del baño y se vuelve a hacer un ataque de acético (0.5 ml) y clorito sódico (1.5g) Volvemos a poner los matraces en el baño de agua y dejamos otra hora más, agitando manualmente cada 20'.

- 7- El máximo de ataques a realizar es de cuatro, incluido el primero. Dependiendo del tipo de muestra, caso que sea hidrolizada o de pasta cruda de papel, puede ser inferior. Un ataque excesivo de clorito degrada significativamente las características de la celulosa.
- 8- Sacaremos de la estufa los embudos filtrantes y los pondremos en un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente. (20-30 minutos)
- 9- Una vez finalizado el número total de ataques ponemos los erlenmeyer en un baño de agua fría para detener la acción atacante y enfriar la mezcla. Podemos añadir hielo para acelerar el proceso. No volvemos a agitar los matraces de forma que la holocelulosa se vaya depositando en el fondo.
- 10- Mientras que se enfrían los Erlenmeyer, taramos los embudos filtrantes nº 0 en los que vamos a filtrar y lavar la fibra de holocelulosa. (P2)
- 11- Para el proceso de filtrado la mezcla debe estar fría. Además, hay que tener en cuenta que las primeras aguas de filtrado y lavado de la fibra, tienen una concentración elevada de clorados, por lo que han de llevarse al envase de residuos correspondiente (Bidón con etiqueta naranja)
- 12- Conectar el vacío. Al filtrar debemos inclinar el conjunto embudo-kitasato unos 45° de forma que el líquido caiga sobre la pared del embudo y no sobre la placa filtrante y procurando que quede en los erlenmeyer la mayor parte posible de fibra. Añadir al matraz 100 ml de agua destilada, agitar vigorosamente para lavar la fibra y dejar reposar de forma que vuelva a depositarse en el fondo del mismo.
- 13- Decantamos las aguas de lavado de la holocelulosa sobre el embudo placa filtrante de nuevo, repitiendo la inclinación del conjunto de nuevo. Repetimos la operación dos veces más. Después repetimos con porciones de 60 ml de agua destilada hasta que obtengamos unas aguas de lavado blanquecinas; hemos de notar que pierden la tonalidad amarilla.
- 14- Verter ahora el contenido del Erlenmeyer en su totalidad. Con lavados de agua fría pasaremos toda la fibra a la palca filtrante. Desconectar el kitasato del vacío.
- 15- Añadir acetona para secar la holocelulosa. Así eliminaremos los restos de agua que puedan quedar. En caso de no tener acetona puede usarse etanol. Empapar bien toda la fibra y dejar reposar 2 minutos.
- 16- Volver a conectar el vacío para eliminar la acetona.
- 17- Completar el proceso de secado llevando los embudos a la estufa a 105°C durante 12 horas como mínimo.
- 18- Sacar los embudos de la estufa y ponerlos en un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente (aproximadamente unos 20-30 minutos)
- 19- Pesar rápidamente. Obtendremos así el peso P3.

Cálculos:

El contenido de holocelulosa en base al material seco libre de extractivos se calcula mediante la expresión:

$$\%Holocelulosa = 100 \left(\frac{P_2 - P_3}{P(1 - \%H / 100)} \right) (1 - \%Ext.Aq./100)(1 - \%Ext.Org./100)$$

4.6.- α -Celulosa

(Método analítico MA/LC/008/rev1.0)

Normas originales:

ASTM standard D-1103-60 (Reappr. 1977)
TAPPI standard T203 05-1974

Objeto:

Cuantificar el tanto por ciento de Alfa-celulosa en diferentes materiales lignocelulósicos. Se determinará el contenido de Alfa-celulosa basándose en la holocelulosa seca y la fibra seca original libre de extractivos.

Fundamento:

La fracción insoluble que queda al tratar la holocelulosa de forma consecutiva con una solución de NaOH al 17.5% y 8.3% a temperatura ambiente, es la Alfa-celulosa. Se parte de holocelulosa húmeda. También se puede aplicar a celulosa blanqueada de origen papelerero

Procedimiento:

- 1- Ponemos en un erlenmeyer de 250 ml 2 g de holocelulosa obtenida en el protocolo.05. Este será el P₄. Simultáneamente determinaremos la humedad de la muestra según protocolo.01 o .01B
- 2- Añadiremos un total de 25 ml de NaOH al 17.5% en adiciones sucesivas. Primero un volumen de 10 ml con una pipeta aforada y homogeneizaremos con una varilla de vidrio. Ponemos el cronómetro y dejamos actuar el primer ataque durante 5 minutos.
- 3- Pasado el tiempo, añadimos 5 ml más de NaOH 17.5% y volvemos a mezclar bien con la varilla. Dejamos actuar otros 5 minutos.
- 4- Repetimos la operación.
- 5- Una vez añadidos los 5 ml que completan un total de 25 ml de NaOH 17.5%, dejamos reposar durante 30 minutos. Mientras, sacamos los embudos filtrantes de la estufa y los ponemos en un desecador para que se enfríen.
- 6- Añadimos 33 ml de H₂O para rebajar la concentración de NaOH al 8.3% y homogeneizamos con la varilla de vidrio. Dejamos reposar otra hora más.
- 7- Taramos los filtros del n° 0, obtenemos el P₅.
- 8- Decantamos el líquido sobre el embudo, conectado a la bomba de vacío.
- 9- Para arrastrar y limpiar las paredes del erlenmeyer utilizaremos 100 ml de NaOH 8.3% añadido en varias veces.
- 10- Lavaremos ahora la muestra y el erlenmeyer con 200 ml de H₂O destilada en varias porciones para asegurar que no queda betacelulosa.
- 11- Desconectamos la bomba de vacío y añadimos 20ml de acético al 10% que debe permanecer en contacto con la muestra durante 3 minutos.
- 12- Conectamos de nuevo el vacío y lavamos la muestra con agua destilada hasta neutralizar. Comprobamos con el papel indicador pH las aguas de lavado.
- 13- Llevamos los embudos de placa filtrante a la estufa al menos durante 12 horas.

14- Al día siguiente sacamos los embudos y los ponemos en el desecador. Cuando estén fríos, al cabo de unos 20 o 30 minutos, pesamos. Obtenemos el P_6 .

Cálculos:

$$\% \text{Alfacelulosa} = 100 \times \frac{(P_6 - P_5)}{(P_4 - \%H/100)} \times \frac{\% \text{Holoceulosa}}{100}$$

5.- Prensado y tratamiento térmico final

5.1.- Prensado en frío

Partimos del material lignocelulósico estabilizado en HR con el ambiente. Su HR es del 12 % aproximadamente.

Para realizar el prensado en frío, primero se pesa el material a prensar, para garantizar la uniformidad entre los diferentes tableros. En nuestro caso, atendiendo a las dimensiones y densidades perseguidas, se pesaban 28,5 g de material lignocelulósico.



Figura Anejo I-5.1-1: Pesado del material y relleno del molde para prensado en frío

El prensado en frío se ha realizado de dos formas diferentes, en seco y en húmedo. En el primer caso, directamente, el material pesado se introduce y se reparte en el molde, prestando especial atención a la uniformidad del espesor en dicho molde. Se dispone de un molde específico para el prensado en frío.

En el caso de prensado en húmedo, a los 28,5 g de material le añadiremos 185 ml de agua destilada, se agita y mezcla hasta conseguir un fluido uniforme que se introduce en el molde. En este caso, en la parte inferior del molde se habrá colocado una malla para la evacuación del agua sobrante durante el prensado en frío.

El prensado en frío se ha realizado utilizando una prensa MEGA KCK-30 AN de 30 toneladas, fabricado por la empresa Melchor Galindo SA. (Foto en el apartado 3.4.5)

El material prensado en frío queda como “Tablero preconformado” de escasa consistencia. Estos tableros preconformados son llevados a una cámara climática con temperatura y HR controlada, hasta su estabilización y posterior prensado en caliente.

5.2.- Prensado en caliente

5.2.1.- Equipo de prensado en caliente

Es una prensa calefactada utilizada originalmente para las muestras de plástico o Caucho. Se trata del modelo Polystat 300 S construida en Berlín por empresa Schwabenthan. Los platos o planchas, además de calentarse, llevan un sistema de refrigeración por agua, para el caso de que se quiera realizar un enfriamiento rápido del material prensado.

Esta prensa tiene un área de trabajo de 300x300 mm. Puede ser ajustada por una unidad de control: La presión del hidráulico, la temperatura y tiempo se puede controlar digitalmente. La máxima fuerza de empuje es de 450 KN.

Datos técnicos Polystat 300 S

Área de trabajo mm	300 x 300
Dimensión de la placa mm	350 x 350
Fuerza hasta kN	450
La presión hidráulica hasta bar	400
Potencia hidráulica KW	1,5
Temperatura de trabajo hasta el ° C	300
Potencia de calentamiento de places kW	8,0
Longitud de la máquina mm	1200
Profundidad de la Máquina mm	650
Altura de la máquina mm	1550
Peso de la máquina kg	800

Para trabajar con mayor precisión, se le conectó una bomba manual de la marca Roquet de 250 bares y un manómetro digital, pudiendo ajustar mejor la presión ejercida.

5.2.2.- Procedimiento de prensado en caliente

La prensa tarda entre una y dos horas para llegar a la temperatura que estamos utilizando en nuestros ensayos. Por lo que la primera actuación consiste en revisar la prensa, acercar entre sí las planchas para favorecer el aumento de temperatura y poner en marcha los calentadores.

Se utiliza un molde hecho de acero con un área de trabajo de 50x150 mm y un pistón que encaja de forma ajustada. Se parte de los tableros preconformados realizados por prensado en frío y estabilizadas en la cámara climática. Estos tableros preconformados son introducidas en el molde formando un sándwich: en la parte inferior una malla de evacuación de vapor, en medio el tablero preconformado y en la parte superior una chapa de acero de 1 mm a modo de tapa. Sobre todo el sándwich, se encaja el pistón del molde; sobre el que actuará la placa superior de la prensa. Todo el conjunto se coloca sobre una chapa de acero y ésta en la placa inferior de la prensa.

Una vez centrado el molde en la prensa, se proceda a acercar las planchas de la prensa elevando la plancha inferior.

A la prensa le podemos programar la temperatura, la presión y el tiempo. De estos parámetros, solo hemos programado la temperatura y el tiempo. La presión la hemos programado con un valor ligeramente inferior a la requerida y después hemos actuado sobre la bomba manual, para mejorar la precisión en la presión ejercida.

Cuando transcurre el ciclo de presiones y temperaturas definido, según diseño, se baja la prensa rápidamente y se extrae el tablero ya conformado.

5.3.- Tratamiento térmico final

El tratamiento térmico final consiste en mantener los tableros, después de su prensado en caliente, a una temperatura y tiempo predeterminado. En nuestro caso han sido 5 h a 165 °C.

Este tratamiento térmico se ha realizado mediante una Estufa SELECTA de 1600 W de la empresa JP Selecta s.a.



Figura Anejo I-5.3-1: Estufa SELECTA 1600 w

5.4.- Estabilización en cámara climática

Antes del prensado en caliente y antes de la realización de los ensayos de caracterización física y mecánica de los tableros, éstos habrán sido estabilizados en una cámara climática, en la que se han mantenido a 20 °C y 65 % HR.

El equipo utilizado es una cámara climática CLIMACELL de la empresa MMM-Group. Medcenter Einnchtugen GmbH



Figura Anejo I-5.4-1: Cámara climática CLIMACELL

6.- Caracterización de los tableros

6.1.-Propiedades físicas

6.1.1.- Densidad

Para la determinación de la densidad se aplica la EN 323-1994. Para la medida el espesor se requiere un micrómetro con una precisión que permita lecturas de 0,01 mm. Se ha utilizado un micrómetro digital “Mitutoyo” de 0,01 mm de precisión. Para la medida de la longitud y anchura se requiere una precisión de 0,1 mm. Se ha utilizado un pie de rey digital “Digitronic Caliper” de 0,01 mm de precisión. También se requiere una balanza de 0,01 g de precisión. Se ha utilizado una balanza HM 120 de una precisión de 0,1 mg.

El muestreo y corte de las probetas se realiza atendiendo a lo establecido por la EN 326-1. Las probetas utilizadas, tal como establece la norma, son de 50 x 50 mm. La medición de la probeta se realiza según EN 325. Se mide el espesor en la intersección de las diagonales, excepto que existan irregularidades. La longitud de los lados se mide en dos puntos, paralelamente a los cantos de la probeta, a lo largo de la línea que une el centro de los cantos opuestos.

Cálculo:

$$\rho = \left(\frac{m}{v}\right) \times 1000$$

ρ densidad en kg/m³

m masa en gramos

v Volumen en cm³

6.1.2.- Absorción de agua e hinchamiento

La norma EN 317 es la utilizada para la determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. Esto se realiza midiendo el aumento en espesor de la probeta después de inmersión total en agua.

Para ello utilizaremos un micrómetro digital “Mitutoyo” de 0,01 mm de precisión.

Previamente a este ensayo, las probetas habrán sido condicionadas en cámara climática a 20 °C y 65 % HR, hasta masa constante. Se considera masa constante cuando los resultados de dos pesadas consecutivas, realizadas en un intervalo de 24 h, no se diferencian en más del 0,1 % de la masa de la probeta.

Para determinar la hinchazón, se mide del espesor de la probeta en el punto de intersección de las diagonales, con una precisión de 0,01 mm. Para la determinación del agua absorbida, se pesa la probeta con una precisión mínima de 0,01 g. En nuestro caso hemos utilizado una balanza HM-120.

Las probetas, de 50 x 50 mm, son sumergidas en un baño de agua a 20 °C durante 24 h. Las probetas se sumergen en posición vertical, en agua limpia, en reposo y con un pH de 7 ± 1 y una temperatura de 20 ± 1 °C que se mantiene durante todo el ensayo. Las probetas las ponemos en una rejilla que separa entre sí las probetas y de las paredes y de la base del recipiente. Las probetas las dejamos sumergidas a 25 mm.

Cuando han pasado las 24 h se sacan las probetas, se le elimina el exceso de agua y se vuelve a medir el espesor en el mismo punto en el que se midió antes de sumergir el tablero en agua y el peso de la probeta hinchada.

Cálculos:

$$TS = \frac{(L1 - L0)}{L0} \times 100$$

- TS Hinchamiento en % del espesor
L1 Espesor después de la inmersión
L0 Espesor inicial de la probeta

$$WA = \frac{(M1 - M0)}{M0} \times 100$$

- WA Porcentaje de absorción de agua
M1 Peso después de 24 h de inmersión
M0 Peso antes de la inmersión

6.2.- Propiedades mecánicas

6.2.1.- Módulo Elástico y Resistencia a la flexión (MOE, MOR)

La determinación del módulo de elasticidad en flexión (MOE) y de la resistencia a la flexión (MOR) se realiza atendiendo a la EN 310.

La resistencia y el módulo de elasticidad en flexión se determinan aplicando una carga en el centro de la probeta, que se encuentra apoyada en dos puntos (dos rodillos). El módulo de elasticidad se calcula utilizando la pendiente del tramo lineal de la curva carga-deformación. El valor calculado es el módulo aparente. La resistencia a la flexión de cada probeta se calcula determinando la relación entre el momento flector correspondiente a la carga máxima $F_{máx}$. Y el módulo resistente de la sección transversal.

Los componentes esenciales que deben tener los dispositivos de ensayo son:

- Dos apoyos paralelos, cada uno con un rodillo cilíndrico con libertad de giro. La longitud de los rodillos debe ser superior al ancho de la probeta (diámetro = $15 \pm 0,5$ mm).
- Una cabeza de carga cilíndrica, con la misma longitud que los rodillos y un diámetro de $30 \pm 0,5$ mm. Estará colocada paralelamente a los rodillos y equidistante entre ellos.

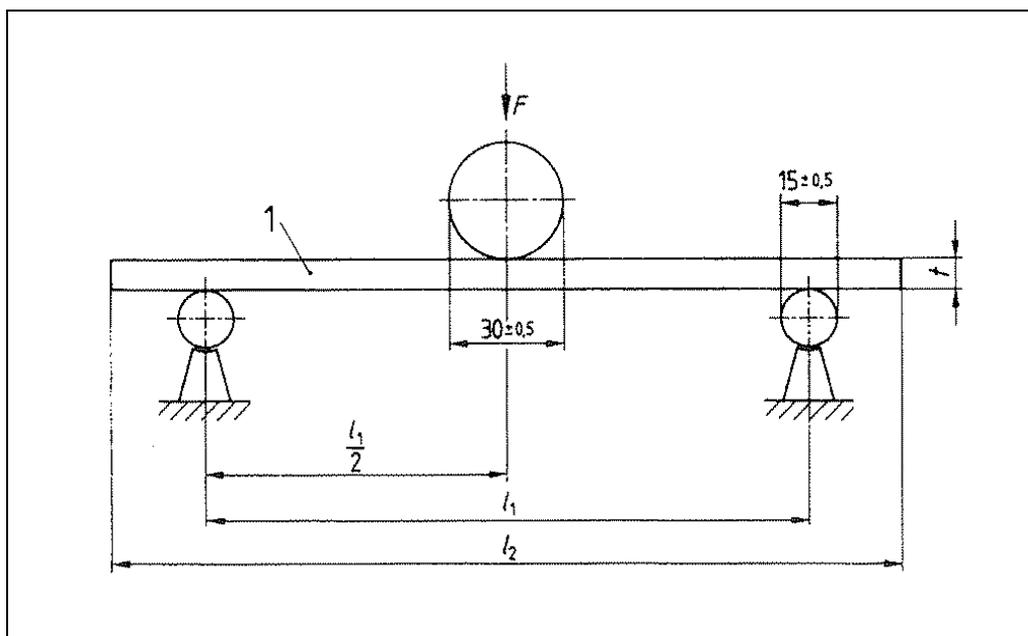


Figura Anejo I-6.2.1-1: Esquema ensayo de flexión. Obtención de MOE y MOR (EN 310)

- Instrumentos adecuados y capaces de medir las deformaciones que se producen en la mitad de la luz de apoyo de las probetas, con una precisión de 0,1 mm.
- Un sistema de medida de carga adecuado y capaz de medir la carga aplicada en las probetas con una precisión del 1 % de valor medido.

Las probetas deben tener una anchura de 50 ± 1 mm y una longitud igual o superior a dos veces el ancho. En nuestro caso, el ancho es de 50 mm y la longitud de 150 mm.

Las probetas deben ser previamente acondicionadas a 20°C y 65 % de HR.

El procedimiento comienza con la medición de la anchura y espesor de las probetas en los siguientes puntos:

- El espesor en la intersección de las diagonales
- La anchura en la mitad de la longitud

Se ajusta la distancia entre los ejes de los apoyos, que será de 20 veces el espesor nominal del tablero ± 1 mm, con un máximo de 1000 mm y un mínimo de 100 mm. La distancia entre los ejes de los apoyos se redondeará a 0,5 mm más próximo.

La probeta se apoya con la cara apoyada en los soportes y con su eje longitudinal perpendicular a los apoyos. La carga se aplicará en el centro de la probeta.

La velocidad de carga será constante y se ajustará para que se alcance la carga máxima en 60 ± 30 s.

La deformación se medirá en el centro de la probeta (debajo de la cabeza de carga) con una precisión de 0,1 mm y se registra en un diagrama los valores correspondientes de la deformación y de la carga aplicada, esta última con una precisión de un 1 % del valor medido.

Se registra la carga máxima aplicada a la probeta con una precisión del 1% del valor medido.

Cálculo:

$$MOE = \frac{(L1^3(F2 - F1))}{(4bt^3(a2 - a1))}$$

MOE	N/mm ² (Mpa)
L1	Distancia entre ejes de los apoyos en milímetros
b	Anchura de la probeta en milímetros
t	Espesor de la probeta en milímetros
F2-F1	Incremento de la carga en el tramo lineal de la curva de cargas-deformaciones en N.
F1	Valor de la fuerza correspondiente aproximadamente a al 10 % del valor de la carga máxima
F2	Valor de la fuerza correspondiente aproximadamente a un 40% de la carga máxima
a2-a1	Incremento de la deformación en la mitad de la longitud de la probeta (corresponde con F2-F1).

$$MOR = \frac{3F_{m\acute{a}x} \cdot l_1}{2bt^2}$$

MOR	N/mm ² (Mpa)
F _{máx.}	Carga máxima en Newtons
l ₁ , b y t	Dimensiones expresadas en mm

6.2.2.- Resistencia a la tracción perpendicular a las caras o Internal Bond (IB)

Esta característica mecánica se valorará atendiendo a la EN 319.

Esta norma establece el método de medida de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras (cohesión interna) de los tableros de partículas, fibras y otros.

Se basa en someter las caras de la probeta a un esfuerzo de tracción uniformemente repartido, hasta la rotura. La resistencia se determina por la carga máxima aplicada en relación con la superficie de la probeta.

Se debe utilizar un calibre de acuerdo con la Norma EN 325. En nuestro caso hemos utilizado el mismo calibre que para otros ensayos (micrómetro digital “Mitutoyo” de 0,01 mm de precisión para el espesor y pie de rey “Digitronic Caliper” de 0,01 mm de precisión, para el resto de dimensiones.

Según norma, la máquina de ensayo debe ser capaz de aplicar una fuerza de tracción perpendicular a las caras de la probeta, por medio de tacos de agarre y medir esta fuerza con una precisión de 1 %.

Los tacos deben incluir un dispositivo de autoalineación (articulación con rótula).

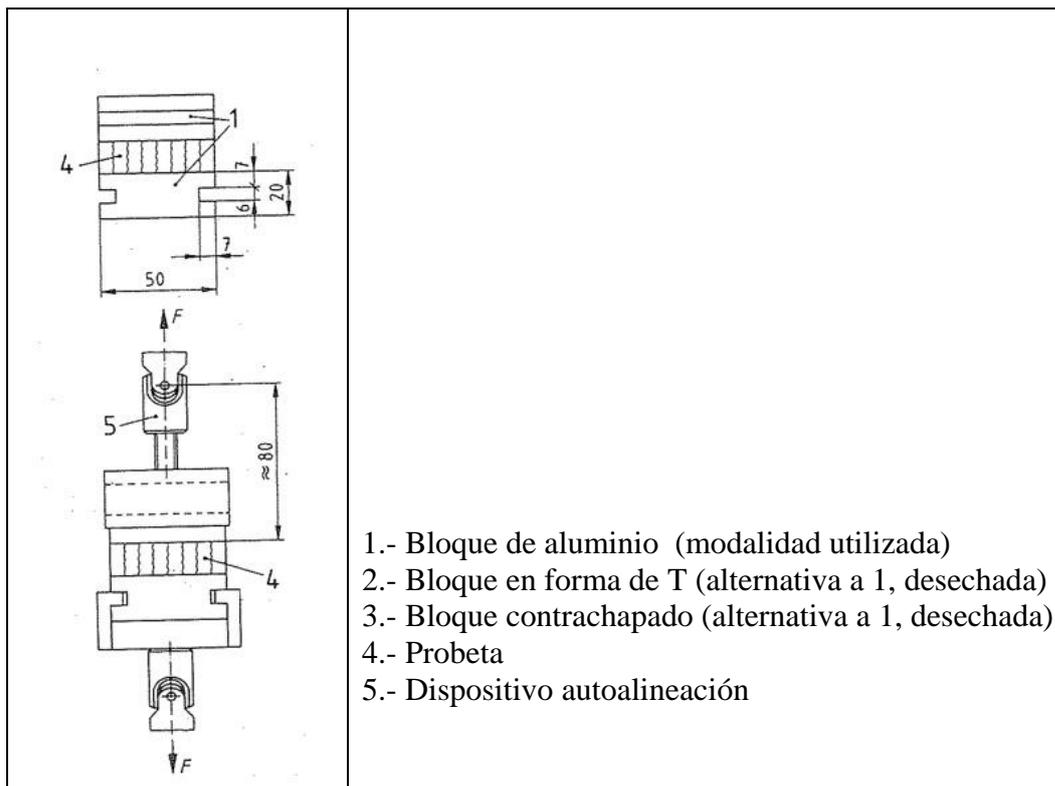


Figura Anejo I-6.2.2-1: Tacos de sujeción y mordazas para obtención de IB (EN 319)

Las dimensiones de la probeta, atendiendo a la norma, deben ser de $50 \times 50 \pm 1$ mm de lado. Los ángulos deben ser de 90° y los cantos deben quedar rectos y limpios.

Las probetas deben ser previamente acondicionadas a 20°C y 65 % de HR hasta masa constante. Se considera masa constante cuando los resultados de dos pesadas sucesivas, en un intervalo de 24 h, se diferencia en un 0,1 % o menos.

Después del acondicionado, se miden las dimensiones atendiendo a la EN 325.

El encolado de las probetas en los tacos de sustentación se realiza mediante un adhesivo. En nuestro caso, se ha utilizado Araldite standard (AW 106) (HV 953). Soporta tracciones de hasta 350 Kg/cm^2 . Máxima resistencia a las 12- 72 h. Debe tenerse respetarse estrictamente el tiempo de fraguado de cada tipo de adhesivo. Nosotros hemos dejado la probeta encolada durante un mínimo de 4 días. Durante ese tiempo las probetas deben mantenerse a 20°C y 65 % de HR.

Cuando se ensayan tableros delgados ($< 8 \text{ mm}$) o de densidad elevada ($> 800 \text{ kg/m}^3$) se recomienda que los tacos de sujeción sean metálicos. Los que hemos utilizado para este trabajo están realizados de aluminio.

Cuando el adhesivo está fraguado se coloca el conjunto bloque-probeta en el equipo de tracción para aplicarle un esfuerzo hasta rotura. La fuerza debe aplicarse a velocidad constante durante todo el ensayo. El tiempo de aplicación del esfuerzo debe ser de $60 \pm 30 \text{ s}$. Se registra la carga máxima aplicada a la probeta con una precisión del 1%.

Cálculos:

$$ft \perp = IB = \frac{F_{m\acute{a}x}}{a \cdot b}$$

f_t o IB Resistencia a tracción perpendicular a las caras del tablero (N/mm²)
F_{máx} Carga de rotura en Newton
a, b Longitud y anchura de la probeta en milímetros.

Para la medida del IB, primero se deben montar las probetas entre dos tacos de sujeción que permitan aplicarle esfuerzos perpendiculares a las caras.

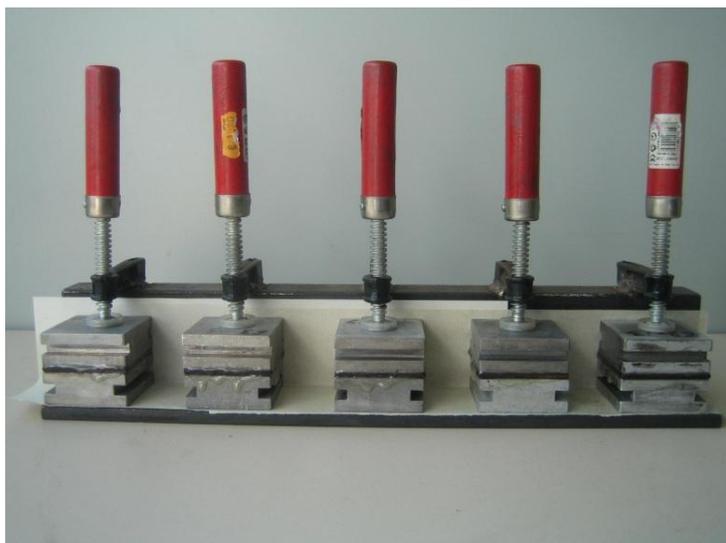


Figura Anejo I-6.2.2-2: Montaje de tacos de sujeción para IB

Para hacer el montaje de los tacos nos ayudamos de una serie de sargentos que mantienen el conjunto durante el curado o fraguado de la cola de unión de las probetas entre los tacos de sujeción.

Las probetas deben quedar perfectamente unidas a los tacos y se le eliminará el adhesivo sobrante.

Todos los tacos serán marcados con el número del tablero y de la serie a que pertenecen

ANEJO II: TABLAS DE PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TABLEROS

1.- Tablas de parámetros de producción y características de los tableros de *Arundo donax* L.

Tabla Anexo II.1-1: Parámetros de producción y características de la Serie 11

Especie:	<i>Arundo donax</i> L.								
Serie:	11								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2 x tp								
Tratam.Térm.Final:	NO								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	min	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	205	5	3,75	6525	38,26	2,16	1174,32	14,97	25,00
2	205	5	3,75	5742	34,91	1,37	1143,16	13,44	17,39
3	205	0,35	3,75	2239	11,16	1,42	859,90	18,46	58,24
4	205	5	3,75	5674	39,94	1,22	1157,65	8,71	20,22
5	205	5	3,75	6508	42,31	0,96	1179,86	9,57	22,22
6	205	5	3,75	7148	44,29	1,98	1217,46	10,47	18,89
7	205	5	3,75	6453	46,64	2,01	1224,09	8,81	18,68
8	205	9,6	3,75	6838	45,07	1,43	1216,03	9,69	14,61
9	205	5	3,75	5815	36,98	0,92	1168,61	9,18	24,44
10	205	5	3,75	6126	39,68	1,07	1174,25	13,76	22,73
11	205	10	3,75	7186	47,27	1,94	1146,91	11,32	20,65
12	205	12,5	3,75	8143	51,5	1,45	1034,60	9,55	16,13
13	205	15	3,75	8069	52,9	1,61	1130,12	11,71	18,60
14	205	15	3,75	9552	53,3	0,99	1174,16	10,03	15,73
15	205	12,5	3,75	8658	51,2	1,27	1155,20	12,30	15,22
16	205	12,5	3,75	6995	36,48	0,83	1295,27	8,06	14,44
17	205	12,5	3,75	7028	36,8	0,90	1040,03	10,59	17,78
18	205	10	3,75	5510	37,5	0,92	1130,36	10,89	14,94
19	205	10	3,75	6037	35,7	1,02	1085,34	10,09	16,13
20	205	10	3,75	6465	42,39	1,42	1209,58	14,08	17,24

Tabla Anexo II.1-2: Parámetros de producción y características de la Serie 12

Especie:	<i>Arundo donax L.</i>								
Serie:	12								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Húmedo								
Pensado caliente:	2 x tp								
Tratam.Térm.Final:	NO								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	min	>3000	>29	>0,7	>800	<35%	<30%
				Mpa	Mpa	Mpa	kg/m3		
1	205	5	3,75	7450	48,35	1,33	1246,50	14,86	19,77
2	205	5	3,75	7441	40,88	1,81	1246,92	15,33	17,78
3	205	0,35	3,75	2955	13,93	0,99	1042,92	22,50	44,09
4	205	5	3,75	6776	38,5	1,51	1138,46	11,56	21,43
5	205	5	3,75	7013	42,21	1,35	1229,42	15,77	19,77
6	205	5	3,75	7498	43,46	1,63	1197,46	12,06	18,82
7	205	5	3,75	7348	39,45	1,47	1215,48	19,47	25,00
8	205	9,6	3,75	6545	39,54	1,51	1266,91	12,41	18,82
9	205	5	3,75	7363	45,41	1,12	1215,15	10,95	19,54
10	205	5	3,75	6516	39,66	1,45	1227,92	15,44	21,59
11	205	10	3,75	5288	36,3	1,28	1202,46	11,39	18,60
12	205	12,5	3,75	7439	40,37	0,56	1277,15	12,55	13,95
13	205	15	3,75	5598	23,1	0,55	1231,72	13,94	17,72
14	205	12,5	3,75	6505	33,73	0,81	1187,55	12,97	16,85
15	205	12,5	3,75	5535	34,66	0,67	1176,88	10,26	17,58
16	205	12,5	3,75	5702	39,67	0,88	1202,07	14,50	17,50
17	205	10	3,75	7256	40,37	0,85	1220,97	11,08	16,35
18	205	10	3,75	6421	40,44	0,74	1144,71	17,25	20,27

Tabla Anexo II.1-3: Parámetros de producción y características de la Serie 21

Especie:	<i>Arundo donax L.</i>								
Serie:	21								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2 x tp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	min	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	205	5	3,75	4484	25,07	2,46	1,14	12,93	13,36
2	205	5	3,75	5683	32,35	3,10	1,22	2,84	7,76
3	205	5	3,75	5215	30,34	2,97	1,19	4,36	8,66
4	205	5	3,75	4923	32,96	1,26	1,23	3,52	7,59
5	205	5	3,75	5243	29,62	2,95	1,23	5,21	8,66
6	205	5	3,75	5399	32,07	1,94	1,24	4,15	9,31
7	205	5	3,75	5313	28,91	3,13	1,22	5,41	9,09
8	205	5	3,75	5613	38	2,15	1,23	5,60	8,73

Tabla Anexo II.1-4: Parámetros de producción y características de la Serie 22

Especie:	<i>Arundo donax L.</i>								
Serie:	22								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	205	0	0	740	2,072	0,51	733,71	26,34	41,77
2	205	1	30	3296	21,36	2,28	1049,50	10,22	18,82
3	205	2,5	30	3817	30,63	2,10	1084,39	6,25	13,04
4	205	5	30	4711	30,63	2,72	1178,88	7,64	9,68
5	205	7,5	30	4251	37,27	3,05	1156,97	8,03	12,64
6	205	10	30	5323	42,59	3,46	1123,50	7,07	14,29
7	205	12,5	30	4792	39,13	3,25	1060,64	6,02	9,68
8	205	15	30	6222	43,09	3,21	1184,16	5,84	10,87
9	205	20	30	6106	43,61	2,95	1151,77	3,96	8,99
10	205	0	30	795	2,55	0,43	783,93	18,30	27,17
11	205	2,5	30	3254	21,94	2,46	1003,05	12,80	23,81
12	205	5	30	3950	27,64	3,75	1086,24	11,13	10,34
13	205	10	30	5167	41,57	3,62	1110,98	9,62	13,79
14	205	20	30	5634	42,6	3,76	1154,40	3,81	9,78

Tabla Anexo II.1-5: Parámetros de producción y características de la Serie 3

Especie:	<i>Arundo donax L.</i>								
Serie:	3								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Húmedo								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m ³	<35%	<30%
1	205	2,5	30	3225	22,34	1,63	1077,78	13,44	12,50
2	205	5	30	4347	31,85	2,60	1067,70	11,14	10,59
3	205	10	30	5802	43,27	3,09	1208,20	7,73	7,78
4	205	20	30	6151	46,35	3,71	1190,70	6,02	6,74
5	205	2,5	30	3766	26,8	2,28	1135,77	9,43	10,23
6	205	5	30	4120	29,91	2,46	1108,29	10,76	9,89
7	205	10	30	4976	32,64	3,51	1172,91	9,10	9,64
8	205	20	30	6651	52,3	3,68	1224,81	5,93	6,59

Tabla Anexo II.1-6: Parámetros de producción y características de la Serie 4

Especie:	<i>Arundo donax L.</i>								
Serie:	4								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	No								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m ³	<35%	<30%
1	205	1	30	6043	14,2	1,42	1082,93	1,81	12,22
2	205	2,5	30	4674	19,73	4,02	1059,88	1,93	12,90
3	205	5	30	4499	22,79	2,32	1087,37	2,11	10,34
4	205	10	30			1,41	880,67	2,47	11,94
5	205	1	30	4751	22,81	4,00	1078,68	2,56	13,19
6	205	2,5	30	5649	16,94	1,44	1152,97	4,37	11,90
7	205	5	30	4634	26,71	2,13	1115,60	1,10	9,20

2.- Tablas de parámetros de producción y características de los tableros de *Saccharum officinarum* L.

Tabla Anexo II.2-1: Parámetros de producción y características de la Serie 51

Especie:	Saccharum officinarum L.								
Serie:	51								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	205	10	30	3073	17,48	1,77	1126,91	9,9	11,2
2	205	10	30	3148	21,14	1,68	1144,64	8,53	10,2
3	205	5	10	2561	19,07	1,21	1113,17	11	12,7
4	205	10	30	3030	17,52	1,95	1135,71	10,4	10,7
5	205	10	30	3001	19,53	1,56	1124,12	10,2	10,9
6	205	10	58,3	3579	23,37	1,92	1147,18	7,33	9,13
7	205	10	30	3069	20,19	1,69	1133,12	8,45	9,63
8	205	10	30	3207	19,82	1,8	1133,94	8,58	10,1
9	205	10	30	3664	24,22	2,11	1155,85	7,53	9,24
10	205	15	50	3998	24,2	2,13	1189,74	6,55	7,79
11	205	10	1,71	2609	18	1,29	1121,75	8,61	9,9
12	205	5	50	2549	17,53	1,58	1117,92	10,1	12
13	205	15	10	3145	18,17	2,15	1153,53	7,56	10,2
14	205	17,1	30	3832	24,75	2,81	1166,05	7,47	8,79
15	205	10	30	3035	19,86	2,02	1136,65	9,66	10
16	205	2,93	30	2249	17,19	1,37	1094,96	10,6	12,6
17	205	20	30	3888	24,38	2,38	1182,3	5,92	7,62
18	205	20	60	4778	32,07	2,11	1200,95	7,8	9,4
19	205	20	120	4682	32,34	3,7	1237,68	6,83	7,21
20	205	20	240	5249	41,43	3,86	1242,79	3,69	6,26
21	205	20	300	5409	40,04	2,66	1252,27	1,66	6,39
22	205	20	360	5184	37,14	4	1251,81	3,26	6,03
23	205	20	240	5301	32,98	3,4	1237,1	5,4	6,5
24	205	20	240	5527	32,52	3,61	1183,6	5,34	6,54
25	205	20	240	4947	32,13	3,3	1227,43	5,12	5,92
26	205	20	300	5443	41,67	3,8	1244,89	5,09	6,01
27	205	20	240	5593	38,83	3,42	1259,48	5,69	6,02
28	205	20	240	5593	38,83	3,1	1225,35	6,96	7,53
29	205	20	240	6199	44,59	4	1219,85	5,38	8,33
30	205	2,93	30	1694	12,71	0,69	1076,54	11,9	12,2

Tabla Anexo II.2-2: Parámetros de producción y características de la Serie 52

Especie:	<i>Saccharum officinarum</i> L.								
Serie:	52								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Húmedo								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000	>29	>0,7	>800	<35%	<30%
				Mpa	Mpa	Mpa	kg/m3		
1	205	10	30	3158	20,87	1,93	1167,32	7,84	7,16
2	205	10	30	3067	24,29	1,53	1168,23	8,28	6,22
3	205	5	10	2092	15,2	1,7	1111,49	10,6	9,36
4	205	10	30	3287	22,54	2,06	1164,07	9,12	7,54
5	205	10	30	3157	19,48	1,97	1166,28	9,9	8,65
6	205	10	58,3	3500	24,82	1,79	1221,07	6,9	6,95
7	205	10	30	2970	18,93	1,347	1149,06	10,9	7,49
8	205	10	30	3420	24,95	1,87	1175,03	9,59	8,75
9	205	10	30	2689	14,92	1,56	1155,43	8,5	7,23
10	205	15	50	3905	26,86	2,03	1201,24	8,1	6
11	205	10	1,71	2534	18,16	1,39	1135,72	10,3	9,86
12	205	5	50	2769	20,21	1,68	1139,58	8,39	8,37
13	205	15	10	3173	20,21	1,57	1176,73	8,36	7,32
14	205	17,1	30	3808	23,43	3,01	1226,21	8,09	6,68
15	205	10	30	3120	21,67	1,678	1156,74	10,1	8,18
16	205	2,93	30	2301	14,69	1,2	1122,38	9,45	9,38
17	205	20	30	3362	21,45	2,39	1197,27	9,54	7,55
18	205	20	60	3894	26,17	3,24	1206,8	9,47	7,51
19	205	20	120	4727	30,45	3,69	1246,15	5	5,23
20	205	20	240	5260	39,72	3,79	1250,58	3,93	4,04
21	205	20	300	5144	33,16	3,66	1206,3	5,62	5,63
22	205	20	300	4662	31,73	3,65	1223,61	6,82	5,73
23	205	20	360	4728	34,59	3,06	1233,25	6,97	6,13
24	205	20	240	5236	39,74	2,99	1287,6	6,48	7,06
25	205	20	240	4965	32,61	3,94	1239,23	6,64	7,46
26	205	20	300	5740	38,06	2,72	1266,49	6,64	5,03
27	205	20	300	5527	38,56	2,15	1255,96	2,97	4,67
28	205	20	240	5060	34,51	2,26	1252,29	7,97	7,54
29	205	20	300	5341	40,38	2,67	1251,43	5,17	4,97
30	205	2,93	30	2061	16,4	0,63	1087,67	10,2	10,5

Tabla Anexo II.2-3: Parámetros de producción y características de la Serie 53

Especie:	Saccharum officinarum L.								
Serie:	53								
Tr (°C):	200								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	8358								
Lavado:	No								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	150	10	30	5133	24,62	2,02	1174,12	0,66	5,46
2	150	10	30	5225	23,32	1,85	1161,84	3,16	6,19
3	150	5	10	5416	24,66	1,5	1166,73	3,69	10,99
4	150	10	30	5256	25,67	3,05	1158,91	1,01	7,32
5	150	10	30	6444	33,24	3,62	1195,93	1,37	5,39
6	150	10	30	5251	27,87	2,08	1168,28	0,33	6,33
7	150	10	58,3	5495	30,45	2	1161,02	1,01	5,87
8	150	10	30	6941	24,98	2,23	1160,82	0,32	6,21
9	150	10	30	4627	22,39	2,17	1174,63	1,26	5,35
10	150	10	30	5112	24,93	2,27	1181,73	1,58	6,17
11	150	10	1,71	5158	23,53	1,71	1202,32	1,69	5,78
12	150	5	50	5481	19,64	1,49	1185,8	1,94	7,33
13	150	15	10	4892	24,28	1,84	1152,44	0,99	6,08
14	150	17,1	30	5019	26,6	1,24	1153,42	1,28	4,63
15	150	10	30	4327	22,9	3	1133,22	1,30	9,93
16	150	2,93	30	5772	27,45	1,9	1182,4	1,95	11,44
17	150	15	30	5655	29,55	1,124	1185,29	1,32	6,16
18	150	15	30	5838	33,51	1,64	1180,75	0,67	5,96
19	150	10	45	4600	24,41	2,54	1156,1	2,80	9,34
20	150	10	60	5232	29,22	1,6	1193,66	0,33	5,85
21	150	10	60	5742	27,72	1,54	1184,11	0,66	8,32
22	170	5	15	5409	22,48	2,1	1157	3,68	10,48
23	170	5	30	5944	22,9	1,37	1165,45	3,05	11,24
24	170	5	60	5239	26,38	2,34	1165,45	1,30	8,03
25	170	10	15	5325	23,3	2,7	1183,37	1,71	7,10
26	170	10	15	5967	26,37	2,32	1154,97	4,42	7,75
27	170	10	30	5075	23,4	2,48	1162,9	2,03	6,20
28	170	10	30	6124	28,88	2,28	1153,41	2,69	6,37
29	170	10	30	5863	28,35	2,45	1184,89	1,64	7,44
30	170	10	30	5317	24,18	2,86	1173,11	1,35	5,18
31	170	10	30	5247	24,81	2,61	1162,94	1,68	5,80

Tabla Anexo II.2-4: Parámetros de producción y características de la Serie 61

Especie:	Saccharum officinarum L.								
Serie:	61								
Tr (°C):	189,9								
t_r (min)	9,5								
Severidad:	4178								
Lavado:	Sí								
Prensado frío:	Seco								
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp								
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C								
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%
1	205	10	30	1637	9,63	0,073	981,32	17,7	24,8
2	205	10	30	1689	11,5	0,47	985,47	19,1	29,7
3	205	5	10	948	7,1	0,35	912,07	14,5	19,5
4	205	10	30	1595	9,87	0,49	981,65	21,6	32,2
5	205	10	30	1942	12,22	0,62	1019,86	17,6	24,3
6	205	10	58,3	1662	10,78	0,73	1021,47	12,6	16,9
7	205	10	30	1800	10,73	0,54	990,36	18,8	30,1
8	205	10	30	1657	10,7	0,52	991,63	15,2	22,7
9	205	10	30	1766	11,34	0,54	991,03	14	18,5
10	205	15	50	2528	15,75	0,96	1074,95	10,7	15,9
11	205	10	1,71	1422	10,52	0,42	950,63	13,2	20,7
12	205	5	50	1525	10,01	0,48	945,38	12,5	22
13	205	15	10	1554	9,43	0,49	1007,35	16,1	19,1
14	205	17,1	30	2388	14,01	0,9	1072,09	13	16,9
15	205	10	30	1391	9,77	0,58	985,42	11,5	19
16	205	2,93	30	1098	6,85	0,29	905,79	15,4	21,6
17	205	20	30	2249	13,59	0,79	1077,81	14,1	18,5
18	205	15	30	1967	12,02	0,62	1030,16	15,9	21,5
19	205	20	60	2732	16,49	0,89	1090	13,4	16,6
20	205	20	120	3484	22,31	1,09	1172,45	13,7	20,2
21	205	20	300	4279	28,6	1,3	1194,83	8,83	13,8
22	205	20	420	4356	27,95	1,56	1190,22	10,1	13,7
23	205	20	660	4837	32,8	2	1212,58	6,62	12,4
24	205	20	960	5086	36,57	2,38	1212,76	7,87	11,1
25	205	20	1200	5514	36,64	2,73	1241,68	7,82	10,9
26	205	20	1200	5182	33,43	2,18	1230,86	8,93	9,92
27	245	10	30	3756	20,95	2	1147,58	6,01	11,1
28	245	10	30	3781	24,91	1,91	1133,56	8,64	12
29	245	10	30	4033	24,81	1,87	1136,51	7,55	11,7
30	245	10	30	3921	23,5	1,8	1137,56	8,83	12,3
31	245	10	30	3906	24,45	1,73	1125,87	9,35	13,8
32	275	10	30	4642	26,25	2,14	1179,93	3,41	8,75
33	275	10	30	4772	28,25	2,6	1178,56	3,51	9,69
34	275	10	30	4846	26,75	1,82	1193,8	3,45	8,78
35	275	10	30	4144	25,51	1	1179,18	3,62	9,07
36	275	10	30	4602	22,28	2,82	1177,47	3,68	8,65

Tabla Anexo II.2-5: Parámetros de producción y características de la Serie 63

Especie:	<i>Saccharum officinarum</i> L.									
Serie:	63									
Tr (°C):	189,9									
t_r (min)	9,5									
Severidad:	4178									
Lavado:	No									
Prensado frío:	Seco									
Pensado caliente:	2' a 1 Mpa + tp a Pp									
Tratam.Térm.Final:	5 h/165 °C									
Tablero	Tpr	Pp	tp	MOE	MOR	IB	Dens	TS	WA	
	°C	Mpa	s	>3000 Mpa	>29 Mpa	>0,7 Mpa	>800 kg/m3	<35%	<30%	
1	205	10	30	5030	30,52	1,13	1185,47	1,47	11,20	
2	205	10	30	4370	29,59	1,52	1173,73	1,94	12,44	
3	205	10	30	4854	29,05	2,57	1170,95	3,43	11,52	
4	205	5	10	3581	20,66	2,04	1075,28	5,18	21,50	
5	205	10	30	5058	24,17	1,72	1167,80	4,03	12,16	
6	205	10	30	3624	24,75	1,67	1124,63	14,96	13,00	
7	205	10	58,3	5276	29,49	1,99	1178,16	4,68	10,92	
8	205	10	30	4749	28,02	1,93	1187,39	3,41	12,44	
9	205	10	30	4679	26,84	1,21	1101,25	3,24	13,25	
10	205	10	30	5252	29,03	1,67	1196,84	2,55	11,56	
11	205	15	50	4590	23,46	1,36	1190,89	4,11	13,57	
12	205	10	1,71	3978	26,72	2,17	1145,68	3,46	18,05	
13	205	5	50	4421	28,22	2,69	1146,89	4,46	15,64	
14	205	15	10	4299	28,13	2,36	1194,28	2,70	13,86	
15	205	17,1	30	4962	29,81	0,72	1152,21	2,73	9,48	
16	205	10	30	4682	29,32	1,53	1179,05	5,14	11,06	
17	205	2,93	30	3045	18,02	2,36	1059,94	7,16	26,37	
18	205	20	30	3747	29,42	0,97	1170,51	3,45	10,41	
19	205	15	30	4281	26,71	1,49	1156,51	3,75	10,49	
20	205	10	60	5413	25,61	0,9	1191,35	4,94	10,11	
21	205	10	120	4908	29,81	1,22	1141,75	4,14	9,15	
22	205	20	15	5311	28,3	1,07	1188,36	3,41	10,50	
23	205	15	20	4848	29,2	1,17	1166,67	1,98	10,82	
24	150	10	30	3142	21,2	1,16	1147,03	6,82	16,89	
25	150	10	30	3498	23,45	0,96	1164,55	6,69	18,91	
26	150	10	30	3626	25,63	1,45	1163,12	8,20	15,75	
27	150	10	30	3172	19,98	1,24	1147,60	8,20	16,58	
28	150	10	30	3425	24,76	1,04	1148,42	6,51	16,19	