

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**



**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROFORESTAL

**TESIS DOCTORAL**

**FABRICACION Y ANALISIS DE TABLEROS DE AGLOMERADO DE  
CAÑA COMUN (ARUNDO DONAX L.)**

**José Antonio Flores Yepes**

**Orihuela, Julio de 2005**

# UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



## ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROFORESTAL

### FABRICACION Y ANALISIS DE TABLEROS DE AGLOMERADO DE CAÑA COMUN (ARUNDO DONAX L.)

TESIS DOCTORAL

Autor: D. José Antonio Flores Yepes  
Ingeniero Industrial

#### DIRECTORES

**Dña. Teresa García Ortuño**  
Dra. Ingeniero Agrónomo  
T.E.U. Ingeniería Agroforestal EPSO (UMH)

**D. Manuel Ferrandez-Villena García**  
Dr. Ingeniero Agrónomo  
T.E.U. Ingeniería Agroforestal EPSO (UMH)

## **CERTIFICACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS DOCTORAL**

Dña. Teresa García Ortuño, Dra. Ingeniero Agrónomo, Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad Miguel Hernández de Elche y D. Manuel Ferrandez-Villena García, Dr. Ingeniero Agrónomo, Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad Miguel Hernández de Elche

### **CERTIFICAN:**

Que la Tesis Doctoral que lleva por título “**Fabricación y análisis de tableros de aglomerado de caña común (*Arundo donax L.*)**”, de la que es autor el Ingeniero Industrial D. José Antonio Flores Yepes, ha sido realizada íntegramente bajo la dirección de ambos, en el Departamento Ingeniería Agroforestal, en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, durante el periodo comprendido entre los años 2003 y 2005.

Considerando que se trata de un trabajo original de investigación que reúne los requisitos establecidos en el R.D. 778/1998, de 30 de abril (B .O. E. de 1 de mayo de 1.998), autorizamos su presentación.

Y para que conste a todos los efectos, expido el presente certificado en Orihuela, a 31 de Mayo de dos mil cinco.

**FABRICACION Y ANALISIS DE TABLEROS DE AGLOMERADO DE  
CAÑA COMUN (ARUNDO DONAX L.)**

MEMORIA QUE PRESENTA EL INGENIERO INDUSTRIAL D. JOSE ANTONIO FLORES  
YEPES PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

José Antonio Flores Yepes  
Ingeniero Industrial



**Dña. Teresa García Ortuño**  
Dra. Ingeniero Agrónomo  
T.E.U. Ingeniería Agroforestal EPSO (UMH)

**D. Manuel Ferrandez-Villena García**  
Dr. Ingeniero Agrónomo  
T.E.U. Ingeniería Agroforestal EPSO (UMH)

## RESUMEN

En la actualidad las líneas de investigación se enfocan para la creación de tableros con aprovechamiento de residuos agrícolas, residuos de madera (*Cedrelinga cateniformis*) de origen tropical, tallo de arroz (*Oryza sativa*), con fibra reciclada de newsprint, fibras de *micanthus sinensis* o incluso con cascara de arroz, aprovechando todo tipo de residuos procedentes sobre todo de la agricultura.

La caña común se ha empleado en la construcción en la vega media y baja del Segura durante décadas, teniendo referencias de obras hoy en día con antigüedad de más de 100 años; además tiene unas propiedades de durabilidad y mecánicas sumamente elevadas que ofrecen un resultado distinto al que hasta la fecha se ha conseguido con los tableros ya mencionados. Por otra parte es sumamente barata de cultivar y supone un impacto ecológico en las riberas de los cauces de ríos y ramblas.

Se han logrado fabricar tableros a partir de caña común (*Arundo donax* L.), similares a los tableros de aglomerado de madera, aprovechando las ventajas que nos ofrece la caña común como material lignocelulósico, obteniendo tableros con un comportamiento frente a la humedad muy superiores a los que encontramos en el mercado de “similares características” como el DM o los propios tableros de aglomerado de madera.

Se han estudiado distintas dosificaciones de resina, así como distintas presiones de fabricación observando el comportamiento en el resultado final del tablero.

## ABSTRACT

Present lines of investigation focus on creating panels which use agricultural residues, tropical wood residues (*Cedrelinga cateniformis*), rice stem, newsprint recycled fibre, *micanthus sinensis* fibre or even rice stems, taking advantage of any kind of residue, coming mainly from agriculture.

Common cane has been used for construction work in the Vega Media and Vega Baja of the River Segura for decades, some existing building work being over 100 years old. Furthermore, cane has high mechanical and durability properties that allow an improvement on the results obtained with any of the previously mentioned materials. Another advantage is that cane is cheap to cultivate although it supposes a harmful environmental impact on river-beds.

Panels have been made from common cane (*Arundo donax* L.) with similar characteristics to the particle board wood panels. Using common cane as lignocelulose material, panels can be obtained which behave much better against humidity than other materials found on the market such as medium density boards or the particle boards.

Studies of the final behaviour of the cane panel have been carried out varying the dose of resin and the pressure during manufacture.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de investigación es una continuación de la línea investigadora comenzada por la Dra. Teresa García Ortuño, agradeciéndole en primer lugar su esfuerzo y tenacidad para abrir nuevos horizontes en la investigación así como por dar, cariñosamente “mucho caña”.

Seguidamente, mi más sincero agradecimiento a los directores de esta tesis doctoral, la Dra. Teresa García Ortuño y el Dr. Manuel Ferrazdez-Villena García por el interés, el apoyo, la inestimable ayuda, así como los consejos, comentarios expertos y desinteresados que han hecho posible el planteamiento, desarrollo y culminación de este trabajo.

Agradecer la ayuda inestimable a D. José Joaquín García Díez, amigo y técnico del Departamento de Ingeniería por todo cuanto ha hecho y contribuido en este trabajo, además de su ayuda desinteresada y noble.

Así mismo agradecer al C.E.U. D. Joaquín Julián Pastor Pérez por embarcarme en este mundo tan gratificante de la enseñanza motivándome a seguir con todas estas y otras cosas que me hacen sentir un poquito importante y me llenan de orgullo.

También al Dr. Javier Andréu Rodríguez por su ayuda, apoyo moral y ánimos en los momentos nublados que de vez en cuando se nos cruzan en la vida.

Por último, deseo manifestar mi gratitud a todos aquellos compañeros, amigos y familiares que me han apoyado, a Dña. Isabel Rodríguez-Guisado por soportarme y ser amiga y en especial con mucho cariño y ternura, a mi mujer y mis hijos, por su inestimable paciencia y estímulo con la promesa de que algún día trate de compensarles.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

 UNIVERSITAT  
*Miguel  
Hernández*

## **1.-ANTECEDENTES.**

### **1.1.-INTRODUCCION.**

Es cierto que la deforestación actual invita a pensar en la búsqueda de sustitutos adecuados de la madera tanto para la fabricación de papel y derivados de celulosa como para su utilización como elemento de construcción. A pesar del sentimiento común ecológico, también existen datos que reflejan que la tala controlada en ciertos casos con planteamientos de reforestación adecuados y serios, han aumentado de forma gradual el número de árboles por unidad de superficie. (FAO, 2001).

Cada año se pierden en el mundo 11 millones de hectáreas de superficie forestal. Entre las razones de este proceso en expansión, se señalan además de la producción de madera para usos industriales y combustibles, la deforestación por la expansión de los pastos, cultivos y el desarrollo urbano.

La superficie de bosques existente en el mundo, se estima en 3870 millones de hectáreas, el 95% de ella corresponde a los bosques naturales y el 5% a las plantaciones forestales. La deforestación tropical y la degradación de los bosques de muchas zonas del mundo afectan negativamente a la disponibilidad de bienes y servicios forestales.

En los países desarrollados la superficie forestal se ha estabilizado y en conjunto ha experimentado un ligero aumento, indicar que la deforestación ha continuado en los países en fases de desarrollo.

El consumo de fibras vegetales, en particular de madera, para fabricar pastas de celulosa es uno de los problemas más señalados a la hora de hablar de los impactos ambientales generados por la industria de fabricación de la celulosa.

Según datos de la FAO, en 1998 el 55% de las fibras para la producción de pasta de celulosa procedían de madera virgen, 9% de otras fibras vegetales denominadas no madereras y 16% de papel recuperado.

Actualmente la mayoría de la madera procede de plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido, aunque aún se siguen explotando los últimos bosques vírgenes boreales y tropicales que existen en el planeta.

Las plantaciones forestales pueden ser una alternativa a la extracción de madera de los bosques, siempre que se gestionen con criterios sostenibles. Las plantaciones

forestales realizadas en España a lo largo de este siglo han sustituido bosques autóctonos mediterráneos y atlánticos por especies de crecimiento rápido, como pino y eucalipto. Estos monocultivos forestales, con árboles de la misma edad, pierden la enorme diversidad biológica y riqueza de los bosques, reducen la calidad del suelo y del paisaje, y, además, son más propensos a incendios, plagas y enfermedades.

Por otro lado, existen recursos lignocelulósicos de origen residual con un gran potencial industrial que no han sido aprovechados hasta el momento, cuya utilización contribuiría a la disminución de tala forestal inmoderada (Jiménez y Sánchez, 1989; Rodríguez y Solbes, 1989). Estos residuos se pueden agrupar en los siguientes tipos: residuos industriales (se trata principalmente de derivados de la fabricación de pasta, papel y transformados de madera), residuos forestales (son residuos procedentes de la limpieza y silvicultura, residuos agrícolas (son residuos de cultivos, frutos secos y cereales y excedentes de cosechas) y residuos urbanos (residuos de papeles, cartones y similares).

La mayoría de las fibras naturales provienen de plantas que se encuentran en países en vía de desarrollo, como la India, China y algunos países latinoamericanos. La producción es difícil de estimar pero existen referencias bibliográficas al respecto (Rowell, et al., 1997; White, et al., 1997). De este tipo de fibras, las que se encuentran con mayor disponibilidad son las pajas de cereales, los tallos de maíz, de sorgo, el bagazo de caña de azúcar, juncos, bambú, fibras de algodón, yute, kenaf, hemp, papiro, cáñamo, esparto, Hojas (sisal, abacá, henequén), Hierbas y pastos (hierba elefante). (Speller, 1993; Maddern, y French, 1994; Young, 1997).

Desde el punto de vista técnico, las plantas no madereras ofrecen una gran variedad de cualidades en sus fibras, que explotadas apropiadamente, se pueden utilizar en el desarrollo de pastas con propiedades innovadoras, (Rodríguez et al., 1990; FAO, 2001). Además del uso de nuevas fibras sobre las que ya existen investigaciones y resultados, como las de *Miscanthus sinensis*, residuos de madera de tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) de origen tropical, tallo de arroz (*Oryza sativa*) y con fibra reciclada de newsprint. Llevadas a cabo en el Dpto. de Ingeniería Química de la Universidad Rovira i Virgili, y el Dpto. Industrias Forestales Universidad Nacional Agraria La Molina, entre otras.

Si se comparan con la madera, las plantas no madereras generalmente tienen un menor contenido en lignina y mayor en sílice y cenizas, mientras que el contenido en celulosa es equivalente. (Atchison, y McGovern, 1983). Hasta ahora, el uso de estas fibras se ha enfocado únicamente en productos textiles y papeleros que compiten constantemente con fibras madereras y sintéticas, y la posibilidad de usar fibras naturales en otras aplicaciones no se ha desarrollado extensivamente (Aguilar-Vega and Cruz-Ramos, 1995; Valadez, et al., 1999; Idarraga, et al., 1999; Barba et al., 2002a).

### **1.1.-FIBRAS LIGNOCELULOSICAS NO MADERERAS.**

Los materiales lignocelulósicos están constituidos por celulosa, lignina y hemicelulosa en una relación aproximada de 4:3:3 variando sensiblemente según las diferentes especies (Fengel y Wegener, 1984; Sjöström, 1981, Misra, 1993; Oggiano, 1997). Gracias a su origen renovable, a la biodegradabilidad de sus derivados y sus posibilidades de reciclaje, son una fuente idónea de materiales poliméricos de interés industrial.

De la gran variedad de fuentes lignocelulósicas disponibles, la madera es el lignocelulósico más utilizado a escala mundial, especialmente a causa de su utilización para la fabricación de pastas papeleras, pastas de disolución, industria mobiliaria, industria de la construcción, así como combustible. En las regiones donde existe carencia de bosques, se ha desarrollado la producción de otros tipos de fibras que generalmente llamamos “fibras naturales”, y aunque este término califica también a las fibras que proceden de la madera, habitualmente sólo es utilizado para las fibras que proceden de plantas anuales. Nosotros queremos ampliar el concepto de estas fibras naturales añadiendo la caña común (*Arundo donax* L.) como elemento y materia prima para nuestro trabajo.

Las principales dificultades que presentan la explotación de este tipo de materiales son su recolección y el almacenaje. Desde el punto de vista técnico, las plantas no madereras ofrecen una gran variedad de cualidades en sus fibras, que explotadas apropiadamente, se pueden utilizar en el desarrollo de pastas con propiedades innovadoras (Maddern y French, 1995).

## 1.2.- LA CAÑA COMUN (*Arundo donax* L.).

La caña común es originaria de Asia Central y se fue extendiendo y naturalizando en todos los países que rodean el mar Mediterráneo (Polunin y Huxley, 1.987; Fornell, 1.990). Desde esta área, se dispersó extensamente, sobre todo a través de la introducción intencionada del hombre debido a la economía de medios, en todas las áreas subtropicales y caliente-templadas del mundo. Hoy la situación es distinta y la Comisión Europea en el marco de su Acción Clave Vulnerabilidad de Ecosistemas, identifica 15 de las especies invasoras con mayor impacto en la zona mediterráneas apareciendo la caña común como una de ellas (Balaguer, 2004).

La planta es muy abundante en la India, ascendiendo a elevaciones hasta 3.000 m en la cordillera del Himalaya y desde allí se ha dispersado hacia Birmania y China.

También se ha introducido en Australia y muchas islas de los océanos Pacífico y Atlántico.

La caña común también se ha infiltrado extensamente en América Central, sur de Estados Unidos y en las islas Bermudas y Bahamas.

Debido a su extensa distribución geográfica y utilización *Arundo donax* L., ha asumido muchos nombres comunes. En España y países de habla hispana se denomina: caña común, caña de Castilla, caña gigante, carrizo, cañizo, caña española, bambú español, guadua de Castilla, caña del nal, canya de San Joan, garriz, kañavera, etc. (García, 2.003).

En países de habla inglesa en general se llama: giant reed, italian reed, spanihs reed, bambú, Danubio reed, reed donax, o Provence reed, así como por las denominaciones generales tales como bastón o caña. En Estados Unidos la planta es llamada a veces carrizo mejicano.

Es una planta salvaje en la que no se ha realizado selección de genotipos ni mejora genética. *Arundo donax* L., es una planta perenne que forma densos cañaverales, de ramas foliosas sin ramificar. El sistema radicular es un rizoma grueso y nudoso, con raíces adventicias profundas (150 cm.) y muy resistente; los vástagos son de crecimiento rápido. El tallo es de color verde, liso, flexible, hueco y nudoso; con diámetros entre 2 y 4 cm, y se vuelve duro y leñoso al cabo del un año.

De cada nudo salen las hojas envolventes de color purpúreo verdoso al principio y amarillas al madurar. Estas hojas son alternas, lineales acintadas, ásperas y terminadas en punta; de 4 a 7 cm de ancho y hasta 65 cm de longitud. (García Ortuño T., 2003).

Florece el primer año, a mediados de verano principio de invierno. Las flores son hermafroditas, blancas plateadas, sin cáliz ni corola y forman grandes panojas (inflorescencias) en el extremo del tallo que son laxas y muy ramosas.

La planta salvaje que crece a lo largo de los cauces de agua, se multiplica mediante rizomas que son arrancados por la corriente y trasladados a otras zonas. Al ser una planta salvaje no se sabe mucho sobre sus mecanismos de propagación.

### **1.2.1.- NECESIDADES EDAFOCLIMATICAS.**

Suelo: se adapta a la mayoría de suelos aunque prefiere suelos alcalinos, húmedos, encharcados y de drenaje. Tolera bien los suelos salinos, pesados y arenosos. Se desarrolla con pH entre 5,0 y 8,7. (Duque 1.979).

Clima: tiene un buen desarrollo en climas áridos y semiáridos y aguanta bien la sequía y la helada. Se ha adaptado a climas templados tropicales, subtropicales y calientes del mundo, por lo que está extensamente distribuido.

Temperatura: Se ha comprobado que se obtienen buenos desarrollos de caña común con temperaturas medias entre 14 y 20 °C y que sometiendo los rizomas a temperaturas de 7 °C no se observa el desarrollo de ningún brote y cuando la temperatura alcanza los 11,5 °C los brotes comienzan a emerger.

Luz: alcanza un mayor desarrollo a pleno sol ya que posee una capacidad fotosintética muy alta en la fase de crecimiento.

Altitud: no se observan cañas comunes a partir de los 1.500 m, su mayor distribución está en zonas costeras, aunque en la India se pueden encontrar plantas a 3.000 m de altitud.

Humedad: como hemos indicado se desarrolla muy bien en zonas húmedas y encharcadas.

### 1.2.2.-OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE LA CAÑA COMUN.

Si analizamos visualmente la estructura de la caña común, podemos distinguir una zona, la epidermis exterior extremadamente dura, incluso satinada, y a partir de ahí, a medida que profundizamos hacia el interior nos encontramos una estructura fibrosa en una dirección perfectamente definida hasta encontrar la terminación en el nudo. Las características nos indican a priori una gran resistencia en el plano de fibras.

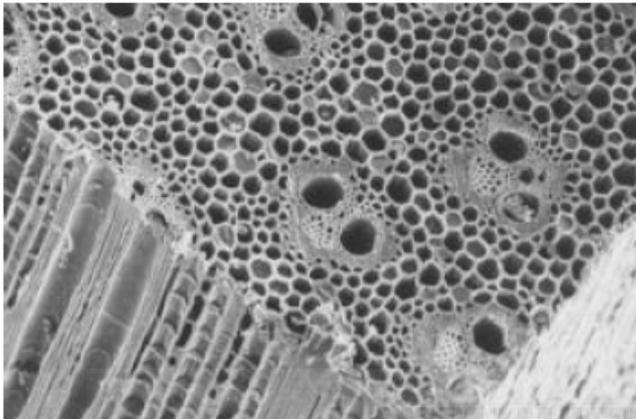
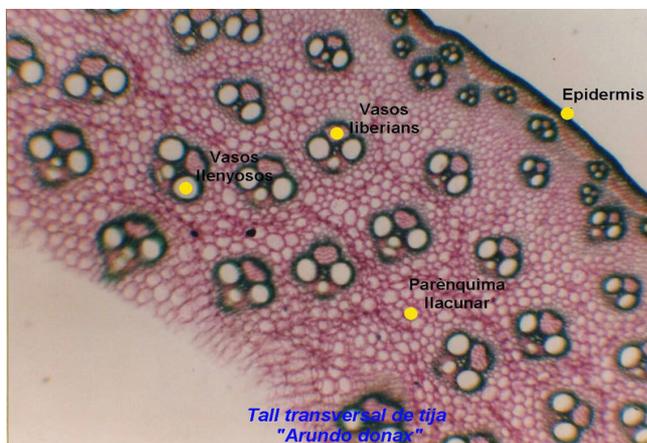


Fig.1.1. Estructura de orientación de fibras de *Arundo donax* L.  
Fuente: Obataya E., y Norimoto. 1995

En la sección transversal de la caña, la epidermis demuestra un patrón regular de células epidérmicas normales pequeñas y emparedadas densamente, entremezcladas con células de forma ovalada silíceas. Varias capas de células del parénquima se encuentran inmediatamente debajo de la epidermis, en esta región las células son relativamente pequeñas y emparedadas densamente en contraste con las células de paredes delgadas grandes del parénquima de la región interior.



*Fig.1.2. Estructura de Arundo donax L. Sección transversal.*

Fuente: Xavier Bustins. Institució Familiar d'Educació

Una pared de células de fibra está situada dentro del cilindro de las pequeñas células del parénquima. Esta pared de células de fibra es continua alrededor del tallo y separa los tejidos finos externos de los tejidos finos internos. Los paquetes vasculares se dispersan a través del tallo, los muy pequeños se encuentran cerca de la superficie, y su tamaño va aumentando hacia el centro. Cada paquete vascular consiste en un anillo de células de fibra que rodean el xylem y el líber.

Con la maduración las paredes de las células del parénquima y de las células de fibra adquieren mayor grosor.

La envoltura del paquete vascular tiene células de paredes gruesas y las del parénquima células de paredes más finas. La envoltura del paquete vascular tiene las fibras a lo largo de la dirección longitudinal, pudiéndose comparar la estructura de la caña común al modelo de la fibra-espuma tal y como se observaba en la figura 1.1.

*Tabla 1.1. Composición de la caña común. Comparativas.*

Fuente: Jonatán Scurlock, Laboratorio Nacional De la Oak Ridge.

<b>Componentes químicos:</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Hemicelulosa (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>
<b><i>Arundo donax L.</i></b>	31,0	30,0	21,0
<b><i>Madera dura</i></b>	45,0	30,0	20,0
<b><i>Madera blanda</i></b>	42,0	21,0	26,0

Como se puede observar, los componentes principales de la caña común no son tan diferentes de los de la madera. Si se comparan con ésta, las plantas no madereras generalmente tienen un menor contenido en lignina y mayor en sílice y cenizas, mientras que el contenido en celulosa suele ser equivalente. (Atchison, y McGovern, 1983).

La celulosa, principal componente de las plantas madereras y no madereras es un polímero natural de la glucosa que forma fibras resistentes a tracción, es un producto incoloro e insípido. Si su calidad es buena la celulosa puede llegar a tener unas resistencias a tracción de aproximadamente de 120 MPa. Estas fibras aparecen tejidas en una matriz amorfa de hemicelulosas y lignina, el primero es un polímero de la glucosa ramificado que se degrada con facilidad por álcalis, y la lignina es un polímero

de origen fenólico insoluble en agua. Esta matriz aporta la cohesión entre las fibras y la resistencia a compresión y esfuerzo cortante, con lo que ambos grupos de sustancias (fibras de celulosa y ligninas) forman un material compuesto que conforma la pared celular de la caña común, de manera similar a como se constituye el hormigón armado o las fibras plásticas modernas.

Según Spatz (1997) en la maduración de la caña se produce una lignificación de la celulosa por lo que aumenta su dureza y resistencia a compresión.

Además la caña común. tiene otras sustancias que son responsables de otros aspectos, células silíceas y poli fenoles además de otros productos, que producen coloración y características de imputrescibilidad.

#### **1.2.2.1.-PROPIEDADES FÍSICAS.**

Como material la caña común debe sus propiedades a la composición química y micro-estructura de la célula, en especial tiene una marcada anisotropía mecánica y resistencia al aplastamiento de la fibra. Estos aspectos nos dan las posibilidades máximas que tiene la caña como material resistente. Las propiedades varían ya que es un material vivo muy heterogéneo y obtenido de plantas no cultivadas. Esta heterogeneidad crea cierta incertidumbre a la hora de su utilización, por lo que es necesario el estudio de las propiedades de la caña común como material resistente.

#### **1.2.2.2.-ANISOTROPÍA Y HETEROGENEIDAD.**

**Anisotropía.** Es el comportamiento distinto en función de que una propiedad se estudie en la dirección axial, radial o tangencial. En la caña común la anisotropía es muy acusada debido a su composición celular y a las diferentes dimensiones que presentan sus fibras en sentido longitudinal o transversal. Además siendo una planta no cultivada, también presenta propiedades distintas según las características del clima y el suelo donde se ha desarrollado.

**Heterogeneidad.** La caña común es heterogénea ya que varía el espesor, distancia entre nudos, longitud de las fibras, etc. en la misma caña y de una caña a otra, tal y como se observa en las fotografía siguiente.



Fig 1.3. Haces de cañas cortados.

Cada tramo entre dos nudos del tallo de la caña común, tiene forma troncocónica, hueca y ovalada, siendo de diferente longitud y espesor; los nudos son macizos y con diverso espesor según el tramo de caña considerado.

La caña común por tanto, presentará un comportamiento desigual mucho más acusado que el de los materiales de construcción industriales, por tanto si generamos tableros a partir de este material podemos obtener un medio homogéneo y un comportamiento similar de funcionamiento.

### **1.2.2.3.-DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO.**

La pared celular vegetal aporta la resistencia, por tanto cuanto mayor sea la densidad se supone más resistencia mecánica. La cota de resistencia es el cociente entre el valor de la resistencia y el peso específico, este valor es casi constante en los materiales, por lo que la densidad se utiliza para valorar el comportamiento del material frente a esfuerzos de flexión, compresión, adherencia y dureza.

La densidad de la caña común depende en gran medida de la fracción del volumen de la envoltura del paquete vascular, porque dicha envoltura tiene células con paredes gruesas de fibras, que son más pesadas que las células del parénquima, y aunque éste ocupe mayor superficie, tiene células de paredes finas.

Disponemos de resultados sobre ensayos de densidad de muestras de caña sobre la densidad anhidra, la densidad básica y la densidad saturada de la caña común.

Tabla 1.2. Densidad caña común.

Fuente: García Ortuño, T. (2003)

<b>Densidad de la caña común tal y como se recibe</b>	<b><math>\rho = 583 \text{ kg/m}^3</math></b>
<b>Densidad de la caña común anhidra</b>	<b><math>\rho = 537 \text{ kg/m}^3</math></b>
<b>Densidad de la caña común saturada</b>	<b><math>\rho = 1040 \text{ kg/m}^3</math></b>

El peso específico se relaciona con la mayor parte de las propiedades físicas de los materiales, por ello viene a ser un indicador de la calidad de los materiales vegetales, y de sus posibles aplicaciones, a mayor peso específico se suponen mejores resistencias a esfuerzos.

En la tabla siguiente, se relacionan los pesos específicos de diversas maderas utilizadas como material de construcción con la caña común, donde se observa que sus valores son parecidos al pino de Flandes, no siendo muy diferente al resto de maderas.

Tabla 1.3. Pesos específicos de maderas y caña común.

Fuente: Ormea, G.B.(1.975)

<b>PESOS ESPECIFICOS <math>\text{Kg/m}^3</math>; 15% HR</b>	
<b>Arundo donax L. (8,63% HR)</b>	<b>583</b>
<b>Abeto</b>	<b>430</b>
<b>Acacia</b>	<b>700</b>
<b>Álamo blanco</b>	<b>450</b>
<b>Pino de Flandes</b>	<b>550</b>
<b>Haya</b>	<b>800</b>
<b>Pino silvestre</b>	<b>600</b>

Si bien es cierto que aún hay maderas con mayor peso específico, también las hay de menor cuantía con valores desde  $60 \text{ kg/m}^3$  del bacu, hasta  $1220 \text{ kg/m}^3$  del quebracho colodado.

#### 1.2.2.4.-DUREZA DE LA CAÑA COMÚN.

Disponemos de ensayos realizados en el departamento, de durezas Rockwell con el equipo aparato de ensayo de dureza digital modelo HLJ-2.100, precisión  $\pm 0,8 \%$ , con escalas de dureza HB de 30 a 655, HRC de 20 a 68 , RB de 13 a 100, HV de 80 a 977, HS de 32 a 100.

*Tabla 1.4 Dureza (HB) de la caña común en función del contenido en agua de la caña común. Fuente: García T., 2004*

<b>HUMEDAD</b>	<b>DUREZA EXTERIOR</b>
<b>1.- 8%</b>	<b>275,7143</b>
<b>2.- 18%</b>	<b>281,0286</b>
<b>3.- 56,6%</b>	<b>272,0952</b>

La caña común es un material vegetal con dureza superficial extremadamente alta y presenta la mayor dureza a la penetración de su superficie a una humedad del 18%, cuanto la humedad llega al 56,6% la caña disminuye esta propiedad.

#### 1.2.2.5.-DURABILIDAD.

Es la duración natural de los materiales expuestos al exterior. La durabilidad depende en primer lugar de la especie, del clima y del tipo de agente biótico que le ataque, además de los tratamientos protectores que haya recibido.

La humedad excesiva y el contacto con el exterior o con el suelo son los mayores problemas que tienen los materiales vegetales. La caña común se puede clasificar como altamente resistente al paso del tiempo, más de 15 años, para clases de servicio medianamente expuesto y el único riesgo es el encharcamiento sin ventilación.

A la caña le afectan pocos agentes externos, es muy higroscópica y aumentan sus propiedades mecánicas con la humedad, por lo que puede ser clasificada como de gran durabilidad, pues existen vallas de cañas a la intemperie y sin ningún tipo de tratamientos con más de 50 años de antigüedad en perfecto estado y se dispone de registros de cañas colocadas en obras con más de 100 años.

La caña común es una planta resistente a plagas, enfermedades y malas hierbas. Solo es atacada en ocasiones por *O. paragramis*, también llamada escama blanca móvil del arroz. Estos insectos se localizan en el nacimiento de hojas, en el cuello del rizoma o en otros lugares protegidos formando colonias numerosas.

En algunos casos se han observado manchas en hojas y tallos producidos por hongos de los géneros *Septoria* y *Alternaria* (García Fernández, 1.971) y también es susceptible al virus del mosaico.

#### **Patologías: Anobidos (carcoma):**

Son insectos de ciclo larvario de entre 1 a 3 años, con salida entre los meses de mayo a agosto. El insecto mide entre 3 y 5 mm, de color marrón con punteaduras. Las larvas miden apenas 1 mm, son blancas, arqueadas y vellosas. Hacen galerías en cualquier dirección, con perforaciones redondas de 1,5 a 2 mm de diámetro, y dejan un serrín granuloso con consistencia similar a la harina.

En las edificaciones inspeccionadas se ha observado el ataque de carcoma en zonas en contacto con madera que también tenía en mayor proporción, lo que parece indicar que se transmite a la caña común a partir del ataque a la madera. Este hecho, solo se ha encontrado en construcciones abandonadas y muy deterioradas.

#### **1.2.2.6.-RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.**

Al igual que la clasificación de fibras, se hacía necesario ensayar a tracción directa una o varias probetas de caña común para poder determinar la resistencia a la tracción que nos ofrecían sus fibras.

En el departamento se ensayaron varias probetas y aunque se disponía de valores de tracción indirecta necesitábamos conocer algo más del comportamiento de este material.

Se obtuvieron dos datos distintos correspondientes a la rotura por la sección central entre nudos y una rotura en la zona de intersticio del nudo.

Como dato de referencia se obtuvo una tensión de rotura en la base del nudo de  $604,68 \text{ kg/cm}^2$  ( $59,25 \text{ N/mm}^2$ ).

Para la fibra central (entre nudos) la tensión de rotura de la caña fue de  $2233,58 \text{ kg/cm}^2$  ( $218,89 \text{ N/mm}^2$ ).

Como se observa son valores muy elevados para una planta, como referencia comparativa el acero S235, tiene un límite elástico (garantizado) de  $235 \text{ N/mm}^2$ .

### **1.2.3.-USO DE LA CAÑA EN LA CONSTRUCCION.**

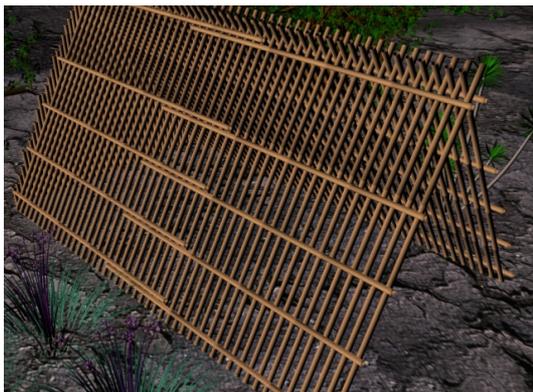
La caña común tuvo una repercusión importante como material de construcción en las edificaciones rurales de la Vega Baja. Sin duda alguna su uso fue motivado por la característica fundamental de la economía de medios, que le lleva al uso para la construcción de los materiales propios del lugar (García Ortuño T., 2.003).

Un dato relevante era observar como edificaciones con más de 100 años de antigüedad se mantenían hoy en día en perfecto estado de conservación, esperando una rehabilitación que las adaptase a los nuevos materiales en algunos casos pero no necesariamente en otros.

En la última década del siglo XX, aparece el concepto de materiales y tecnologías bioconstructivas sostenibles en la construcción; que se basan en las cualidades de los materiales y de las tecnologías bioconstructivas aplicadas, teniendo como propiedades principales que sean autóctonos, reciclables, aislantes, no tóxicas y de bajo consumo de energía en toda la vida útil del elemento constructivo, etc. (Barbeta, 2002).

Podemos enumerar distintas tipologías constructivas características de la Vega Baja que utilizaban la caña común como elemento constructivo en algunas de sus partes: barraquetas, barracas, viviendas de la huerta, alquerías, edificaciones de núcleos urbanos, casas nobles y palacios.

Por ejemplo, la Barraqueta que es una choza que está totalmente construida con caña común y se sitúan en el bancal para guardar las cosechas en verano.



*Fig 1.4. Esquema de Barraqueta tradicional huertana.*

La barraca se construía de forma artesanal bajo las ordenes de un maestro albañil (el maestro barraquero), y la ayuda de la familia que iba a habitar la casa. Como se observa en la fotografía, en la parte de cubierta bajo la teja aparece la caña común como elemento de apoyo de la posterior teja.



*Fig 1.5. Pilares de la barraca. Troncos de morera sin desbastar.*  
Fuente: García Ortuño, T. (2003)



*Fig 1.6. Caña común bajo cubierta.*  
Fuente: García Ortuño, T. (2003)

Podemos añadir a la descripción que los pilares se sujetaban (6 u 8, según el tamaño de la construcción) con una argamasa de cal. Sobre las cabezas de pilares se colocaba la viga de atado y sobre ellas dispuestas lateralmente, las vigas del forjado que

son de vigas tendidas a lo ancho de la crujía, normalmente dos o tres y en el centro de las vigas que son las cadenas de unión, se colocaba un enano o pie derecho, todos los enanos unidos en cabeza por una carrera de coronación o lomero que serviría para sujetar las tijeras o pares de la cubierta a dos aguas.



Fig 1.7, 1.8. Cubierta de barracas. Fuente: García Ortuño, T. (2003)

Como hemos indicado, sobre las vigas de forjado se disponía un tejido de cañas sellado con un mortero de yeso y barro, que constituirá el techo del cuarto y el suelo del altillo.

Entre los pares de las tijeras y las vigas de atado de cabeza de pilares se colocaban vigas entrecruzadas o vigas contraviento, que se apoyaban en la confluencia de los ángulos formados por la viga de forjado y su respectivo pie derecho.



Fig 1.9. Arriostramiento de la barraca en cruz de San Andres. Fuente: García Ortuño, T. (2003)

Sobre la estructura de la cubierta a dos aguas se colocaba un cañizo y encima un manto de sisca o albardín. Todos los elementos de madera exterior eran generalmente troncos de olivera o morera sin desbastar, siendo los interiores de madera de pino o teca.

El resto de las construcciones aunque más evolucionadas atienden a sistemas constructivos similar al que hemos expuesto aunque la complejidad del recinto va aumentando.

Algunos huertanos han hecho construcciones similares a la barraca de manera más rudimentaria, con el mismo fin, y les llaman barracones. No tienen tabiques, pero sí altillo para almacenar la paja y la hierba seca. Se añade como elemento de nuestra referencia que las paredes son de cañas repelladas con barro y en vez de puerta un zarzo (tejido de cañas).

En cuanto a las casas de la huerta, el resto de la estructura es de muros de carga generalmente de mampostería, trabada con barro o seca. Más común es el empleo de la piedra seca, sin mortero, generalmente sólo hasta una cierta altura, a partir de la que se continúa en mampostería, en esos casos el ancho de los muros no es mayor de 40 cm.

Para construir los muros de carga es muy común el uso del tapial de barro, muy pobre en cal pero abundante en mampuestos y piedras que le dan consistencia. El tapial está compuesto por tierra viva arcillosa, arena, gravilla y paja. La técnica de puesta en obra se realiza por tongadas de 10 cm. compactadas y enrasado o reforzado mediante tendeles de yeso o verdugadas de adobe, unas veces con costra y otras no. Los cajones eran de cuarenta a cincuenta centímetros de espesor y se compactaban con pisones.

Algunas edificaciones son de adobes, moldeados con barro y pajas cocidos al sol. En el mejor de los casos se levantaba un muro de piedra de unos 80 cm escasos de altura y se continuaba después con los citados adobes (más anchos y menos gruesos que los actuales ladrillos).

La tabiquería en el interior de la vivienda es de adobe o de entramado de caña común recubierta de yeso. Incluso aparecen otros elementos como cocinas, armarios, etc., del mismo material.

Por otro lado, en la cubierta, no se emplea el término armadura, sino tejado y tijera, que se compone de las hileras que descansan sobre los muros y paralelas a éste; lomera, (la viga cumbrera) y vigas, (los pares). Estos últimos van estribados en una plancha sobre el muro de carga, o bien sujetos al muro con una cruceta. Si la crujía es muy ancha, se refuerzan los pares con quítacimbras, tirantas y jabalcón, travesaños a los pares que tienen por objeto evitar la comba de las vigas del tejado. Por encima de las vigas se dispone una cubierta de cañizo cubriendo completamente la superficie y encima se colocan las tejas.

En cuanto a los forjados, son de vigas tendidas a lo ancho de la crujía sobre las que se coloca el cañizo.

La alquería presenta mayor tamaño y complejidad, es una edificación concebida como centro de una explotación agrícola más o menos extensa, generalmente engloba en un mismo edificio o edificios anexos una serie de dependencias: vivienda del propietario, almazara, bodega, almacenes de aperos y de cosechas, establos, etc.

La estructura de las alquerías más antiguas es normalmente una combinación de arco de ladrillo y muro de carga.

Las vigas son siempre rollizos, troncos o por lo general ramas, desbastadas. En casas de sectores más altos en la escala social se emplean cuarterones, vigas de sección rectangular de madera de teca.

Se construye con piedra de mampostería o de adobe y la tecnología es como la de la casa huertana, mezclando el arco de adobe o ladrillo con el muro de carga de mampostería y contiene los mismos elementos estructurales construidos con caña común. El arco es de ladrillo de medio punto u ojival.

También existen edificaciones cuya estructura es a base de pilares, arcos de ladrillo y vigas de madera, siendo solo los cerramientos de mampostería.

Los cerramientos de las edificaciones se realizan con muro de mampostería, caña o ladrillo.



*Fig 1.10, 1.11. Detalle de cerramientos con caña. Alquería de la finca La Caseta.*  
Fuente: García Ortuño, T. (2003)

Como resumen podemos indicar que la caña común es seguramente el vegetal más utilizado en las construcciones tradicionales de la zona levantina, ya sea en entramados usados como elementos de cierre (testeros), forjados (mollijes), falsos techos (cañizo) y tabiques (testeros).



*Fig 1.12, 1.13. Detalle de caña común en forjados con teja alicantina y con teja árabe.*  
Fuente: García Ortuño, T. (2003)

### **1.3.-TABLEROS DE FIBRAS Y PARTICULAS**

#### **1.3.1.-RESEÑA HISTORICA SOBRE LOS TABLEROS DE FIBRAS Y PARTICULAS.**

Podemos indicar como punto de inflexión en el desarrollo de tableros, el año 1930 en el que Portland Manufacturing Company de EEUU empleó el uso de adhesivos de urea formaldehído y fenol formaldehído en sus líneas de producción de Giordano. (FESYP, 1978; Ginzler y Peraza, 1983).

El uso de dichas resinas aún hoy en uso, es el elemento aglutinador de los elementos que pretendemos desarrollar.

Antes del salto cuantitativo y cualitativo planteado por Portland Manufacturing, el uso de colas animales, y posteriormente cola de soja aún mantenían a los tableros contrachapados en calidades infinitamente menores en cuanto a calidad.

Hoy la polémica sobre el contenido y emisión de formaldehído (Lopez M., Pardo C., 1975), en los tableros tanto contrachapados como de fibras hace que se replantee el uso de dichas resinas y los estudios van en la línea del uso de material lignocelulósico o simplemente tratar de obtener tableros de forma natural por recombinación de moléculas a alta presión y temperatura, siendo este último un hecho que se aparta realmente de los tableros de aglomerados si bien está más en la línea de tableros de fibras. Además del coste económico que implica la fabricación de estos tableros.

La progresiva dificultad para encontrar madera de grandes escuadrías, y la demanda de soluciones estructurales que permitieran cubrir grandes luces, tal y como se hacía con acero u hormigón armado, hizo que se pensara en una solución consistente en unir mediante encolado piezas de madera de pequeñas dimensiones (ODITA, 1998). Se desarrolló el tablero contrachapado siendo un producto muy eficaz desde el punto de vista estructural, que permite cubrir aspectos constructivos que la madera maciza no es capaz de resolver. El desarrollo de la madera laminada resolvió la obtención de madera de grandes escuadrías, pero no permite cubrir la demanda de un producto capaz de utilizar la gran cantidad de residuos de madera que producen otras industrias (Kollmann; FEP; Cote W., 1968). España no posee una riqueza importante de madera

de calidad, sin embargo si tiene, una producción importante de madera apta para la fabricación de tableros de partículas o de fibras.

Una ventaja de los tableros de partículas sobre los contrachapados es que puede ser mucho mayor la superficie de los primeros, ya que los tableros contrachapados tienen limitada su longitud a la de la troza de la que se obtiene la chapa.

Desde el punto de vista de línea de fabricación, la industria de aglomerados es por naturaleza de tipo continuo y es evidente que el mercado y las demandas de éste no se adaptan a este tipo de procesos de fabricación que obliga a paradas periódicas. Inicialmente se intentó fabricar los tableros con serrín, pensando que sería un producto homogéneo, que a su vez se beneficiaría de una materia prima económica. Los tableros obtenidos con esta materia prima necesitaron proporciones de adhesivo muy grandes (40% sobre la madera seca) para que las características mecánicas fueran aceptables, lo que condujo a un producto de gran densidad, muy difícil de mecanizar y de un elevado coste económico (Kollmann; FFP, 1975).

Se utilizaron en estos tableros primitivos, adhesivos de caseína y de fenol formaldehído. Este último en los años 30 se encontraba en pleno desarrollo para fabricar los distintos productos conocidos como baquelita.

La primera referencia bibliográfica de la industria de tableros de partículas (la utilización de residuos de madera), data del año 1887, siendo su autor el técnico alemán Erns Hubaart. Sin embargo, hasta 1910 no se fabricó viruta de las características adecuadas además de aplicar prensas de platos calientes en una planta piloto. En noviembre de 1936, Pfhol registró la primera patente que conseguiría fabricar tableros de partículas aglomerados mediante adhesivos sintéticos utilizando prensa de platos. Cinco años más tarde, la firma Torfit-Werke A.G. de Haseke, en la ciudad alemana de Bremen, puso en marcha la primera línea de fabricación de tablero aglomerado, con una producción diaria de 10 t, utilizando una prensa de 3x2 m, en la que se podía fabricar gruesos de 4 a 25 mm con una densidad de 800 a 1000 kg/m<sup>3</sup>. También en 1941, el Instituto Fred Falirni de Zurich, patentó el proceso de tres capas con distinto contenido de humedad en las capas interna y externa, poniendo en marcha la innovación tecnológica patentada en Suiza en 1943.

Mauditz, en el año 1946 estudió la relación entre la geometría de las partículas y la resistencia mecánica de los tableros obtenidos, utilizando conceptos que había manejado en la tecnología del papel (Maloney T., 1989). La base de la investigación se desarrolló utilizando adhesivos de urea formaldehído formulados para su fraguado en frío, empleando la menor cantidad posible de adhesivo. Mauditz comprobó que, una vez fijada la cantidad de adhesivo, la variable más importante en la resistencia mecánica del tablero es la esbeltez de las partículas, es decir la relación largo a grueso. Todos los parámetros de resistencia aumentan al crecer la esbeltez de las partículas, siendo siempre creciente esta progresión. Una vez encontrado el fundamento científico de la producción de tableros, la investigación se encaminó a fijar las condiciones óptimas para su explotación industrial. Así, se vio que el aumento en la esbeltez de las partículas tenía una gran influencia en la resistencia del tablero hasta valores de 150 aproximadamente, a partir de esta esbeltez su efecto disminuye de forma progresiva. El equilibrio de ambas limitaciones se encuentra para valores de la relación largo/grueso situados entre 90 y 125, que son los que utiliza la industria en la actualidad. Valores que vamos a utilizar para clasificar las fibras que obtenemos del desfibrado de la caña común.

Fue precisamente en el mismo año, cuando Klauditz y Mitarbeiter, adscritos al Instituto de investigación de la madera de Braunschweig, sentaron las bases del desarrollo tecnológico de la producción de tableros de partículas tal y como la conocemos hoy (Vorreiter L., 1963). Cabe destacar, entre otros desarrollos, la fabricación de tablero fino de una sola capa puesta en marcha en Baiersbrotín en 1947. En 1951, la firma Deutsche-Novopan instaló en Alemania, concretamente en Góttigen, una gran línea de 60 t/día, utilizando la tecnología Fahmi. En ese mismo año, se introdujo en España la primera industria de este tipo, concretamente en Valencia, por la firma Vilarrasa Sicra, aunque hubo que esperar unos años para su puesta en marcha. En Galicia, las primeras fábricas fueron Tafisa en Pontevedra, comenzando su producción en 1963, Finsa, en Padrón en 1965, y Ecar en Mondoñedo, Lugo, en 1967.

En 1998, el número de fábricas censadas de tablero de partículas en España era de 15: Aglomerados Ecar y Tablicia, ambas en Lugo, Finsa, con dos plantas, una en Pontevedra y otra en Santiago de Compostela, Inama en Vizcaya, Interbon en Burgos, Pinasa en Cuenca, Tableros Losán en Soria, Tableros Talsa en Albacete, Tafibra, con

tres plantas, en Pontevedra, Valladolid y Lérida respectivamente, Turolense de Tableros en Teruel, Unemsa en La Coruña y Utiel en Valencia. (García L., et al, 2002).

La utilización inicial de los tableros de partículas se hizo con un criterio de sustitución de los tableros contrachapados, dado que resultaban mucho más económicos, y en algunas aplicaciones en interior pueden sustituirlos. El desarrollo de esta industria se produjo cuando se aprovecharon las propiedades específicas de estos tableros de partículas para fabricar productos con características propias, como muros cortina, muebles de oficina o de cocina, mobiliario de uso general, etc. La última etapa en su utilización ha sido el recubrimiento con chapas decorativas de madera o con laminados y recubrimientos de productos plásticos como la melanina.

En cuanto a la fabricación de tableros de fibras, ésta tiene su origen en EEUU con la patente Lirnan en 1858 (Suchsland, 1991). Sin embargo, su verdadero desarrollo no se alcanzó hasta 1927 con el proceso Mansonite, gracias a los estudios de los técnicos Willian y Manson en 1924. En 1931, la fabricación de tableros de fibras recibí un gran impulso en Europa, gracias a las aportaciones del Dr. Asplund, al introducir el sistema de desfibrado termomecánico, siendo patentado y comercializado por Desfibrator AB en 1934. De forma paralela, en 1930 se desarrolló el tablero de fibras duro. Sin embargo, el alto consumo de energía y agua, en el proceso de vía húmeda, además de no satisfacer la totalidad de las necesidades del mercado del momento, fundamentalmente de segunda transformación (mobiliario), hizo que este tipo de tablero tuviera una baja aceptación y una mediocre sustitución del tablero contrachapado (Dobbion M., 1975). En España, la primera línea de tablero de fibras se instaló en 1946 en Valladolid por la empresa Tafisa. En la década de los años 50 aparece el tablero de fibras de densidad media MDF, basado en un desfibrado termomecánico similar al tablero de fibras duro, pero fabricado utilizando un proceso de formación por vía seca. Las primeras aportaciones para su desarrollo pertenecen a las investigaciones realizadas en EEUU por Torbin Yates, Miller Hoffl y Schuber. Tras las innovaciones realizadas por la empresa de mobiliario Kroehler en Kankakee, Illinois, en 1959, (Moslemi, 1974) en la planta piloto diseñada por Miller Hoffl, consistentes en un desfibrador de doble disco atmosférico y una formadora de tablero de partículas, el desarrollo de esta industria se apoyó por un lado, en el proceso de vía seca de los tableros de fibras duros y por otro, en la utilización de la tecnología de tableros de partículas. Hurt Ushman

combinó ambos factores y realizó las primeras pruebas en Lebanon, Oregón. Hasta 1966 no se produjeron industrialmente tableros de fibras de densidad media, concretamente en New York (EEUU), por la firma Deposit (Tsougmis G., 1991). Su tecnología fue desarrollada por Allied Chemical y Batier Engineering. Conocida inicialmente como Allied Chemical Baraboard, en 1981 pasó a llamarse Celotex. En Europa, la primera planta de estos tableros se instaló en Ribnitz Darrigarten, antigua República Democrática Alemana, comenzando a producir en 1.973. En España, tres años más tarde, la empresa Intamasa, en su planta de Cella en Teruel, instaló la primera fábrica de estas características.

La fabricación de tableros de fibras de densidad media se encuentra en expansión prácticamente en todo el mundo, y en España se tienen censadas en 1998 ocho fábricas, Fibrabor en Rábade (Lugo), Finsa en Puentecesúres (Pontevedra), Intamasa en Cella (Teruel), Intasa en San Sadurniño (La Coruña), Orember en Orense, y Tafisa con tres plantas en Betanzos (La Coruña), Pontevedra y en Valladolid.

### **1.3.1.-CLASIFICACION. DEFINICION DE PRODUCTOS.**

Se denomina tablero al producto fabricado a partir de la degradación de madera y posterior agregación en piezas estandarizadas, añadiendo en forma optativa elementos químicos que mejoran sus propiedades. Normalmente es aceptada la clasificación de tableros de acuerdo al uso final que se le va a dar a estos. Así se dividen en:

-Tableros estructurales: Aquellos empleados como elementos estructurales en la industria de la construcción y del embalaje. Dentro de estos se encuentran los tableros contrachapados estructurales, Waferboard<sup>1</sup> y OSB<sup>2</sup>.

-Tableros no estructurales: son aquellos que se emplean en la industria de la mueblería. Dentro de esta clasificación encontramos los tableros de contrachapado decorativo, duros y MDF<sup>3</sup>.

Podemos clasificar los usos en varios apartados:

Caso de empleo en construcción

Caso de de uso decorativo

---

<sup>1</sup> Tableros fabricados con partículas de madera en forma de hojuelas.

<sup>2</sup> Son paneles a partir de virutas o hebras orientadas en forma perpendicular entre sí.

<sup>3</sup> Fibras de densidad media

Caso de uso interior (muebles, forrados, etc.)

Usos exteriores o interiores de gran rendimiento a la abrasión, impacto, etc.

Esta clasificación si bien válida, se muestra incompleta y se deben añadir los tableros extrusionados con materiales plásticos.

### **Otra forma de clasificar los tableros:**

-Tableros de Partículas: son tableros fabricados con partículas de madera u otros materiales aglomerados mediante aglutinantes, calor<sup>4</sup> y presión. Dentro de estos tableros se encuentran los de partículas, Waferboard y OSB.

-Tableros de Fibras: son tableros hechos a partir de fibras de madera, son fabricados por infiltrado y prensado de las fibras. Dentro de estos tableros se encuentran los Duros, MDF y Aislantes.

-Tableros Contrachapados: son tableros formados a partir de láminas o chapas de madera generalmente en número impar y se conforman entre ellas perpendicularmente.

-Tableros extrusionados: Nos referimos al compuesto de fibra de madera/plástico, producto que lleva hasta un 70% de material de madera y que se mezcla y satura con plástico fundido en una máquina de extrusión, para después conformarlo en un molde, transformándolo en un perfil que generalmente es un tablero, un pasamanos o una valla. Louisiana Pacific es uno de los más recientes protagonistas de los que han entrado en este negocio con sus suelos Weather Best presentados en la International Builders Show. Muchas actividades de la industria de la madera son muy apropiadas para hacer la transición a la producción de compuestos de fibra de madera/plástico y se prevé una fuerte repercusión de este tipo de material.

-Continuos Strand Lumber (CSL): Producto compuesto formado bajo presión en continuo por largas y gruesas tiras de madera de la empresa alemana Siempelkarm Presentado en el II simposium europeo sobre tableros. (AITIM 1999)

-Madera Micro laminada -LVL- está siendo aceptada y utilizada cada vez más por su versatilidad. Como producto basado en chapas de madera, con mayor valor

---

<sup>4</sup> En el mercado, ya hay resinas que no necesitan de aplicación de calor para el fraguado, con tiempos de reacción de pocos minutos, en función del espesor del tablero.

agregado, la mayoría de los fabricantes de chapas de madera y contrachapado lo reciben con agrado como un nuevo producto estructural de gran resistencia, con buenos niveles de rendimiento y unos altos precios de venta. También permite el uso de troncos de menor diámetro, con precio más bajo, lo cual incrementa la rentabilidad del LVL comparado con los productos habituales de contrachapado.

**La clasificación de tableros bajo normas UNE** (Peraza F., et al, 2003; EN 309, 1994), es la siguiente:

***Según el proceso de fabricación***

- de prensado plano;
- de prensado por cilindro;
- de extrusión:
  - a) macizos;
  - b) tubulares.

***Según el acabado superficial***

- no lijados;
- lijados o cepillados;
- revestidos (revestimiento líquido, por ejemplo pintura);
- revestidos bajo presión con un material sólido (por ejemplo chapas de madera, papeles decorativos impregnados, laminados decorativos termoestables).

***Según su forma***

- planos;
- con superficie moldurada;
- con cantos mecanizados.

***Según la forma y tamaño de las partículas***

Por ejemplo:

- tablero de partículas;
- tablero de virutas (waferboard);
- tablero de virutas orientadas (OSB);
- tableros de otros tipos de partículas (por ejemplo fibras de lino).

***Según la estructura del tablero***

- tablero monocapa
- tablero multicapa
- tablero de distribución continua de partículas;
- tablero de extrusión (tubulares)

**Según el uso**

- tableros para usos generales
- tableros para utilización interior en ambiente seco (incluyendo mobiliario);
- tableros estructurales para utilización en la construcción:
  - a) en ambiente seco;
  - b) en ambiente húmedo;
- tableros especiales:
  - a) tableros estructurales de altas prestaciones;
  - b) tableros de resistencia mejorada frente a ataques biológicos;
  - c) tableros ignifugados;
  - d) tableros para aislamiento acústico;
  - e) otros.

Vamos a referirnos con un poco más de detalle a los tipos de tableros que más se relacionan con el presente estudio:

**Tableros de partículas:** Son tableros que suelen fabricarse distinguiendo entre capas interiores y exteriores, es decir se forman de varias capas en las que se aplica la cola y las partículas también en capas o simultáneamente. Se pretende conseguir una adecuada capa de terminación más fina y vistosa (Fernández-Golfin J., 1992).

Datos representativos y característicos para este tipo de tableros, son los siguientes en cuanto a tamaños de partículas.

*Tabla 1.5. Definición del tamaño de partículas.  
Fuente: García L., et al. (2002).*

		<b>Dimensiones en milímetros</b>
<b>Para las capas exteriores</b>	}	Grueso: 0,1 a 0,2
		Ancho: 2 a 6
		Largo: 15 a 30
<b>Para las capas interiores</b>	}	Grueso: 0,3 a 0,8
		Ancho: 2 a 8
		Largo: 15 a 30

Como hemos indicado para los tableros OSB podemos estimar unas dimensiones de virutas de unos 80mm de largo por 1mm o menos de ancho o espesor efectivo,

**Tableros de fibras:** Se busca una adecuada uniformidad del tablero, para lo cual se parte de partículas aún más pequeñas que las que hemos definido. Para conseguir las fibras se debe encarecer el proceso de fabricación mediante elementos de desfibrado mecánico o físico químico que a veces se parece más a la industria de la pasta o papel.

### **1.3.3.-DISTINTOS PROCESOS DE FABRICACION DE TABLEROS.**

#### **1.3.3.1. -FABRICACIÓN DE TABLEROS DE PARTÍCULAS Y DE FIBRAS.**

Como referencia para la fabricación de tableros de caña común tenemos que recurrir a la madera, bien a trozas o a residuos procedentes de la industria de primera transformación. Si nos referimos pues a la fabricación de tableros de partículas o fibras procedentes de madera, las referencias que se tienen en consideración, son las siguientes:

En general es utilizable casi cualquier madera, aunque se prefieren aquellas cuyo peso específico no supere los  $0,6 \text{ g/cm}^3$  ya que las maderas densas producen tableros difíciles de transformar encareciendo los procesos de desfibrado (García L. et al. 2002).

Se hace necesario eliminar antes de cualquier proceso de desfibrado la corteza de la madera, si bien es cierto que la proporción de corteza que no se elimine en una primera fase podría hacerse en las fases posteriores de secado de las partículas aunque de nuevo se estaría encareciendo el costes de los tableros. La corteza, al igual que las hojas de la caña común, posee un bajo coeficiente de esbeltez, y en conclusión rebaja las propiedades mecánicas del tablero, absorbe una proporción elevada de la cola o resina y oscurece el aspecto del tablero.

Si el tamaño de la madera es elevado, antes de la preparación del desfibrado, se somete a un tratamiento de corte y fragmentación en grueso y en anchura, así se obtiene una parte de las partículas adecuadas para la fabricación del tablero (debido al largo de la caña común, ésta se debe trocear para favorecer la manipulación). Para fabricar astillas partiendo de madera en rollo se utilizan astilladoras de cuchillas sobre cilindro o sobre disco de eje horizontal o vertical

Para producir astillas a partir de residuos de otras industrias (fundamentalmente serrerías o carpinterías) se utilizan molinos, de estructura similar a los empleados para fragmentar las astillas y producir partículas, aunque provistos de cuchillas en la carcasa exterior, que puede ser estática o móvil.

Todas las astillas se someten en esta fase a un proceso de selección o cribado con el fin de separar aquellas gruesas de las que ya son idóneas para la fabricación de los tableros. El elemento separador que mas se utiliza bien sea para el tamaño o la granulometría de las astillas, es un tamiz de mallas, con luces comprendidas entre 5 y 50 mm. Las astillas que no pasan por la malla de mayor luz se fragmentan en molinos de martillos.

Todos estos procesos de desfibrado, producen pérdidas de madera, especialmente en forma de polvo o partículas de pequeñas. En el caso de madera en rollo estas pérdidas no alcanzan el 1% y se elevan al 2 o 3 % en el caso de madera de ramas o residuos.

El proceso de cribado o selección de tamaños de fibras tienen una importancia doble ya que además de clasificar las fibras permite la clasificación por tamaños. Incluso para conseguir un gradiente de partículas en todo el grueso del tablero, de forma que el tamaño de las partículas sea mayor en el centro disminuya hasta las caras. Esta clasificación actualmente se realiza en el momento de formación de la manta, aunque en las primeras industrias de tableros existían dos líneas distintas de fabricación de partículas, una para las caras y otra para el interior, con formadoras independientes. Ahora el proceso se realiza directamente con dosificadores independientes.

La siguiente fase es la de secado de las partículas o fibras. Para la fabricación de tableros la humedad de las partículas juega un papel importante en el prensado del tablero, por un lado como vehículo para el transporte rápido de energía calorífica al centro de la manta y, por otro, facilitando la deformación plástica de la madera, con lo que se facilita el contacto de las partículas entre sí y se mejora la adhesión y la transmisión de esfuerzos.

Las partículas salen del secadero con una humedad comprendida entre el 3 y el 6%, aumentando el contenido de humedad en el proceso de encolado y en el pulverizado superficial de la manta antes del prensado.

Actualmente el secado de partículas se realiza en dos fases. En la primera el aire caliente a 300°C no tiene contacto directo con las partículas o fibras, mientras que en la segunda fase, con temperaturas de 500°C estableciéndose contacto directo con el aire caliente en cilindros con circulación forzada que mantiene las partículas en suspensión. Al terminar el secado las partículas tienen una humedad comprendida entre el 3 y el 6% (García L. et al. 2002).

Siguiendo con el proceso de fabricación, se establece el encolado de las partículas en encoladoras horizontales con proyección de cola mediante toberas.

Otro tipo de encoladora muy eficaz es la formada por cámaras cilíndricas, en las que las partículas giran por efecto de la fuerza centrífuga y se colocan en sus paredes. La cola se pulveriza desde el centro de cada cilindro.

El siguiente paso es la formación de la manta, para el posterior prensado plano. En las formadoras, el fondo es en realidad una cinta móvil, que deposita la manta directamente sobre la prensa. Este sistema puede aplicarse a prensas multihueco o de un sólo hueco.

Es normal antes de prensar realizar una operación previa de compresión de la manta o preprensado sin calefacción, que tiene por objeto principal disminuir su altura y con ello aumentar la consistencia. El preprensado comprime la manta hasta un grueso entre el 50 y el 65% del inicial.

El prensado de la manta para producir el tablero se puede realizar con prensas de distinto tipo: en continuo, en discontinuo con prensa multihueco y prensado con prensa de un solo hueco de gran tamaño. En todos los casos las prensas tienen platos o bandas con calefacción controlada. Se debe controlar la temperatura de los planos, la velocidad de la prensa y la presión de prensado.

La temperatura en los platos varía con el tipo de cola empleada. En el caso de urea formaldehído el fraguado de la cola se produce a unos 90°C, aunque para conseguir tiempos de fraguado cortos se alcanzan temperaturas de 200°C en los platos (García L. et al. 2002).

Al entrar en contacto con los platos se evapora el agua superficial, condensándose en el interior del tablero, en esta zona se produce un cambio de estado de agua vapor a agua líquida que aumenta el aporte calórico. No obstante, el aumento de humedad en la totalidad de la manta no tiene el mismo efecto que el agua superficial.

Una vez producido el fraguado de la cola se efectúa la apertura de los platos de forma controlada, y normalmente de manera escalonada en el tiempo para facilitar la eliminación del vapor de agua generado. Se requieren unos 3 o 4 minutos para un tablero de 20 mm, realizado con cola de urea formaldehído, debiéndose elevar dicho tiempo, para tableros fenólicos, a 5 minutos.

Una vez extraídos los tableros de la prensa, pasan a un volteador mecánico para proceder a su inspección superficial y enfriado.

Posteriormente se realizaran las tareas de lijado y escuadrado. En la operación de escuadrado es necesario eliminar entre 1,5 y 3,5 cm, que es la zona perimetral.

En la actualidad el mayor esfuerzo de innovación se realiza en las prensas de un solo hueco, alcanzándose una superficie de 55 m<sup>2</sup> y 350 t/día. La ventaja de un solo hueco es un tiempo de cierre mucho más corto, unos 15 s, siendo más fácil alcanzar altas temperaturas en los dos platos.

### **1.3.3.2. -FABRICACIÓN DE TABLEROS ALISTONADOS, DE VIRUTAS (OSB) Y MICROLAMINADOS (LVL).**

Concretamente son los tres tipos de productos que completan las líneas de fabricación de tableros más importantes del sector de la madera de primera transformación, tableros alistonados, tableros de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board) y tableros de madera microlaminada LVL (Laminated Veneer Lumber) (APA, 1986; FPRS, 1988).

#### **Tableros alistonados**

Los tableros alistonados como su nombre indica se forman mediante listones de madera de longitudes iguales o diferentes, empalmados en la cabeza por uniones

dentadas o lisas, o sin empalmar, unidos entre sí por un adhesivo, manteniendo el grueso y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero.

El proceso de fabricación se basa en utilizar listones del mismo grueso y anchura, encolados, armados y puestos en presión hasta alcanzar las dimensiones de un tablero, en el que las dimensiones de longitud y anchura son muy superiores al grueso.

Solamente hay una exigencia en cuanto a la humedad que debe tener la materia prima. Cuando la utilización se dirige a mobiliario o ebanistería en general, el contenido de humedad de la madera a la entrada del proceso se sitúa entre el 8 y el 10%, mientras que si su uso se destina al sector del encofrado, dicho contenido debe situarse entre el 10 y el 14%. (García L., et al, 2002).

Tras comprobar la humedad de la madera, se pasa a la fase de perfilado, cuya misión es la de limpiar las dos caras y los dos cantos del listón. Además de facilitar la visión de sus defectos para la fase de marcado previa al saneado, también prepara la superficie de los listones para el encolado cuando éstos tienen la longitud suficiente para no ser empalmados de testa.

Los tableros se marcan y posteriormente se sanean para eliminar defectos y singularidades de la madera dando lugar a trozos más cortos que finalmente se unirán mediante armado o empalme.

### **Tableros de virutas**

Las virutas tienen un tamaño elevado dentro de la caracterización de las fibras en los tableos de aglomerados de madera. El criterio de fabricación es el mismo que en los tableros anteriores, el tablero se conforma añadiendo un adhesivo y aplicando al conjunto presión y temperatura.

Aunque la producción de tablero OSB se inició en los años 60, su fabricación industrial no empezó hasta 1980, alcanzando a partir de 1990 importancia comercial en Estados Unidos y Canadá.

Dentro del proceso de fabricación de los tableros de virutas se distinguen dos grandes grupos: tableros de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board) y el tablero de virutas sin orientar, también conocido con el nombre de waferboard. En los primeros, las virutas de las capas exteriores están orientadas en la dirección

longitudinal del tablero en al menos un 70%, mientras que las capas interiores o bien siguen orientaciones perpendiculares a las exteriores o bien lo hacen de forma aleatoria. Este hecho hace que los tableros OSB posean características mecánicas más elevadas en la dirección longitudinal que en la transversal.

En cuanto a los waferboard, son tableros cuya fabricación no tiene en cuenta la orientación de las virutas, caracterizándose por lo tanto por unas propiedades mecánicas inferiores a los primeros. Su uso está menos generalizado, aunque en Norteamérica se usan desde hace más de 20 años tanto para interior como exterior y tanto para aplicaciones estructurales como no estructurales.

De la misma forma que ocurre con los tableros de partículas, hay que evitar las partículas con poca esbeltez, como el serrín, por la elevada absorción de cola que tienen y la disminución de resistencia que provocan.

La fabricación de tableros OSB es un proceso industrialmente similar al de tableros de partículas, sin embargo difiere de éste en el tamaño de la partícula y en la tecnología de la formación de la manta.

El proceso de astillado se realiza con astilladoras de cuchilla, con la particularidad de que la obtención de la viruta sea paralela a la dirección de la fibra siendo la disposición de los troncos respecto a la entrada de la astilladora tangencial.

Las virutas obtenidas para la fabricación de OSB tienen 80 mm de longitud en la dirección de la fibra y menos de 1 mm de espesor. Las utilizadas en la fabricación del waferboard son generalmente de 30 mm de longitud en la dirección de la fibra y alrededor de 1 mm de espesor.

Las astillas son trasladadas al secadero hasta alcanzar una humedad final comprendida entre el 4 y el 8% y se someterán a un proceso de tamizado para eliminar las partículas finas.

Las virutas secas reciben un aporte de parafina y emulsiones de productos oleosos para mejorar el comportamiento del tablero frente a la humedad en torno al 2%. A continuación, se proyecta la cola pulverizada en una proporción aproximada al 3% con respecto al peso seco de las virutas.

La formadora de la manta proyecta sobre una cinta transportadora las virutas en capas, con una orientación sensiblemente igual en cada capa.

Para lograr la alineación de las virutas se pueden utilizar tres tipos de formadoras: de banda peinadora, de rodillos de proyección o de orientación electrostática.

El prensado dependerá del espesor del tablero y aumenta este a medida que aumenta el grueso del tablero.

El acabado consiste en el escuadrado del tablero y su lijado. El primero se realiza con escuadradoras horizontales y el segundo mediante lijadoras de banda o rodillo.

### **Tableros microlaminados**

Los tableros LVL se desarrollaron en los años 50, aunque hasta 1970 no se emplearon en la construcción.

Se fabrican en la actualidad solamente en Finlandia y Norteamérica. El tablero microlaminado o LVL (madera en chapas laminadas) es un producto fabricado a base de chapas de madera encoladas entre sí.

Es similar a un tablero de contrachapado la diferencia estriba en que todas las chapas se encuentran dispuestas paralelas a la dirección longitudinal, lo que le aporta la capacidad de absorber los esfuerzos en dirección transversal y siendo su comportamiento estructural más previsible que el tablero contrachapado.

Estos tableros microlaminados se conocen, en su conjunto, en Norteamérica, como madera de composición estructural (SCL). Su espesor varía desde los 19 mm hasta los 64 mm, aunque pueden alcanzar gruesos de 89 mm.

La producción de los tableros LVL se realiza en piezas de gran longitud y deben ser cortados a dimensiones menores para formar vigas, viguetas, tablones, etc.

Las especies más utilizadas son abeto Douglas, alerce y pinos amarillos del sur.

El proceso de fabricación es muy similar al de tableros contrachapados, sin embargo difiere en la fase de armado, donde la disposición de las láminas es paralela a la dirección longitudinal.

Las fases de fabricación, son:

- Desenrollo
- Secadero
- Cizalla del laminado
- Encolado de rodillos
- Prensa en continuo
- Mecanizado

En el armado de las chapas para formar el tablero cuando se quiere conseguir la máxima transmisión de esfuerzos en las chapas hay que hacer uniones biseladas, con una pendiente del bisel no superior a 1/12. Dicho armado a diferencia del tablero contrachapado no tiene el aspecto de un tablero sino de un perfil cuya longitud puede alcanzar los 30 m. La concepción de este producto, en el que la longitud predomina sobre la anchura, sólo hace rentable el uso de un sistema de prensado calefactado en continuo.

El acabado consiste en el escuadrado del tablero y el lijado.

### **1.3.3.3. -FABRICACIÓN DE TABLEROS CON MICRO FIBRAS.**

Se debe aclarar que la nomenclatura usada para los tableros derivados de la madera, el concepto de fibra difiere del uso que lingüísticamente usamos normalmente, refiriéndose precisamente a las micro fibras y cuando los tamaños son mayores refiriéndose a partículas.

En la actualidad, los tableros con más líneas en fase de instalación, son los de fibras de densidad media, aunque localmente otros tableros, como OSB, tengan expectativas de crecimiento. Las previsiones también son favorables para el tablero de fibras DM, aunque con profundas diferencias en cuanto a regiones geográficas se refiere.

La producción de fibras parte de astillas aptas para el desfibrado, obtenidas a partir de trozas, puntas delgadas o ramas gruesas. También se utiliza madera residual procedente de serrerías, carpinterías, etc.

De la misma forma que en los tableros de partículas se eliminará la corteza o las hojas en el caso de la caña común.

El primer paso una vez la madera se encuentra descortezada es pasar a una astilladora de cilindro con cuchillas segmentadas. Las astillas de calidad producidas en esta fase se mezclan con residuos de otras industrias previamente cribados. Los residuos de gran tamaño, como costeros o listones, se astillan en la misma máquina que la madera. Las astillas sufren un cribado que permite separar aquellas que por su excesivo tamaño tendrían dificultades en la desfibradora.

Seguidamente se produce el desfibrado con distintas opciones:

Primera opción. Mediante desfibrado mecánico de la madera se realiza mediante fricción entre las trozas de madera y una muela de piedra natural o artificial. El proceso se realiza bajo proyección de agua y con la madera con gran contenido de humedad, generalmente después de haber sufrido un tratamiento previo de cocido o vaporizado a fin de disminuir el consumo eléctrico y mejorar la calidad del desfibrado (García L. et al. 2002). Este método es similar al utilizado en la industria de pasta mecánica para la producción de papel y cartón.

Las muelas pueden ser de piedra arenisca natural, pero se desgastan de forma excesiva y producen una fricción irregular, por lo que en la actualidad se usan muelas artificiales, que consisten en una base cerámica del tipo porcelana en cuya superficie lleva engastados los granos del abrasivo, que puede ser de óxido de aluminio, carburo de silicio, granate sintético, sílice, etc. El núcleo de la muela es de hormigón. También existen piedras en las que la superficie cerámica que contiene el abrasivo está formada por placas que pueden eliminarse para adherir placas nuevas con el abrasivo.

Durante este proceso se genera calor que puede afectar a la superficie de la madera, haciendo difícil obtener un buen desfibrado.

Segunda opción. Mediante desfibrado termomecánico. Con un solo molino desfibrador pueden obtenerse hasta 600 t/día de fibras de buena calidad, y con un aprovechamiento de fibras útiles del 90 al 95% (García L. et al. 2002).

Cuanto menor sea la humedad inicial de las astillas antes de recibir el tratamiento por vapor a alta temperatura, más rápida es la transferencia de calor. Por

ello, antes de la introducción en el cilindro de tratamiento se elimina parte del agua del lumen celular, mediante una compresión con un tornillo de alimentación que fuerza las astillas contra una carcasa ranurada.

Las astillas se introducen en una cámara en la que se inyecta vapor a presión, hasta  $10 \text{ kg/cm}^2$ . En menos de un minuto se eleva la temperatura entre  $180^\circ$  y  $190^\circ\text{C}$ . Estas condiciones conducen a un reblandecimiento de las hemicelulosas que cementan a las fibras entre sí. El tiempo de tratamiento es inferior a 30 s y la temperatura no rebasa los  $200^\circ\text{C}$ , por lo que las pérdidas de madera no alcanzan el 10%.

El desfibrado se realiza haciendo circular las astillas a presión entre dos discos o conos ranurados y con resaltes, produciéndose el desfibrado por esfuerzo cortante mientras la madera circula del centro a la periferia. El diseño de los estriados de los discos y el control de la separación entre los mismos gobiernan la calidad del desfibrado, existiendo patentes muy específicas de las distintas marcas comerciales.

La capacidad de producción de fibras depende, manteniéndose constantes el resto de los factores, del diámetro de los discos de refino. La mayor parte de las instalaciones europeas modernas están equipadas con discos de 46 pulgadas, con una producción de 300 t/día, aunque se suministran discos desfibradores de 54 pulgadas con los que se alcanza una producción de 600 t/día. (García L. et al. 2002).

Tercera opción. Desfibrado por explosión. Este sistema específico de la empresa Mansonite (Mason W. 1927). El desfibrado se produce en el momento en que se elimina la sobre presión existente en el cilindro de desfibrado. Las pérdidas de madera son altas, hasta el 20% sumando las pérdidas de fibras no utilizables con la de los productos solubles producidos por hidrólisis.

Este sistema permite una gran velocidad de desfibrado, ya que es un proceso muy rápido, aunque la necesidad de refinar la fibra producida para fabricar tableros de alta densidad o de densidad media frena esta ventaja.

El proceso consiste en dos ciclos de tratamiento. En el primero se someten las astillas a una presión entre 40 y  $50 \text{ kg/cm}^2$ , con una temperatura de  $200^\circ\text{C}$ . La duración de este ciclo es de unos 100 s. Después de este primer tratamiento se

inyecta más vapor sobrecalentado, a temperaturas cercanas a los 300°C y presiones en el entorno de 60 a 70 kg/cm<sup>2</sup>. Una vez que se han alcanzado estos valores, se abre inmediatamente el extremo de salida del cilindro, de forma que las condiciones extremas de alta temperatura en la madera se mantengan durante 3 o 4 s. La rápida liberación de la presión produce una auténtica explosión del agua contenida en su interior, que produce el desfibrado de la madera.

Las fibras producidas mediante explosión contienen gran cantidad de haces de fibras sin una separación efectiva, por lo que pasan a refinadores de discos o de conos, finalizando la operación de desfibrado con el lavado de las fibras, que elimina las hemicelulosas solubles y las fibras excesivamente cortas. Si se mantienen los productos originados por hidrólisis durante el desfibrado, éstos actúan como adhesivos en los tableros afieltrados por vía húmeda. En los sistemas de afieltrado en seco estas sustancias no permiten un buen afieltrado y deben eliminarse.

Una vez analizados los procesos de obtención de las fibras, pasamos a los sistemas de afieltrado y prensado.

El elemento fundamental que otorga las propiedades resistentes a los tableros de fibras es la interconexión de las fibras de madera, que al quedar entrelazadas entre sí transmiten las sollicitaciones mecánicas. Esta operación de conseguir el entrelazado de las fibras se llama afieltrado.

Podemos hablar de afieltrado de vía seca y afieltrado de vía húmeda. La calidad de este afieltrado en húmedo es sensiblemente mejor que la obtenida en seco, aunque el inconveniente es que se necesitan en torno a 100 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de tablero producido.

La fabricación de tableros duros, con densidad de entre 0,9 y 1,2 g/cm<sup>3</sup>, se realiza generalmente con afieltrado en agua. El tablero aislante y el de densidad media se fabrican mediante afieltrado en seco.

Sistema de vía húmeda. Esta tecnología procede de la fabricación de papel y consiste en la preparación de una suspensión de fibras en gran cantidad de agua, de 0,5 a 2% de fibra en suspensión con respecto al volumen total. Esta suspensión se agita constantemente para evitar que las fibras se depositen o que la distribución

sea irregular, y se monitoriza el pH para compensar cualquier modificación de la acidez.

Lo más importante es que en este tipo de proceso los tableros requieren menor proporción de adhesivos que los tableros de partículas, pues la trabazón de las fibras que se consigue ayuda a mejorar la resistencia mecánica del tablero. Se añaden fundamentalmente resinas de urea formaldehído o mezclas de urea y melamina formaldehído. También se utilizan resinas de fenol formaldehído o incluso residuos tánicos de procesos de curtido de pieles. La proporción de colas se encuentra entre el 6 y el 8% respecto al peso seco de las fibras.

Es muy importante añadir productos que limiten la absorción de agua por el tablero. Para esto se emplean emulsiones de ceras o parafinas, naturales o sintéticas. El porcentaje total se sitúa entre 1,5 y 2%.

En este procedimiento, tanto las resinas como los aditivos se añaden a las fibras en suspensión para no ser eliminados con el agua, hay que añadir sustancias químicas que precipiten los aditivos sobre la superficie de las fibras. Son los mordientes, como alumbre y sulfato férrico.

Los procedimientos actuales de producir tablero de fibras de alta densidad con ahieltrado en húmedo son variantes de la formadora Fourdrinier, con origen en la fabricación de papel.

En la formadora se produce el tablero en una banda continua permeable, en cuyo fondo se realiza un vacío que ayuda a eliminar rápidamente el agua en la que están suspendidas las fibras de madera. Posteriormente se va pasando el tablero por cilindros de preprensado, y finalmente a una sección de cilindros de gran diámetro calefactados que producen el tablero directamente. La humedad tiene que encontrarse por debajo del 60%, lo que permite que sean cargados sin romperse en un cargador automático para pasar a una prensa multihuecos para su prensado final.

Estos tableros solo presentan una cara fina ya que en el proceso de prensado para eliminar el vapor de agua, es necesario disponer de una malla permeable en la parte inferior.

La resistencia a la humedad se puede incrementar en los tableros duros con el procedimiento de temperizado, que consiste en la inmersión del tablero en un aceite secante, generalmente resinas alquídicas, aunque se pueden utilizar aceites naturales. El tratamiento se completa con una fase de calentamiento a temperaturas cercanas a 200°C, de forma que por oxidación se produce el endurecimiento del aceite. El porcentaje de aceites absorbidos por el tablero se encuentra en torno del 5%. Finalmente se procede a su rehumidificación.

Sistema de vía seca. El gran desarrollo del tablero de fibras de densidad media ha extendido y perfeccionado los sistemas por vía seca.

En el afieltrado en seco, los adhesivos se inyectan en el conducto de salida de la desfibradora, y están generalmente constituidos por urea formaldehído o mezclas de urea formaldehído y melamina formaldehído, con una proporción de resina entre el 8 y el 10%, referido al peso seco de las fibras. En el caso de tableros hidrófugos la proporción de melamina formaldehído llega hasta el 15%, respecto a la resina de urea formaldehído.

Antes de confeccionar el tablero, la fibra se seca entre el 6 y el 9%, generalmente en dos fases. El secado se realiza a temperaturas que no sobrepasen los 180°C, y así evitar el fraguado prematuro de la cola que contienen las fibras. La fase inicial se secado en el que las fibras y el aire caliente son proyectados en sentido vertical. Con una temperatura del aire en torno a los 180°C se llega a una humedad en las fibras del 80 o 90%. En la segunda fase de secado se utilizan temperaturas de 80 a 90°C en la entrada y de 60 a 70°C en la salida. En esta etapa el secado se realiza en un ciclón. La humedad final de las fibras se establece en torno al 8%.

Las fibras secas, con las resinas y el adhesivo incorporado a su superficie, pasan a la formadora de la manta, a través de una caja con inyección de aire en contracorriente que es capaz de separar los grumos de fibras. En la fabricación de tablero estándar, para gruesos no superiores a 19 mm, la temperatura en los platos se encuentra entre 200 y 230°C.

Las operaciones de lijado y escuadrado son similares a las descritas en la tecnología de tableros de partículas, aunque las lijas empleadas para el tablero de fibras son distintas, debido a su constitución más fina y homogénea.

#### **1.3.3.4.-TABLEROS SIN RESINAS ENLAZANTES.**

Desde un punto de vista ambiental y económico, la producción de tableros sin resinas enlazantes puede ser beneficioso, primero porque los materiales lignocelulósicos son reciclables y renovables y segundo porque las resinas utilizadas en la fabricación de tableros convencionales provienen de fuentes fósiles, las cuales no son renovables y encarecen el producto (Youngquist J., 1996; Blancher P., 2000; Grigoriu A., 2000; Kumar V, 1996; Sas S., 2000; Zhang M., 1995; Carvagal O., 1996). Por otra parte no son necesarios periodos de curado lo cual a priori sigue contribuyendo en parte de un ahorro económico. Estos tableros tampoco tendrán emisiones de formaldehído, la cual está sujeta a una legislación muy severa.

Se han realizado numerosos esfuerzos para producir tableros formados en seco sin la adición de resinas enlazantes. Utilizando bagazos de caña, se han obtenido ciertos resultados en la fabricación de tableros sin aditivos, trabajando a altas densidades. Con un pretratamiento a 180°C posterior a la formación del tablero, se han logrado obtener tableros aceptables a partir de paja de arroz. A partir de pulpa Masonite (Mason W., 1927), como hemos visto anteriormente, sin lavar en procesos vía húmeda, se han obtenido con buenas características sin incorporar ningún aditivo, también en distintos trabajos se han evaluado los efectos de la severidad del pretratamiento, sugiriendo que la mejoría en las propiedades a altas presiones y temperaturas se debe al incremento de finos en el tablero. En dichos trabajos se ha demostrado igualmente que se pueden obtener tableros de similar calidad a partir de una misma materia prima sin importar que en la formación del tablero se lleve a cabo en seco o en húmedo. Se han presentado procesos similares para la fabricación de tableros sin aditivos, que involucran tratamientos tipo Masonite. La pulpa obtenida no se lava y después de seca, se muele para ser prensada posteriormente en caliente a alta temperatura, los tableros obtenidos tienen un color oscuro. En trabajos recientes se han elaborado tableros sin aditivos a partir de palma de aceite, la temperatura del pretratamiento utilizada ha estado entre 210 y 235°C, del mismo modo, el material se ha secado sin lavarlo y se ha prensado a muy altas presiones entre 250 bar y 400 bar. Por otra parte se han obtenido tableros sin aditivos de buena calidad a partir de serrín de conífera pretratado a 217°C durante 2,8 min. Se han evaluado los efectos de las condiciones de prensado sobre la calidad de los tableros, observándose que las temperaturas de prensado deben ser por lo menos de

200°C para asegurar que la lignina pueda fundir y fluir (Spalt, H., 1977). En general cuanto más alta es la temperatura, 230°C mejores son las propiedades, incluso muy por encima del factor tiempo de prensado.

Otros estudios han explorado el pretratado con vapor para fabricar tableros sin aditivos. Para esta situación se han utilizado ligninas con micro fibras así como tratamientos con vaporización (Kosikova B., 1990; Kallabus U., 1995; Sekino N., 1998, 1999).

Además de los procedimientos que hemos expuesto, los métodos de extrusión, están dando unos resultados sorprendentes. El compuesto de fibra de madera/plástico está participando cada vez más en el mercado debido a las ventajas que tiene sobre la madera y el metal en cuanto a longevidad, aspecto, coste durante su vida útil y valor global. El material compuesto ha experimentado un crecimiento de ventas en la misma proporción en que ha sido posible aumentar la capacidad de producción.

Productos fabricados normalmente con madera o metal, se hacen ahora con este compuesto de fibra de madera/ plástico, como componentes de ventanas, puertas, suelos de bloques industriales, estructuras de campos de juego, mesas de picnic, paletas, bancos, vallas, aplicaciones marinas, etc. Este compuesto de bajo mantenimiento es atractivo, muy resistente a los insectos, impudrescible, antideslizante y pintable.

Además, es más rígido que los productos de plástico puro y puede salvar los mismos vanos que la madera. Se trabaja y corta de la misma forma que la madera y puede igualmente pegarse y unirse por medio de husillos, clavos o grapas. El compuesto de fibra de madera/plástico puede llevar hasta el 70% de madera, pero las formulaciones varían espectacularmente. La resina de más frecuente empleo es el polietileno, aunque se incluyen otros plásticos, como PVC, PP, PS y ABS. Pueden utilizarse agentes espumantes para reducir la densidad última del producto y ahorrar material. Una fuente común de plásticos son las bolsas del comercio de HDPE usadas, que se muelen hasta que las escamas se reducen a un tamaño apropiado. Puede utilizarse también PVC en polvo virgen, pero la resina en graza no es apropiada. Los distintos aditivos pueden incluir lubricantes, colorantes, aglutinantes y estabilizadores.

#### **1.3.4.-AGLOMERANTES-RESINAS.**

La cola es el producto más costoso de un tablero y, además, eleva el peso específico final y dificulta el mecanizado en la segunda transformación. Por lo tanto, es muy importante lograr una distribución uniforme de la cola en toda la superficie de las partículas para conseguir la máxima adhesión con la cantidad de adhesivo utilizada.

Estas limitaciones obligan a utilizar mezclas adhesivas con una baja viscosidad, que permitan pulverizarse y proyectarse en forma de gotas cuanto más finas mejor

De todos los adhesivos, el más extendido y utilizado para la formación de tableros de aglomerados de madera, es la urea formaldehído, siendo preferible su uso para tableros de interior. Si el uso del tablero se orienta para exteriores la resina utilizada es de fenol formaldehído.

Si se pretenden fabricar tableros hidrófugos, se utilizan la combinación de urea formaldehído en combinación con melanina-urea formaldehído. En estos tableros se aumenta la proporción total de cola con respecto a las partículas, situándose en el 10%, tanto en las caras como en el interior.

También pueden emplearse adhesivos fenólicos solos o en combinación con extractos tánicos.

Otro tipo de adhesivos son los de poliisocianato, que proporcionan tableros con resistencia a la humedad superior a los fenólicos y fraguan sin aportar agua a la madera. Estos últimos adhesivos tienen en este momento un precio excesivamente elevado y son difíciles de manejar en la fabricación del tablero (AITIM, 1999).

Además de las resinas mencionadas, podemos enumerar las siguientes:

- Termofusibles de Poliolefinas (PO)
- Poliuretanos y poliuretanos reactivos (PUR)
- Acetato de polietileno-vinilo (EVA)
- Copolímeros de polipropileno: polialfaolfinas amorfas (APAO)
- Resinas epoxi.
- Lignosulfato Sódico

Los lignosulfonatos presentan una estructura química similar al fenol y se ha encontrado que pueden polimerizar con fenol y formaldehído originando una resina lignosulfonato-fenol formaldehído de menor costo que la que se usa actualmente en la industria.

Sea cual sea la formulación o preparación de la mezcla adhesiva, el porcentaje de resina referido al peso seco de la madera se sitúa normalmente entre el 6 y el 10%. La dosificación, sin embargo, varía en función de las dimensiones de las partículas y del peso específico de la madera utilizada.

El encolado del tablero estándar se realiza con urea formaldehído, en una proporción, referida al peso seco de las partículas, entre el 8 y el 9% para las capas exteriores y entre el 6 y el 7% para las interiores.

Aparte de la resina en disolución debe añadirse el endurecedor, que suele ser una sal de amonio, como el cloruro amónico o sulfato amónico, añadida en una proporción que oscila entre el 0,05 y el 1% respecto al peso seco de la madera.

Para evitar emisiones altas de formaldehído, se usa como endurecedor el cloruro amónico. La proporción del endurecedor respecto a la cola es de un 15% en el caso de cloruro amónico y de hasta un 30% en el caso de sulfato amónico.

Para mejorar el comportamiento del tablero frente a la absorción de agua y disminuir su hinchazón, se añaden emulsiones de parafina o productos similares derivados de la destilación petróleo, en proporción variable entre el 0,25 y el 0,8% respecto al peso seco de la madera. La adición de estos productos hace disminuir la resistencia mecánica del tablero, especialmente en tracción perpendicular a las caras.

También debemos considerar los llamados adhesivos "naturales", que consisten en extractos tánicos de las cortezas de algunas especies como el quebracho o la Acacia mollissima. Son adhesivos de tipo fenólico y su principal campo de aplicación es la fabricación de tableros contrachapados. En la industria de tableros de partículas se suelen utilizar mezclados con adhesivos de urea formaldehído. Tienen escaso interés, incluso en los países con especies con cortezas ricas en taninos, porque los extractos que acompañan a la fracción adhesiva rebajan la resistencia del tablero.

Los adhesivos fenólicos son los que producen tableros con mejores características, especialmente en lo que respecta a la resistencia a la humedad aunque la temperatura de fraguado es muy alta en comparación con la urea formaldehído, aproximadamente 160°C, lo que hace que la producción sea baja y los equipos costosos.

### **1.3.5.- FIBRAS DE REFUERZO SECUNDARIO.**

Otro aspecto a considerar es el uso de refuerzos secundarios que pueden incorporar los tableros para conseguir mejorar sobre todo propiedades resistentes. El uso de algunas de estas fibras viene asociado al empleo con hormigones y aunque en algunos casos no serán convenientes por disminuir la trabajabilidad de los tableros en otros casos pueden conferir mejoras cuantitativas.

Las fibras de vidrio; se suelen utilizar para reforzar matrices plásticas. El vidrio de base más comercial es el de clase E de borosilicato de calcio y aluminio con resistencia a tracción de 3,44 GPa y un módulo de elasticidad de 72,3 GPa.

Las fibras Orgánicas; a base de una perfecta alineación de polímeros con módulos de elasticidad en torno a 220 GPa. Las más comunes son las fabricadas por Du Pont bajo el nombre de Kevlar.

Las fibras de carbono; son monocristales de grafito con diámetros de 7 a 8µm, pudiendo distribuirse las fibras en una o varias direcciones en consonancia con los tableros de aglomerado.

Las fibras DRAMIX son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes, para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos.

Tipo RC 65/35 BN Aspecto l/d=64 Resistencia mínima del alambre 1150 N/mm<sup>2</sup>  
Tipo ZP 305 Aspecto L/d=55 Resistencia mínima del alambre:1150 N/mm<sup>2</sup> Tipo ZP 306 Aspecto L/d= 48 Resistencia mínima del alambre 1100 N/mm<sup>2</sup>.

Para utilizar estas fibras el tablero debe ser definitivo, no podremos cortarlo a posteriori.

Las fibras de polipropileno; quizás es la opción más idónea a corto plazo en la mezcla de la materia base de los tableros. Son ligeras, fuertes, resistentes a los químicos, no se oxidan ni absorben agua; su fabricación en forma de arreglos fibrilados y cortados en longitudes predeterminadas, permiten que durante el proceso de mezclado las mayas se abran y distribuyan uniformemente. El único problema es el de la temperatura de fusión 165°C, para la fabricación de tableros de alta temperatura con adición de lignina puede que no sea factible.

Características mecánicas:

- \* Resistencia: 68.5 KSI.
- \* Modulo: 4.8 KN/mm<sup>2</sup>
- \* Elongación a la falla: mínimo 8%.

En cuanto a las fibras vegetales se pueden clasificar en cuatro grupos:

1. Fibras de líber
2. Fibras de hojas
3. Fibras de pelusas
4. Fibras de madera

Todas estas fibras se utilizan normalmente con el uso de hormigones ya que el hormigón estructural con fibras vegetales es un material extremadamente versátil. Puede ser usado, tanto en climas fríos como cálidos, para la elaboración de elementos estructurales y no estructurales para edificios. Este tipo de hormigón fue desarrollado con la idea de utilizar los materiales naturales locales de cada país y área de construcción. (ICPA, 1.990).

Se han utilizado morteros reforzados para paneles con fibra de bambú, comprobando que las fibras tienen la propiedad de controlar la propagación del agrietamiento transformando una matriz frágil en un material con cierto grado de ductibilidad (Arbeláez, 1.997). Así como no han mostrado ningún deterioro las propiedades físicas de las fibras de bambú y yute al incorporarse con el mortero del hormigón (Ramaswamy, 1.983).

Experiencias con fibras cortas de sisal y de coco empleados con mortero de cemento han aumentado la durabilidad de éstas mezclas expuestas a las soluciones alcalinas de calcio e hidróxido de sodio (Romildo, 2.000).

Se han mejorado las propiedades mecánicas en hormigones y morteros empleando fibra de henequén (*Agave forcroydes*) (Macías, et al. 1.994).

Las fibras naturales se introdujeron en la construcción a partir de 1950, en un principio a pesar de las buenas prestaciones mecánicas que el empleo de estas fibras proporciona a las mezclas de cemento su uso se fue reduciendo paulatinamente debido a que se corroen fácilmente. Aunque los conglomerados de cemento son materiales cuyo pH es básico, a través de las micro y/o macrofisuras de la pasta del hormigón muchas sustancias contaminantes se introducen en el conglomerado alterando el pH y provocando la corrosión de las fibras.



## **CAPÍTULO 2: OBJETIVOS**

*Miguel  
Hernández*

## 2.-OBJETIVOS.

Tratamos de obtener tableros a partir de materiales afines a nuestro entorno, ecológicos como fuente alternativa a la madera. Concretamente estudiaremos lo que hoy se considera una mala hierba, una planta con ciertas características que ya se han ido analizando y que en algunos casos resulta un problema ya que anega cauces de ríos, veredas y contamina plantaciones de otros cultivos. La caña común será la materia prima que conformará nuestros esfuerzos en la búsqueda de soluciones constructivas para la aplicación en el campo de la construcción y la ingeniería.

¿Por qué la caña común como elemento primario?. Los tableros de fibras hechos a partir de residuos agrícolas son objeto de trabajos e investigaciones como soluciones aplicables en el caso de la construcción, aunque con resultados bastante pobres en muchos casos.

Se debe sobre todo a las características de la materia prima si como ya expusimos en los antecedentes se trata de un material con resistencia a la tracción de sus fibras de  $2233,58 \text{ kg/cm}^2$  y es evidente que puede aportar unas características importantes al utilizarse como materia prima.

En resumen, buscamos analizar las condiciones idóneas de partida para la fabricación de tableros a base de partículas de caña en cuanto a la estructura interna y posteriormente fabricar dicho tablero para futuros ajustes y toma de decisiones. Nuestro enfoque será en cuanto a evitar en parte la deforestación, como un sustituto fácil de conseguir de los tableros de aglomerado de madera existentes a partir de lo que hoy se considera una mala hierba, como es la caña común y dar una solución ecológica a la propagación de la caña común sobre todo en zonas de paso de ramblas, acequias, ríos, etc., donde resulta un problema de difícil solución máxime cuando ésta se termina quemando en la mayoría de las ocasiones.

Como ya hemos indicado, para los tableros de madera, Klauditz estudió la relación entre el largo y grueso de la fibra así como la relación que tenía ésta con la cantidad de resina necesaria. Los valores entre 90 y 125 de esbeltez son los que hoy en día aun se utilizan. Claramente nos encontramos con un material que no es un derivado de la madera pero vamos a comprobar si esta relación se puede aplicar a tableros

fabricados a base caña común para competir o asimilarse precisamente con los tableros de aglomerado de madera.

**Objetivo Principal:**

Fabricar tableros con virutas o partículas fibrosas de caña común (*Arundo donax* L.) con base de elemento aglomerante de urea formaldehído.

**Objetivos secundarios:**

- Analizar de acuerdo con los procesos de fabricación aquellos que mejor se adaptan a la caña común como materia prima.
- Evaluar utilizando el parámetro de esbeltez distintas fabricaciones de tableros para determinar cual sería la más interesante y ofrece un mejor comportamiento.
- Evaluar con distintas proporciones de resina urea formaldehído la fabricación de tableros.
- Analizar el efecto de la presión en la calidad del tablero.
- Comparar los tableros de caña común con tableros de aglomerado de madera.
- Observar el comportamiento ante la humedad de los tableros a base de caña común.

**Hipótesis de partida, es:**

Podemos fabricar tableros con virutas de caña común *Arundo donax* L. similares a los tableros de aglomerado de madera existentes en el mercado y con propiedades de funcionamiento similares a éstos, de modo que puedan ser un sustituto en algunos casos y den salida a la reutilización de la caña común como elemento constructivo y contribuir a paliar el problema ecológico que la caña común supone.

**Hipótesis secundarias:**

- Se pueden obtener tableros directamente en bruto incluso sin un proceso de cribado.
- En el caso de producirse el cribado del material de referencia se pueden obtener tableros de mejores características mecánicas.
- Analizar si la urea formaldehído es el aglutinante idóneo para obtener tableros de buenas propiedades estructurales y cumplir el objetivo en comparación con los tableros de aglomerado de madera.
- El comportamiento de los tableros a base de caña común frente a la humedad en comparación con los de aglomerado deben superar sus cualidades.



## **CAPÍTULO 3: MATERIALES Y METODOS**

*MH Miguel Hernández*

### 3.- MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1.-MATERIALES.

##### 3.1.1.-LA CAÑA COMUN.

Como se expuso en el capítulo de antecedentes, la madera es el material lignocelulósico más empleado en aplicaciones como la fabricación de pastas papeleras, muebles y tableros de diversos tipos, además de otros usos energéticos. Como fuente lignocelulósica distinta a la madera vamos a emplear la caña común para confeccionar tableros de aglomerado, y concretamente, usar fibras o partículas obtenidas y extraídas de este material base como fuente de materia prima. El incremento continuado en la demanda de esta clase de materias primas aunado a problemas económicos y medioambientales, hace necesario el estudio e investigación de otras fuentes alternativas como es el caso de la caña común. (Jiménez y Sánchez, 1989; Rodríguez y Solbes, 1989).

Se adquieren liseras de alturas entre 3,5m y 4,5m, con un tamaño medio de aproximadamente 2cm de diámetro, descartando aquellas partes de la caña (puntas) de diámetro menor de 0,5cm. Del mismo modo, la caña se adquiere seca y deshojada bajo un proceso previo de manipulado de la empresa Cañas de Albaterra.



Tal y como se observa en la fotografía siguiente, los haces recolectados se han amontonado para el secado al aire libre. Ha transcurrido un año para ser recolectada y posteriormente se necesitan unos seis meses para el secado posterior. De esta forma se consiguen cañas con una humedad relativa en torno a un 15%, siempre que se complete dicho periodo de tiempo.

Fig 3.1. Caña secándose al aire libre.

En realidad como ya hemos indicado, lo que necesitamos son partículas o fibras obtenidas a partir de la caña para confeccionar los tableros de aglomerado tal y como se describirá en siguientes apartados.

Se observan los distintos diámetros y espesores de pared de la caña una vez cortada. El diámetro va disminuyendo a medida que nos acercamos al extremo superior.



*Fig 3.2. Cañas cortadas para posterior manipulación.*

### **3.1.2.-RESINAS**

El elemento aglomerante o aglutinante que debe conferirle la tensión de unión entre las fibras es la resina. Se ha optado por una solución de compromiso en este tema ya que son numerosas las soluciones que se encuentran en el mercado.

Nuestro criterio ha sido en este sentido el de asemejar nuestro tablero a los de aglomerado de madera. Bajo este enfoque o punto de vista se reducían notablemente las posibilidades tan solo nos quedaban dos opciones; la de tableros de uso interior o para uso exterior ya que la resina también es distinta. Podemos decir pues que la opción del uso de resina depende finalmente del uso al que va destinado el tablero: Las resinas de fenol formaldehído, son idóneas para tableros de uso exterior, las de urea formaldehído para uso interior.

Se realizarán tableros con varias proporciones distintas de resina sintética, en definitiva se trata de una resina termofraguante de urea formaldehído en forma líquida, de forma que podamos obtener varias referencias sobre los materiales de referencia.

Otro aspecto a considerar es la dosificación o aporte de resina. Partimos del dato que a mayor cantidad de resina que se utilice más caro resultará el resultado final es decir el tablero, pero también podemos pensar que cuanto más resina incorporen sus fibras de mejor calidad será este. En algunos casos será así, teniendo que buscar soluciones de compromiso entre el coste y las ventajas de mayor cantidad de resina.

Las propiedades de la resina que hemos utilizado para nuestros ensayos, son:

Tabla 3.1. Propiedades de la resina de urea formaldehído.

<b>PROPIEDADES</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Tipo de resina:</b>	<b>Urea formaldehído</b>
<b>Forma de la resina:</b>	<b>Liquida</b>
<b>Color:</b>	<b>Blanco Lechoso</b>
<b>Viscosidad a 28° C:</b>	<b>300- 400 cP</b>
<b>Densidad:</b>	<b>1.265 - 1.270</b>
<b>Reactividad:</b>	<b>3 - 4 horas</b>
<b>Ph:</b>	<b>7.5 - 8.2</b>
<b>Contenido de sólidos:</b>	<b>62 - 65%</b>
<b>Vida en Almacén:</b>	<b>90 Días</b>

### 3.1.3.-AGUA

El agua no se considerada en este caso un elemento que aporte ventajas a priori, cuanto más agua tengamos en el material de referencia (la caña común), fijada en humedad relativa y cuanto más agua aportemos al proceso de confeccionado de los tableros peor será el comportamiento de la resina. En nuestro proceso de fabricación, utilizaremos pequeñas cantidades de agua obtenida directamente de la red para mezclar junto con la resina de urea formaldehído y fluidificar la mezcla para favorecer el mezclado con las fibras o las partículas de caña.

No obstante en proporciones adecuadas, el agua en el interior del tablero facilita la transmisión de calor de los moldes hacia el interior, pero tanto el vapor de agua que se genera como el retardo en el fraguado de la resina pueden ser más perjudicial que beneficioso.

### 3.1.4.-SULFATO AMONICO.

La adquisición de resinas de urea formaldehído va asociada a un elemento catalizador, un reactivo que facilita y acelera el proceso de fraguado de la resina a pesar

de que son resinas termofraguables. Es obvio que cuanto antes fragüe la resina mayor será el número de tableros fabricados en un proceso en continuo con prensas de platos calientes. Estos catalizadores se adquieren como productos específicos de marcas comerciales.

Hemos optado por un catalizador genérico, el sulfato amónico. En este caso además de favorecer y reducir el tiempo de reacción de la resina, también es un inhibidor de las emisiones de formaldehído, con lo que conseguimos un doble efecto.

La cantidad de sulfato amónico que vamos a utilizar, como ya se indicó en los antecedentes es entre el 0,05 y el 1% respecto al peso seco referido al peso de las partículas madera, y en este caso será respecto a las partículas de caña.

### **3.2.- PROCESO DE FABRICACION**

Como hemos indicado para los tableros de fibras, buscando la calidad de los tableros, podríamos comenzar pensando en el proceso típico de vaporizado o cocido de la madera para la obtención de un material noble a la manipulación. En nuestro caso, vamos a descartar el citado proceso ya que no queremos ablandar o plastificar la caña, por otra parte tampoco estamos bajo el criterio de micro fibra sino de una partícula inicial con cierto tamaño, mucho más parecida a los tableros de OSB o Waferboard.

El proceso que vamos a emplear para la fabricación de tableros es el estándar y nos viene condicionado porque nuestra similitud de referencia es la de los tableros de aglomerado de madera, así como el uso de la metodología tradicional de éstos.

Nos encontramos situados en las descripciones dadas en cuanto a procesos de fabricación, en el punto 1.3.3.1 de los antecedentes (Fabricación de tableros de partículas y de fibras).

Como se vio en el citado punto de los antecedentes, las referencias de las que disponemos son referidas a la materia base que es la madera, bien obteniendo partículas de trazas directamente o utilizando subproductos o desechos de la misma materia prima. Es obvio que la caña común tiene otras propiedades muy distintas que también quedaron reflejadas en los antecedentes y la metodología empleada para la madera puede ser distinta a la necesaria para fabricar tableros con caña común. El descortezado (en nuestro caso el deshojado), el desfibrado de madera, el empleo de resinas como la

urea formaldehído. Todos los procesos están más que comprobados en el uso para conseguir tableros de aglomerados de madera sin embargo no conocemos el comportamiento con la caña común.

Continuamente se ha de realimentar la metodología para ajustar los parámetros del proceso pasando de la madera a la caña común y viceversa para obtener nuevas referencias.

Para la fabricación de tableros, en un primer lugar hemos buscado apoyo en una firma comercial externa que ha puesto a nuestra disposición el uso de la maquinaria de la que dispone<sup>1</sup>, aunque posteriormente los hemos recreado en nuestro laboratorio para tener un mejor control del proceso. Se ha tratado de estandarizar el proceso para que resulte lo más económico posible y era importante disponer de una referencia externa.

Los elementos que necesitamos para la fabricación de los tableros, bajo los distintos métodos son los siguientes, siendo las opciones que aparecen entre paréntesis aquellos elementos que posiblemente necesitémos en el caso de que el proceso se nos desvíe del objetivo fijado pero que a priori no serán necesarios:

- ✓ Deshojadora de caña
- ✓ Báscula
- ✓ Sierra circular
- ✓ Astilladora<sup>2</sup>. (Opción)
- ✓ Molino formador de partículas. (Opción)
- ✓ Equipo de transporte neumático de partículas.
- ✓ Molino de refino. (Opción)
- ✓ Secadero de partículas y de fibras.
- ✓ Desfibradora.
- ✓ Dosificadora-mezcladora de cola<sup>3</sup>.
- ✓ Encoladora de partículas y de fibras. (Opción)
- ✓ Cuba mezcladora.
- ✓ Formadora de la manta de partículas o de fibras.
- ✓ Preprensa<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Tableros y aglomerados de Carral.

<sup>2</sup> Se pueden pasar dos veces las cañas una vez cribadas por la desfibradora, no siendo necesaria como primera parte del proceso.

<sup>3</sup> Se puede hacer de forma manual, tanto el ajuste de la dosificación como la mezcla de reactivos.

- ✓ Prensa de plato.
- ✓ Sierra escuadradora.
- ✓ Calibradora
- ✓ Prensa de recubrimiento discontinua. (Opción)
- ✓ Horno de secado en continuo. (Opción)
- ✓ Sistema de transporte con volteador de tablero. (Opción)

Como hemos indicado, para un mayor control del proceso de fabricación, en una segunda fase, hemos fabricado nuestros propios tableros, adquiriendo y fabricando en algunos casos los elementos necesarios. Por ejemplo, en el caso de la dosificadora-mezcladora de resina el proceso en el laboratorio lo hemos realizado manual.

### **3.2.1.-DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION INDUSTRIAL**

La caña común ha sido adquirida limpia, sin hojas (mediante deshojadora). Se ha troceado previamente mediante sierra circular de disco en tramos de aproximadamente 1m, y posterior corte de 0,5m, mediante sierra de carro metálica. El corte era necesario tanto para la manipulación de los haces de cañas, como para eliminar las partes finas de los haces y en ultimo lugar para favorecer la alimentación a maquinaria de desfibrado ya que la zona de carga dispone de una tolva no excesivamente grande.

Posteriormente se ha realizado el pesado de la materia base para comprobar las pérdidas que teníamos en el proceso de desfibrado.



*Fig 3.3. Deshojadora rudimentaria empleada (empresa Cañas de Albaterra).*

---

<sup>4</sup> Se puede utilizar la misma prensa en dos fases, preprensado, nuevo aporte de material (ajuste) y prensado final.

---

La maquinaria de deshojado y corte inicial así como las cañas adquiridas pertenecen a la empresa Cañas de Albaterra.



Fig 3.4,3.5. Proceso de deshojado y troceado de haces de cañas.

Primeramente se utilizó una desfibradora de cuchillas dando como resultado un material excesivamente fino parecido al serrín, que tuvimos que desechar ya que para los tableros el requisito que nos habíamos impuesto era desfibrar no romper dicha fibra.

Antes de introducir la caña a la desfibradora como hemos indicado, se pesa, y posteriormente al proceso de troceado o desfibrado se realizaron las pruebas pertinentes para determinar el grado de humedad de la muestra de referencia.

Podemos observar el equipo utilizado finalmente para obtener el desfibrado de la caña:



Fig 3.6, 3.7. Desfibradora y martillos o mazas de desfibrado, respectivamente.



*Fig 3.8. Caña una vez desfibrada.*

Con esta desfibradora se obtiene un material compuesto por partículas de todos los tamaños y longitudes, pero como se observa en las fotografías logramos obtener trozos largos y finos que es el objetivo inicial.

El material se recoge de la maquina de desfibrado mediante una soplante que termina en un saco de hilo que retiene las partículas de caña dejando pasar el aire.

Para la fabricación del tablero en bruto, se observan a continuación los elementos que hemos utilizado en el que aparece la mezcladora de resina en la que se mantiene caliente el aglomerante mediante una lamparilla de butano colocada bajo la mezcla para favorecer la fluidificación.



*Fig 3.9, 3.10. Mesa rotativa de mezcla y palas de mezclado.*



Fig 3.11, 3.12. Preparación de Moldes.

Otros elementos que ya han sido enumerados y que son parte del proceso de fabricación, son los moldes junto con la prensa y posteriormente el horno de secado en continuo<sup>5</sup>. Observamos el film de polietileno y el cartón lateral para proteger la prensa de la resina y facilitar el desmoldeo.



Fig 3.13, 3.14. Prensa hidráulica. Manómetro de hasta 600 kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>5</sup> El uso de prensas con platos calientes para fraguar la resina en el caso de fabricación de tableros cuyo orden de magnitud del espesor es mucho menor, sería el proceso más idóneo o adecuado.



*Fig 3.15, 3.16. Conformación del tablero de caña y vástago de prensa hidráulica.*

La caña en este caso (sin ninguna selección de fibras), tal y como sale de la desfibradora es mezclada con la resina y se introduce en el molde. La nivelación y el contenido de mezcla de llenado se controlan observando los bordes de referencia del molde, para conseguir mayor densidad se llena hasta la parte superior.

Una vez prensado el tablero, mediante unas garras de sujeción del molde se mantiene la presión para el posterior fraguado en el horno de secado. En este caso el horno se trata de un receptáculo con una cinta transportadora por el que pasa aire caliente obtenido mediante un quemador de biomasa.



*Fig 3.17. Entrada de molde a túnel de secado.*

Posteriormente al secado del tablero se efectúa el desmoldeo y ya disponemos de nuestro tablero confeccionado.

### **3.2.2.-DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION EN LABORATORIO.**

En la segunda fase de fabricación de tableros, se hacía necesario tener un mayor control en el proceso de fabricación, como ya indicaba. El objetivo sigue siendo el mismo, fabricar tableros a base de caña común.

Ahora pasamos al ajuste de la mezcla, y sobre todo a la clasificación de las fibras, para ello necesitamos realizar una caracterización de las fibras obtenidas, con lo cual realizaremos un proceso de vectorización y medición de las partículas.

Para poder medir con precisión las fibras, se ha realizado el siguiente procedimiento:

1. Primero se han recogido las fibras procedentes de cada uno de los tamices.
2. Posteriormente se han situado sobre la mesa del escáner y se ha escaneado con alta resolución.
3. El siguiente paso ha sido vectorizar las fibras por contornos con el programa Coreltrace de CorelDraw, de modo que pudiésemos exportar los contornos de líneas a un programa de dibujo, concretamente Autocad. Allí hemos calibrado el dibujo para ajustar errores y hemos medido con las herramientas del programa.

Si bien es sencillo medir el largo y ancho de las fibras, el problema o complejidad es evidente cuando queremos medir el espesor de las fibras o partículas. Para medir el espesor se ha empleado una aproximación. Se ha medido el contorno de sombra que deja la partícula tras pasar la luz del escáner. Se ha comprobado que el valor medio que deja la sombra es aproximadamente el espesor de la partícula.

Se han tomado distintas medidas por tamiz hasta tener una muestra representativa del conjunto, así se han hecho tres ensayos distintos en mediciones de los respectivos tamices. Se han medido para el tamiz de 16mm, 10 medidas, para el de 10mm, 17, para el de 8mm, 19 medidas, para el de 4mm, 30 medidas, para el de 2mm, 16 medidas, para el de 1mm, 7 medidas, para el de 0.5mm 10 medidas, para el de

0.25mm, 10 medidas y finalmente para el de 0.125mm no se ha medido nada ya que los consideramos finos.

Una vez clasificadas se ajustan las mezclas de cada tipo de tablero, en el primer caso de tableros realizados a granel nos saltamos este proceso de selección ya que se hacía con las fibras directamente del desfibrador.

En el siguiente paso procedemos a la dosificación y pesado de la mezcla, tanto de caña como de resina así como a la determinación del contenido de humedad. La humedad de referencia bibliográfica de partida para la caña seca de que disponemos es del 13,4%, incluso del 15%, siendo en ambos casos valores muy elevados para la fabricación de tableros si lo comparamos con las referencias que nos vienen de los tableros de aglomerado de madera<sup>6</sup>.

Una vez definida la mezcla de fibras, se han utilizado los siguientes accesorios y metodologías:

Una mezcladora manual ya que las dosificaciones eran muy pequeñas.



*Fig 3.18. Mezcla manual de la caña con la resina.*

Un juego de tamices de malla de 5mm para cribar la caña desfibrada y poder seleccionar el material a otro tipo de estructura más racional<sup>7</sup>.

Para la separación por rangos de las partículas se utiliza una serie de tamices homologados según la norma UNE 7050, así como un limpiador de tamices. También es

---

<sup>6</sup> Se utilizan valores en torno al 6% de humedad de las fibras de madera.

<sup>7</sup> En la automatización del proceso de fabricación, el material sobrante del cribado de 5mm, se puede volver a pasar por una desfibradora de menor capacidad para volver a realimentar las líneas con fibra nuevamente obtenida.

necesaria una tamizadora, donde se colocarán dichos tamices apilados de menor tamaño de luz (abajo) a mayor (en la parte superior).

La tamizadora por vibración va separando las partículas en los sucesivos tamices. Es importante tener los pesos de la muestra inicial así como los pesos de cada uno de los distintos tamices una vez concluido el proceso de separación de las fibras o partículas. Eso nos permitirá caracterizar a posteriori las fibras y ajustar las dosificaciones de los tableros.



Fig 3.19, 3.20. Tamices en orden descendente con el material depositado en el tamiz superior. Máquina de vibración para tamizar las fibras de caña.

Se observa como se van obteniendo las separaciones de las fibras en los tamices UNE. El proceso siguiente consiste en clasificar, pesar, y medir las consiguientes fibras para caracterizar el material obtenido en el desfibrador.



Fig 3.21. Tamices en orden decreciente de izquierda a derecha. Tamiz de 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm, fondo.

Una vez separadas las fibras como hemos indicado se pesan con una balanza de precisión. La báscula también nos sirve para pesar las distintas composiciones de la mezcla final de la composición de los tableros así como los mismos una vez confeccionados.



*Fig 3.22. Báscula electrónica con precisión de tres decimales en gr.*

La mezcla de resina y fibras de caña se introducen en el molde que se muestra a continuación. Se ha realizado con piezas de acero S275 de forma que se facilite tanto el moldeo como el desmoldeo. Las dimensiones útiles interiores son de 30x10cm variando el espesor del tablero de acuerdo con la cantidad de material introducida así como con la presión a la que se someta el molde. Tanto el diseño como la construcción se ha realizado en el Departamento de Ingeniería.



*Fig 3.23. Molde metálico para fabricación de probetas.*

Posteriormente se utilizará una prensa hidráulica con la que se controlará la velocidad de prensado así como la fuerza de presión. Incluso podemos controlar el descenso de material en el molde.



*Fig 3.24. Máquina de rotura a compresión de probetas de hormigón adaptada como prensa hidráulica de 400kg/cm<sup>2</sup>.*

El penúltimo paso consiste en dejar fraguar la resina en el interior del molde prensado. Para este fin utilizaremos un horno eléctrico en el que podemos controlar tanto la temperatura como el tiempo de permanencia de las probetas en su interior. Este mismo horno nos sirve igualmente para realizar los ensayos de secado en la determinación de la humedad.



*Fig 3.25. Horno eléctrico de 250°C t<sup>a</sup> máxima, con temporizador incorporado.*

Se observa como el molde se desmonta para obtener el tablero con las menores tensiones en el proceso de desmoldeo. Las rebabas que aparecen en el tablero, se refrentan con un disco de fresado y finalmente se corta el tablero para obtener dos probetas de largo y ancho 15x5cm.



*Fig 3.26. Desmoldeo y tablero final.*

Los tableros, además de clasificar, medir, pesar, etc., se ensayan en una máquina de flexión en la que se controla tanto la carga aplicada como la deformación que se produce en el centro de la probeta. De este ensayo se obtendrán las curvas correspondientes de carga-deformación y tensión-deformación, así como los valores característicos de carga de rotura y módulo de elasticidad a flexión.



*Fig 3.27. Máquina para ensayo a flexión con precisión +/-1 kgf.*

### 3.3.-METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Al no tener referencias de trabajos realizados con la caña común en cuanto a la fabricación de tableros, hemos planteado la siguiente metodología de estudio.

En primer lugar se **determinarán los parámetros de esbeltez de las fibras** para su clasificación. A continuación se estudiarán las **dosificaciones de fibras de los distintos tipos de tableros a fabricar en función del parámetro de esbeltez.**

La siguiente tabla esquematiza cada uno de los planteamientos de fabricación:

Tabla 3.2. Esquema de tableros a fabricar.

<b>TIPO DE TABLERO A FABRICAR:</b>	<b>Contenido en % de resina aglomerante</b>	<b>Presión de de los platos de la prensa:</b>	
		<b>250 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>30kg/cm<sup>2</sup></b>
<b><i>1ª fase de fabricación</i></b>			
<b>Tableros sin selección de fibras. Tableros en bruto</b>	20%	√	
<b>Tableros con selección de fibras que incluyen hasta el tamiz de 8mm.</b>	20%		√
<b>Tableros con selección de fibras que incluyen hasta el tamiz de 4mm.</b>	20%	√	√
<b>Tableros con selección de fibras que no incluyen el tamiz de 4mm, (incluyen hasta el tamiz de 2mm).</b>	20%	√	√
<b><i>2ª fase de fabricación</i></b>			
<b>Tableros con selección de fibras que no incluyen el tamiz de 4mm, incluyen hasta el tamiz de 2mm.</b>	8% 10% 15% 20%	√	√
Nota: los tableros con el 20% de resina se incluye como parte del ensayo pero se fabrican en la fase 1			
<b><i>3ª fase de fabricación</i></b>			
<b>Fabricar tableros para evaluar las propiedades de los tableros frente al agua, es decir: ensayo de hinchazón del espesor y desecado-recuperación del tablero.</b>	8% 10% 15% 20%	√	√
Nota: algunos tableros serán los mismos ya fabricados en las fases 1 y 2.			

Para la fabricación en bruto, es decir para los tableros de dimensiones finales 90x60x15cm, con todos los tamices.

-Para el primer tablero:

- *Kg de resina de urea empleados: 20 kg*
- *Proporción de agua: 250 gr*
- *Proporción de sulfato amónico: 45 gr*

-Para el segundo tablero:

- *Kg de resina de urea empleados: 14 kg*
- *Proporción de agua: 250 gr*
- *Proporción de sulfato amónico: 45 gr*

La adición de agua, si bien es perjudicial para el fraguado, facilita el proceso de dispersión de la resina entre las partículas o fibras de caña.

Para la fabricación controlada de tableros con clasificación de fibras (dimensiones de 30x15x0.7<sup>8</sup>cm), las dosificaciones han sido:

-Para el primer grupo de ensayos:

- *20% de resina en peso de material seco*
- *0.1% de Sulfato amónico*
- *20gr de agua para favorecer la dispersión de la resina*

Es decir:

- *150 gr de caña común*
- *30 gr de resina de urea formaldehído*
- *1.5 gr de sulfato amónico*
- *20 gr de agua*

-Para el segundo grupo de ensayos:

Reducción de la proporción de resina: 20%, 15%, 10%, 8%.

Varían las proporciones de sulfato amónico y la cantidad de agua en la proporción en la que reducimos el componente de resina:

---

<sup>8</sup> El espesor medio aproximado de los ensayos, no siempre es el mismo.

1°. Tableros con el 8% de resina:

- 150 gr de caña sin el tamiz de 4mm
- 12 gr de resina de urea formaldehído
- 0.6 gr de sulfato amónico
- 25 gr de agua

2°. Tableros con el 10% de resina:

- 150 gr de caña sin el tamiz de 4mm
- 15 gr de resina de urea formaldehído
- 0.75 gr de sulfato amónico
- 20 gr de agua

3°. Tableros con el 15% de resina:

- 150 gr de caña sin el tamiz de 4mm
- 22.5 gr de resina de urea formaldehído
- 1.125 gr de sulfato amónico
- 20 gr de agua

4°. Tableros con el 20% de resina:

- 150 gr de caña sin el tamiz de 4mm
- 30 gr de resina de urea formaldehído
- 1.5 gr de sulfato amónico
- 20 gr de agua

La proporción de resina que hemos fijado para comenzar a fabricar los tableros es más alta que las referencias bibliográficas en la fabricación de tableros de aglomerado de madera.

Esta consideración inicial atiende a varios motivos:

- 1) Se observa al analizar la caña común que la superficie satinada, extremadamente lisa, puede ser un inconveniente para la unión.
- 2) La caña es muy higroscópica y absorberá una parte de la resina de la mezcla. La parte de resina que quede en el interior de la caña y no en la superficie de contacto no aportará ninguna ventaja al tablero.

- 3) La incertidumbre de un material que no ha sido trabajado en este sentido nos indica que debemos asegurar un resultado en el proceso de fabricación, para posteriormente ajustar las dosificaciones una vez obtengamos resultados iniciales.

### **3.4.-RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DE FABRICACION.**

Muy someramente vamos a enumerar los puntos a título de esquema resumen que van a componer nuestra metodología de fabricación:

- a) Limpieza y corte de la caña. Deshojado.
- b) Desfibrado mediante desfibrador de mazas.
- c) Tamizado o cribado y ajuste de la dosificación.
- d) Mezclado de la resina con la caña de forma manual o automática.
- e) Introducción en los moldes con un tratamiento previo de protección del molde con film de polietileno de alta temperatura para facilitar el desmoldeo.
- f) Fraguado y secado mediante calor. En túnel de secado o el horno eléctrico, aportará aire o calor por radiación a 120°C durante 30 minutos en cualquier caso. La resina urea formaldehído fragua<sup>9</sup> a 90°C.
- g) Enfriado del molde y posterior desmoldado.
- h) Mediciones y pesado de los tableros.
- i) Se refrentan los bordes y se corta para obtener las probetas de cada lote de fabricación de acuerdo a medidas normalizadas para el posterior análisis y ensayos de los tableros.
- j) A continuación, todos los tableros mencionados han sido ensayados a flexión obteniendo en primer lugar las graficas correspondientes de carga-deformación con las que obtener los primeros datos de resistencia y evidentemente de deformación.
- k) Otros ensayos y Análisis de los tableros obtenidos.

---

<sup>9</sup> Con prensas de platos calientes se llega hasta 200°C para reducir el tiempo de fraguado entre 5-8 minutos para un tablero de 19mm. En nuestro caso la humedad de la caña es bastante mayor del 6% por lo que se ha aumentado el tiempo de permanencia dentro del horno

### 3.5.-ENSAYOS.

Para la **determinación del contenido de humedad**, hemos operado según el siguiente procedimiento (EN 322,1994):

Partimos de una cantidad de caña la cual pesamos en la balanza de precisión, posteriormente la introducimos en un horno de secado o en un desecador químico, en nuestro caso hemos optado por el primer método.

El secado de la muestra lo realizamos en estufa a 103 °C y se mide el peso de la misma hasta que la pérdida de peso es menor que el 0.1% de la masa inicial.

Se han realizado un proceso de desecado partiendo de tres muestras para establecer el parámetro comparador de referencia y además un ensayo inicial para conocer como hemos adquirido la caña del proveedor.

El porcentaje de humedad (%H) haciendo referencia al material húmedo original (antes de introducirlo en la estufa), se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%H = 100 \times \frac{(M_2 - M_3)}{(M_2 - M_1)} \quad (3.1)$$

Siendo:  $M_1$ , peso del recipiente.

$M_2$ , peso del recipiente y de la muestra húmeda.

$M_3$ , peso del recipiente y de la muestra seca.

Todos los tableros fabricados han sido sometidos al **ensayo de flexión** de acuerdo con el siguiente procedimiento estipulado bajo norma UNE (EN 310, 1994). En función del espesor del tablero  $t$ , se fijan las medidas de apoyos de los rodillos así como la de vuelo que tiene que tener el tablero. Es decir:  $l_1=20t$ ,  $l_2=l_1+50$ . Medidas en mm.

Los diámetros de los cilindros de carga están normalizados tal y como se muestran en la figura.

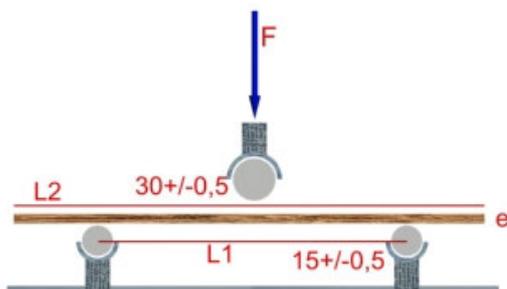
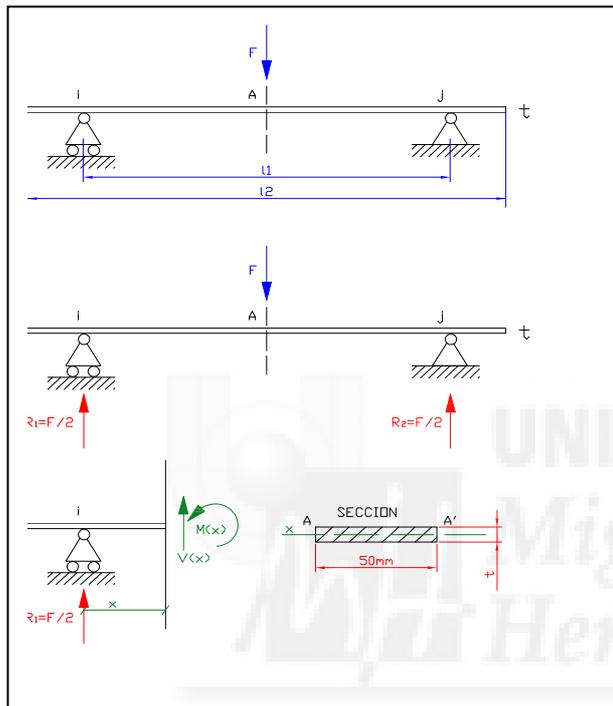


Fig 3.28. Ensayo normalizado (EN-310, 1994). Croquis de colocación de rodillos.

Las probetas se definen pues en función del espesor con un ancho fijo de 50 mm. El largo se corta en función de la dimensión  $l_2$  que define la norma y los apoyos se regulan en base a  $l_1$ , y  $l_{1/2}$

El procedimiento analítico para la determinación de los valores característicos que necesitamos para clasificar e identificar las propiedades mecánicas, viene sistematizado a continuación.



$$\sum M_i = 0$$

$$F \cdot \frac{L_1}{2} - R_2 \cdot L_1 = 0$$

$$R_1 = \frac{F}{2}$$

$$R_2 = \frac{F}{2} \quad (3.2)$$

Para  $0 \leq x \leq L_1/2$

$$\sum M_{K_1} = 0$$

$$-M(x) + \frac{F}{2} \cdot x = 0$$

$$M(x) = \frac{F}{2} \cdot x; \text{ para } x = L_1/2$$

$$M(\text{max}) = \frac{F \cdot L_1}{4} \quad (3.3)$$

Fig 3.29. Modelo matemático del ensayo a flexión como viga biapoyada.

La carga máxima de rotura se identifica claramente en el ensayo ya que corresponde al valor máximo alcanzado. De la misma forma la tensión de rotura irá asociada inevitablemente al valor de la carga máxima de rotura.

Respecto del momento flector, necesitamos conocer el módulo resistente para conocer la tensión que soporta el tablero en cada punto de la longitud de la probeta, o incluso la máxima producida en el punto central donde se aplica la carga F.

$$\sigma = \frac{M(\text{max})}{W}; (3.4) \text{ siendo el módulo resistente respecto de la sección A-A'}$$

$$W = \frac{I_x}{y/2} = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{50 \cdot t^2}{6} \quad (3.5)$$

El módulo de elasticidad  $E_m$  en  $\text{N/mm}^2$ , de acuerdo con la norma UNE para el ensayo de flexión, se define:

$$E_m = \frac{[L_1^3 \cdot (F_2 - F_1)]}{[4 \cdot b \cdot t^3 (a_2 - a_1)]}, \quad (3.6) \text{ siendo:}$$

$F_1$  el valor de la carga correspondiente a aproximadamente un 10% del valor de la carga máxima en Newton que corresponde a un valor de  $a_1$  de deformación en mm.  $F_2$ , corresponde a aproximadamente un 40% del valor de la carga máxima y  $a_2$ , es el valor de la deformación en dicho punto. El resto de valores ya han sido definidos.

La resistencia a flexión según la misma norma no es necesario evaluarla, puesto que corresponde al valor máximo de la carga.

Se determina también la **densidad de los tableros** bajo el procedimiento de la norma UNE (EN 323, 1994). Se ha utilizado un micrómetro con precisión de 0,01mm, un calibre de precisión 0,1mm y una balanza de 0,01g.

Las probetas se han cortado en dimensiones de 50x50 mm de lado y se mantienen las condiciones del laboratorio a una humedad relativa de  $65 \pm 5\%$  y una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

El espesor  $t$ , se mide en el punto de intersección de las diagonales.

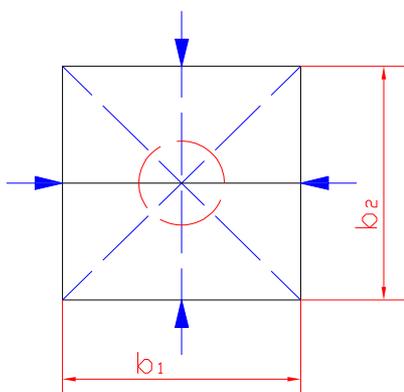


Fig 3.30. Punto de medida para determinación del espesor.

Se medirá además del espesor  $t$ , los valores de  $b_1$  y de  $b_2$ , tal y como lo indican las flechas en el dibujo en mm y se pesa la probeta siendo  $m$  el peso en gr.

La densidad de cada probeta en  $\text{kg/m}^3$ , se calcula con la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \times 10^6 \quad (3.7)$$

La densidad de un tablero, será la media aritmética de la densidad de las probetas extraídas de dicho tablero.

Para la determinación de la hinchazón en espesor después de la inmersión en agua, atenderemos a la norma UNE (EN 317, 1994).

El agua para sumergir las probetas, debe estar a una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  con un pH de  $7 \pm 1$  de forma que quede sumergida a  $25 \pm 5\text{mm}$ .

El local se debe mantener a las mismas condiciones de temperatura y humedad que en el anterior ensayo de densidad.

Los valores a obtener son:  $t_1$ : espesor en mm de la probeta antes de la inmersión,  $t_2$ : espesor en mm de la probeta después de la inmersión.

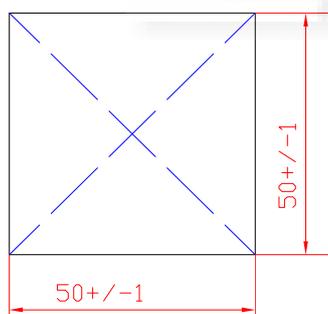


Fig 3.31. Punto de medida para determinación de la hinchazón en espesor.

El espesor  $G_t$  de cada probeta en % sobre el valor inicial, se estima mediante la siguiente ecuación:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.8)$$

### 3.6.-DATOS TECNICOS DE LA MAQUINARIA EMPLEADA

Solamente puntualizar algunos datos sobre las características técnicas de las maquinas empleadas.

-En cuanto a la deshojadora, se trata de una maquina artesana de fabricación propia con dos tambores neumáticos accionados por un motor de 0.5cv.

-La cortadora de cañas, es una sierra circular con potencia de 2.5cv.

-La troceadora de mazas desfibradoras. Con eje de inercia de 3000 vueltas y motor de 50cv. Además con acoplamiento de dos ciclones de 3cv/ud para extracción del troceado.

-La mezcladora utilizada de eje vertical y palas orientadas a 45°C no ha sido una máquina idónea. La mezcla se produce por levantamiento de la pulpa y choque con varillas dentro del tambor y eso provocaba la parada de la maquina por presión de la pulpa. Accionada con un motor de 20cv, y extracción del etileno mediante extractor de 5cv.

-La prensa neumática es capaz de prensar un máximo  $600\text{kg}/\text{cm}^2$ , no nos hacía falta tal capacidad, máximo podemos fijar el límite en  $250\text{kg}/\text{cm}^2$ . El accionamiento con motor de 80cv.

-Prensa hidráulica de  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  con motor eléctrico de 4cv

-El túnel de secado mediante cinta metálica va recorriendo la cámara de secado donde se insufla aire a  $120^\circ\text{C}$  mediante caldera de biomasa. Las cintas de salida, entrada al túnel, recorrido interior y salida accionadas por motores independientes de 1.5cv/ud.

-El horno eléctrico de hasta  $250^\circ\text{C}$ . 4200W

-El desmoldeado se hace manual, al igual que la extracción del panel, si bien los moldes se mueven y se fijan mediante polipasto en un caso y de forma manual en otro.

-Además se emplea una sierra de 4cv, una carretilla de gas-oil para facilitar la alimentación de la desfibradoras, los tamices para clasificar el material, peso electrónico, micrómetro, y la maquinaria de ensayos ya vista en fotografías.

-Máquina de ensayo a flexión y prensa hidráulica ambas accionadas mediante el mismo sistema hidráulico con motor de 2cv.

-Balanzas de precisión, micrómetros, y pequeños accesorios para la realización de los ensayos bajo normas UNE

### **3.7.- TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

Un experimento es una prueba o ensayo. Un experimento diseñado es una o varias pruebas en las cuales se cambian las variables de entrada a un proceso, con el objetivo de observar e identificar las causas del cambio en las variables de salida (Montgomery D., 1991)

Objetivamente, el proceso de análisis transforma una variable de entrada en una salida o resultado. Algunas variables son controlables y otras no (podemos conocer el peso específico final pero resultará difícil conocer el peso específico en función de la presión de la prensa). Los objetivos del experimento en este caso específico son:

- Determinar que variables tienen mayor influencia en la respuesta.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que generan una respuesta óptima.

En cualquier experimento, los resultados y conclusiones dependen de la forma en que los datos han sido recopilados.

Las ciencias empíricas, en general, dependen en gran medida de la demostración de la existencia de efectos a partir del análisis estadístico de datos (Batanero C., 2.000).

La estadística se ha convertido en un método efectivo para describir con exactitud los valores de diferentes datos, sirviendo como herramienta para relacionar y analizar dichos datos.

Los diseños de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en la variable de interés, y si existe influencia de algún factor, tratar de cuantificarla.

La metodología del diseño de experimentos se basa propiamente en la experimentación. Es conocido que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan variabilidad, pudiendo ser grande o pequeña.

La variabilidad existente entre las unidades experimentales se denomina error experimental. En el contexto estadístico la palabra error se utiliza en sentido técnico no

peyorativo, refiriéndose a variaciones que a menudo son inevitables (Box, Hunter & Stuart, 1.989).

Los resultados o datos experimentales son necesarios para la estadística pues permiten estimar de un modo adecuado las medias a ensayar y así poder realizar pruebas de significación basadas en el error experimental. Con estas pruebas de significación podremos estimar la probabilidad de que las diferencias encontradas, entre los distintos comportamientos, sean o no debidas al azar.

El análisis de los datos lo hemos separado o dividido en dos fases:

En primer lugar definir el *tamaño del experimento*, definiéndose como el número total de observaciones, réplicas o repeticiones que debemos realizar.

Cochran y Cox (1.957), presentaron una fórmula o método para determinar el número de replicaciones ( $r$ ) con una aproximación o probabilidad dada ( $\beta$ ), requerida para obtener un resultado significativo.

Esta expresión es:

$$r \geq 2 \cdot \left( \frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \cdot (t_1 + t_2) \quad (3.9)$$

Siendo:

$\sigma$ , coeficiente de variación del conjunto de observaciones.

$\delta$ , diferencia verdadera entre valores medios que se desea detectar expresada en % de la media general.

$t_1$ , es el valor de la  $t$  de Student para la prueba de significancia.

$t_2$ , es el valor de la distribución de la  $t$  de Student correspondiente a la probabilidad de  $2 \cdot (1 - \beta)$ , siendo  $\beta$  el poder de la prueba.

Para calcular el número de observaciones que se deben de tomar para poder alcanzar los objetivos del experimento primeramente se realizan mediante tanteo varios ensayos en función de los grados de libertad y las repeticiones, por lo que emplearemos la siguiente ecuación simplificada.

$$r \geq \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} \quad (3.10)$$

Siendo  $\sigma$ , la desviación típica de los datos de la variable para muestras pequeñas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.11)$$

Quedando dentro de la seguridad, para  $0,90 \leq \beta \leq 0,95$  y  $t_1 + t_2 \leq 2$ .

La segunda fase ha consistido en realizar la estadística descriptiva de los datos muestrales para cada uno del conjunto de ensayos, así como la relación o correlación entre ellos.

El análisis estadístico se ha realizado mediante el programa estadístico SPSS 12 y en algunos casos concretos el statgraphics, para Windows, el cual nos permite observar e interpretar los resultados proporcionados (Ferrán M., 2.001).

El Análisis de la Varianza: ANOVA, es la herramienta fundamental para el estudio de una variable de interés a partir de observaciones que dependen de varios factores, porque permite descomponer la variabilidad de un experimento en componentes independientes a las que pueden asignarse diferentes causas.

Se define también como el proceso aritmético que descompone una suma total de cuadrados en componentes asociados con fuentes de varianza reconocidas (Steel y Torrie, 1.985).

El Análisis de la Varianza fue diseñado por Sir Ronald A. Fisher y se ha utilizado en todos los campos de investigación en los que los datos se miden cuantitativamente (Fisher R., 1958).

El interés principal del Análisis de la Varianza para un factor, se centra en analizar cuáles son las variables independientes y cuáles son las combinaciones de las mismas que producen diferencias en la conducta observada registrada como variable cuantitativa respecto del factor considerado.

El Análisis de la Varianza de medidas repetidas, se caracteriza por el hecho de que las observaciones o respuestas diferentes registradas para cada elemento, no son el resultado de valorar variables diferentes, sino el resultado de valorar un mismo aspecto distintas ocasiones.

Con el análisis de la varianza se llega a la conclusión de rechazar o no la hipótesis nula de igualdad de medias en los ensayos. En caso de rechazarla se sabe que al menos existe una diferencia significativa entre algún par de medias por lo que se puede recurrir a otros procedimientos como los métodos de comparaciones múltiples en el caso de querer mantener la hipótesis.

Una vez realizado el Análisis de la Varianza si los valores medios son significativos asintóticamente, se comprueba la presencia del valor más indicativo así como las diferencias entre ellos. Se llevan a cabo las pruebas de significación basadas en el error experimental.

Estas comparaciones de muestras se pueden realizar a priori por contraste, o posteriormente mediante comparaciones múltiples.

Destacan en las pruebas múltiples diversos procedimientos como son: t de Student, LSD (Low significant difference), Scheffé, Tukey, Student-Newman-Keuls, Duncan, Amplitud múltiple de Duncan, Waller-Duncan, etc. (Guarín N., 2002).

Para las comparaciones múltiples se emplea el método de Scheffé cuando los tamaños muestrales de cada repetición no son iguales y el método de Tukey, para tamaños de muestras iguales.

Para comprobar que los datos son adecuados al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población de estudio, se ha realizado como prueba de significación la prueba  $\chi^2$ -cuadrado, que es una prueba de bondad de ajuste basada en el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad.

Por último para obtener la función lineal entre las variables carga-deformación o tensión-deformación de los ensayos que permitan explicar o predecir la variable independiente, se analizó el modelo de regresión mediante el coeficiente de correlación de Pearson para estimar el grado de asociación, obteniendo la regresión lineal de las curvas carga-deformación de cada conjunto representativo de ensayos.

Finalmente se han tenido en consideración pruebas de autocorrelación. Se utiliza esta prueba para determinar si los resultados de cada una de las variables son independientes entre sí. La prueba se basa en las correlaciones lineales entre la secuencia observada de valores  $x_i$  y las secuencias retardadas 1,2,3,... k posiciones. El

estadístico al ser las observaciones independientes es e de Box-Ljung para cada coeficiente de la función de auto correlación que sigue una distribución  $\chi^2$  i-cuadrado.

Debemos observar el valor de la probabilidad no sea menor del 0,05. Tratamos de observar si los valores se encuentran dentro de los intervalos de confianza establecidos para los valores de la muestra y el anterior de otra serie. Para saber cual es el orden de autocorrelación analizamos el comportamiento de los coeficientes de autocorrelación parcial. En este caso el orden de autocorrelación es el primer coeficiente que se encuentre fuera de las bandas de confianza.

Los valores grandes de la autocorrelación y la autocorrelación parcial denotan componentes importantes a ser incluidas en el modelo que se proponga. En otras palabras, los picos revelan un punto significativo. Interesa mirar los picos, donde la autocorrelación se sale de la banda, (T es el tamaño de la muestra y r(s) los valores de correlación de cada muestra):

$$-1.96\sqrt{T} \leq r(s) \leq 1.96\sqrt{T}$$

Es enteramente análogo para la autocorrelación parcial, también se buscan picos en la gráfica de esta función, con la misma banda.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSION**



#### **4.-RESULTADOS Y DISCUSION.**

Tal y como se expresó en el punto 3.3. de Materiales y Métodos, (metodología en el trabajo), vamos a ir cumplimentando cada uno de los puntos a los que se hace mención.

##### **4.1.-DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE ESBELTEZ DE LAS FIBRAS.**

Primeramente necesitamos clasificar las partículas que nos encontramos una vez extraídas del desfibrador de mazas. Es necesario porque debemos tener control sobre la composición del tablero. Un exceso de finos provoca un exceso de resina y por el contrario una disminución del contenido de éstos provoca una falta de homogeneidad en el tablero. De ser así tendríamos que utilizar un segundo molino, esta vez de cuchillas para incorporar los finos necesarios.

Para la determinación de los coeficientes de esbeltez primeramente clasificamos las fibras por tamices decrecientes UNE, de forma que podamos analizar el contenido de cada tamiz.

Emplearemos la maquina vibradora para realizar el tamizado y pesaremos el material antes y después en cada tamiz, de esta forma podremos tomar decisiones sobre posibles tratamientos posteriores.

##### **Composición de las fibras:**

Para el tablero en bruto, en el análisis de fibras se ha partido de una muestra de 400gr.

Los tamices considerados han sido de 16mm, 10mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, de maya respectivamente, más un fondo de finos, tan finos que ajustaremos eliminando parte a la hora de realizar el tablero.

Los resultados del tamizado, han sido los siguientes:

Tabla 4.1. Resultado del tamizado muestra de caña en bruto.

Tamiz UNE	peso tamiz (gr)	peso total (gr)	peso muestra (gr)	Proporciones (%)	% sobre 100
tamiz 16	478,30	492,50	14,20	3,55	
tamiz 10	490,00	534,50	44,50	11,13	
tamiz 8	483,60	517,00	33,40	8,35	<b>23.03</b>
tamiz 4	532,60	709,00	176,40	44,10	
tamiz 2	523,30	550,70	27,40	6,85	<b>50.95</b>
tamiz 1	492,00	525,00	33,00	8,25	
fondo	372,70	443,80	71,10	17,78	<b>26,03</b>

Clasificamos los resultados en tres grupos; el primero de partículas gruesas que se salen de las medias estándares de fabricación de tableros: 23,03% (deberíamos de pasar de nuevo por la desfibradora una vez clasificado y seleccionado el material que compone los tableros). La segunda proporción del 50,95% corresponde a partículas de tamaño aparentemente idóneo para el tablero. El resto corresponde a partículas finas, es decir el 26,03%.

Se observa en la tabla que el contenido de finos procedentes del molino de partículas es superior al 20%, la referencia máxima de finos la tenemos en el 26,03%. Si eliminamos parte del fondo podemos ajustar la proporción de finos al 20%.

El contenido de partículas virutas del tamaño medio 3-4cm se sitúa en el 50,95% sobre el total de material seco.

#### **Esbeltez de las fibras obtenidas:**

La esbeltez es la relación entre el largo y grueso, como ya hemos indicado, los valores ideales para fibras obtenidas de la madera se encuentra entre 90-125. Vamos a determinar el parámetro clasificador del contenido de muestra de los tamices de 16mm, 10mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.125mm.

El resultado de la vectorización importado de autocad, podemos verlo a continuación.

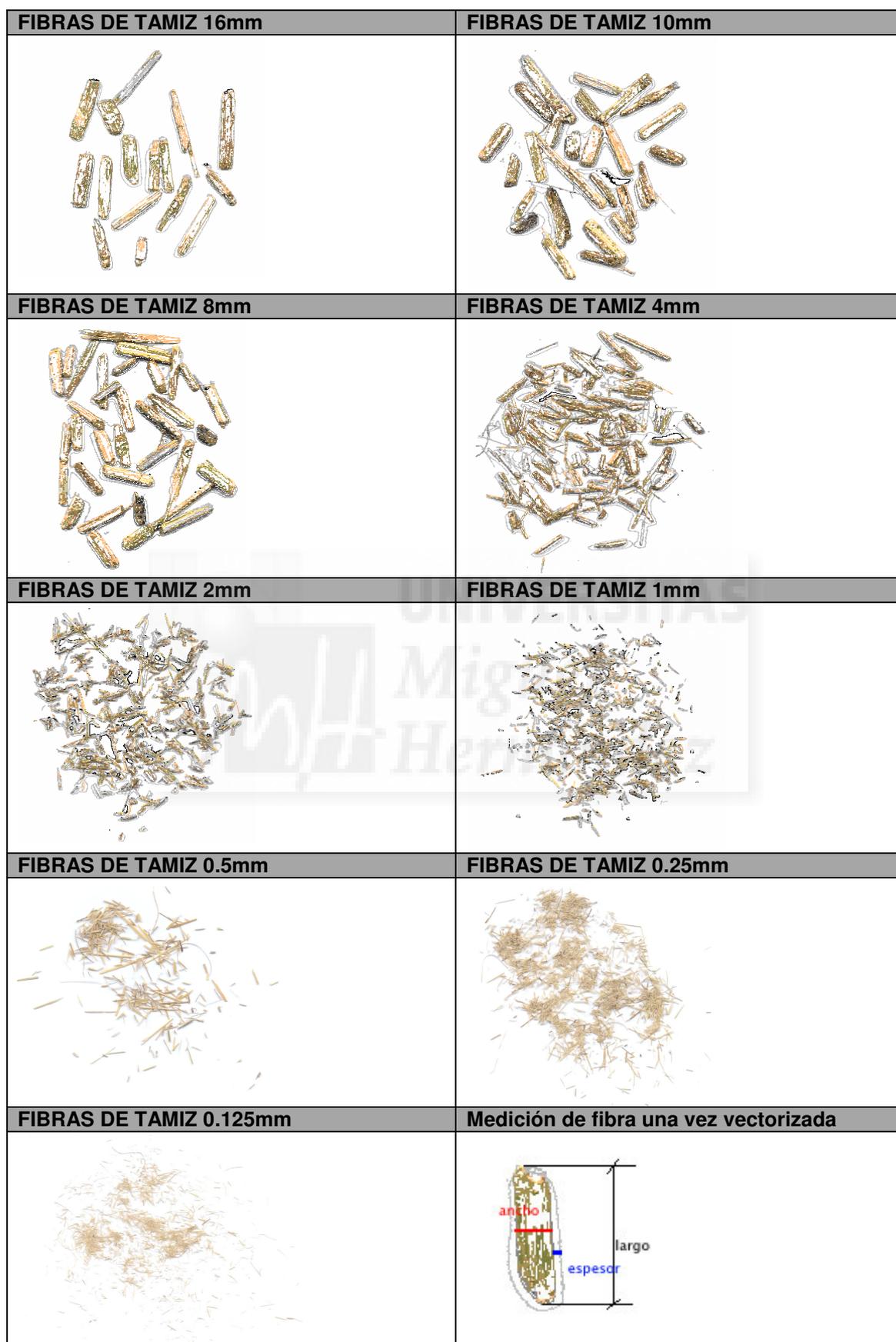


Fig 4.1. Representación de las fibras para su caracterización. Ya escaneadas y vectorizadas.

Se han medido al azar un número determinado de fibras extraídas de los tamices, y se ha determinado el coeficiente de esbeltez representativo de cada una de las muestras así como la media para saber si el contenido del tamiz o criba es el idóneo.

Como ya sabemos el tamiz de 16, el de 10 e incluso el de 8 mm, son excesivamente elevados por la esbeltez tan baja que caracterizan sus fibras, si bien se ha fabricado un lote de tableros incluyendo el tamiz de 8mm para evaluar resultados al respecto.

El resto de tableros con mayor control de fibras se pasaron por un tamiz previo de 5mm, y posteriormente se volvió a pasar por los sucesivos tamices normalizados.

Resultados del análisis más detallado en relación al parámetro de esbeltez de las partículas.

Tabla 4.2. Resultado del tamizado muestra de caña seleccionada.

<b>masa inicial neta 50gr</b>					
<b>tamiz UNE(mm)</b>	<b>peso bruto (gr)</b>	<b>peso recipiente (gr)</b>	<b>peso retenido (gr)</b>	<b>contenido (%)</b>	<b>ESBELTEZ</b>
8	483,7	483,6	0		47,36
4	543,3	532,6	10,8	21,82	80,62
2	530	522,2	7,8	15,76	99,78
1	504,2	492	12,2	24,65	90,14
0,5	466,9	454,7	12,2	24,65	110,86
0,25	421,9	417	4,9	9,90	119,74
0,125	425,3	424	1,3	2,63	FINOS
fondo	377,9	377,6	0,3	0,61	FINOS
masa final:			49,5		

Como resultado final, hemos fijado las dosificaciones de los tableros partiendo de que la masa inicial seca será siempre de 150gr.

Tenemos para los distintos tipos de tableros el siguiente criterio de dosificación, (a excepción del tablero en bruto cuya dosificación era la que provenía directamente del desfibrador y no hemos variado).

- *Tamiz de 8mm esbeltez muy baja, no deberíamos considerarla en la mezcla.*
- *Tamiz de 4mm, casi alcanza la esbeltez de 90, es un tamiz dudoso a analizar.*
- *Tamiz de 2mm, esbeltez dentro de los parámetros de diseño.*
- *Tamiz de 1mm, 0.5mm, esbeltez ideal para el tablero.*
- *Tamiz de 0.125mm lo consideramos como contenido de finos.*

- *El fondo finalmente lo eliminaremos del tablero, es excesivamente fino.*

#### **4.2.- DOSIFICACIONES DE FIBRAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TABLEROS EN FUNCION DEL PARAMETRO DE ESBELTEZ.**

El ajuste en la dosificación lo realizamos de la siguiente forma:

1°. Se ha fijado el contenido de finos en el 20% que es el valor de referencia de los tableros de aglomerado.

2°. Se ha ajustado el parámetro de esbeltez para eliminar mediante tamizado los “trozos” excesivamente gruesos del tablero.

3°. Se han ajustado las dosificaciones en proporción a 150gr de materia seca, en el caso de tableros fabricados en laboratorio<sup>1</sup>.

Las dosificaciones se adjuntan en las siguientes tablas mostrando el contenido en proporción de fibras del tablero fabricado en bruto y del resto de tableros en las tablas posteriores.

*Tabla 4.3. Dosificación que tienen los tableros fabricados en bruto.*

<b>TABLEROS EN BRUTO</b>		
<b>tamiz UNE (mm)</b>	<b>peso retenido (gr)</b>	<b>Contenido (%)</b>
<b>16</b>	14,2	3,55
<b>10</b>	44,5	11,13
<b>8</b>	33,4	9,79
<b>4</b>	176,4	51,68
<b>2</b>	27,4	8,03
<b>1</b>	33	9,67
<b>finos</b>	71,1	20,83
<b>Peso total ensayo 400 gr</b>		<b>100 %</b>

<sup>1</sup> En el caso de hormigones existen métodos para ajustar las dosificaciones entre los áridos, la arena, el cemento y finalmente el agua, como el de Bolomey, Faury, Fuller, etc.. Estas metodologías tratan de conseguir mezclas homogéneas que mejoren el funcionamiento del producto final y buscan la correlación entre las fibras para conseguir ajustes homogéneos en las dosificaciones ya que implica un mejor resultado aunque a la vez el proceso de tamizado y la separación de las fibras encarezcan el proceso productivo de la fabricación de tableros. Por otra parte no se conoce ninguna referencia de estos ajustes en los tableros de aglomerado de madera.

La proporción del contenido se refiere al 100% mientras que el ajuste de las dosificaciones posteriores se ha realizado con respecto a 150 gr de material de partida.

Tabla 4.4. Dosificación controlada para tableros con tamiz de 8mm.

<b>TABLEROS QUE INCLUYEN EL TAMIZ DE 8mm</b>				
<b>tamiz UNE (mm)</b>	<b>peso retenido (gr)</b>	<b>contenido (%)</b>	<b>fijado (%)</b>	<b>dosificación (gr)</b>
8	1	0,67	2,00	3,00
4	10,3	6,87	17,00	25,50
2	7,8	5,20	13,00	19,50
1	12,2	8,13	20,00	30,00
0,5	12,2	8,13	20,00	30,00
0,25	4,9	3,27	8,00	12,00
0,125	1,3	0,87	20,00	30,00
Dosificación en peso seco de material de caña común en gr				150

El tablero fabricado que incluye el tamiz de 8mm, a pesar de no cumplir con los parámetros de esbeltez, incorpora las proporciones de partículas reflejadas en la tabla tanto en proporciones de %, como en peso referido a 150gr de materia.

Del mismo modo se han tratado las siguientes dosificaciones que se ajustan más al resultado que buscamos (mejor relación de esbeltez), es decir tableros que se parecen más los tableros de aglomerado de madera.

Tabla 4.5. Dosificación controlada para tableros con tamiz de 4mm.

<b>TABLEROS QUE INCLUYEN EL TAMIZ DE 4mm</b>				
<b>tamiz UNE (mm)</b>	<b>peso retenido (gr)</b>	<b>contenido (%)</b>	<b>fijado (%)</b>	<b>dosificación (gr)</b>
4	10,3	6,87	17,00	25,50
2	7,8	5,20	13,00	19,50
1	12,2	8,13	21,00	31,50
0,5	12,2	8,13	21,00	31,50
0,25	4,9	3,27	8,00	12,00
0,125	1,3	0,87	20,00	30,00
Dosificación en peso seco de material de caña común en gr				150

Tabla 5.6. Dosificación controlada para tableros sin el tamiz de 4mm.

<b>TABLEROS QUE NO CONTIENEN EL TAMIZ DE 4mm</b>				
<b>tamiz UNE (mm)</b>	<b>peso retenido (gr)</b>	<b>contenido (%)</b>	<b>fijado (%)</b>	<b>dosificación (gr)</b>
2	7,8	5,20	16,00	24,00
1	12,2	8,13	25,00	37,50
0,5	12,2	8,13	25,00	37,50
0,25	4,9	4,90	15,00	22,50
0,125	1,3	1,30	20,00	30,00
Dosificación en peso seco de material de caña común en gr				150

### 4.3.-TABLEROS SIN SELECCIÓN DE FIBRAS. TABLEROS EN BRUTO

#### 4.3.1.-CONSIDERACIONES SOBRE LA FABRICACION.

Hemos confeccionado dos tableros de distinta densidad utilizando la caña directamente del desfibrado mecánico.

##### Resultados del control de humedad de las fibras:

Se han realizado tres ensayos de humedad obteniendo un valor inesperado, muy por encima del 15% de referencia para la caña seca.

Encontramos una humedad del 27,25% e incluso del 28,22% sobre el total de materia seca, es decir la caña que nos han suministrado no estaba totalmente seca y eso nos va a provocar problemas de fraguado de la resina en el tablero como más adelante observaremos.

Este inconveniente nos ha provocado que debamos aumentar el tiempo de fraguado en el horno de secado y una rotura parcial del tablero por falta de fraguado.

El resultado final para el primer tablero, se muestra en la figura:



Fig 4.2. Desmoldeo del tablero fabricado en bruto.

#### **4.3.2.-TABLEROS INDUSTRIALES OBTENIDOS.**

Los tableros obtenidos, tienen las siguientes características y propiedades:

##### **Tablero n°1.**

*Dimensiones del tablero: 90cm x 65cm x 15 cm de espesor*

*Peso del tablero: 51.22*

*Densidad del tablero: 583,73 kg/m<sup>3</sup>*

##### **Tablero n°2.**

*Dimensiones del tablero: 90cm x 65cm x 14,5 cm de espesor*

*Peso del tablero: 55,5 kg*

*Densidad del tablero: 654,28 kg/m<sup>3</sup>*

Al ser la humedad de partida muy alta, para comparar con el resto de probetas que realizaremos en laboratorio, se ha sometido a uno de los tableros a un proceso de secado, concretamente el número dos que es el que mayor densidad, de forma que se reduzca el contenido en humedad y poder realizar los ensayos correspondientes<sup>2</sup>.

Para el primer lote de ensayos, solamente hemos empleado un lote de 5 probetas que se han cortado en una carpintería con una maquina de corte de cinta, obteniendo cinco referencias.

Como se observa en la fotografía posterior, en estos tableros aparecen un número de huecos importante y las partículas ciertamente también son elevadas (esbeltez muy baja), pero sobre todo al ser un tablero tan grueso (14,5cm, 15cm de espesor), la falta de compactación es obvia y pensamos que los resultados no serán representativos del tablero que buscamos.

---

<sup>2</sup> El material desfibrado se ha dejado secar 6 meses más para reducir la humedad de forma natural. Transcurrido ese tiempo se ha pasado del contenido de humedad del 27% a un contenido del 8% aunque sigue estando un poco por encima de la fabricación de tableros de aglomerado ya que debería estar a un 6%, esto simplemente influirá en el tiempo de permanencia en la estufa de secado.

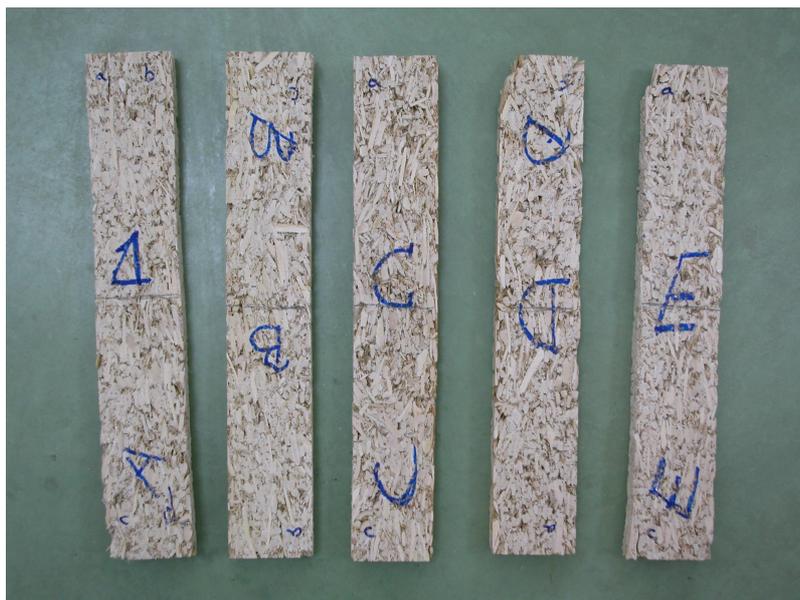


Fig 4.3. Tableros cortados para ensayar del bloque en bruto.

#### 4.3.3.-ENSAYOS A FLEXION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Las probetas mostradas en la figura anterior se someten al ensayo de rotura a flexión, tal y como se describe en el apartado 3.5., de Ensayos.

Se han tomado valores de carga y deformación de los tableros hasta la rotura de los mismos obteniendo las gráficas correspondientes para cada ensayo de carga-deformación.

Para extrapolar los ensayos realizados como representativos del tablero, debemos comprobar que la muestra tomada es característica, desde un punto de vista estadístico, y así conocer si los resultados de estos tableros se adaptan al comportamiento general del tablero.

Inicialmente, para determinar el tamaño de la muestra, tal y como estipula en procedimiento se deben realizar ensayos previos comprobando su comportamiento mecánico.

El número de repeticiones necesarias para la obtención de la carga de rotura o tensión de rotura, se obtuvo mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, con el objetivo de que el ensayo tenga una probabilidad del 95% de ser significativo, y un margen de error del 10%.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la media, desviación típica de los valores de carga máxima y deformación máxima de cada muestra, así como el valor mínimo del tamaño de muestra, se observa que una de las muestras ha sido eliminada de los ensayos por dar valores totalmente incoherentes:

Tabla 4.7. Aplicación de la ec. Cochran y Cox para tableros en bruto.

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,130	8,130
2	0,110	7,930
3	0,110	8,104
4	0,120	8,115
5	Nula	Nula
media	0,118	8,070
Desviación típica	0,010	0,094
Ec. Cochran y Cox	2,656	0,054

En la tabla 4.7, se ha aplicado tanto a los valores de carga como a los de deformación, siendo:

El valor medio de la variable Carga= 0,118 kN

El valor medio de la variable Deformación= 8.07 mm

Y siendo  $\sigma$ , la desviación típica de los datos de la variable para muestras pequeñas que adopta un valor medio de 0.01 para la carga y de 0.094 para la deformación (ecuación 3.11).

La ecuación (3.10) quedaría para la carga del siguiente modo coincidiendo con los valores de la tabla:

$$r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,01^2}{0,0118^2} = 2,656$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

$\delta$ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Como ya se ha indicado, se realizaron 5 ensayos o repeticiones con los tableros de fibra de caña común aunque finalmente solo se utilizaron los resultados carga-deformación de 4 de ellos.

Durante la realización de cada ensayo se anotaron para cada probeta un promedio de 16 puntos de carga-deformación con un total de 64 resultados.

Una vez obtenido los datos para cada probeta se realizó el estudio estadístico descriptivo, consistiendo básicamente en las siguientes pruebas:

1. Pruebas no paramétricas
2. Análisis de la Varianza
3. La prueba  $\chi^2$  i-cuadrado.
4. Coeficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

### Pruebas no paramétricas

Las pruebas no paramétricas consisten en calcular la media, la desviación típica, así como ver en valor mínimo y máximo de todos los valores obtenidos para cada probeta, como se indica en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Pruebas no paramétricas tableros en bruto. **Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	64	0,00	0,13	0,0670	0,03963	0,002
deformación	64	0,000	9,071	3,51302	2,613935	6,833
N válido (según lista)	64					

### Análisis de la Varianza

Aplicamos el ANOVA, como se observa en la tabla 4.9, para analizar el comportamiento de las variables y comprobar que los valores medios son significativos asintóticamente.

Tabla 4.9. Análisis de la Varianza tableros en bruto. **ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,000	3	0,000	0,020	0,996
	Intra-grupos	0,099	60	0,002		
	Total	0,099	63			
deformación	Inter-grupos	2,337	3	0,779	,109	0,954
	Intra-grupos	428,120	60	7,135		
	Total	430,457	63			

Observando que existe correlación entre las variables y que no hay diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos realizados (en la columna final se

observa como el resultado de los valores de carga como de deformación están próximos a 1, no sería significativos si los resultados se encontrasen por debajo del 0,05). Si se produjese este hecho, para comprobar que los datos tomados, tanto de carga como de deformación son significativos deberíamos de realizar las comprobaciones múltiples y si éstas son significativas existe correlación entre las variables. Utilizando para ello el método de comparaciones múltiples entre los datos obtenidos para cada probeta en este ensayo, cuando los tamaños de cada muestra no son iguales se debe empelar el método de Scheffé y si los tamaños de muestra son iguales el método de Tukey.

### La prueba $\chi^2$ cuadrado.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha realizado mediante el análisis de los residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba o test del  $\chi^2$ -cuadrado.

El resultando como aparece en la tabla 4.10, que se pueden aceptar los datos obtenidos ya que son representativos de la población estudiada, ya que el p-valor asociado al estadístico de contraste (significación asintótica) es mayor que 0,05.

#### Estadísticos de contraste

Tabla 4.10. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros en bruto.

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	14,750	14,750
gl	13	59
Sig. asintót.	0,323	1,000

a) 14 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 4,6.  
b) 60 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

### Coeficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

Con la realización de este diagrama se puede observar a priori de forma intuitiva la correlación que existe entre los datos obtenidos para cada probeta. Se representan los puntos de carga-deformación de cada ensayo superpuestos en un diagrama común. Solamente se han reflejado valores hasta la carga de rotura descartando el resto de la curva.

Nos permite estimar el grado de asociación entre las muestras de cada ensayo así como obtener la regresión lineal de las curvas carga-deformación del mismo. El ensayo del tablero número 5, precisamente se descartaba por aparecer fuera de los límites de correlación establecidos. En la figura 4.5, aparece el diagrama medio de carga respecto a la deformación. Obteniéndose una distribución normal, así como la recta de regresión con intervalo de predicción de la media del 95%, siendo el grado de ajuste ( $R^2$ ) de 0,90.

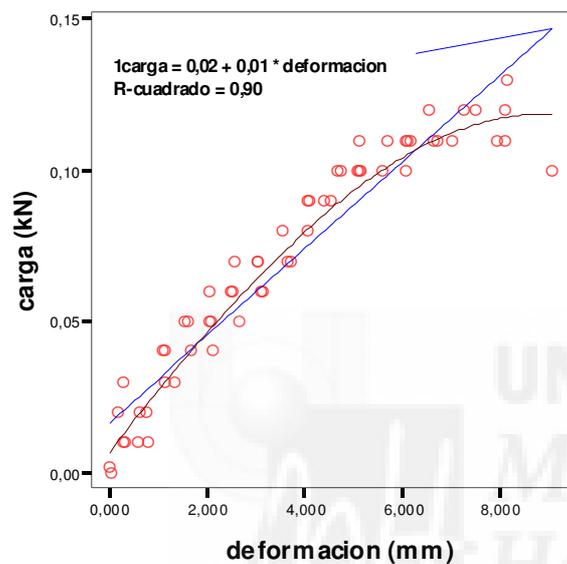


Fig 4.4. Gráfica de correlación para tableros fabricados en bruto. Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Se representa además de la recta de correlación, una curva de ajuste de la muestra que asocia el resultado medio al diagrama del conjunto carga-deformación para el caso de tableos que contienen todos los tamices.

#### 4.3.4.-TENSION DE ROTURA, DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD.

Quizás los valores más representativos para los materiales desde el punto de vista estructural, además de los valores de densidad, son los que exponemos en la siguiente tabla.

Tabla 4.11. Resumen de propiedades para tableros en bloque.

<b>TABLEROS EN BLOQUE:60x60x16cm</b>		
<b>TENS. ROT kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>DEFORMACION (mm)</b>	<b>M. ELAST. N/mm<sup>2</sup></b>
38,630	8,130	1242,000
37,310	7,930	1295,000
34,570	8,104	838,000
38,540	8,115	674,000
<b>37,225</b>	<b>8,069</b>	<b>976,279</b>

Los valores de la última fila corresponden a las medias de los 4 tableros.

#### **4.4.-TABLEROS CON SELECCIÓN DE FIBRAS. TABLEROS QUE INCLUYEN HASTA EL TAMIZ DE 8mm.**

##### **4.4.1.-CONSIDERACIONES SOBRE LA FABRICACION.**

Se observa como el tamiz de 8mm aún le confiere un aspecto tosco con trozos de caña de proporciones elevadas en comparación con los tableros convencionales de aglomerado de madera.



Fig 4.5. Tablero con tamiz de 8mm. Interior del molde antes de cerrar.

Con el proceso controlado, utilizando el tamiz de 8mm, se han fabricado dos lotes con dos probetas cada uno con la siguiente dosificación. Disponemos de 4 tableros para ensayar. La presión de la prensa ha sido la de un tablero normal de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

##### **4.4.2.-TABLEROS OBTENIDOS.**

Se observa claramente en el tablero confeccionado el grueso de las partículas con grandes huecos entre fibras que claramente denotan una falta de finos.

Se podía haber paliado este defecto aumentando la composición de finos, pero la mezcla hubiese necesitado más proporción de resina encareciendo el tablero final.

Este tablero al igual que el fabricado anteriormente nos sirve a modo de testigo para analizar el comportamiento en extremo de la caña, y se sale fuera de las consideraciones de los tableros de aglomerado de madera.



Fig 4.6. Tablero con tamiz de 8mm.Resultado final.

#### 4.4.3.-ENSAYOS A FLEXION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Como metodología general se ensayan a flexión todos los tableros obteniendo un total de 49 resultados de valores carga-deformación.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Analizamos el tamaño de la muestra para observar si es o no representativa respecto de la carga y la deformación.

Tabla 4.12. Comprobación *ec.* Cochran y Cox para tableros que incluyen el tamiz 8mm.

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,130	6,839
2	0,120	6,117
3	0,140	7,125
4	0,120	6,365
media	0,128	6,612
Desviación típica	0,010	0,455
Ec. Cochran y Cox	2,256	1,893

La muestra ha sido finalmente de 4 ensayos que es mayor que el valor de 2.256 de la ecuación de Cochran y Cox,.

### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.13. Pruebas no paramétricas para tableros que incluyen el tamiz 8mm.

#### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	49	0,00	0,14	0,0673	0,04915	0,002
deformación	49	0,000	7,125	3,41586	2,267743	5,143
N válido (según lista)	49					

### Análisis de la Varianza

Aplicamos el ANOVA, como se observa en la tabla, para analizar el comportamiento de las variables y comprobar que los valores medios son significativos asintóticamente.

Tabla 4.14. Análisis de la Varianza tableros en bruto. ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,014	3	0,005	1,975	0,132
	Intra-grupos	0,102	44	0,002		
	Total	0,115	47			
deformación	Inter-grupos	24,231	3	8,077	1,652	0,191
	Intra-grupos	215,169	44	4,890		
	Total	239,399	47			

Se acercan más al valor de 0,05 que el ensayo anterior pero siguen estando los valores por encima.

### La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

#### Estadísticos de contraste

Tabla 4.15. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con tamiz de 8mm.

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	9,375	8,250
gl	16	44
Sig. asintót.	0,897	1,000

- a) 17 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 2,8.
- b) 45 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

### Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

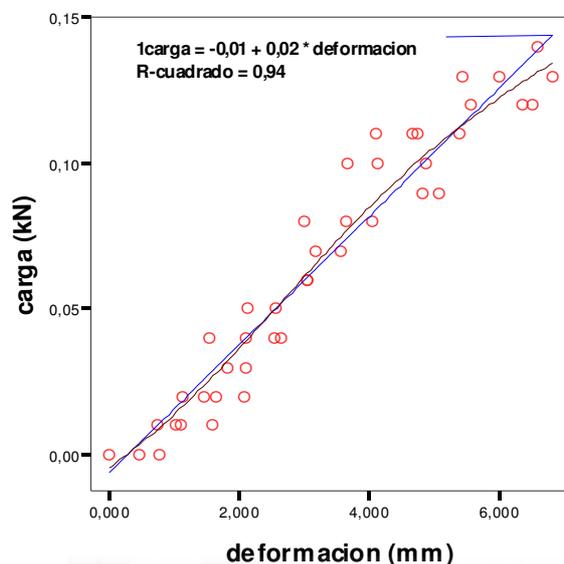


Fig 4.7. Gráfica de correlación para tableros fabricados con tamiz de 8mm. Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Hay una agrupación de valores con un ajuste bastante acertado del 0,94 frente al 0,90 del caso anterior de tableros en bruto.

#### 4.4.4.-TENSION DE ROTURA, DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD.

Se expresan los valores representativos del ensayo con el resultado medio de tensión de rotura, deformación y módulo de elasticidad.

Tabla 4.16. Resumen de propiedades para tableros en bloque.

<b>CON TAMIZ 8mm. 30kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>TENS. ROT kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>DEFORMACION (mm)</b>	<b>M. ELAST. N/mm<sup>2</sup></b>
78,670	6,839	1153,000
55,630	6,117	798,000
98,720	7,125	1381,000
70,690	6,365	750,000
<b>74,340</b>	<b>6,612</b>	<b>988,034</b>

#### **4.5.-TABLEROS CON SELECCIÓN DE FIBRAS. TABLEROS QUE INCLUYEN HASTA EL TAMIZ DE 4mm.**

##### **4.5.1.-CONSIDERACIONES SOBRE LA FABRICACION.**

Como se indicaba en el esquema de trabajo del capítulo de materiales y métodos apartado 3.3, para la fabricación de tableros que incluyen el tamiz de 4mm, se han optado por dos líneas de ensayo:

- 1) Tableros con alta presión de 250 kg/cm<sup>2</sup>.
- 2) Tableros con presión estándar de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se observan en la figura los 150gr de caña desfibrada una vez cribada en el tamiz de 5mm, antes de pasar por la máquina vibradora.

En la foto de la derecha solo tamiz de 4mm, aparecen algunas partículas con un excesivo grueso que le confiere la clasificación de esbeltez por debajo de 90 aunque se encuentra muy próximo al valor de esbeltez ideal.



*Fig 4.8, 4.9. Material previo al tamizado y resultado del Tamiz de 4mm, respectivamente.*

#### 4.5.2.-TABLEROS OBTENIDOS.



Fig 4.10,4.11. Desmoldeo del tablero que incluye el tamiz de 4mm y aspecto final de los tableros fabricados respectivamente.

En el tablero, se observan algunas partículas que claramente se salen de la distribución homogénea con anchos excesivos en el aspecto general del tablero.

#### 4.5.3.-ENSAYOS A FLEXION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

##### 4.5.3.1.-TABLEROS CON PRESION DE PRENSA DE 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.17. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros que incluyen el tamiz 4mm, presión 250kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,160	6,250
2	0,170	6,579
3	0,140	5,450
4	0,150	6,021
media	0,155	6,075
Desviación típica	0,013	0,475
Ec. Cochran y Cox	2,775	2,450

Finalmente se realizaron 6 ensayos con un total de 79 valores de carga-deformación.

## Pruebas no paramétricas

Tabla 4.18. Pruebas no paramétricas para tableros que incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .  
Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	79	0,00	0,18	0,0843	0,05695	0,003
deformación	79	0,000	7,027	2,67981	1,958058	3,834
N válido (según lista)	79					

## Análisis de la Varianza

Tabla 4.19. Análisis de la Varianza para tableros que incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,014	5	0,003	0,870	0,505
	Intra-grupos	0,239	73	0,003		
	Total	0,253	78			
deformación	Inter-grupos	17,503	5	3,501	0,908	0,481
	Intra-grupos	281,549	73	3,857		
	Total	299,051	78			

Seguimos por encima del 0,05, sigue siendo válido y no realizaremos la estadística comparativa.

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.20. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con tamiz de 4mm, presión  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	20,329	23,570
gl	18	72
Sig. asintót.	0,315	1,000

a) 19 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 4,2.

b) 73 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

### Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

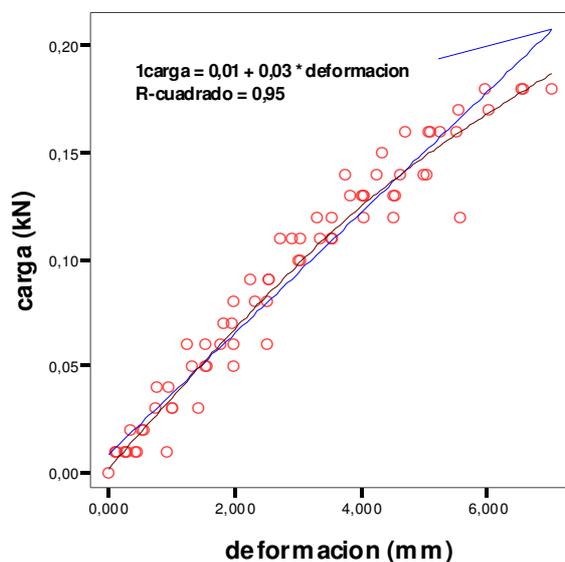


Fig 4.12. Gráfica de correlación para tableros fabricados con tamiz de 4mm. P=250 kg/cm<sup>2</sup>. Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Todos los resultados aparecen agrupados a lo largo de la recta de correlación a excepción de un punto disperso que hace disminuir ligeramente la correlación.

#### 4.5.3.2.- TABLEROS CON PRESION DE PRENSA DE 30 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Tabla 4.21. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros que incluyen el tamiz 4mm. P=30 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,130	6,826
2	0,120	6,125
3	0,110	6,751
4	0,120	6,085
media	0,120	6,447
Desviación típica	0,008	0,396
Ec. Cochran y Cox	1,852	1,510

Se tuvieron en consideración solamente 2 ensayos con 25 valores de carga-deformación.

## Pruebas no paramétricas

Tabla 4.22. Pruebas no paramétricas para tableros que incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	25	0,00	0,13	0,0680	0,04203	0,002
deformación	25	0,000	6,826	2,82464	1,981407	3,926
N válido (según lista)	25					

## Análisis de la Varianza

Tabla 4.23. Análisis de la Varianza para tableros que incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,002	1	0,002	1,232	0,278
	Intra-grupos	0,040	23	0,002		
	Total	0,042	24			
deformación	Inter-grupos	3,374	1	3,374	0,854	0,365
	Intra-grupos	90,849	23	3,950		
	Total	94,223	24			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.24. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros que incluyen el tamiz de 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	3,600	0,920
gl	12	23
Sig. asintót.	0,990	1,000

a) 13 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,9.

b) 24 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

### Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

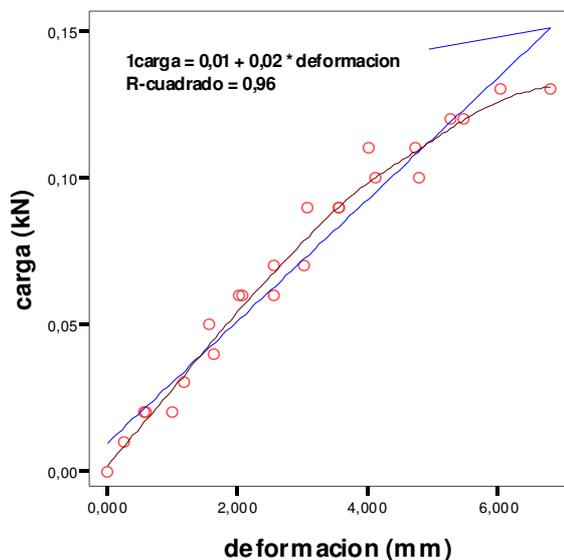


Fig 4.13. Gráfica de correlación para tableros fabricados con tamiz de 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Se observa que a pesar de considerar solamente dos tableros la correlación es muy alta. Las gráficas carga-deformación son muy similares en ambos tableros.

#### 4.5.4.-TENSION DE ROTURA, DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD

Tabla 4.25. Resumen de propiedades para tableros con tamiz de 4mm.

CON TAMIZ 4mm 250g/cm <sup>2</sup>			CON TAMIZ 4mm 30g/cm <sup>2</sup>		
TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>	TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>
183,980	7,027	1396,000	87,080	6,826	1208,000
152,160	6,579	1699,000	81,360	6,125	1103,000
128,410	4,991	1268,000	89,500	6,751	1250,000
167,520	4,340	1333,000	78,560	6,085	995,000
128,150	5,040	1283,000			
163,420	5,240	1363,000			
<b>152,567</b>	<b>5,458</b>	<b>1383,434</b>	<b>84,011</b>	<b>6,447</b>	<b>1134,603</b>

La tensión de rotura de los tableros fabricados con presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  es mucho más elevada que en los tableros de menor presión. Se obtiene así mismo una menor deformación y un mejor módulo de elasticidad en el tablero más prensado.

#### 4.6.-TABLEROS CON SELECCIÓN DE FIBRAS. TABLEROS QUE INCLUYEN HASTA EL TAMIZ DE 2mm.

##### 4.6.1.-CONSIDERACIONES SOBRE LA FABRICACION.

Al igual que en el caso anterior, nos encontramos con tableros que se aproximan en esbeltez a los tableros de madera, se ha hecho la consideración de estudiar el comportamiento con dos capacidades de prensado. Tableros con alta presión de 250 kg/cm<sup>2</sup> y tableros con presión estándar de 30 kg/cm<sup>2</sup>.



Fig 4.14. Selección de fibras sin tamiz de 4mm. Composición de mezcla.

Se observa como aparece una mezcla más homogénea, los “trozos” aleatorios de gruesos que aparecían al incluir el tamiz de 4mm, ya no aparecen.

##### 4.6.2.-TABLEROS OBTENIDOS.



Se observa como ya no se encuentran partículas dispersas y el aspecto es el más homogéneo de todos los tableros fabricados hasta ahora.

Fig 4.15. Tableros sin tamiz de 4mm. Resultado final.

### 4.6.3.-ENSAYOS A FLEXION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

#### 4.6.3.1.-TABLEROS CON PRESION DE PRENSA DE 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.26. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,160	5,047
2	0,190	6,017
3	0,170	6,052
4	0,150	5,093
media	0,168	5,552
Desviación típica	0,017	0,557
Ec. Cochran y Cox	4,158	4,031

Se tuvieron en consideración 6 ensayos.

#### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.27. Pruebas no paramétricas para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	81	0,00	0,21	0,0928	0,06255	0,004
deformación	81	0,000	6,052	2,61994	1,801476	3,245
N válido (según lista)	81					

#### Análisis de la Varianza

Tabla 4.28. Análisis de la Varianza tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,014	5	0,003	0,701	0,625
	Intra-grupos	0,299	75	0,004		
	Total	0,313	80			
deformación	Inter-grupos	8,526	5	1,705	0,509	0,768
	Intra-grupos	251,099	75	3,348		
	Total	259,625	80			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.29. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	20,852	23,630
gl	21	74
Sig. asintót.	0,468	1,000

- a) 22 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 3,7.
- b) 75 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

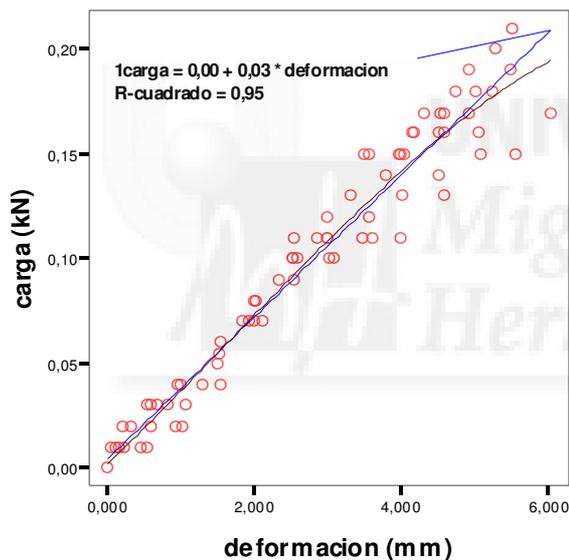


Fig 4.16. Gráfica de correlación para tableros fabricados sin tamiz de 4mm.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Se han obtenido valores dispersos en los ensayos de este tipo de tableros. En los 4 primeros ensayos, el valor máximo se situó en 0,19kN, con un mínimo de 0,15kN, pero en los dos ensayos posteriores, encontramos valores de carga de rotura elevados, uno de ellos por encima de 0,23kN. A pesar de la no uniformidad en la rotura el comportamiento de todos los tableros es similar en regresión, desviándose el comportamiento a partir de 0,12kN.

#### 4.6.3.2.- TABLEROS CON PRESION DE PRENSA DE 30Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.30. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,130	6,014
2	0,150	5,672
3	0,140	6,128
4	0,120	6,769
media	0,135	6,146
Desviación típica	0,013	0,458
Ec. Cochran y Cox	3,658	2,226

Se tuvieron en consideración 4 ensayos con 51 valores de datos de ensayo.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.31. Pruebas no paramétricas para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	51	0,00	0,18	0,0784	0,05247	0,003
deformación	51	0,000	7,305	2,92043	2,156273	4,650
N válido (según lista)	51					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.32. Análisis de la Varianza para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,003	3	0,001	0,351	0,788
	Intra-grupos	0,135	47	0,003		
	Total	0,138	50			
deformación	Inter-grupos	16,567	3	5,522	1,202	,319
	Intra-grupos	215,909	47	4,594		
	Total	232,476	50			

### La prueba $\chi^2$ i-cuadrado.

#### Estadísticos de contraste

Tabla 4.33. Prueba del  $\chi^2$  i-cuadrado para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	10,471	8,294
gl	18	47
Sig. asintót.	0,915	1,000

- a) 19 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 2,7.
- b) 48 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

### Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

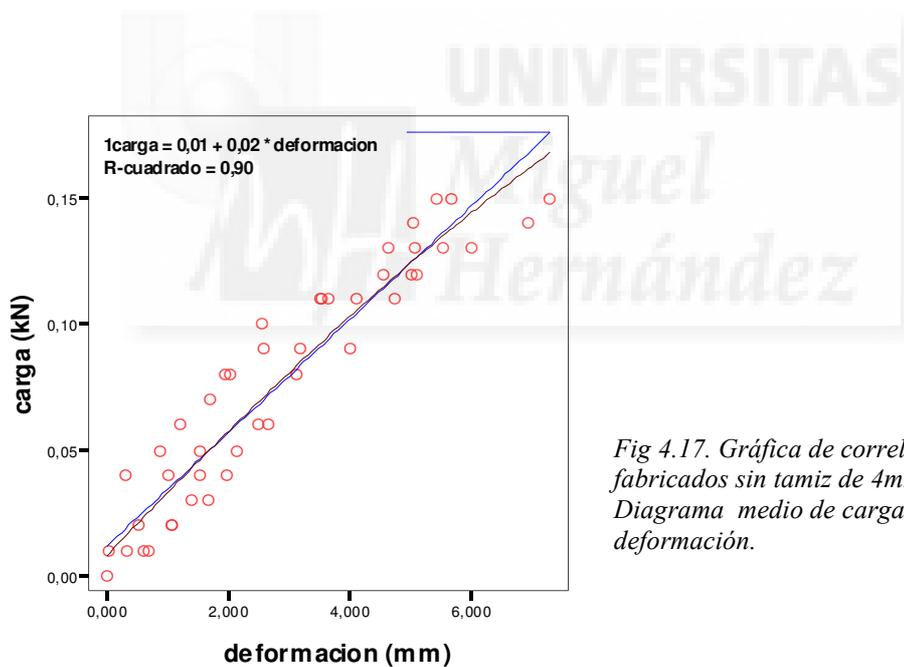


Fig 4.17. Gráfica de correlación para tableros fabricados sin tamiz de 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Hasta ahora la peor correlación que hemos obtenido es del 0,90. Se observa como los datos mantienen la misma pendiente, pero se separan de la recta de correlación central.

#### 4.6.4.-TENSION DE ROTURA, DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD.

Tabla 4.34. Tabla de resultados para tableros sin tamiz de 4mm.

SIN TAMIZ 4mm 250g/cm <sup>2</sup>			SIN TAMIZ 4mm 30g/cm <sup>2</sup>		
TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>	TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>
133,470	5,047	1382,000	90,390	6,014	1897,000
147,150	6,017	2028,000	88,610	5,672	1574,000
132,180	6,029	1446,000	93,390	6,128	967,000
171,880	6,052	1699,000	116,460	6,769	1331,000
149,930	5,093	1957,000			
203,610	6,032	2405,000			
160,560	5,934	1641,000			
<b>155,385</b>	<b>5,727</b>	<b>1764,152</b>	<b>96,610</b>	<b>6,146</b>	<b>1400,133</b>

Sigue comprobándose que el mayor prensado contribuye a una mejora en el tablero en todos los sentidos, tanto en tensión de rotura, como en el módulo de elasticidad y en una menor deformación.

#### 4.7.-TABLEROS DE AGLOMERADO.

Para poder tener una referencia externa comparativa, hemos ensayado dos muestras correspondientes a los tableros de aglomerado de madera de la mejor calidad. Se trata de un tablero multicapa de 13,2mm de espesor. Es evidente que la comparación es solamente como referencia para interpretar los resultados que obtenemos con los tableros de caña común.



Fig 4.18. Tablero de aglomerado de madera ensayado.

#### 4.7.1.-ENSAYOS A FLEXION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.35. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,330	5,886
2	0,360	5,869
media	0,345	5,878
Desviación típica	0,021	0,012
Ec. Cochran y Cox	1,512	0,002

Se tuvieron en consideración 2 ensayos con 28 valores de carga-deformación.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.36. Pruebas no paramétricas para tableros de aglomerado de madera.

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	28	0,00	0,36	0,1464	0,12001	0,014
deformación	28	0,000	5,886	2,85764	1,923277	3,699
N válido (según lista)	28					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.37. Análisis de la Varianza tableros de aglomerado de madera. ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,001	1	0,001	0,096	0,759
	Intra-grupos	0,387	26	0,015		
	Total	0,389	27			
deformación	Inter-grupos	0,032	1	0,032	0,008	0,928
	Intra-grupos	99,841	26	3,840		
	Total	99,873	27			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.38. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros de aglomerado de madera.

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	3,429	0,929
gl	21	26
Sig. asintót.	1,000	1,000

a) 22 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

b) 27 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

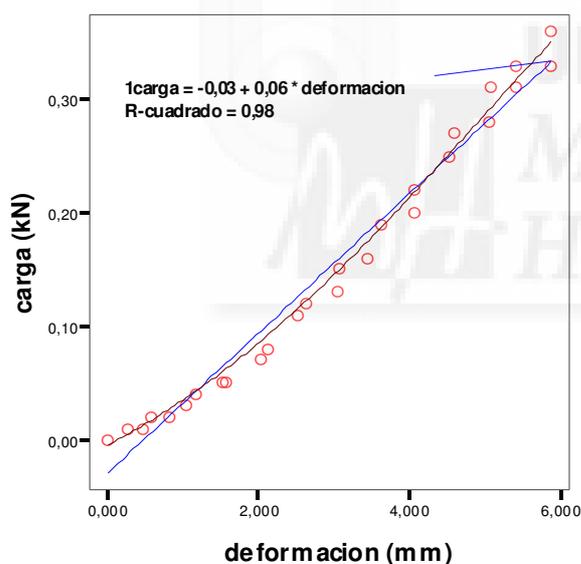


Fig 4.19. Gráfica de correlación para tableros de aglomerado de madera. Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

La correlación de los tableros ensayados es casi perfecta llegando casi a 1 y es lógico, ya que forman parte de un proceso de fabricación industrial en el que se han optimizado y ajustado todos los parámetros.

#### 4.7.2.-TENSION DE ROTURA, DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD.

Tabla 4.39. Tabla de resultados para tableros de aglomerado de madera

AGLOMERADO DE MADERA		
TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>
153,060	5,886	1972,000
166,980	5,869	2323,000
<b>159,869</b>	<b>5,877</b>	<b>2140,317</b>

Los valores de rotura y módulo de elasticidad son mayores que los obtenidos con los tableros de aglomerado, pero encontramos una ligera dispersión en ambos valores de módulo de elasticidad evaluados según norma UNE.

#### 4.8.-COMPARACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Ahora debemos comparar entre los distintos tableros fabricados para poder analizar su comportamiento y confirmar la relación que existe entre la esbeltez de las fibras y el resultado final. En definitiva, vamos a comparar los tableros en función del tipo de fibra de tamiz que incluye y como alternativa la presión de prensa con la que han sido fabricados.



La primera comparación será la visual, el aspecto de los distintos tableros bajo el punto de la fibra que contienen. Ya se han expuesto fotografías de en cada caso donde se ha observado la textura de cada una de los tableros. Si descartamos los fabricados en bruto que el número de huecos era característico, tenemos las siguientes referencia visual.

Fig 4.20. Tableros con tamiz de 8mm y sin el tamiz de 4mm (con el tamiz de 2mm).



Fig 4.21. Tableros con tamiz de 4mm y sin el tamiz de 4mm.

Se observa como cambia significativamente la textura del tablero a medida que bajamos el contenido en gruesos.

Se han calculado tensiones, tensiones de rotura, módulos de elasticidad, densidades, pesos y deformaciones de cada tablero.

A modo de resumen, observamos los siguientes resultados referido a los valores medios:

Tabla 4.40. Tabla resumen de resultados para tableros.

TIPOLOGIA DE TABLERO ENSAYADO	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	TENS. ROT kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACION (mm)	M. ELAST. N/mm <sup>2</sup>
<b>TABLEROS EN BLOQUE</b>	<b>654,28</b>	<b>37,225</b>	<b>8,069</b>	<b>976,279</b>
<b>CON TAMIZ 8mm. 30kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>565,56</b>	<b>74,34</b>	<b>6,845</b>	<b>988,034</b>
<b>CON TAMIZ 4mm 250g/cm<sup>2</sup></b>	<b>753,64</b>	<b>152,567</b>	<b>5,458</b>	<b>1383,434</b>
<b>CON TAMIZ 4mm 30g/cm<sup>2</sup></b>	<b>598,05</b>	<b>84,011</b>	<b>6,063</b>	<b>1134,603</b>
<b>SIN TAMIZ 4mm 250g/cm<sup>2</sup></b>	<b>762,80</b>	<b>155,385</b>	<b>5,727</b>	<b>1764,152</b>
<b>SIN TAMIZ 4mm 30g/cm<sup>2</sup></b>	<b>597,18</b>	<b>96,61</b>	<b>6,409</b>	<b>1400,133</b>
<b>AGLOMERADO DE MADERA</b>	<b>696,21</b>	<b>159,869</b>	<b>5,877</b>	<b>2140,317</b>

Como apuntábamos le mayor tensión de rotura se obtiene con los tableros sin tamiz de 4mm y presión de 250kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo la deformación de los tableros con tamiz de 4mm es ligeramente menor. En ambos casos por debajo de los tableros de aglomerado de madera. Respecto del módulo de elasticidad el que más se aproxima a los tableros de aglomerado de madera es el tablero sin tamiz de 4mm con alta presión.

A continuación se representan el resumen de las combinaciones entre las medias de carga-deformación entre los tableros con presiones de 250 kg/cm<sup>2</sup> (caso 1, primera

columna) y presiones de 30 kg/cm<sup>2</sup> (caso 2, segunda columna) así como los materiales que hemos estado considerando hasta el momento a modo de resumen.

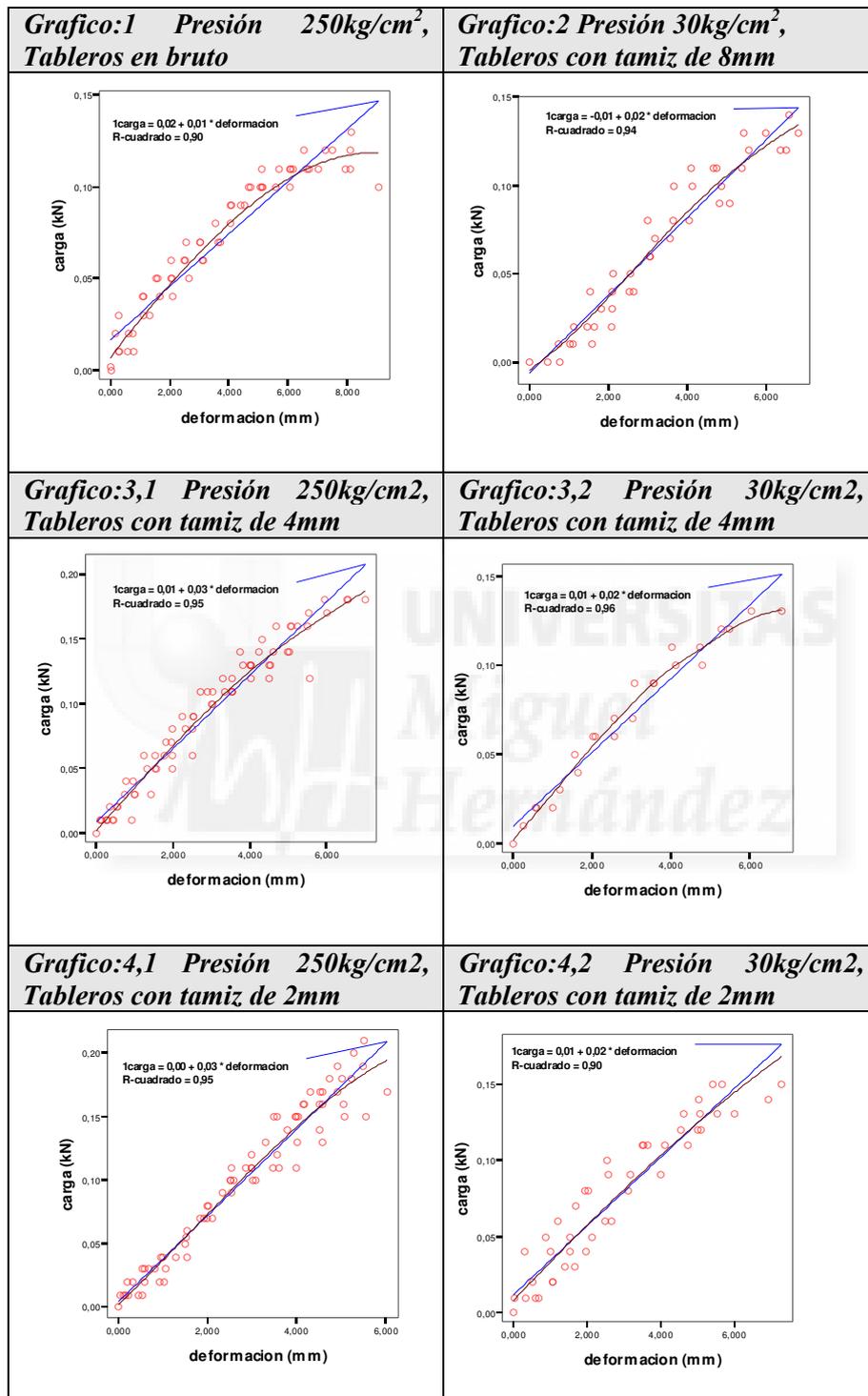


Fig 4.22. Gráficas de correlaciones para distintos tableros según el material y la carga de prensado.

En el siguiente conjunto de gráficos (pag 122), se representan los valores de tensiones unitarias para cada valor de carga-deformación de referencia.

En la leyenda de las gráficas que se representan en la primera columna, aparece la presión de prensado de  $250\text{kg/cm}^2$ , en la segunda la presión de  $30\text{kg/cm}^2$ , y las combinaciones de cada tipo de tablero fabricado:

A título de resumen explicativo, los encabezados del grafico son:

**1,00 1,00:** Presión de  $250\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 1, tableros en bruto.

**2,00 1,00:** Presión de  $30\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 1, tableros en bruto. (No se ha fabricado este tipo por lo que no hay gráfico asociado).

**1,00 2,00:** Presión de  $250\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 2, tableros con tamiz de 8mm. (No se ha fabricado este tipo por lo que no hay gráfico asociado).

**2,00 2,00:** Presión de  $30\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 2, tableros con tamiz de 8mm.

**1,00 3,00:** Presión de  $250\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 3, tableros con tamiz de 4mm.

**2,00 3,00:** Presión de  $30\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 2, tableros con tamiz de 4mm.

**1,00 4,00:** Presión de  $250\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 3, tableros con tamiz de 2mm.

**2,00 4,00:** Presión de  $30\text{kg/cm}^2$  y tablero tipo 2, tableros con tamiz de 2mm.

Se muestra como los tableros con tamiz de 4mm y sin tamiz de 4mm, se comportan de forma muy similar manteniendo una curva con pendiente elevada para la opción de presión de  $250\text{ kg/cm}^2$ , llegando a valores superiores a  $200\text{kg/cm}^2$  para el tablero sin tamiz de 4mm.

En cualquier caso todos los puntos de los gráficos se encuentran agrupados, lo que nos indica un comportamiento estadístico bastante homogéneo a pesar de la dispersión de los tamaños de las partículas.

Se observa como a medida que ajustamos los tableros a los parámetros de esbeltez, en referencia a los tableros de aglomerado establecido por Klauditz, conseguimos mejores resultados aunque siempre con presiones de prensado elevadas.

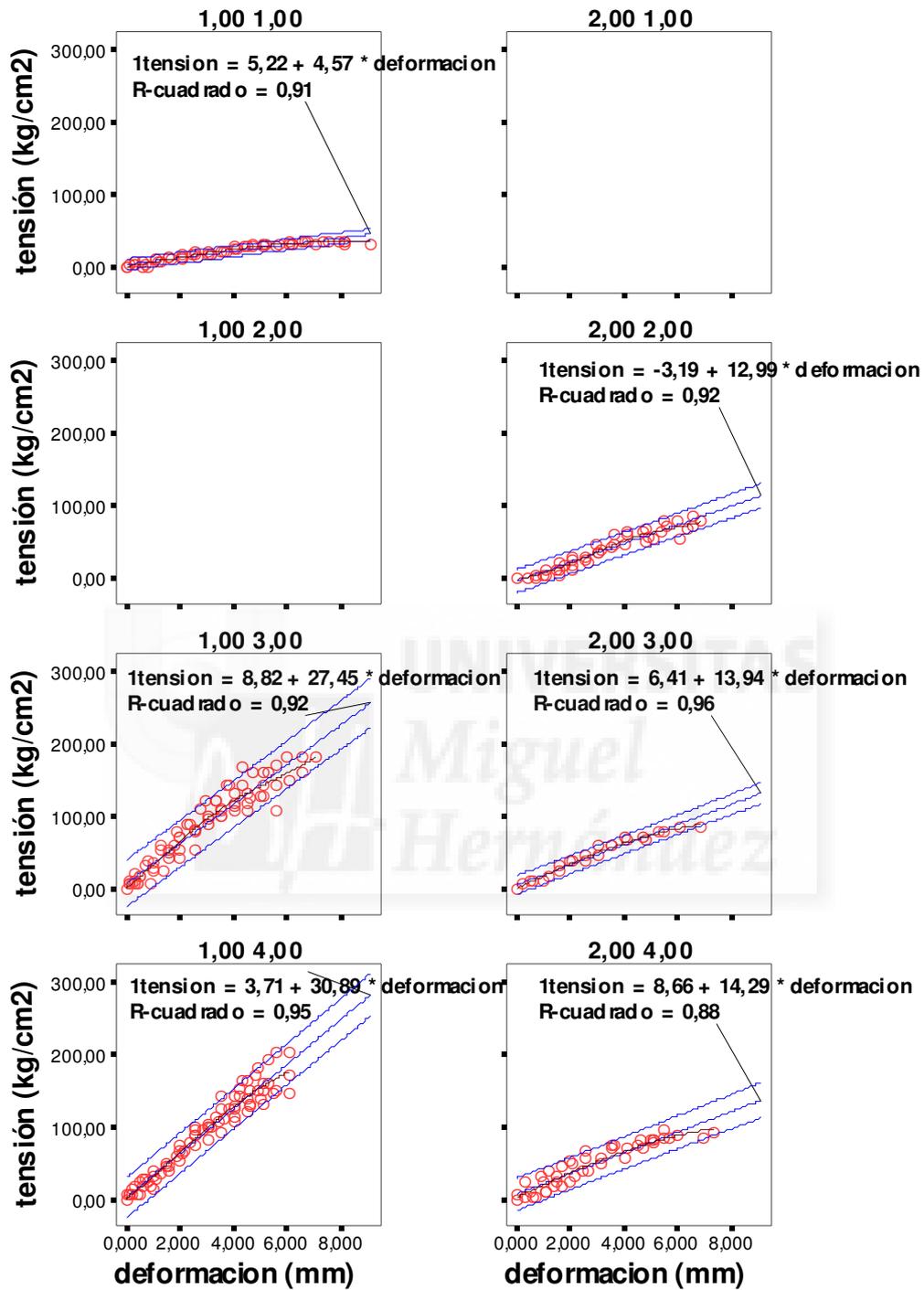


Fig 4.23. Gráfica de correlaciones para distintos tablero según el material y la carga de prensado. Diagrama medio de tensiones deformaciones

Vamos a evaluar la calidad del prensado dependiendo del tamiz utilizado y la presión de prensa de  $250 \text{ kgf/cm}^2$  y para  $30 \text{ kgf/cm}^2$ .

Conseguimos mucha más densidad, cuanto mayor es la presión de la prensa, eso es obvio, pero a medida que disminuye el contenido en gruesos va aumentando la gráfica, lo cual también es lógico.

Se representa la media de la densidad de cada tipo de tableros y en abscisas el tipo de tableros siendo el 1: tablero en bruto, 2: tablero con tamiz de 8mm, 3: tablero con tamiz de 4mm, 4: tamiz sin tamiz de 4mm.

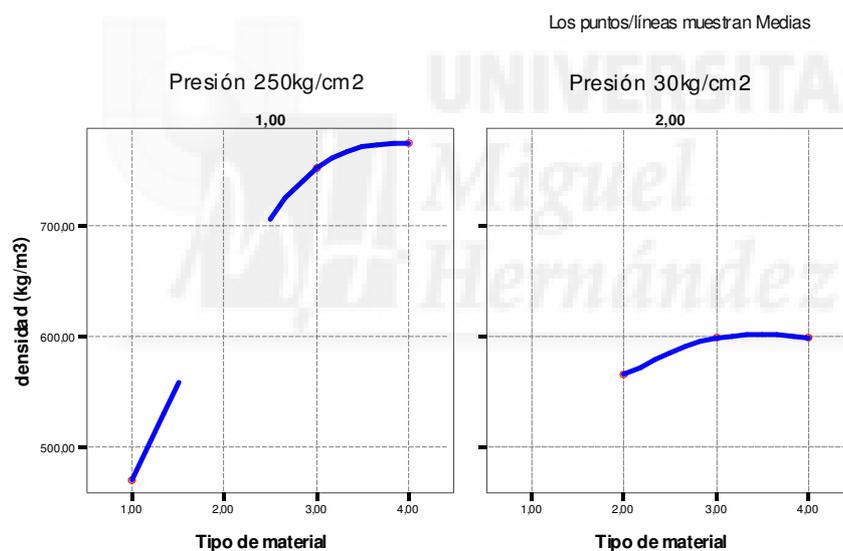


Fig 4.24. Gráfica de densidades de tableros en función de la presión de prensa y tipo de tablero.

Se observa en las graficas de densidad a distinta presión con los saltos correspondientes (falta de trazo), ya que no hay ensayos de tableros fabricados con tamiz de 8mm de  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Ni tampoco tableros fabricados en bruto con presión de  $30 \text{ kg/cm}^2$ .

En el siguiente conjunto de gráficos, se muestra como influye el tamaño de la fibra en la determinación final de la densidad del tablero para los dos tipos de presión. En el primer gráfico (250 kg/cm<sup>2</sup> de presión de prensa) hay una gran diferencia en que contenga todos los tamices (material tipo 1) sin embargo no hay tanta variación en el caso que contenga el tamiz de 4mm (material tipo 3) o que no lo contenga (material tipo 4). Para una presión menor (30 kg/cm<sup>2</sup> de prensado), gráfico de la segunda columna, se vuelve a hacer evidente que el tamiz que no contiene el tamaño de 4mm es el que mejor densidad ofrece aunque no se separa tanto del tablero que contiene el tamiz de 4mm.

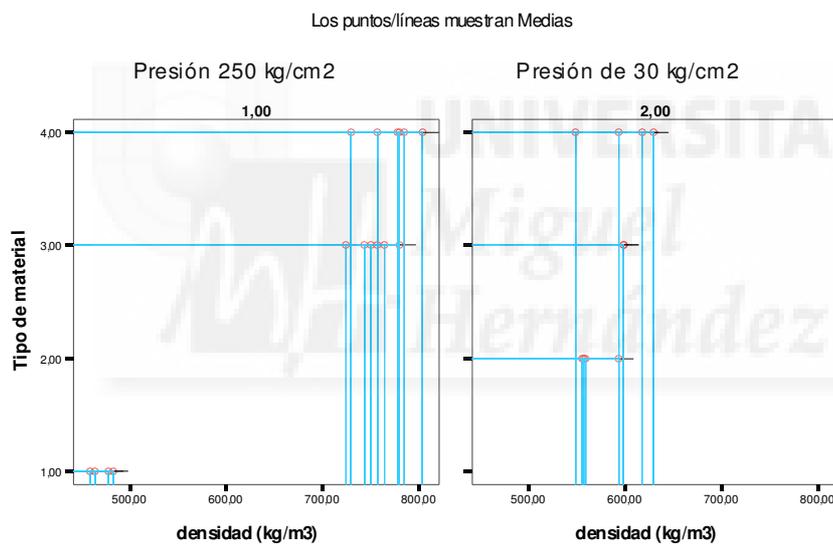


Fig 4.25. Gráfica de densidades de tableros en función del tipo de tablero y de la presión. Grafica2.

En los dos gráficos que se muestran a continuación, se han comparado los resultados del módulo de elasticidad a flexión, de modo que pudiésemos, al igual que en los gráficos anteriores, comparar en función de la presión de prensado y el tipo de material, cuales son los valores más relevantes.

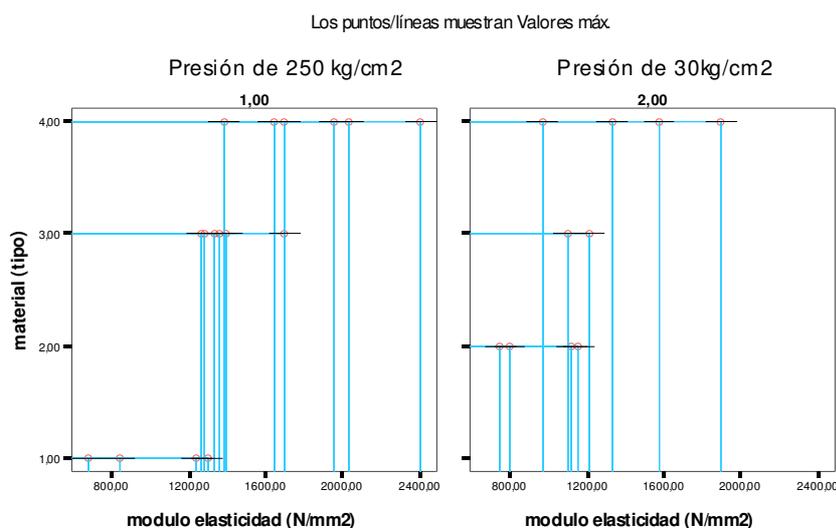


Fig 4.26. Gráfica de módulos de elasticidad de los distintos tableros en función del tipo de tablero y de la presión.

Se observa que los valores más altos se han conseguido tanto para el prensado de 250 kg/cm<sup>2</sup> (gráfico n°:1) como en el de 30 kg/cm<sup>2</sup> (gráfico n°:2), con el material que no incorpora el tamiz de 4mm.

#### 4.9.-TABLEROS SIN TAMIZ DE 4mm CON DISTINTAS PROPORCIONES DE RESINA Y CARGA DE PRENSA.

Para optimizar los tableros que hemos estado fabricando, establecemos una nueva línea de análisis en la que vamos disminuyendo el contenido de resina ya que es el componente más caro y por otra parte al ser un derivado del petróleo es el parámetro que debemos reducir por ser el más contaminante<sup>3</sup>.

Se va a evaluar la cantidad de resina idónea para tableros que incluyen el tamiz de 4mm, inclusive la relación con la presión de la prensa para 250 kg/cm<sup>2</sup> y para 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Para cada uno de los casos, se han realizado un mínimo de 4 ensayos por lote de contenido de resina en % así como de presión de prensa después de comprobar el tamaño mínimo de la muestra.

<sup>3</sup> Existe una reglamentación severa sobre el control de emisiones de formaldehído, de ahí que se utilicen inhibidores de esta sustancia en la fabricación de tableros.

Comenzaremos con la menor proporción de resina que vamos a emplear, el 8%.

#### 4.9.1.-ANÁLISIS DE TABLEROS CON EL 8% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 30Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.41. Comprobación ec. Cochran y Cox para tableros con el 8% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,08	3,189
2	0,07	3,238
3	0,06	2,938
4	0,07	3,43
media	0,070	3,199
Desviación típica	0,008	0,203
Ec. Cochran y Cox	5,442	1,604

Número de tableros considerados 6 unidades con 46 muestras de valores de ensayo.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.42. Pruebas no paramétricas para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
Carga	46	0,00	0,08	0,0354	0,02382	0,001
deformacion	46	0,000	4,805	1,56274	1,200781	1,442
N válido (según lista)	46					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.43. Análisis de la Varianza para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Carga	Inter-grupos	0,001	5	0,000	0,431	0,824
	Intra-grupos	0,024	40	0,001		
	Total	0,026	45			
deformacion	Inter-grupos	2,810	5	0,562	0,362	0,871
	Intra-grupos	62,074	40	1,552		
	Total	64,884	45			

El resultado es significativo en cuanto al análisis de varianza se encuentran los valores por encima del 0,05.

### La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

#### Estadísticos de contraste

Tabla 4.44. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	2,913	21,739
gl	8	40
Sig. asintót.	0,940	0,992

- a) 0 casillas (,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 5,1.  
 b) 41 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

### Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

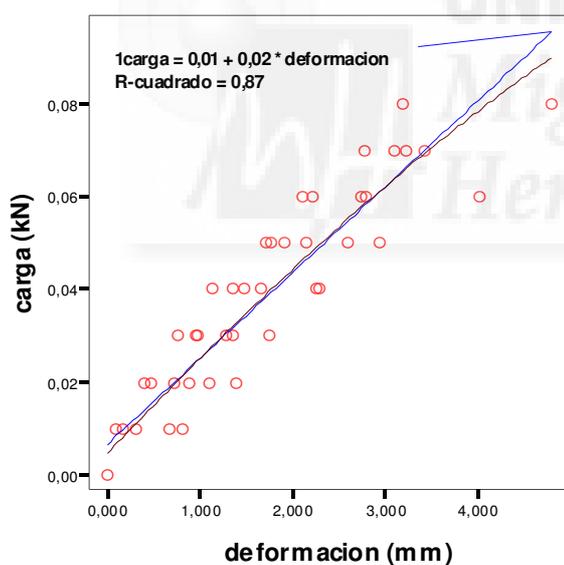


Fig 4.27. Gráfica de correlación para tableros que no incluyen el tamiz 4mm.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Existe correlación entre los resultados obtenidos, aunque ha dado un valor algo bajo en comparación con los ensayos anteriores. Se observa que los puntos correspondientes a los valores de carga-deformación se separan de la recta de regresión y los valores obtenidos de carga son muy bajos apenas superan 0,08kN.

#### 4.9.2.-ANALISIS DE TABLEROS CON EL 8% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 250Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.45. Pruebas no paramétricas para tableros con 8% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,09	4,893
2	0,11	4,568
3	0,11	4,123
4	0,1	5,12
media	0,103	4,676
Desviación típica	0,010	0,433
Ec. Cochran y Cox	3,490	3,425

Número de tableros considerados, 4 unidades con 49 referencias de carga-deformación.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.46. Pruebas no paramétricas para tableros con 8% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	49	0,00	0,14	0,0586	0,03824	0,001
deformación	49	0,000	4,689	1,97116	1,279786	1,638
N válido (según lista)	49					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.47. Análisis de la Varianza para tableros con 8% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,003	3	0,001	0,697	0,559
	Intra-grupos	0,067	45	0,001		
	Total	0,070	48			
deformación	Inter-grupos	8,327	3	2,776	1,777	0,165
	Intra-grupos	70,289	45	1,562		
	Total	78,617	48			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.48. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con 8% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	6,408	8,857
gl	14	44
Sig. asintót.	0,955	1,000

a) 15 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 3,3.

b) 45 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

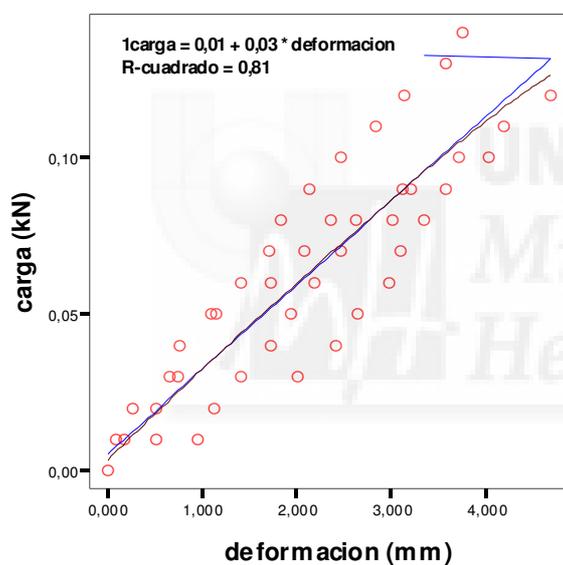


Fig 4.28. Gráfica de correlación para tableros con 8% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Existe correlación baja entre los resultados obtenidos. Se observa que los puntos correspondientes a los valores de carga-deformación no mantienen una buena tendencia, se separan de la recta de regresión y los valores obtenidos de carga siguen siendo bajos a pesar de la presión utilizada.

### 4.9.3.- ANALISIS DE TABLEROS CON EL 10% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 30 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.49. Pruebas no paramétricas para tableros con el 10% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,1	3,449
2	0,09	3,976
3	0,1	4,06
4	0,1	3,358
media	0,098	3,711
Desviación típica	0,005	0,358
Ec. Cochran y Cox	1,052	3,731

Número de tableros considerados 4 unidades.

#### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.50. Pruebas no paramétricas para tableros con el 10% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	43	0,00	0,10	0,0488	0,03141	0,001
deformación	43	0,000	4,230	1,71870	1,105779	1,223
N válido (según lista)	43					

#### Análisis de la Varianza

Tabla 4.51. Análisis de la Varianza para tableros con el 10% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,000	3	0,000	0,060	0,980
	Intra-grupos	0,041	39	0,001		
	Total	0,041	42			
deformación	Inter-grupos	1,805	3	0,602	0,474	0,702
	Intra-grupos	49,550	39	1,271		
	Total	51,355	42			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.52. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con el 10% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	0,233	8,163
gl	10	39
Sig. asintót.	1,000	1,000

a) 11 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 3,9.

b) 40 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

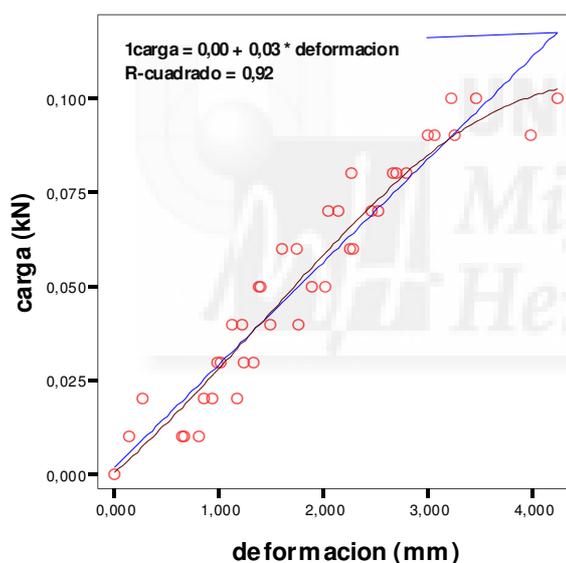


Fig 4.29. Gráfica de correlación para tableros con el 10% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Obtenemos valores pequeños de carga de rotura, en torno a 0,1kN pero el comportamiento de los tableros ensayados es más homogéneo que en los anteriores con el 8% de resina.

#### 4.9.4.-ANALISIS DE TABLEROS CON EL 10% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.53. Pruebas no paramétricas para tableros con 10% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,13	4,168
2	0,13	4,469
3	0,13	4,357
4	0,11	4,831
media	0,125	4,456
Desviación típica	0,010	0,279
Ec. Cochran y Cox	2,560	1,568

Número de tableros considerados 4 unidades.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.54. Pruebas no paramétricas para tableros con 10% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .  
Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	51	0,00	0,13	0,0653	0,04042	0,002
deformación	51	0,000	4,469	2,19467	1,155838	1,336
N válido (según lista)	51					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.55. Análisis de la Varianza para tableros con 10% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,001	3	0,000	0,213	0,887
	Intra-grupos	0,081	47	0,002		
	Total	0,082	50			
deformación	Inter-grupos	1,212	3	0,404	0,290	0,833
	Intra-grupos	65,586	47	1,395		
	Total	66,798	50			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.56. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con 10% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	0,882	8,294
gl	13	47
Sig. asintót.	1,000	1,000

- a) 14 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 3,6.
- b) 48 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

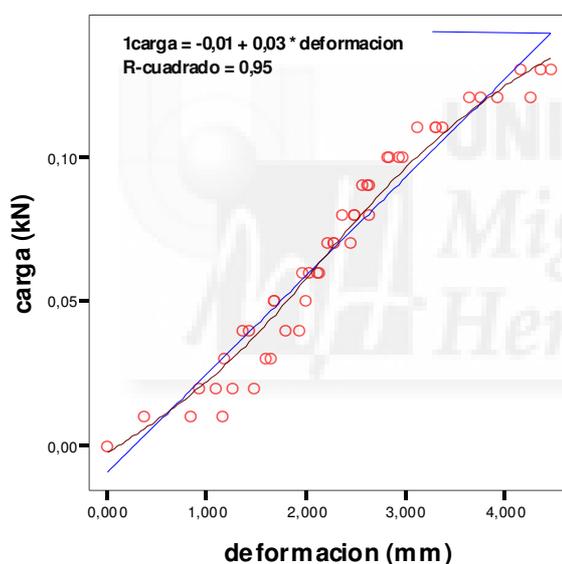


Fig 4.30. Gráfica de correlación para tableros con 10% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Con el aumento de la presión de prensado estamos en valores de carga de rotura de 0,13kN y la correlación aumenta de forma importante a 0,95 consiguiendo un valor mayor que en los tableros ensayados anteriormente.

#### 4.9.5.- ANALISIS DE TABLEROS CON EL 15% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 30 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.57. Pruebas no paramétricas para tableros con 15% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,09	4,893
2	0,11	4,568
3	0,11	4,123
4	0,1	5,12
media	0,103	4,676
Desviación típica	0,010	0,433
Ec. Cochran y Cox	3,490	3,425

Número de tableros considerados 4 unidades.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.58. Pruebas no paramétricas para tableros con 15% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	45	0,00	0,12	0,0520	0,03402	0,001
deformación	45	0,000	5,241	2,08973	1,411782	1,993
N válido (según lista)	45					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.59. Análisis de la Varianza para tableros con 15% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,002	3	0,001	0,536	0,661
	Intra-grupos	0,049	41	0,001		
	Total	0,051	44			
deformación	Inter-grupos	0,488	3	0,163	0,076	0,972
	Intra-grupos	87,210	41	2,127		
	Total	87,698	44			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.60. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con 15% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	3,822	8,200
gl	12	41
Sig. asintót.	0,986	1,000

- a) 13 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 3,5.  
 b) 42 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

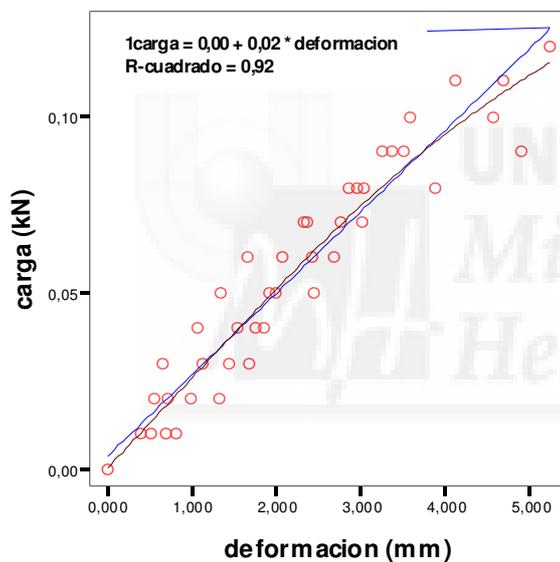


Fig 4.31. Gráfica de correlación para tableros con 15% de resina.  $P=30 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Se mantiene una correlación aceptable del 0,92 pero los valores de carga de rotura se mantienen bajos no llegando a 0,12kN.

#### 4.9.6.-ANALISIS DE TABLEROS CON EL 15% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO Y PRESION DE PRENSA DE 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

##### Estimación del tamaño de muestra:

Ensayos previos, valores máximos de carga y deformación:

Tabla 4.61. Pruebas no paramétricas para tableros con 15% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

Muestra:	CARGA	DEFORM
1	0,15	4,114
2	0,16	4,795
3	0,15	4,075
4	0,17	4,741
media	0,158	4,431
Desviación típica	0,010	0,390
Ec. Cochran y Cox	1,478	3,095

Número de tableros considerados 4 unidades.

##### Pruebas no paramétricas

Tabla 4.62. Pruebas no paramétricas para tableros con 15% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
carga	61	0,00	0,20	0,0818	0,05448	0,003
deformación	61	0,000	4,795	2,43303	1,163560	1,354
N válido (según lista)	61					

##### Análisis de la Varianza

Tabla 4.63. Análisis de la Varianza para tableros con 15% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
carga	Inter-grupos	0,008	3	0,003	0,863	0,465
	Intra-grupos	0,170	57	0,003		
	Total	0,178	60			
deformación	Inter-grupos	4,784	3	1,595	1,189	0,322
	Intra-grupos	76,449	57	1,341		
	Total	81,232	60			

## La prueba $\chi^2$ -cuadrado.

### Estadísticos de contraste

Tabla 4.64. Prueba del  $\chi^2$ -cuadrado para tableros con 15% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ .

	carga	deformación
Chi-cuadrado(a,b)	9,574	8,410
gl	20	57
Sig. asintót.	0,975	1,000

- a) 21 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 2,9.
- b) 58 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

## Coefficiente de correlación de Pearson, y gráfica de correlación

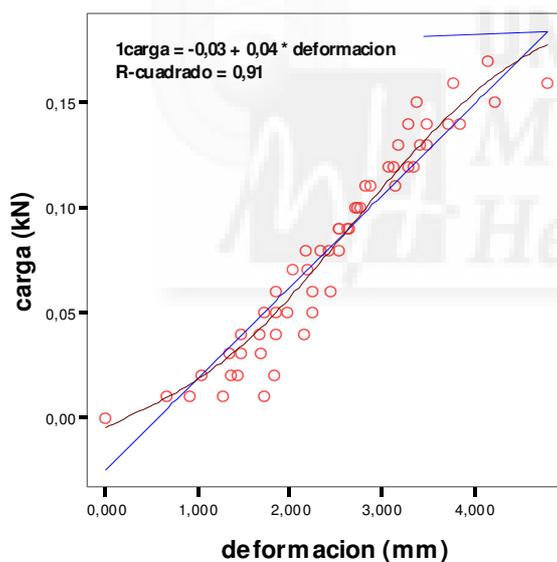


Fig 4.32. Gráfica de correlación para tableros con 15% de resina.  $P=250 \text{ kg/cm}^2$ . Diagrama medio de carga respecto a la deformación.

Se supera el valor de carga de rotura a valores de 0,17 kN con una correlación aceptable del 0,91.

#### **4.9.7.-ANALISIS DE TABLEROS CON EL 20% DE RESINA DE UREA FORMALDEHIDO.**

Número de tableros considerados ha sido de 4 y 6 unidades respectivamente para cada tipo de presión.

Se trata de tableros que ya habíamos utilizado en el primer apartado del trabajo y por tanto ya se había estimado la muestra a valores representativos, de modo que vamos a emplear dichos ensayos para comparar los resultados de la capacidad de prensado con el tanto por ciento de resina utilizado.

#### **4.9.8.-COMPARACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.**

El primer juego de gráficos, que tenemos a continuación, muestra la variación que existe entre la presión y el contenido de resina en cuanto a valores de carga-deformación. Se observa como se alcanzan menores valores de carga de rotura con menores proporciones de resina.

Para valores de presión de prensa de  $30 \text{ kg/cm}^2$  y 8% (gráfica 11), apenas se superan los  $0,08 \text{ kN}$ . Con la misma cantidad de resina y  $250 \text{ kg/cm}^2$  (gráfica 21) se llega a valores de carga de rotura cercanos a  $0,12 \text{ kN}$ .

Con el 10% y  $30 \text{ kg/cm}^2$  mejoramos, superando valores de  $0,1 \text{ kN}$  (gráfica 12), y con el 10% y carga de  $250 \text{ kg/cm}^2$  (gráfica 22), la agrupación de valores es mucho mejor que en el caso del 8% y misma presión.

Para el 15% de resina (gráfica 13 y 23), el incremento de las propiedades se observa en la misma proporción que cuando pasamos del 8% al 10%, se mejora el resultado de carga de rotura para ambas presiones.

Para tableros con menor presión ( $30 \text{ kg/cm}^2$ ) claramente el 20% de resina nos indica un mejor comportamiento en comparación con menores proporciones (gráfica 14), sin embargo para presiones de  $250 \text{ kg/cm}^2$  y el 15% también nos aporta valores aceptables de comportamiento en cuanto a carga de rotura (gráfica 23).

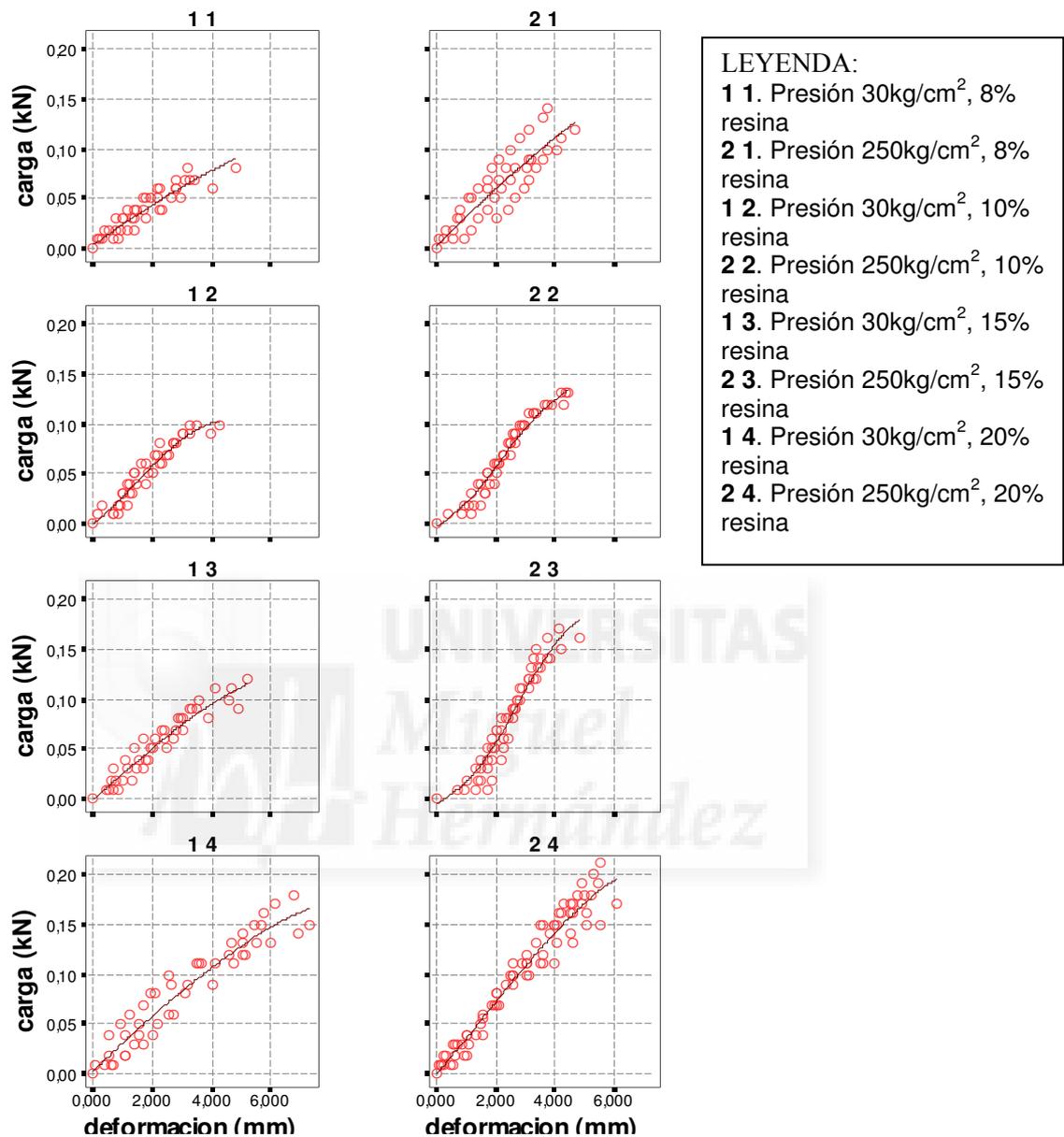


Fig 4.33. Gráficas de correlación para las distintas proporciones de resina y de presión. Puntos correspondientes al diagrama medio de carga-deformación.

A continuación se muestran las gráficas correspondientes de tensión-deformación para los casos ya descritos.

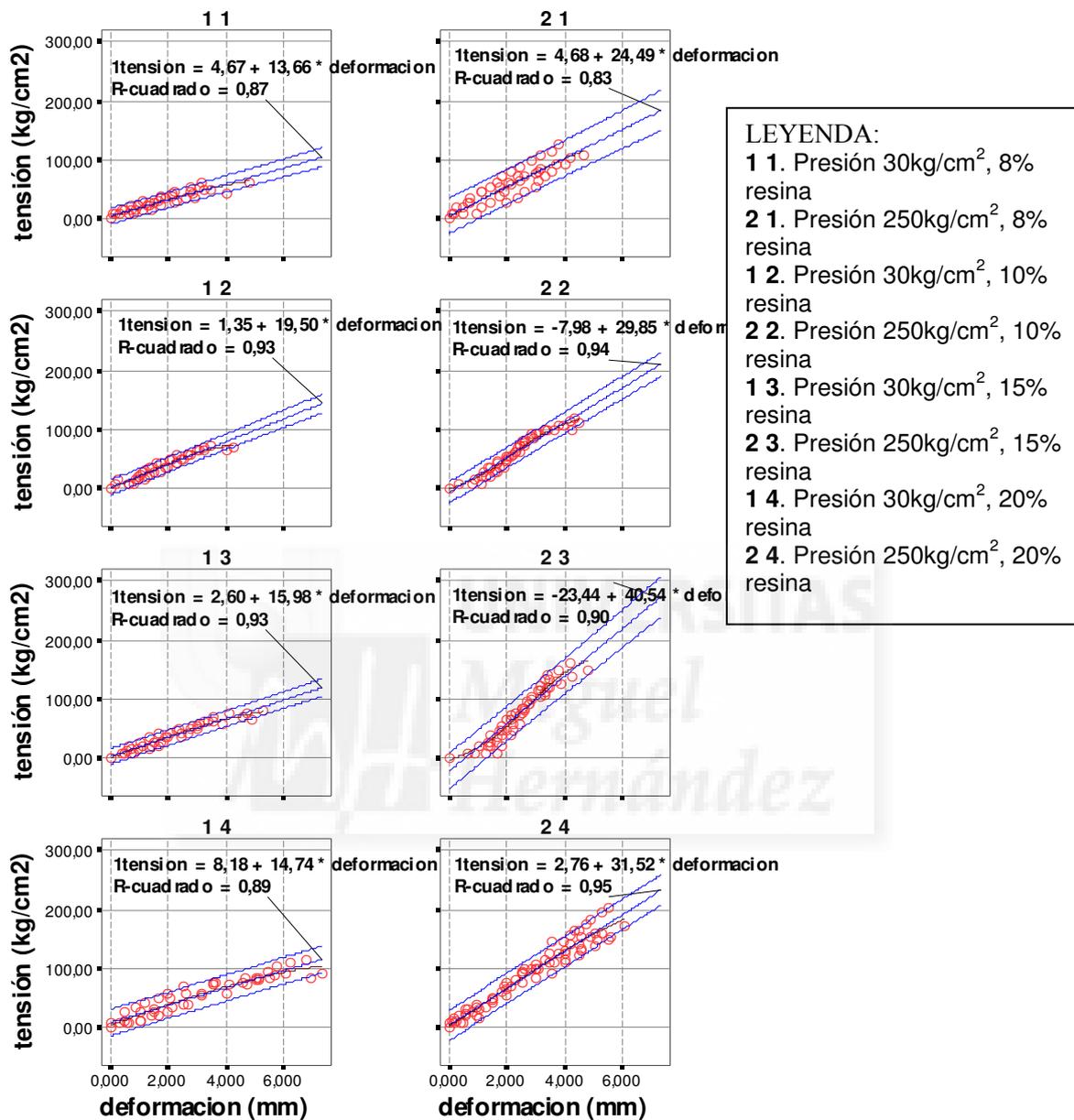


Fig 4.34. Gráficas de correlación para las distintas proporciones de resina y de presión. Puntos correspondientes al diagrama medio de tensión-deformación.

Con baja presión necesitamos un aporte de resina importante para conseguir ciertos valores de tensión de rotura, sin embargo con presión de 250 kg/cm<sup>2</sup> con un 15% de resina obtenemos, valores cercanos a 200 kg/cm<sup>2</sup> aunque aumenta más con el 20% de aglomerante.

Se han comparado los resultados en función de la presión (primera grafica 30 kg/cm<sup>2</sup>, segunda 250 kg/cm<sup>2</sup>), en función del % de contenido de resina de urea formaldehído y el correspondiente módulo de elasticidad obtenido del ensayo a flexión.

Se observa que el módulo más alto lo conseguimos con el 15% de resina en contenido sobre el tablero en seco para alta presión y se mantiene proporcional para el ensayo con baja presión. Se observa claramente que el más adecuado se establece para alta presión con el 15% del contenido en resina.

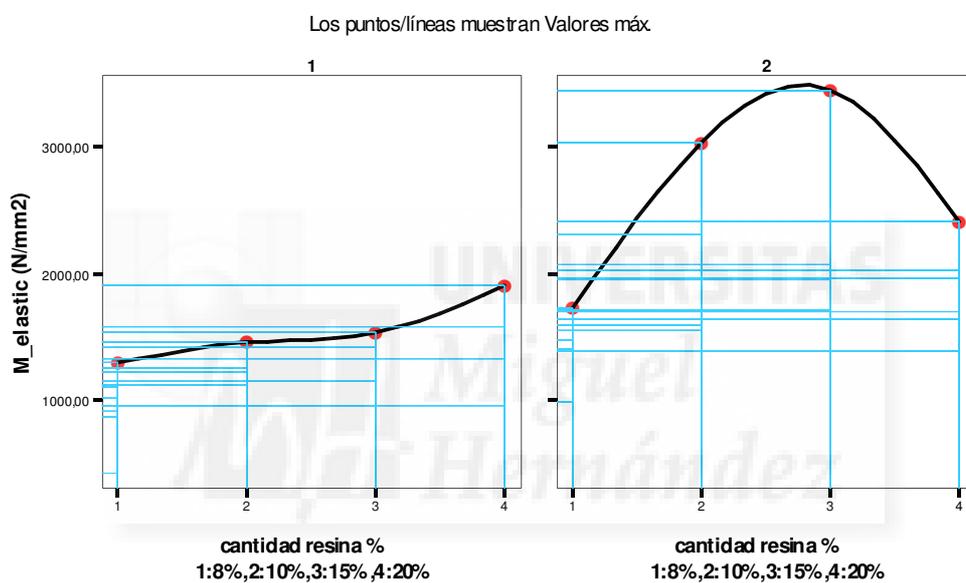


Fig 4.35. Gráficas de variación entre el módulo de elasticidad con las distintas proporciones de resina y de presión.

#### 4.10.-ANALISIS DE TABLEROS FRENTE AL AGUA. ENSAYO DE HINCHAZON DEL ESPESOR Y DESECADO-RECUPERACION DE LOS TABLEROS.

Se han realizado dos ensayos de humedad de acuerdo con la norma UNE EN317 en cuanto a la determinación de la hinchazón en espesor después de la inmersión en agua. Se observa en las figuras como se han mantenido sumergidas las probetas de tableros y el resultado al colocarlas sobre papel secante para posteriores mediciones.

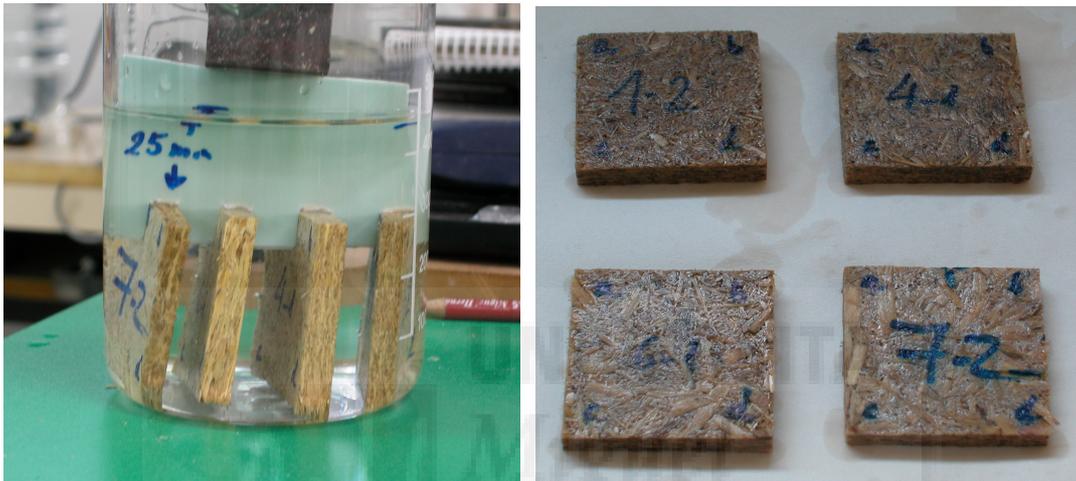


Fig 4.36, 4.37. Ensayo de hinchazón. Probetas en agua sumergidas 25cm y resultado de ensayo a las 24horas.

##### 4.10.1.-ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TABLEROS CON TAMIZ DE 4mm Y TABLEROS CON TAMIZ DE 2mm.

Para el primer ensayo, se han utilizado dos grupos de probetas, unas que incluyen el tamiz de 4mm y otras dos que no lo incluyen.

Las probetas han sido cortadas a las dimensiones de 50x50mm, y se trata de muestras elaboradas con el 20% de resina de urea formaldehído y 250kg/cm<sup>2</sup> de presión de prensa.

La duración ha sido de 24 horas ya que el incremento de espesor en la última hora era menor del 0,1% de la masa inicial de las probetas. Los resultados del parámetro de hinchazón en % para este ensayo singular, se representan en la siguiente tabla:

Tabla 4.65. Ensayo de hinchazón muestra 1 y 2, 250kg/cm<sup>2</sup>.

MUESTRA 1 SIN TAMIZ 4mm				MUESTRA 2 SIN TAMIZ 4mm			
INICIAL		FINAL		INICIAL		FINAL	
a	7,76	a'	8,25	a	7,62	a'	8,13
b	7,89	b'	8,41	b	7,3	b'	7,91
c	7,9	c'	8,34	c	8,09	c'	8,6
d	8,2	d'	8,74	d	7,91	d'	8,51
t1 med	7,94	t2 med	8,44	t1 med	7,73	t2 med	8,29
Gt	6,3	%		Gt	7,2	%	

Tabla 4.66. Ensayo de hinchazón muestra 3 y 4, 250kg/cm<sup>2</sup>.

MUESTRA 3 CON TAMIZ 4mm				MUESTRA 4 CON TAMIZ 4mm			
INICIAL		FINAL		INICIAL		FINAL	
a	6,894	a'	7,25	a	5,57	a'	6,17
b	7,29	b'	7,54	b	6,28	b'	6,59
c	7,04	c'	7,59	c	5,68	c'	6,26
d	7,57	d'	8,18	d	6,05	d'	6,41
t1 med	7,20	t2 med	7,64	t1 med	5,90	t2 med	6,36
Gt	6,1	%		Gt	7,8	%	

Se observa que están en el mismo orden de magnitud sin apenas diferencias en ambos casos.

Como sabemos, la caña común tiene un comportamiento particular cuando establece contacto con el agua, en principio pensamos de una gran avidez por su naturaleza higroscópica pero los ensayos no ofrecían precisamente ese resultado como veremos más adelante en comparaciones con otro tipo de tableros.

A continuación, se observan los correspondientes ensayos para analizar como recuperan las probetas una vez secas.

Los resultados representados se obtuvieron dejando secar las probetas al aire y finalmente se introdujeron durante una hora en horno de secado a 103°C, para garantizar el perfecto secado de las mismas.

Tabla 4.67. Ensayo de secado-recuperación muestra 1 y 2, 250kg/cm<sup>2</sup>

MUESTRA 1 SIN TAMIZ 4mm				MUESTRA 2 SIN TAMIZ 4mm			
INICIAL		FINAL		INICIAL		FINAL	
a	7,76	a'	7,62	a	7,62	a'	7,49
b	7,89	b'	7,87	b	7,3	b'	7,17
c	7,9	c'	7,82	c	8,09	c'	8,01
d	8,2	d'	8,08	d	7,91	d'	7,95
t1 med	7,94	t2 med	7,85	t1 med	7,73	t2 med	7,66
Gt	-1,1	%		Gt	-1,0	%	

Tabla 4.68. Ensayo de secado-recuperación muestra 3 y 4, 250kg/cm<sup>2</sup>

MUESTRA 3 CON TAMIZ 4mm				MUESTRA 4 CON TAMIZ 4mm			
INICIAL		FINAL		INICIAL		FINAL	
a	6,894	a'	6,7	a	5,57	a'	5,61
b	7,29	b'	7,03	b	6,28	b'	6,07
c	7,04	c'	7,04	c	5,68	c'	5,72
d	7,57	d'	7,94	d	6,05	d'	5,95
t1 med	7,20	t2 med	7,18	t1 med	5,90	t2 med	5,84
Gt	-0,3	%		Gt	-1,0	%	

Los porcentajes negativos corresponden a un desecado en exceso producido en el horno, es decir una pérdida respecto de la humedad inicial de los tableros. Se observa pues que tanto los tableros con el tamiz de 4mm como aquellos que no lo incorporaban han recuperado el espesor inicial sin ningún problema.

#### 4.10.2.-CURVA DE HINCHAMIENTO-RECUPERACION DE DISTINTOS TIPOS DE TABLEROS ANALIZADOS.

Se han realizado las curvas correspondientes de hinchazón de espesor y de recuperación para probetas con tamiz de 4mm y sin tamiz de 4mm a distinta presión de prensa, así como a tableros de aglomerado de madera para observar el comportamiento y comparar éstos. Se han tomado valores en el tiempo, hasta completar la saturación y el proceso inverso hasta la recuperación total. Al utilizar un horno de secado, las

recuperaciones como en los casos anteriores pueden ser negativas ya que bajamos del porcentaje del 8% que tiene la caña secada y que hemos utilizado para los tableros.

Las muestras que se han ensayado, han sido las siguientes:

*Tabla 4.69. Referencias de ensayo de hinchazón-secado según el tipo de material y de la presión de prensado.*

<b>Referencia en grafica/presión del tablero</b>	<b>Características del material ensayado</b>
1 250 kg/cm <sup>2</sup>	Sin tamiz de 4 mm
2 250 kg/cm <sup>2</sup>	Sin tamiz de 4 mm
3 250 kg/cm <sup>2</sup>	Con tamiz 4mm
4 250 kg/cm <sup>2</sup>	Con tamiz 4mm
5 30 kg/cm <sup>2</sup>	Sin tamiz 4mm
6 30 kg/cm <sup>2</sup>	Sin tamiz 4mm
7 30 kg/cm <sup>2</sup>	Con tamiz de 4 mm
8 30 kg/cm <sup>2</sup>	Con tamiz de 4 mm
9 -	madera
10 -	madera

El máximo valor alcanzado de hinchamiento ha sido del 8,58% con tamiz de 4mm a baja presión, por el contrario en el tablero de madera (considerado de buena calidad en el mercado) se han obtenido ratios de hinchamiento del orden del 17,17%.

El resultado más relevante lo hemos obtenido en el proceso de desecación, donde el tablero de aglomerado de caña se ha recuperado al 100% sin el tamiz de 4mm, y 97,25% con tamiz de 4mm, mientras que el tablero de aglomerado de madera no ha recuperado nada de lo hinchado es decir se ha mantenido en el orden del 17,17%.

A continuación se muestran las curvas de hinchamiento y secado en función del tiempo en los tipos de tablero analizados:

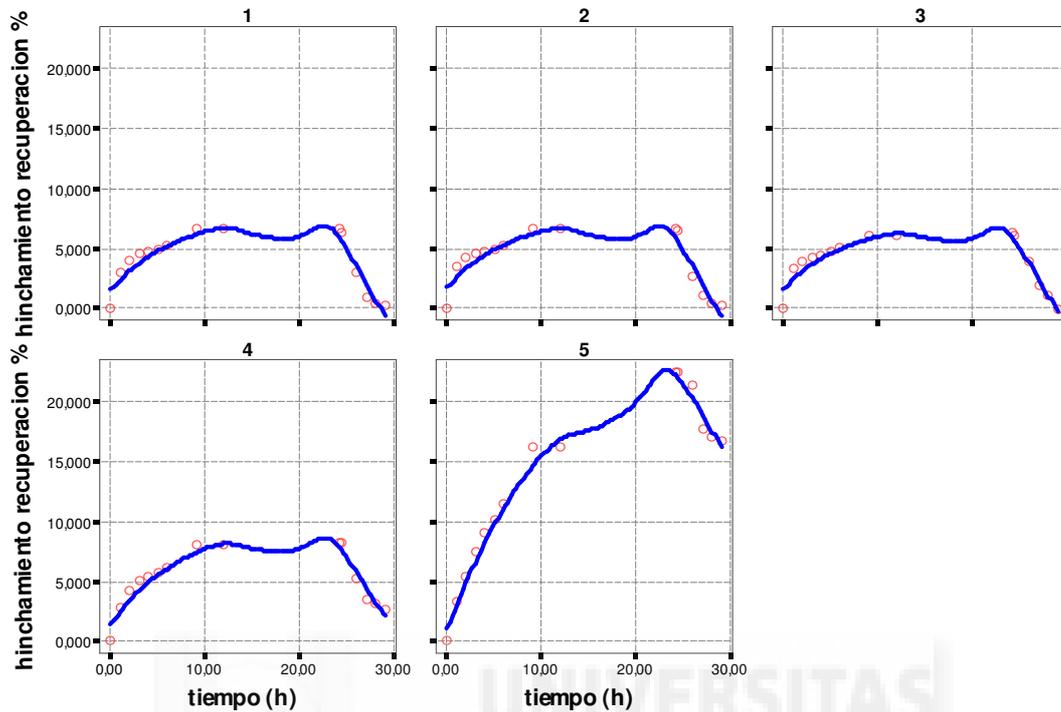


Fig 4.38. Ensayo de hinchazón-recuperación (secado) para cada material ensayado.

La grafica 1 corresponde a tableros sin tamiz de 4mm con presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , la grafica 2, a tableros con tamiz de 4mm y presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , la 3 corresponde a tableros sin tamiz de 4mm con presión de  $30 \text{ kg/cm}^2$ , la 4 sin tamiz de 4mm con presión de  $30 \text{ kg/cm}^2$ , y la 5 a tableros de aglomerado de madera.

Se observa como el tablero sin tamiz de 4mm vuelve al origen de hinchamiento mientras que el tablero con tamiz de 4mm casi lo consigue y el de madera queda totalmente alejado del origen inicial de hinchamiento.

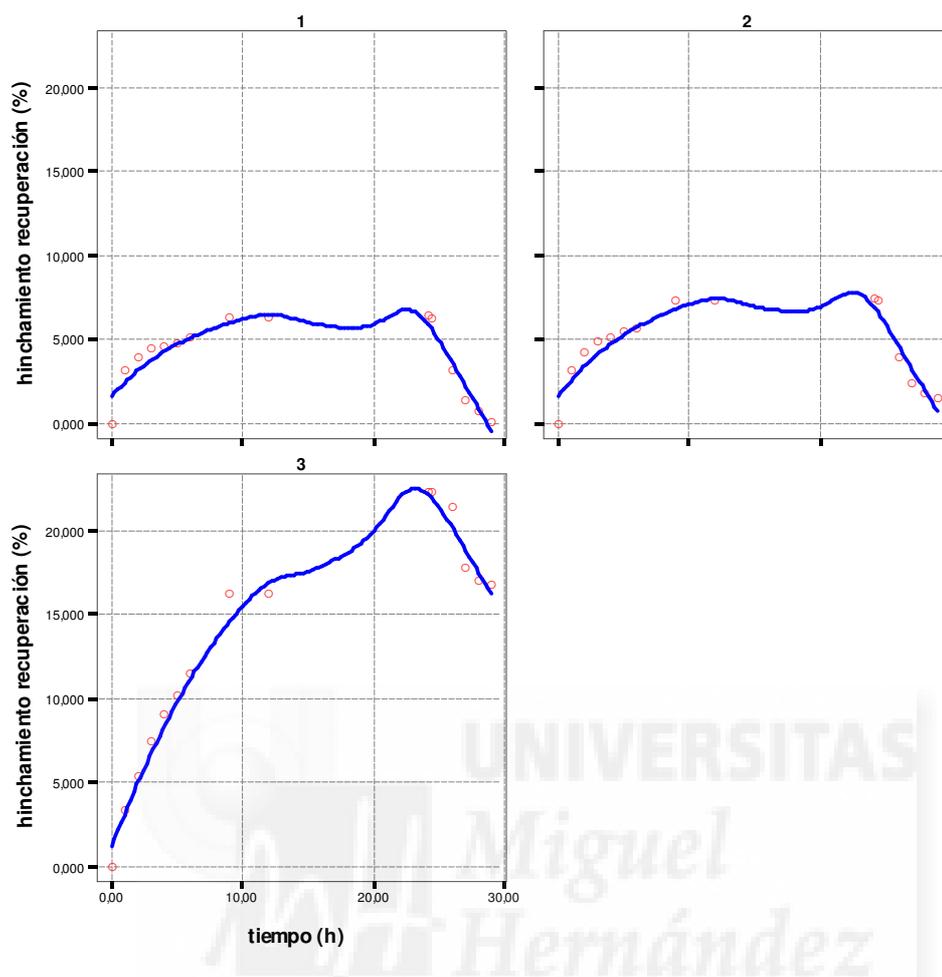


Fig 4.39. Ensayo de hinchazón-recuperación (secado) en función del tiempo.

En este segundo juego de gráficos, el 1º corresponde a tableros sin tamiz de 4mm independientemente de la carga con la que han sido fabricados, el 2º a tableros con tamiz de 4mm, y el 3º a tableros de aglomerado de madera. Se observa aun más, como la recuperación sin tamiz de 4mm es total, con tamiz de 4mm es parcial casi al 100% y en los de aglomerado de madera no se produce dicha recuperación.

#### 4.10.3.-ANÁLISIS DE HINCHAMIENTO DE ESPESOR CON DISTINTAS CANTIDADES DE RESINA Y PRESION DE PRENSADO.

Se han analizado tableros de aglomerado de dos calidades distintas, tableros de DM, y tableros de caña sin el tamiz de 4mm, con el contenido de resina de 8%, 10%, 15%, 20% y presiones de 30 kg/cm<sup>2</sup> y 250 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Los resultados atienen al siguiente proceso de trabajo: tablero inicial, saturación en agua de los tableros durante 24 horas, secado en estufa hasta que el parámetro peso nos indica que ya está totalmente seco respecto de la muestra inicial.

Siendo: a,b,c,d, espesores iniciales en mm de cada una de las esquinas del tablero, a',b',c',d', espesores de las mismas esquinas una vez realizado el ensayo de hinchazón, a'',b'',c'',d'', espesores de las esquinas una vez secado el tablero, t<sub>1</sub> med, t<sub>2</sub> med, t<sub>3</sub> med, corresponde a las medias de los espesores de cada tablero respectivamente en los tres estados definidos. Gt: hinchazón en %, Rt: estado final de recuperación (o de no recuperación, según el caso). También se observan los tres pesos, el inicial seco, el peso cuando se alcanza el hinchazón máximo, y el peso del tablero una vez seco recuperado.

Tabla 4.70. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de aglomerado de madera 1 (buena calidad).

<b>REF: AGLOMERADO 1 CALIDAD A</b>						
<i>Peso(gr)</i>	23,3	<i>Peso'(gr)</i>	27,2	<i>Peso''(gr)</i>	22,4	<b>Hinchazón %</b>
a	13,2	a'	14,7	a''	14,9	<b>Gt 17,0 %</b>
b	13,2	b'	15,3	b''	15,2	<b>Recuperación %</b>
c	13,2	c'	15,3	c''	16,1	<b>Rt 18,6 %</b>
d	13,2	d'	16,5	d''	16,4	
t <sub>1</sub> med	13,20	t <sub>2</sub> med	15,45	t <sub>3</sub> med	15,65	

Tabla 4.71. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de aglomerado de madera 2 (buena calidad).

<b>REF: AGLOMERADO 2 CALIDAD A</b>						
<i>Peso(gr)</i>	23	<i>Peso'(gr)</i>	27	<i>Peso''(gr)</i>	22,3	<b>Hinchazón %</b>
a	13,2	a'	14,8	a''	14,8	<b>Gt 15,0 %</b>
b	13,2	b'	14,5	b''	14,5	<b>Recuperación %</b>
c	13,2	c'	15,3	c''	16,2	<b>Rt 16,5 %</b>
d	13,2	d'	16,1	d''	16	
t <sub>1</sub> med	13,20	t <sub>2</sub> med	15,18	t <sub>3</sub> med	15,38	

Tabla 4.72. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de aglomerado de madera 1 (calidad media).

<b>REF: AGLOMERADO 1 CALIDAD B</b>						
<i>Peso(gr)</i>	29,3	<i>Peso'(gr)</i>	40,1	<i>Peso''(gr)</i>	28	<b>Hinchazón %</b>
a	16,21	a'	19,71	a''	22,8	<b>Gt 21,0 %</b>
b	16,28	b'	19,42	b''	21,23	<b>Recuperación %</b>
c	16,2	c'	19,63	c''	22,88	<b>Rt 35,1 %</b>
d	16,16	d'	19,69	d''	20,73	
t <sub>1</sub> med	16,21	t <sub>2</sub> med	19,61	t <sub>3</sub> med	21,91	

Tabla 4.73. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de aglomerado de madera 2 (calidad media).

<b>REF: AGLOMERADO 2 CALIDAD B</b>						
Peso(gr)	27,3	Peso'(gr)	40,1	Peso"(gr)	26,4	<b>Hinchazón %</b>
a	16,13	a'	19,37	a''	22,08	<b>Gt 18,5 %</b>
b	16,25	b'	19,13	b''	20,63	<b>Recuperación %</b>
c	16,16	c'	19,24	c''	21,82	<b>Rt 32,0 %</b>
d	16,17	d'	18,92	d''	20,9	
t <sub>1</sub> med	16,18	t <sub>2</sub> med	19,17	t <sub>3</sub> med	21,36	

Tabla 4.74. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de DM 1.

<b>REF: DM 1</b>						
Peso(gr)	23,5	Peso'(gr)	32,1	Peso"(gr)	22,6	<b>Hinchazón %</b>
a	12,16	a'	15,47	a''	18,2	<b>Gt 28,4 %</b>
b	12,13	b'	15,58	b''	18,17	<b>Recuperación %</b>
c	12,12	c'	15,48	c''	18,59	<b>Rt 51,5 %</b>
d	12,12	d'	15,77	d''	18,54	
t <sub>1</sub> med	12,13	t <sub>2</sub> med	15,58	t <sub>3</sub> med	18,38	

Tabla 4.75. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros de DM 2.

<b>REF: DM 2</b>						
Peso(gr)	23,7	Peso'(gr)	31,6	Peso"(gr)	22,7	<b>Hinchazón %</b>
a	12,12	a'	15,71	a''	18,24	<b>Gt 28,3 %</b>
b	12,1	b'	15,28	b''	17,42	<b>Recuperación %</b>
c	12,05	c'	15,68	c''	18,62	<b>Rt 48,5 %</b>
d	12,04	d'	15,29	d''	17,45	
t <sub>1</sub> med	12,08	t <sub>2</sub> med	15,49	t <sub>3</sub> med	17,93	

Tabla 4.76. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 8% de resina y 30kg/cm<sup>2</sup>

<b>REF: H100/R8% OBSERVACIONES: SE DESCOMPONE</b>						
Peso(gr)	11,9	Peso'(gr)	31,6	Peso"(gr)	10,8	<b>Hinchazón %</b>
a	8,01	a'	20,1	a''	13,43	<b>Gt 15,7 %</b>
b	8	b'	8,84	b''	14,08	<b>Recuperación %</b>
c	8,37	c'	9,54	c''	13,07	<b>Rt 69,2 %</b>
d	8,27	d'	9,53	d''	14,67	
t <sub>1</sub> med	8,16	t <sub>2</sub> med	9,88	t <sub>3</sub> med	13,81	

Tabla 4.77. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 10% de resina y 30kg/cm<sup>2</sup>.

<b>REF: H100/R10% OBSERVACIONES: SE DESCOMPONE</b>						
Peso(gr)	11,5	Peso'(gr)	21,6	Peso"(gr)	10,8	<b>Hinchazón %</b>
a	8,26	a'	9,95	a''	13,36	<b>Gt 23,2 %</b>
b	8,23	b'	10,52	b''	13,69	<b>Recuperación %</b>
c	8,12	c'	9,76	c''	12,02	<b>Rt 56,1 %</b>
d	7,94	d'	9,86	d''	11,74	
t <sub>1</sub> med	8,14	t <sub>2</sub> med	10,02	t <sub>3</sub> med	12,70	

Tabla 4.78. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 15% de resina y 30kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H100/R15%			OBSERVACIONES: DETERIORO DE LA TEXTURA			
Peso(gr)	13,9	Peso'(gr)	20	Peso"(gr)	12	Hinchazón %
a	8,77	a'	9,46	a''	11,05	Gt 7,5 %
b	8,87	b'	9,59	b''	11,55	Recuperación %
c	8,54	c'	8,99	c''	10,23	Rt 28,4 %
d	8,5	d'	9,24	d''	11,71	
t <sub>1</sub> med	8,67	t <sub>2</sub> med	9,32	t <sub>3</sub> med	11,14	

Tabla 4.79. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 20% de resina y 30kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H100/R20%			OBSERVACIONES: CORRECTO			
Peso(gr)	14,1	Peso'(gr)	20,6	Peso"(gr)	13,2	Hinchazón %
a	8,55	a'	9,22	a''	8,58	Gt 7,2 %
b	9,52	b'	10,01	b''	9,56	Recuperación %
c	9,75	c'	10,4	c''	9,77	Rt 0,8 %
d	9,99	d'	10,9	d''	10,2	
t <sub>1</sub> med	9,45	t <sub>2</sub> med	10,13	t <sub>3</sub> med	9,53	

Tabla 4.80. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 8% de resina y 250kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H750/R8%			OBSERVACIONES: SE DESCOMPONE			
Peso(gr)	13,8	Peso'(gr)	21,9	Peso"(gr)	11,9	Hinchazón %
a	7,28	a'	9,46	a''	14	Gt 40,4 %
b	6,5	b'	9,31	b''	12,7	Recuperación %
c	6,71	c'	9,76	c''	12,8	Rt 97,1 %
d	6,2	d'	8,93	d''	13,1	
t <sub>1</sub> med	6,67	t <sub>2</sub> med	9,37	t <sub>3</sub> med	13,15	

Tabla 4.81. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 10% de resina y 250kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H750/R10%			OBSERVACIONES: DETERIORO DE LA TEXTURA			
Peso(gr)	13,4	Peso'(gr)	20,1	Peso"(gr)	12	Hinchazón %
a	7,18	a'	8,52	a''	13,83	Gt 15,4 %
b	7,46	b'	8,56	b''	11,75	Recuperación %
c	6,93	c'	7,93	c''	13,53	Rt 76,8 %
d	7,13	d'	8,12	d''	11,64	
t <sub>1</sub> med	7,18	t <sub>2</sub> med	8,28	t <sub>3</sub> med	12,69	

Tabla 4.82. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 15% de resina y 250kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H750/R15%			OBSERVACIONES: CORRECTO			
Peso(gr)	13,2	Peso'(gr)	16,7	Peso"(gr)	12,4	Hinchazón %
a	6,48	a'	7,13	a''	7,68	Gt 10,8 %
b	6,37	b'	7,28	b''	7,99	Recuperación %
c	5,85	c'	6,18	c''	6,35	Rt 17,0 %
d	5,86	d'	6,63	d''	6,72	
t <sub>1</sub> med	6,14	t <sub>2</sub> med	6,81	t <sub>3</sub> med	7,19	

Tabla 4.83. Resultados de ensayo de hinchazón-secado para tableros con 20% de resina y 250kg/cm<sup>2</sup>.

REF: H750/R20%		OBSERVACIONES: CORRECTO					
Peso(gr)	14,7	Peso'(gr)	18,8	Peso''(gr)	14	Hinchazón %	
a	8	a'	8,55	a''	8,04	<b>Gt 6,9 %</b>	
b	7,73	b'	8,35	b''	7,8	<b>Recuperación %</b>	
c	7,93	c'	8,32	c''	7,84	<b>Rt 0,1 %</b>	
d	7,69	d'	8,29	d''	7,7		
t <sub>1</sub> med	7,84	t <sub>2</sub> med	8,38	t <sub>3</sub> med	7,85		

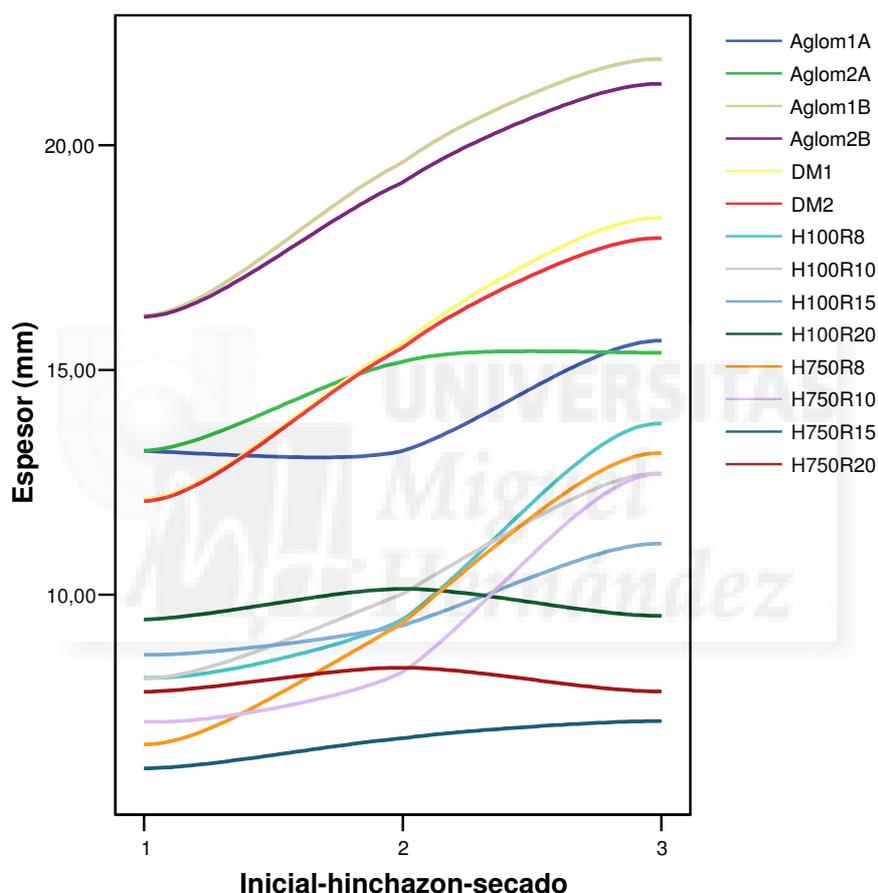


Fig 4.40. Evolución del espesor para cada material ensayado en función del hinchazón recuperación (secado).

Se observa como el tablero que mejor se comporta es el de presión de prensado de 250kg/cm<sup>2</sup> y 20% de resina referido al peso en seco, incluso el tablero con menor presión de 30kg/cm<sup>2</sup> y 20% de resina tiene un comportamiento razonable, casi recupera totalmente su estado original 0,8% de hinchamiento final.

Se observa así mismo como los tableros de aglomerado no recuperan, el de mejor calidad se ha hinchado un promedio del 17% y el de peor calidad más de un 30%.

Incluso el DM, se hincha un 28% y no recupera siendo su situación final con un incremento de dimensiones del 40%.

Evolución de la absorción de agua en los diferentes tableros ensayados. Se observa que el aglomerado de peor calidad es el que mayor contenido en agua ha absorbido, el DM le sigue en segundo lugar, después el aglomerado de mejor calidad y con un comportamiento similar el resto de tableros de caña común.

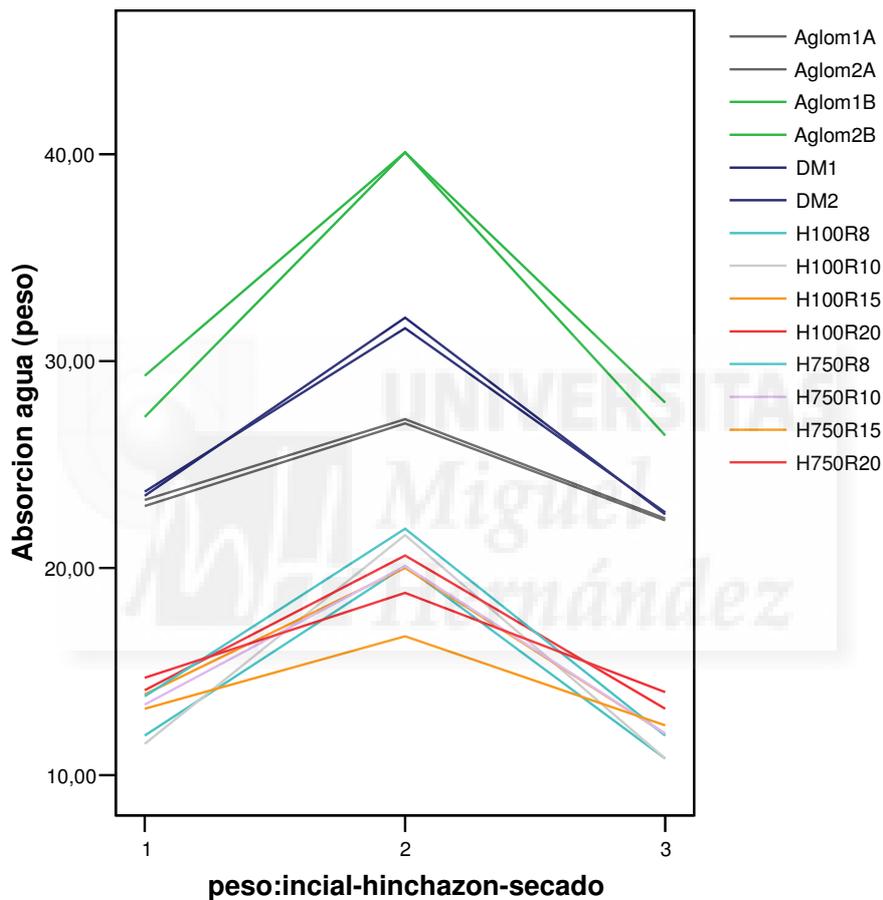


Fig 4.41. Evolución de la absorción de agua para cada material ensayado en función del hinchazón recuperación (secado).

#### 4.10.4.-ANÁLISIS DE TABLEROS CON TAMIZ DE 2mm Y 250 Kg/cm<sup>2</sup> DE PRESION DE PRENSA.

Como este último tablero fabricado tiene unas ventajas especiales en cuanto al comportamiento frente al agua, se va analizar estadísticamente para observar si el conjunto de valores obtenidos resulta fiable.

### Estimación del tamaño de muestra:

Se representan en la tabla siguiente los resultados de ensayos realizados en relación al espesor en mm:

Tabla 4.84. Ensayos de hinchazón-secado para tableros con 20% de resina y presión de 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Espesores de cada tablero en mm

Muestra:	INICAL	HUMEDO	SECADO
1	7,84	8,38	7,85
2	7,94	8,44	7,85
3	7,73	8,29	7,66
4	7,83	8,37	7,85
5	7,4	7,87	7,42
6	8,01	8,53	8,01
7	8,21	8,71	8,11
8	7,95	8,49	7,98
9	7,91	8,43	7,98
10	8,12	8,68	8,01
MEDIA	7,894	8,419	7,872
Desv	0,223	0,233	0,202
t muestra	0,319	0,309	0,264

El tamaño de la muestra de acuerdo con la ecuación de Cochran y Cox es muy pequeño. Por otra parte se han realizado 10 ensayos.

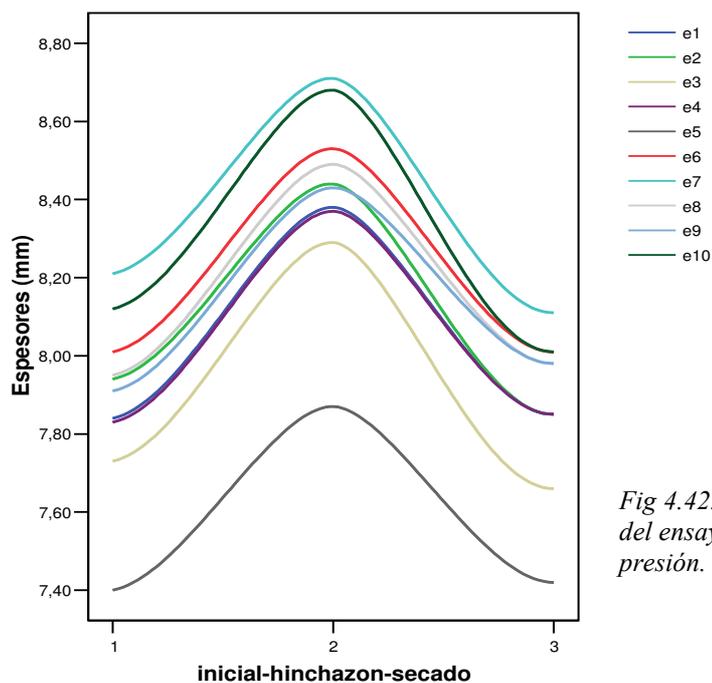


Fig 4.42. Evolución del espesor para cada muestra del ensayo con 20% de resina y 250 kg/cm<sup>2</sup> de presión.

**Pruebas no paramétricas**

Tabla 4.85. Pruebas no paramétricas para espesores de tableros. Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
E_inicial	10	7,40	8,21	7,8940	0,22307	0,050
hinchamiento	10	7,87	8,71	8,4190	0,23397	0,055
recuperación	10	7,42	8,11	7,8720	0,20242	0,041
N válido (según lista)	10					

**Auto correlaciones.**

Se utiliza esta prueba para determinar si las variables (en este caso los distintos estadios del espesor según esté el tablero al inicio, hinchado o seco), son independientes entre si. La prueba se basa en las correlaciones lineales entre la secuencia observada de valores  $x_i$  y las secuencias retardadas 1,2,3,... k posiciones. El estadístico al ser las observaciones independientes es e de Box-Ljung para cada coeficiente de la función de auto correlación.

Debemos observar el valor de la probabilidad que no encuentre menor del 0,05

**Autocorrelación: Espesor inicial**

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	Box-Ljung Prob.									
			-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	
1	0,075	0,274					**				0,075	0,784
2	-0,117	0,258				**					0,281	0,869
3	-0,029	0,242				*					0,295	0,961
4	-0,011	0,224				*					0,297	0,990
5	-0,254	0,204				*****					1,841	0,871
6	-0,071	0,183				*					1,990	0,921
7	-0,088	0,158				**					2,299	0,941
8	0,021	0,129				*					2,326	0,969

Los casos analizados de espesor inicial se sitúan en la línea central de la campana de límites, la última columna es la que nos indica la probabilidad que como observamos se encuentra cercana a valor de 1 alejándonos del valor de 0,05 no deseado.

Autocorrelación parcial: **Espesor inicial**

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	0,075	0,316					**				
2	-0,123	0,316				**					
3	-0,010	0,316				*					
4	-0,023	0,316				*					
5	-0,261	0,316				*****					
6	-0,037	0,316				*					
7	-0,158	0,316				***					
8	0,005	0,316				*					

Los límites se fijan en función del error calculado (-1+error,1-error). Los valores de ensayo deben mantenerse dentro de los límites establecidos.

Autocorrelación: **Hinchamiento**

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung Prob.
1	0,051	0,274					*			0,035		0,851
2	-0,123	0,258				**				0,263		0,877
3	0,000	0,242				*				0,263		0,967
4	0,011	0,224				*				0,266		0,992
5	-0,307	0,204				*****				2,527		0,772
6	-0,049	0,183				*				2,598		0,857
7	-0,073	0,158				*				2,814		0,902
8	0,010	0,129				*				2,820		0,945

Autocorrelación parcial: **Hinchamiento**

Lag	Pr-Aut-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	0,051	0,316					*				
2	-0,126	0,316				***					
3	0,014	0,316				*					
4	-0,005	0,316				*					
5	-0,311	0,316				*****					
6	-0,013	0,316				*					
7	-0,165	0,316				***					
8	0,007	0,316				*					

**Autocorrelación: Recuperación.**

Lag	Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1	Box-Ljung Prob.
1	0,115	0,274			.		**		.			0,177 0,674
2	0,124	0,258			.		**		.			0,409 0,815
3	-0,068	0,242			.		*		.			0,489 0,921
4	-0,205	0,224			.		****		.			1,332 0,856
5	-0,260	0,204			.		*****		.			2,955 0,707
6	-0,091	0,183			.		**		.			3,204 0,783
7	-0,092	0,158			.		**		.			3,544 0,831
8	-0,015	0,129			.		*		.			3,557 0,895

**Autocorrelación parcial: Recuperación**

Lag	Pr-Auto-Corr.	Stand. Err.	-1	-.75	-.5	-.25	0	.25	.5	.75	1
1	0,115	0,316			.		**		.		
2	0,113	0,316			.		**		.		
3	-0,096	0,316			.		**		.		
4	-0,209	0,316			.		****		.		
5	-0,214	0,316			.		****		.		
6	-0,007	0,316			.		*		.		
7	-0,054	0,316			.		*		.		
8	-0,068	0,316			.		*		.		

Se observan los gráficos correspondientes de la autocorrelación y autocorrelaciones parciales de cada uno de los estadios inicial-medio-final en cuanto a los espesores de los tableros y como se mantienen los valores representados por diagramas de barras dentro de los intervalos de confianza asignados.

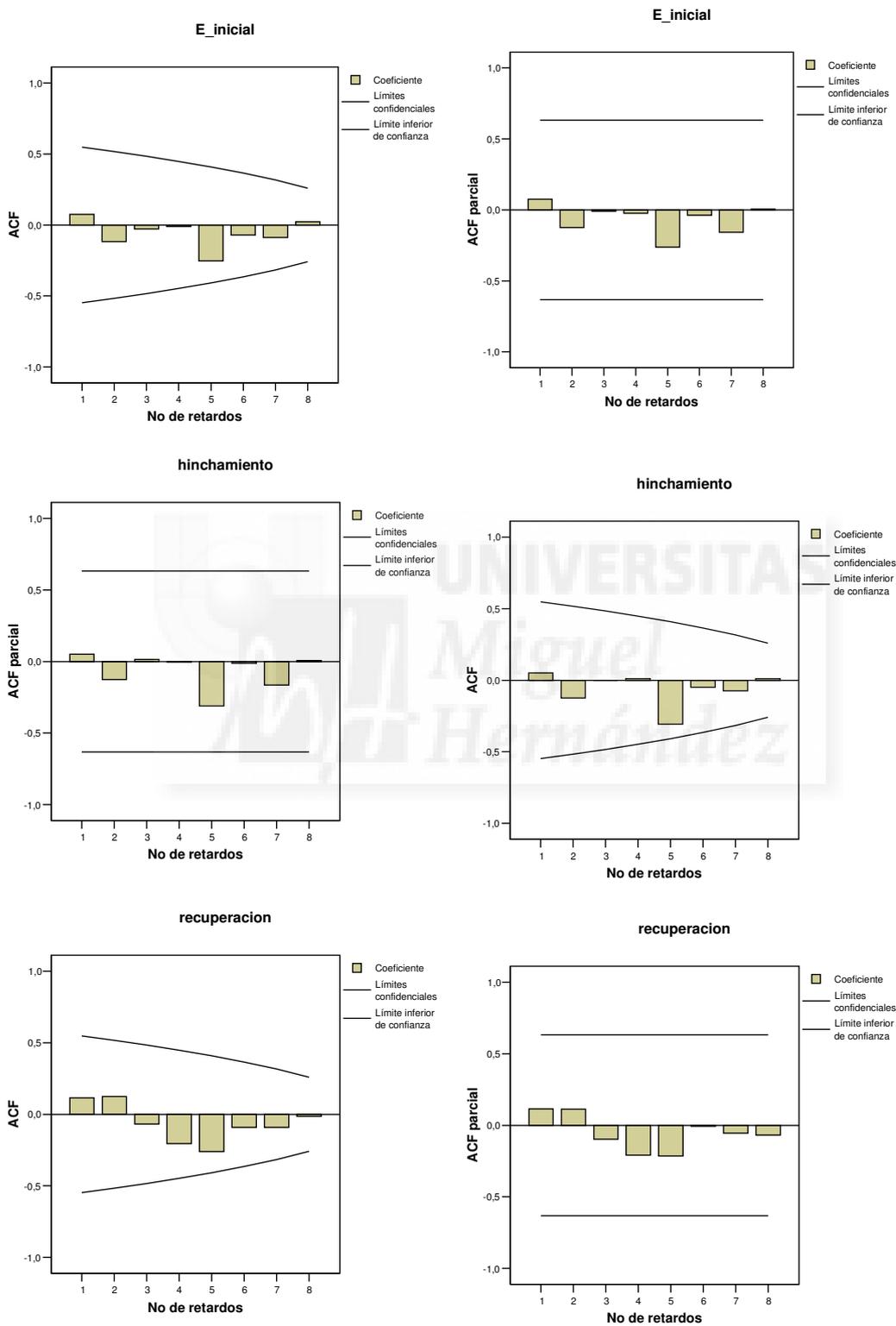


Fig 4.43. Correlación y correlación parcial para espesor inicial, hinchazón y recuperación del espesor.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**

*MH* **UNIVERSITAS**  
*Miguel*  
*Hernández*

## 5.- CONCLUSIONES.

Podemos suponer que si deseamos obtener un tablero a base de material compuesto por caña común, debemos asumir a priori que la mayor efectividad la obtendremos con un tablero de “fibras” y no de partículas. En este sentido es lógico suponer que el tablero de aglomerado de madera tiene peores propiedades que el tablero de densidad media DM aunque no precisamente en cuanto al comportamiento frente al agua.

El objeto del presente trabajo no ha sido el de analizar los distintos tableros existentes en el mercado, si no de establecer un método y analizar las distintas posibilidades para obtener el mejor resultado desde el punto de vista económico, así como dar cabida a un nuevo tablero con unas posibilidades aún por desarrollar.

### **Conclusiones iniciales para tableros sin selección de fibras. Proceso de fabricación industrial no controlado.**

El primer ensayo no es alentador ya que el tablero está fresco. La resina de urea formaldehído no ha fraguado en el núcleo; no ha sido suficiente el tiempo de permanencia en el horno de secado. Al tener una alta humedad de referencia (aproximadamente 25% agua respecto del material seco), los tiempos de horneado y fraguado de la resina aumentan considerablemente, por tanto es necesario desecar primeramente la caña para reducir este tiempo.

Después de añadir 48 horas y de mantener los tableros en condiciones de prensado sin extraer de los moldes, con proceso de horneado de 6 horas diarias a 120°C, se ha conseguido poder desmoldar sin romper los tableros. Al cortar ahora los tableros si observamos que se ha endurecido alcanzando una resistencia adecuada.

Es evidente que económicamente no es rentable mantener un tablero tanto tiempo en moldes sometándolo a proceso de fraguado con calor.

Los análisis cualitativos del tablero a priori, son positivos, se ha conseguido un tablero de elevada consistencia en apariencia y el corte aparece limpio.

La parte superficial en contacto con los moldes, tiene un acabado fibroso que bien podría utilizarse en falsos techos decorativos.

Como referencia final, hemos conseguido densidades superiores al abeto, al álamo incluso al pino y por el aspecto puede añadirse perfectamente una terminación de madera laminada, por ejemplo.

**Conclusiones iniciales para tableros con selección de fibras. Proceso de fabricación en laboratorio controlado.**

En este caso, una vez realizado el control sobre la cantidad de agua que contienen las partículas de caña común, y ajustado el proceso de fabricación en el laboratorio, los resultados son más significativos y nos permiten concretar aún más conclusiones.

Para conseguir una mezcla óptima primeramente debemos desecar la fibra al aire libre hasta conseguir bajar la humedad entre el 10% y el 8% máximo. Incluso se podría pensar en secar las partículas de caña previamente en un horno para alcanzar valores parecidos a los tableros de aglomerado de madera en torno al 5% de media.

Debemos eliminar los sólidos de tamaño excesivo, que corresponden a los tamices de 10mm, 8mm e incluso el tamiz de 4mm. Se deben introducir de nuevo en la desfibradora para reducir mermas del producto.

Se debe eliminar una parte del contenido de finos para ajustar la mezcla aunque si se deja tal y como sale de la desfibradora de mazas y esto implique aumentar ligeramente el contenido de resina, le aportará una mayor consistencia y densidad en la unión de partículas gruesas.

**CONCLUSIONES:**

1. La obtención de fibras no puede ser mediante desfibradoras de cuchillas ya que aporta un exceso de finos y se eliminan los haces fibrosos. Al no existir fibra se concluye que la molienda “tipo serrín” no favorece la resistencia del tablero. Además añade un sobrecoste de aglomerante de resina de urea formaldehído.
2. El exceso de agua en la caña superior al 8% aumenta el tiempo de fraguado de la resina de urea formaldehído. Se debe realizar un estricto control de humedad inicial ya que la caña común se adquiere secada al aire libre.

3. El tablero sin selección de fibras, hecho en bruto incluyendo todos los tamices (16mm, 10mm, 8mm, etc), rebaja sus propiedades mecánicas frente a los que tienen selección de las mismas, es necesario un cribado y una selección de las partículas desfibradas antes de fabricar el tablero.
4. La experiencia con los tableros incluyendo hasta el tamiz de 8mm sigue sin aportar ventajas sobre los tableros con mayor índice de esbeltez. Puede considerarse más un tablero decorativo por el número de huecos entre fibras que incorpora.
5. Se pueden obtener tableros aceptables considerando en el contenido del material desfibrado el tamiz de 4mm pero se sigue mejorando sensiblemente el resultado final si solo se llega hasta el tamiz de 2mm.
6. El índice de esbeltez elaborado por Klauditz (relación largo/espesor) es válido para los tableros de aglomerado de caña.
7. En todos los tableros fabricados a medida que aumenta la presión de prensa aumentan considerablemente las propiedades mecánicas y físicas de los tableros.
8. El tablero de aglomerado de madera es similar al tablero con partículas desfibradas de hasta 2mm conformado a presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  en cuanto a densidad, deformación, carga de rotura, resistencia a flexión y módulo de elasticidad.
9. Con valores de baja presión  $30 \text{ kg/cm}^2$  los tableros que mejor se comportan son los que tienen mayor proporción de resina contienen (20% de resina de urea formaldehído en peso de material seco). Con valores de alta presión  $250 \text{ kg/cm}^2$  los tableros con un 15% de resina tienen un comportamiento similar a los fabricados con el 20%.
10. Los tableros de aglomerado de madera de buena calidad se sitúan en valores de hinchazón del espesor del 16% y no recuperan las dimensiones tras el proceso de secado. Los de peor calidad se sitúan en un 19%. El DM se sitúa en un 28% y tampoco recupera, es más aumenta el espesor al perder el agua. Los tableros de aglomerado de caña fabricados con baja presión y 15% de resina mejoran el

comportamiento frente al agua tanto del aglomerado de madera como del DM (7,5% hinchazón, 28,4% recuperación).

11. Para los tableros fabricados con presión de 250 kg/cm<sup>2</sup> y proporciones de resina del 20% se produce una recuperación total del espesor del tablero en el proceso de secado tras someterle a un ensayo de hinchamiento en agua.(6,9% hinchazón, 0,1% recuperación).
12. Los tableros que han permanecido más tiempo bajo condiciones de fraguado en el horno de secado han experimentado un ligero aumento de la resistencia en el ensayo de flexión debido a la pérdida de agua que se produce en el tablero.
13. La resina urea formaldehído rompe antes que la fibra de la caña, se produce el despegue de la fibra y la rotura del tablero en el ensayo es aleatoria y dispersa. En los tableros de aglomerado de madera ensayados e incluso en el DM, la rotura se mantiene justo bajo el rodillo de carga siendo una rotura limpia.
14. Con la resistencia a tracción de la caña de 2233,58 kg/cm<sup>2</sup> los tableros no aportan un comportamiento resistente adecuado, la resina de urea formaldehído no une adecuadamente con las partes satinadas de la cubierta de la caña.
15. Se ha comprobado con este trabajo de investigación que los tableros a base de partículas de caña común aportan un comportamiento frente al agua muy favorable y satisfactorio, no tanto como elemento resistente por la falta de adherencia de la resina de urea formaldehído. Se deja para posteriores investigaciones el ajuste de los procedimientos de fabricación usando la misma resina de urea formaldehído para conseguir mejor unión entre las partículas y la resina y el empleo de otro tipo de resinas que puedan adaptarse mejor a este tipo de material.



**CAPITULO 6: BIBLIOGRAFIA**

## 5.-BIBLIOGRAFIA.

-A-

**Aguilar-Vega, M. y Cruz-Ramos, C. (1995).** Properties of Henequen Cellulosic Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*.

**AITIM, 1999.** Asociación de investigación técnica de la madera y el corcho. II simposium europeo sobre tableros.

**APA.** Oriented strand board. American Plywood Association 1986, 8 págs.

**APA.** Waferboard. American Plywood Association 1986.

**Arbeláez Arce, A. (1997).** Morteros reforzados con fibras de bambú. *Revista de la facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. Vol.50, N° 2. Colombia. ISSN-0304-2847.

**Atchison, J. E. y McGovern, J.N. (1983).** History of Paper and the Importance of Nonwood Plant Fibers. In *Pulp and Paper Manufacture Vol. 3, Secondary Fibers and Non-Wood Pulping*.

-B-

**Balaguer, L. (2004).** Las plantas invasoras. ¿El reflejo de una sociedad crispada o una amenaza científicamente contrastada. *Historia natural*.

**Barba, C., Montané D., Rinaudo, M. y Farriol, X. (2002).** Synthesis and Characterization of Carboxymethylcelluloses (CMC) From Non-Wood Fibers II. (Rheological behavior of CMC in aqueous solutions). Aceptado en *Cellulose para su publicación*.

**Barbeta Solá, G., (2002).** Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. Tesis doctoral por la Universidad Politécnica de Cataluña.

**Batanero, C. (2000).** Traducción del artículo: Controversies around the role of statistical tests in experimental research. *Mathematical Thinking and Learning*, 2(1-2), 75-98. Número monográfico sobre Educación Estadística. Editor: Brian Greer.

**Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. (2000).** Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology*.

**Box, G.E., Hunter, W. and Stuart, J. H. (1989).** Estadística para Investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Ed. Reverté, S.A. Barcelona. España.

-C-

**Carvajal, O., Valdés, J.L., Puig, J. (1996).** Bagasse particleboards for building purpose. *Holz als Roh und Werkstoff*.

**Cohran, W. G. y Cox, G. M. (1991).** Diseños Experimentales. 2ª Ed.-México. Trillas, 1991.661 pp.

**Das, S., Saha, A.K., Choudhury, P.K., Basak, R.K., Mitra, B.C., Todd, T., Lang, S., Rowell, R.M., (2000).** Effect of Steam Pretreatment of Jute Fiber on Dimensional Stability of Jute Composite. *Journal of Applied Polymer Science*.

**-D-**

**Dobbion M. (1975).** Humidity effects on properties of structural particleboard from forest residues. Forest Products Laboratory.

**Duque, J.A. (1.979).** Datos de Ecosistemas sobre las plantas económicas. Cuarto de galón. J. Droga Cruda Res.

**-E-**

**EN 309, (1994).** Norma UNE. Clasificación de tableros.

**EN 310, (1994).** Norma UNE. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión.

**EN 317, (1994).** Norma UNE. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua.

**EN 322, (1993).** Norma UNE. Determinación del contenido de humedad.

**EN 323, (1994).** Norma UNE. Determinación de la densidad.

**-F-**

**F.A.O. (1998), (2004).** Base de datos estadísticos. Sitio: web:[http:// www.apps.fao.org](http://www.apps.fao.org).

**F.A.O. (2001).** Situación actual de los bosques del mundo. Reporte década 1990-2000.

**Fengel, D y Wegener, G. (1984).** Wood. Chemistry, ultrastructure and reactions. Walter de Gruyter. Berlin/NewYork.

**Fernandez-Golfín, J. I.; Di& Barra, M. R.; Miranda Fontes, M. M. (1992).** Comportamiento reológico del tablero de partículas. Influencia del tipo de encolado y del revestimiento superficial aplicado. INIA, 95 págs.

**Ferrán, M. (2.001).** SPSS para Windows. Análisis estadístico. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid.

**FESYP, (1978).** Particleboard today and tomorrow. FESYP, 467 págs.

**Fisher, R. A. (1958).** Statistical methods for research workers (13ª edición). New York: Hafner.

**Fornell, T. C. (1.990).** Widespread adventice plants in Catalina. Pages: 85 - 104 in Biological Invasions in Europe and the Mediterranean basin. F. Di Castri, A. J. Hansen, M. Debussche, editors. Kluwer, Academia Publishers, Boston, U.S.A.

**FPRS, (1988).** Structural wood composites: new technologies for expanding markets. Forest Products Research Society, 147 págs.

**-G-**

**García Esteban, L. Guindeo Casasús, A. Peraza Oramas, C. de Palacios, P. (2002).** La madera y su tecnología. Ediciones Mundi prensa. Madrid.

**García Fernández, J. (1.971).** Cultivos herbáceos. Ed. Agrocienza. Zaragoza.

**García Ortuño, T. (2003).** Caracterización de la caña común (*Arundo donax* L.) para uso como material de construcción. Tesis doctoral por la Universidad Miguel Hernández.

**Ginzel, W. y Peraza, C. (1966).** Tecnología de tableros de partículas. FIE, 87 págs.

**Giordano, G. (1983).** Tecnología del legno. UTET. Tomo II, 792 págs.

**Grigoriou, A.H. (2000).** Straw-wood composites bonded with various adhesive systems. Wood Science and Technology.

**Grigoriu, A., Passialis, C., Voulgaridis, E., (2000).** Experimental particleboards from Kenaf plantations grown in Greece, Holz als Roh- und Werkstoff (2000).

**Guarín N., (2002).** Estadística Aplicada. Universidad Nacional de Colombia.

-I-

**Idarraga, G., Ramos, J., Zuñiga, V., Sahin, T. y Young, R. (1999).** Pulp and Paper from Blue Agave Waste Tequila Production. Journal of Agriculture Food Chemistry. 47, 4450-4455.

**Instituto del Cemento Portland Argentino (1978).** Cemento reforzado con fibra de vidrio. Boletín ICPA N° 63, mayo-junio

-J-

**Jiménez, L y Sánchez P. (1989).** Residuos agrícolas para la obtención de pastas celulósicas en España. Ingeniería Química, abril, 169-178.

**Jiménez, L y Sánchez P. (1989).** Residuos agrícolas para la obtención de pastas celulósicas en España. Ingeniería Química, abril, 169-178.

-K-

**Kallavus, U., Gravitis, J., (1995).** A Comparative Investigation of the Ultrastructure of Steam Exploded Wood With Light, Scanning and Transmission Electron Microscopy”, Holzforschung.

**Kollmann, F E P. y Cote, W., (1968).** Principles of wood science and technology. Tomo I. Springer-verlag, Berlin, 592 págs.

**Košíková, B., Mlynár, J., Zákutná, L., Joniak D., (1990).** The Relationship between Ultrastructure and Lignin Extractability of Steamed Hardwoods. Holzforschung.

**Kumar V.B., (1966).** Suitability of Indian Hardwoods for the Manufacture of Hardboard. Holzforschung und Holzverwertung.

-L-

**Laboratorio Nacional de la Oak Ridge, (2002).** Programas de desarrollo de la Materia de Base de Bioenergy, P.O. Box 2008, La Oak Ridge.

**Lopez Menéndez, J. A. y Pardo Canalís, L., (1975).** Formaldehído en tableros de partículas. AITIM, 126 págs.

-M-

**Macías Mesa, J.A. y Díaz Delgado, J.R. (1994).** Composición de hormigones y morteros con fibras de Henequén. Certificado de Autor de Invención. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. N° de publicación CU 22186 A1. Cuba.

**Maddern, K. y French, J. (1994).** The potential application of non-wood fibres in papermaking: an Australian perspective. *Appita*, 48, 191-196.

**Maloney, T. M., (1989).** Modern particleboard and dry-process fibreboard manufacturing. Miller Freeman, 672 págs.

**Mason, W.H., (1927).** Pulp and paper from steam exploded wood. *Paper trade journal*.

**Misra D.K. (1993).** Cereal Straw. Pulp and paper manufacture. Vol 3. Secondary Fibers.

**Montgomery, D. C., (1991).** Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

**Moslemi, A. A., (1974).** Particleboard. Southern Illinois University Press. Tomo I 1974, 244 págs.. Tomo II, 245 págs.

**Obataya, E., Umezawa, T., Nakatsubo, F. y Norimoto, M. (1.999).** Los efectos de los extractos solubles en agua en las características acústicas de la caña (donax L. Arundo). *Holzforschung*, 53 (1), 63-67.

-O-

**ODITA, (1998).** El tablero aglomerado en la construcción. Oficina de Difusión del Tablero Aglomerado, 221 págs.

**Oggiano, N. Angelini, L.G., Cappelletto, P., (1997).** Pulping and paper properties of some fiber crops. *Industrial Crops and Products*.

**Ormea, G.B., (1.975).** La teoría y la práctica en la construcción. Oepli. Ed. Científico-Médica. Barcelona.

-P-

**Peraza, F. Arriaga, F. F. Peraza, F. (2003).** Tableros de madera de uso estructural. Ministerio de Ciencia y Tecnología.

**Polunin, O. & Huxley A. (1987).** Flowers of the Mediterranean. Hogarth Press, London.

-R-

**Ramaswamy, H.S., Ahuja, B.M. and Krishnamoorthy, S. (1.983).** Behaviour of concret reinforced with jute, coir and bamboo fibres. *International Journal of Cemnt Composites and Lightweight Concret*. Vol.5, Issue 1, February 1983. Pages 3-13. ISSN: 0262-5075.

**Rodríguez J.J., García H.F y Cordero A.T. (1990).** Posibilidades de aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos. *Ingeniería Química*, mayo, 191-197.

**Romildo D. Toledo Filho, Karen Scrivener, George L. England and Khosroww Ghavami (2.000).** Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composite*. Vol.22, Issue 2, April 2000.

**Rowell R.M., Sanadi, A.R., Caulfield, D.F. y Jacobson, R.E. (2000).** Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities, in "Lignocellulosic-Plastic-Composites". Leao A. L., Carvalho F.X. and Frollini E. (Eds.) USP, UNESP, Sao Paulo.

-S-

**Sekino, N., Inoue M., (1998).** Mechanism of Dimensional Stabilization of Particleboards Made from Steam Pretreated Particles (Reduction of In-Plane Swelling Stress of Wood Particles), Journal of the Society of Materials Science Japan.

**Sekino, N., Inoue M., Irle M., Adcock T., (1999).** The Mechanisms Behind the Improved Dimensional Stability of Particleboards Made from Steam-Pretreated Particles. Holzforschung.

**Sjöström, E. (1981).** Wood Chemistry. Fundamentals and applications. Academic Press. London.

**Spalt, H. A., (1977).** Chemical Changes in Wood Associated with Wood Fiberboard manufacture. Wood technology: Chemical Aspects. ACS Symposium Series.

**Spatz, H.-ch., Emanns, A. y Speck, T., (1997).** Características elásticas, viscoelásticas y plásticas del hemicelulosa de Equisetum . En: Procedimientos de la biomecánica 1997 de la conferencia de la planta I (eds.: G.J. Jeronimidis y J.F.V. Vincent), centro de Biomimetics, la Universidad de la lectura.

**Speller, C. (1993).** The Potential for Growing Biomass Crops for fuel on Surplus Land in the UK. Outlook on Agriculture.

**Steel, R. G. y Torrie, J.H.(1985).** Bioestadística. Principios y procedimientos (2ª Ed.). McGraw Hill, México. 622 pp.

**Suchsland, O. y Woodson, (1991).** G. Fiberboard manufacturing practices in the United States. Forest Products Research Society, 236 págs.

-T-

**Tsoumis, G., (1991).** Science and technology of wood. Van Nostrand Reinhold. Nueva York, 494 págs.

-V-

**Valadez, A.G., Cervantes, J.M., Olayo, R. y Herrera, P.J. (1999).** Chemical Modification of henequén fibers with an organosilane coupling agent. Composites: Part B 30, 321-331.

**Vorreiter, L. Holztechnologisches handbuch. Verlag Georg Fromme.** Tomo I: Viena 1949, 548 págs.. Tomo II: Viena 1958, 646 págs.. Tomo III: Viena 1963, 887 págs.

-W-

**White, G.A. y Cook, C.G.** Inventory of Agro-Mass. Rowell R. M, Young R.A. y Rowell J.K., (Eds.) CRC Lewis Publishers, Boca Raton, USA.

-X-

**Xavier Bustins.** Institució Familiar d'Educació.  
[http://www.institucio.org/lafarga/alumnes/biologia/fulla\\_arundo2.jpg](http://www.institucio.org/lafarga/alumnes/biologia/fulla_arundo2.jpg)

-Y-

**Young R.A. (1997).** Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications in "Lignocellulosic-Plastic-Composites". Leao A. L., Carvalho F.X. and Frollini E. (Eds.) USP, UNESP, Sao Paulo.

**Youngquist, J.A., Krzysik, A.M., English, B.W., Spelter, H.N., Chow P., (2000).** Agricultural Fibers for Use in Building Components. En: The use of recycled wood and paper in building applications: Proceedings 1996 symposium. Forest Product Society: 123- 134 Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. Wood Science and Technology.

-Z-

**Zhang, M., Kawai, S., Sasaki, H., Yamawaki, T., Yoshida, Y., Kashihara, M., (1995).** Manufacture and Properties of Composite Fiberboard II. Fabrication of board manufacturing apparatus and properties of bamboo/wood composite fibreboard. Mokuza Gakkaishi.

**Zhao, L., Griggs, B.F., Chen, C., Gratzl, J.S., Hse, C., (1994).** Utilization of Softwood Kraft Lignin as Adhesive for the Manufacture of Reconstituted Wood. Journal of Wood Chemistry and Technology.

**Zohary, M (1962).** Plant life of Palestine. Ronald Press, New York.

**Zuñiga, G.E., Argandona, V. H., Niemeyer, H. M. and Corcuera. L. J. (1.983).** Hyroxamic content in wild and cultivated Gramineae. Phytochemistry 22(12):2665-2668.

