



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

TABLEROS DE POSIDONIA OCEÁNICA Y
PARTÍCULAS DE MADERA DE PINO GALLEGO
ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS
COMPRESIÓN PARALELA AL TABLERO

Antonio Maciá Mateu

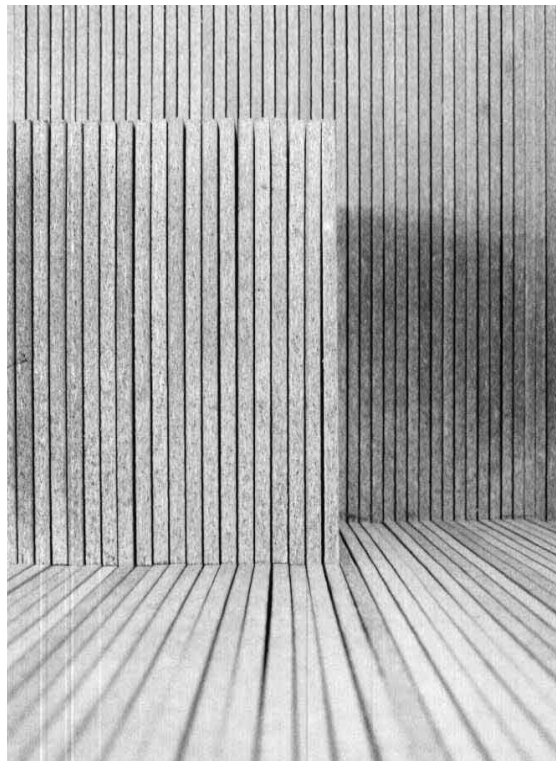


Tesis

Doctorales

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE



**TABLEROS DE POSIDONIA OCEÁNICA Y
PARTÍCULAS DE MADERA DE PINO
GALLEGO
ESTUDIO DE PROPIEDADES MECANICAS
COMPRESIÓN PARALELA AL TABLERO**

Programa de doctorado 1002. Ingeniería de
Materiales, del Agua y del Terreno

Tesis doctoral

Autor: Antonio Maciá Mateu
Tutor: Dr. Salvador Ivorra Chorro

Alicante, diciembre 2015



Tesis doctoral

Autor: Antonio Macià Mateu
Tutor: Dr. Salvador Ivorra Chorro

Alicante, diciembre 2015

Imagen de portada: Propuesta para el día mundial de la arquitectura. Mirador de arquitectura para Andalucía. 2004 obra el arquitecto Antonio Jiménez Torrecillas.

PRÓLOGO

La presente tesis, titulada "TABLEROS DE PARTICULAS DE POSIDONIA OCEÁNICA Y PINO GALLEGO. COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN PARALELA ", ha sido redactada por Antonio Maciá Mateu. Con este trabajo se cubre el principal objetivo del Programa de Doctorado con el código 1002 y llamado "Ingeniería de Materiales, del Agua y del Terreno" que se desarrolla en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante. El contenido de la presente tesis se inició con los trabajos desarrollados en el periodo de investigación tutelada entre 2009 y 2010 que permitió obtener el Diploma de Estudios Avanzados (DEA).

La tesis ha sido dirigida por el Catedrático de Universidad Dr. Salvador Ivorra Chorro perteneciente al departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante.

Con la presente tesis se pretende estudiar las propiedades mecánicas de un nuevo material formado, básicamente por posidonia oceánica, pino gallego y adhesivos (poliuretano y MDI). Este nuevo material se puede utilizar para la formación de tableros estructurales en ambiente protegido y tanto en el ámbito de la arquitectura como en el de diseño de mobiliario. La principal finalidad se encamina al hecho de contribuir a reducir el uso de la madera en la fabricación de los tableros y dar utilidad a los residuos en los que se convierte la posidonia oceánica una vez que sale del mar (solo en los casos en los que es necesaria retirarla). Ello contribuye al desarrollo de planteamientos básicos de sostenibilidad en los ámbitos de la arquitectura, diseño de producto, gestión de recursos, procesos de fabricación y construcción.

Para el estudio de las propiedades mecánicas de este nuevo material se han tomado como referencia y punto de partida, los procesos de fabricación, composición, tipología, propiedades físicas y propiedades mecánicas de los tableros estructurales derivados de la madera.

Tras los análisis, ensayos y justificaciones mecánicas previas, se indican varias de las líneas de trabajo que se pueden desarrollar a nivel de la Tesis Doctoral y cual de ellas se elige para el desarrollo de la presente tesis. En este trabajo se incide en el estudio de las situaciones de partida (tableros de madera), en la fabricación de probetas y la realización de ensayos encaminados a la obtención de algunas las propiedades mecánicas de los tableros estructurales derivados de la posidonia oceánica en primer lugar y de posidonia oceánica y partículas de pino galleo en una segunda fase. Tras el estudio de varias propiedades mecánicas, la tesis se centra en el estudio del comportamiento de los tableros de posidonia oceánica y partículas de pino gallego, principalmente a compresión paralela al tablero.

En cada uno de los puntos, de los que estructura la presente tesis doctoral, se desarrollan los siguientes aspectos:

INTRODUCCIÓN.

Se introduce la problemática a tratar. La necesidad de plantear un trabajo de investigación dentro del campo de la mecánica de los medios continuos que, además, dé resultados que contribuyan a avanzar en materia de sostenibilidad en el ámbito de la arquitectura y el diseño de producto, especialmente en el ámbito del diseño de mobiliario.

Se plantea el entorno y ámbito del trabajo: tableros estructurales derivados de la posidonia oceánica en primera instancia y, finalmente, de posidonia oceánica y partículas de pino gallego, indicando, de manera esquemática, los objetivos de la tesis.

EVOLUCIÓN DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES. RESEÑA HISTÓRICA.

El uso de tableros, estructurales o no, es un tema conocido, desde hace más de 3500 años que se están en uso. En este punto se hace un repaso de la existencia de los tableros de madera haciendo especial hincapié en los siglos XIX y XX en los que, el avance tecnológico, permitió una mayor sofisticación en la fabricación y prestaciones de los tableros estructurales derivados de la madera.

TIPOLOGÍA Y FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS.

Para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este capítulo se indican los tipos de tableros estructurales derivados de la madera y sus particularidades en el proceso de fabricación.

En la misma línea del punto anterior, para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este capítulo se estudian los tableros existentes en la actualidad y que no son derivados de la madera. Algunos de ellos no están destinados a tener que desarrollar un adecuado comportamiento estructural si no que están dedicados a comportarse como materiales aislantes a nivel térmico, acústico o frente a la acción del fuego y serían objeto de líneas de investigación a desarrollar en otras tesis doctorales.

PROPIEDADES DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA.

En la misma línea del punto anterior, para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este capítulo se presentan las propiedades físicas que influyen en los procesos de cálculo de los tableros estructurales derivados de la madera. Este estudio permitirá conocer si estas propiedades también influyen o no en el comportamiento de los tableros derivados de la posidonia oceánica y partículas de pino gallego.

También se presentan las propiedades mecánicas que influyen en los procesos de cálculo de los tableros estructurales derivados de la madera. Este estudio permitirá conocer en qué medida influyen estas propiedades en el comportamiento de los tableros derivados de la posidonia oceánica y partículas de pino gallego. La información tratada en este capítulo servirá de referencia y punto de partida para el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros propuestos.

PROPUESTA DE ESTUDIO DE LOS TABLEROS DERIVADOS DE LA POSIDONIA Y/O PINO GALLEGO

Una vez presentado el estado del arte en el campo de los tableros estructurales derivados de la madera, se presenta el planteamiento experimental del trabajo en el ámbito del estudio de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica y/o Pino Gallego.

En una segunda parte de este punto se presenta una de las repercusiones más importantes así como los resultados de la Tesis Doctoral.

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

Una vez presentado el estado del arte en este campo, se presenta el planteamiento experimental de la tesis con una planificación general de todo el trabajo, tanto de fabricación de las probetas como de la preparación y procedimientos de ensayo.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

En este punto se exponen todos los resultados obtenidos, tanto en la fase de fabricación como en la de ensayos. Los resultados presentados hacen referencia al comportamiento mecánico de los tableros. Se aportan las fichas de fabricación de las probetas y las de resultado de ensayos a compresión paralela, perpendicular, flexión y módulo de elasticidad de compuestos de posidonia oceánica y poliuretano. También se aportan resultados de ensayos a compresión paralela de tableros de posidonia oceánica, partículas de pino gallego y MDI como adhesivo así como de tableros de partículas de pino. Tanto en unos como en otros tableros se ensayan diferentes dosificaciones.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En este punto se discuten los resultados de los distintos ensayos estudiando de qué manera influyen las diferentes variables en el comportamiento estructural de las probetas de los tableros. Se establecen comparativas entre los resultados de las probetas con distintas dosificaciones.

CONCLUSIONES.

Partiendo de las discusiones del punto anterior se extraen las principales conclusiones del trabajo de investigación experimental desarrollado y se establecen posibles futuras líneas de investigación que pueden completar y ampliar los resultados obtenidos en esta tesis doctoral.

BIBLIOGRAFÍA.

Por último se incluye la bibliografía consultada.

Como punto final a este prólogo creo que es importante dejar constancia a modo de agradecimiento a las personas que me han facilitado el desarrollo del presente trabajo. Especialmente a los Profesores Dr. Salvador Ivorra Chorro tutor de esta tesis y Dr. Javier Baeza así como a la arquitecta Elena Latour Alvarez, por su ayuda e interés mostrado durante todo el proceso.

Alicante, diciembre de 2015

El autor

ÍNDICE

Prólogo.	001
Índice.	005
1.- INTRODUCCIÓN.	010
2.- EVOLUCIÓN DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES. RESEÑA HISTÓRICA.	013
2.1.- Origen de los tableros estructurales.	014
2.2.- Antecedentes.	014
2.3.- Producción industrial de los tableros de madera. T. contrachapados.	015
2.4.- Aplicaciones: siglo XX.	015
2.5.- Aparición de los tableros de fibras, partículas y OSB.	017
2.5.1.- Tableros de fibras.	017
2.5.2.- Tableros de partículas.	018
2.5.3.- Tableros de virutas orientadas. OSB.	019
3.- TIPOLOGÍA Y FABRICACIÓN DE TABLEROS.	022
3.1.- Tableros estructurales derivados de la madera.	022
3.1.1.- Materias primas.	022
3.1.1.1.- Madera.	022
3.1.1.2.- Adhesivos.	025
3.1.1.3.- Aditivos y revestimientos.	027
3.1.2.- Tipología de tableros estructurales derivados de la madera.	027
3.1.2.1.- Tableros de madera maciza.	027
3.1.2.2.- Tableros de madera enlistonada.	028
3.1.2.3.- Tableros de tres y cinco capas de madera maciza.	029
3.1.2.4.- Tableros contrachapados.	030
3.1.2.5.- Tableros laminados.	032
3.1.2.6.- Tableros de fibras paralelas (PSL).	032
3.1.2.7.- Tableros de virutas laminadas en coladas (LSL).	033
3.1.2.8.- Tableros de fibras orientadas (OSB).	034
3.1.2.9.- Tableros de fibras.	035
3.1.2.10.- Tableros de partículas prensados en plano (FP).	037
3.1.2.11.- Tableros de partículas extruidas.	038
3.1.3.- Proceso de fabricación de los tableros derivados de la madera.	039
3.1.3.1.- Tableros de madera maciza.	039
3.1.3.2.- Tableros de alma enlistonada.	039
3.1.3.3.- Tableros de tres y cinco capas de madera maciza.	039
3.1.3.4.- Tableros de partículas prensados en plano (FP).	039

a.- Preparación de las partículas.	
b.- Secado de las partículas.	
c.- Encolado de las partículas.	
d.- Formación de la pasta de partículas.	
e.- Pre-prensado.	
f.- Prensado.	
g.- Enfriado.	
h.- Obtención del producto final.	
3.1.3.5.- Tableros contrachapados.	042
3.1.3.6.- Tableros laminados.	043
3.1.3.7.- Tableros de fibras paralelas (PSL).	043
3.1.3.8.- Tableros de virutas laminadas en coladas (LSL).	043
3.1.3.9.- Tableros de fibras orientadas (OSB).	043
3.1.3.10.- Tableros de fibras.	044
3.1.3.11.- Tableros de partículas extruidas.	045
3.2- Tableros derivados de materiales distintos a la madera.	046
3.2.1.- Tipología de tableros derivados de otros materiales.	046
3.2.1.1.- Fibrocemento.	046
3.2.1.2.- Cartón yeso.	047
3.2.1.3.- Yeso y fibra de celulosa.	047
3.2.1.4.- Corcho.	048
3.2.1.5.- Poliestireno expandido (EPS).	048
3.2.1.6.- Poliestireno extruido (XPS).	049
3.2.1.7.- Poliuretano.	049
3.2.1.8.- Lana mineral.	050
3.2.1.9.- Lana de oveja.	050
3.2.1.10.- Lino.	050
3.2.1.11.- Fibra de coco.	051
3.2.1.12.- Cãñamo.	051
3.2.1.13.- Cãscara de almendra.	051
3.2.1.14.- Cãscara de cacahuete.	052
3.2.1.15.- Paja.	052
3.2.1.16.- Tableros laminados de alta presi3n (HPL).	052
3.2.1.17.- Tableros de partículas de madera y cemento.	053
4.- PROPIEDADES DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA.	056
4.1.- Propiedades físicas de los tableros derivados de la madera.	058
4.1.1.- Densidad.	058
4.1.2.- Contenido de humedad.	059
4.1.3.- Estabilidad dimensional.	059
4.1.4.- Resistencia a la humedad.	060
4.1.5.- C. térmica, aislamiento acústico y r. al vapor de agua.	060
4.1.6.- Contenido de formaldehído.	062
4.2.- Propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.	062
4.2.1.- Valores característicos de los tableros.	062
4.2.1.1.- Tableros contrachapados.	062
4.2.1.2.- Tableros laminados.	063
4.2.1.3.- Tableros de partículas.	064
4.2.1.4.- Tableros de fibras (MDF).	066
4.2.1.5.- Tableros de fibras duros y semiduros.	066
4.2.1.6.- Tableros OSB.	067
4.2.1.7.- Tableros LSL.	067
4.2.1.8.- Tableros de madera maciza.	068

5.- PROPUESTA DE ESTUDIO DE LOS TABLEROS DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.	072
5.1.- Presentación del planteamiento.	072
5.2.- Aspectos medioambientales.	073
5.2.1.- Contenidos de arena del residuo de posidonia oceánica.	075
5.2.2.- Contenidos y emisiones tóxicas de los tableros de madera.	078
6.- METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.	084
6.1.- Punto de partida y plan de trabajo.	084
6.1.1.- Planteamiento general.	084
6.1.2.- Programa experimental.	086
6.2.- Materiales.	089
6.2.1.- Posidonia oceánica.	089
6.2.2.- Partículas de madera.	093
6.2.3.- Adhesivos.	094
6.2.4.- Aditivos.	095
6.3.- Fabricación de probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica.	095
6.3.1.- Recogida de la posidonia.	095
6.3.2.- Lavado de las hojas de posidonia y secado natural.	096
6.3.3.- Secado en estufa de las hojas de posidonia.	096
6.3.4.- Manipulación del tamaño de las hojas. Proceso de triturado.	097
6.3.5.- Elaboración de la mezcla.	097
6.3.6.- Preparación de los moldes de acero.	098
6.3.7.- Aplicación de productos desencofrantes al molde.	099
6.3.8.- Prensado de la mezcla.	099
6.3.9.- Proceso de desmolde y acabados superficiales.	101
6.3.10.- Clasificación de las probetas.	101
6.4.- Ensayos.	101
6.4.1.- Metodología.	102
6.4.1.1.- Compresión paralela al tablero.	102
6.4.1.2.- Módulo de elasticidad en compresión paralela.	105
6.4.1.3.- Compresión perpendicular al tablero.	108
6.4.1.4.- Resistencia a flexión.	111
6.4.1.5.- Módulo de elasticidad en flexión.	112
7.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.	116
7.1.- Fabricación de probetas.	116
7.1.1.- Factores influyentes en la fabricación de las probetas.	116
7.1.2.- Numeración de las probetas y datos utilizados.	117
7.1.3.- Resumen de las probetas fabricadas por ensayo.	123
7.1.3.1.- Pr. ensayo compresión paralela.	123
7.1.3.2.- Pr. ensayo compresión perpendicular.	123
7.1.3.3.- Pr. ensayo resistencia a flexión.	124
7.1.3.4.- Pr. Módulo de elasticidad compresión paralela.	124
7.1.3.5.- Pr. módulo de elasticidad en flexión.	124
7.2.- Resultados de los ensayos referentes a las propiedades mecánicas.	124

8.- DISCUSION DE RESULTADOS.	128
8.1.- Estudio 1: Resultados sobre tableros de posidonia oceánica.	128
8.1.1.- Propiedades mecánicas.	129
8.2.- Estudio 2: Resultados sobre tableros de posidonia y parículas de pino.	136
8.2.1.- Influencia de la dosificación del adhesivo.	137
8.2.2.- Influencia de la dosificación de partículas naturales.	146
8.2.3.- Influencia de las partículas en las prestaciones mecánicas.	154
8.2.4.- Influencia del espesor de fabricación de los tableros.	166
8.2.5.- Influencia en el modo de rotura del compuesto.	170
9.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION.	181
9.1.- Conclusiones.	181
9.2.- Propuestas futuras de investigación	182
9.2.1.- Fabricación de tableros derivados de posidonia oceánica	182
9.2.2.- Caracterización del nuevo material	184
9.2.3.- Particularización del método general de cálculo de tablero de madera a tableros de posidoniaoceánica y madera	185
9.2.4.- Nuevas tesis o trabajos de investigación	185
10.- BIBLIOGRAFÍA.	189
10.1.- Libros.	189
10.2.- Artículos.	190
10.3.- Tesis doctorales.	193
10.4.- Congresos.	193
10.5.- Patentes.	193
10.6.- Normativas y publicaciones oficiales.	194
10.7.- Fuentes electrónicas.	195
10.8.- Catálogos y boletines de empresas del sector.	195
ANEJO A. FICHAS DE FABRICACION DE PROBETAS.	199
ANEJO B. FICHAS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.	221
ANEJO C. ABSTRACT. XXXVII IAHS World Congress on Housing-2010, Santander.	372
ANEJO D. FICHAS TECNICAS DE LOS ADHESIVOS UTILIZADOS.	376



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

1.- INTRODUCCIÓN.

Se introduce la problemática a tratar. La necesidad de plantear una Tesis Doctoral dentro del campo de la mecánica de los medios continuos que, además, dé resultados que contribuyan a avanzar en materia de sostenibilidad en ámbito de la arquitectura y que permita obtener un producto apto para su introducción en el mercado de los materiales de construcción.

Se plantea el entorno y ámbito del trabajo: tableros estructurales derivados de la posidonia oceánica, indicando, de manera esquemática, los objetivos del trabajo.

En las últimas décadas el planeta ha sufrido una merma de sus recursos naturales. Unas veces por deterioro de los mismos debido a la actividad humana y otras por la sobreexplotación que sufren. Uno de los recursos naturales más importantes en el equilibrio del planeta es la masa forestal.

Por otro lado se están incorporando conceptos relacionados con una "arquitectura ecológica" en el diseño y construcción de edificios. La utilización de la madera como "material ecológico" es ampliamente difundida, sin embargo ello conlleva una reducción de la misma como recurso natural.

Este trabajo de investigación trata de proponer y estudiar el aprovechamiento de un recurso natural no aprovechado hoy en día: la posidonia oceánica.

El trabajo trata de estudiar el comportamiento de la posidonia oceánica transformada para la obtención de tableros. Con ello se pretende:

- a.- El aprovechamiento de los restos de posidonia oceánica que el mar deposita en las playas y que su eliminación de éstas y posteriormente de los vertederos, supone un coste inútil, en términos de aprovechamiento.
- b.- La obtención de un material de similares características físicas y mecánicas a los tableros derivados de la madera con el fin de reducir el "coste ecológico" de la tala de árboles. La propuesta no pretende sustituir la utilización de los tableros derivados de la madera, sino ser una alternativa complementaria.

Para poder desarrollar un trabajo de investigación en el que se pretende estudiar un nuevo material, es necesario tomar un punto de partida cercano. No existen referencias sobre el uso de la posidonia oceánica usada como tablero y son pocas las referencias que indican el uso de esta planta en la construcción (aislante térmico). El punto de partida y referencia son los tableros derivados de la madera, sus tipos, aplicaciones, propiedades físicas, mecánicas, fabricación y cálculo. En el mismo sentido, todos los ensayos propuestos están referenciados a normativas de aplicación a los tableros derivados de la madera.

Tras este estudio del arte, se analizan y describen los tipos de tableros que se conocen hoy en día y que no derivan de la madera. Son tableros que tienen usos relacionados con el comportamiento estructural, térmico o acústico. Esta búsqueda verifica la no existencia de referencias previas en el uso de la posidonia oceánica como material destinado a la elaboración de tableros.

La propuesta de investigación de esta Tesis Doctoral se centra en el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica y su posterior combinación con fibras de madera.

Durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral se han fabricado probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica y de posidonia con partículas de madera de Pino Gallego y se han realizado ensayos sobre ellas con el fin de:

- a.- Conocer los problemas en la elaboración de las probetas.
- b.- Conocer las posibles dosificaciones y sus repercusiones en las propiedades mecánicas de resistencia y valores de módulos de elasticidad.
- c.- Conocer datos sobre sus resistencias a la compresión en el plano del tablero.
- d.- Conocer datos sobre su módulo de elasticidad en compresión en el plano del tablero.
- e.- Conocer datos sobre sus resistencias y módulos de elasticidad a flexión y compresión en el plano perpendicular al tablero en una primera fase experimental.
- f.- Discusión de los resultados.

En última instancia se indican las líneas de trabajo pendientes, a desarrollar como continuación de la presente Tesis Doctoral y que otras líneas pueden ser desarrolladas por otras tesis o trabajos de investigación, principalmente centradas en otro tipo de propiedades como su comportamiento térmico, acústico, etc.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

2 EVOLUCIÓN DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES
RESEÑA HISTORICA

2.- EVOLUCIÓN DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES. RESEÑA HISTÓRICA

El uso de tableros no es un tema novedoso, desde hace más de 3500 años que se están en uso. En este punto se hace un repaso de la existencia de los tableros de madera haciendo especial hincapié en los siglos XIX y XX en los que, el avance tecnológico, permitió una mayor sofisticación en la fabricación y prestaciones de los tableros estructurales derivados de la madera.

2.1.- Origen de los tableros estructurales

La historia de los tableros refleja la evolución de los cambios realizados por la industria de la madera para dar respuesta a la demanda de productos, a la fuente de suministros de las materias primas y al aumento de los costes.

Los tableros han tenido un crecimiento vertiginoso durante los últimos 50 años. El tablero contrachapado puede considerarse como el origen del tablero estructural, en algunos casos directamente y en otros como punto de partida.

2.2.- Antecedentes

Los chapados han sido utilizados desde los tiempos más remotos. Pese a que se ha sostenido que los egipcios conocieron el contrachapado, en realidad solo emplearon el chapado de materiales nobles, entre ellos la madera. El chapado se utilizaba en muebles y objetos decorativos. En la figura 2.2.1 se observa la preparación de cola a base de hervir elementos vegetales y animales, corte de la chapa y prensado con piedras.



Figura 2.2.1. Cola, chapas y prensado en Egipto. [Peraza, 2004]

Los griegos y romanos también utilizaron el chapado con madera noble en la fabricación de muebles.

Una de las actividades que hizo avanzar la aparición del contrachapado fue el trabajo de los *luthiers* durante los siglos XVII-XVIII. Se empleaba en las cajas de armonía o tablas de resonancia de grandes instrumentos como pianos o contrabajos [Figura 2.2.2]. Es destacable que en esta aplicación, las chapas se encolaban en la misma dirección de la fibra. También algunos ebanistas y carpinteros emplearon este sistema durante el siglo XIX para formar curvas más decorativas que estructurales.

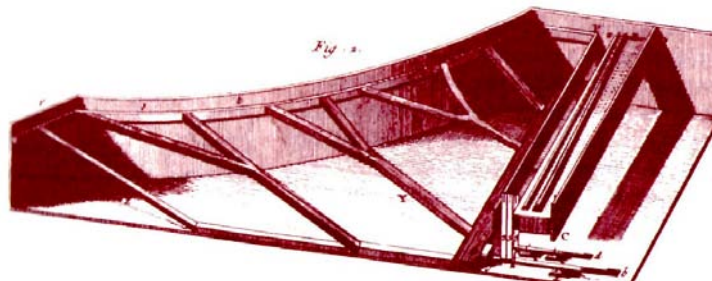


Figura 2.2.2. Construcción de pianos. [Kreov, 1981]

La innovación de la ballesta a base de laminados con chapa de madera se ha mantenido en distintos usos, como los actuales somieres para camas y las butacas de estructura de chapa de madera laminada, en los que la propia estructura actúa de ballesta y conforma el sistema de suspensión elástica.

2.3.- Producción industrial de los tableros de madera. Tableros contrachapados

La mejora en la forma de obtener la chapa y la innovación que supuso la tecnología del desenrollado de los troncos, condujo a lo que hoy conocemos como tablero contrachapado. Parece ser que la chapa desenrollada con cuchilla sobre un tronco fue inventado por Emmanuel Nobel, el padre del más famoso Alfred Nobel. Emmanuel (1801-1872) se dio cuenta de que las chapas finas de madera pegadas entre sí eran más fuertes que la misma sección de la madera maciza. Posteriormente H.S. Smith [Figura 2.3.1], patentó un torno de desenrollado más avanzado.

2.4.- Aplicaciones: siglo XX

En 1904 se instaló la primera fábrica en Wisconsin, la *Pine Lumber Company*, que fabricaba tablero contrachapado para la construcción de puertas [Figura 2.4.1] y en 1905, la *Portland Manufacturing Company* que se convirtió en el primer fabricante de tablero contrachapado estructural. El encolado era el principal problema. Se utilizaban colas animales con aplicación de calor con un resultado mal oliente. La cola se aplicaba a brocha y el prensado a través de una prensa artesanal.

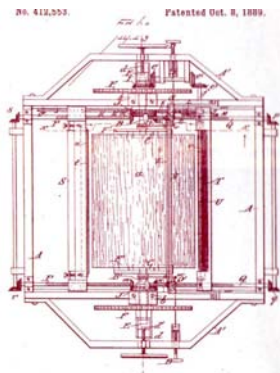


Figura 2.3.1. Patente del torno de desenrollado de troncos. [H.S. Smith, 1889]



Figura 2.4.1. Pine Lumber Company.

Las delaminaciones eran frecuentes hasta que durante la segunda guerra mundial se descubrieron las resinas sintéticas resistentes a la humedad.

La *Pine Lumber Company* experimentó con distintas combinaciones de chapas, espesores, especies y adhesivos hasta dar con el llamado *plywood*, término acuñado en EEUU en 1920.

En el año 1932 empiezan a utilizarse las primeras prensas de platos calientes [Figura 2.4.2] en EEUU. Años antes ya se utilizaban en Europa. El nuevo sistema de prensado mejora las características del encolado mejorando, especialmente, su resistencia a la humedad.



Figura 2.4.2. Prensas de platos calientes.

La industria del tablero contrachapado [Figura 2.4.3] fue impulsada decisivamente por el departamento de defensa [Gillespie, 1981] de los EEUU, desarrollándose varias investigaciones. Fruto de esas investigaciones fueron los fuselajes de aviones y otros usos como camillas.



Figura 2.4.3. Fabricación del tablero contrachapado. [Baldwin, 1981]

El ejército impulsó a partir de los años 50, su empleo en la construcción de grandes urbanizaciones para los veteranos de la IIª Guerra Mundial, dando un impulso al entramado ligero con aplicación estructural de los tableros contrachapados en paredes, forjados y cubiertas.

Otros de los campos en los que se desarrolló la aplicación del tablero contrachapado [Hartl, 1995] fue el del mueble de diseño. A finales del siglo XIX Thonet había trabajado en muebles de haya curvados a base de vaporizar madera, pero fue el arquitecto Alvar Aalto, quien desarrolló, en los años 30, perfiles laminados para la estructura de sus sillas [Figura 2.4.4].



Figura 2.4.4. Silla Paimio. [Alvar Aalto, 1931]

La fabricación de tableros contrachapados fue evolucionando y en aumento, tiendo su cénit en la década de 1950-60, para luego caer en picado y casi desaparecer a finales de los 80 debido a los problemas de suministro y a las presiones medioambientales.

2.5.- Aparición de los tableros de fibras, partículas y OSB.

2.5.1.- Tableros de fibras.

El nacimiento de los tableros de fibras obtenidos por el proceso de vía húmeda (tableros duros) está unido a la empresa creada por William H. Manson en 1926.

Manson [Figura 2.5.1], un colaborador de Edison, estaba trabajando en el diseño de un equipo (digestor) que fuera capaz de convertir las estillas en fibras sin que estas perdieran su lignina. Gracias a la aplicación del vapor a alta presión y durante cortos periodos de tiempo fue capaz de obtener fibras que mejoraban la estabilidad dimensional del producto. [Suchland, 1991]

Mientras tanto, el ingeniero sueco Asplund, desarrolló en 1931 el defibrador y montó la primera fábrica europea de tableros de fibras duros en Suecia.

En los años 50 aparecen los tableros de fibras obtenidos por el proceso de vía seca, los tableros de fibras de densidad media MDF. El elemento que supuso su inicio fue el "refinador presurizado". Con este equipo se obtenían fibras más finas pero con más volumen que las que se obtenían con refinadores a presión atmosférica. Tienen sus orígenes en los estudios de Torbin Yates y las invenciones de Hoffft y Schubert [Figura 2.5.2]. La primera fábrica se construyó en 1965 en Deposit, EEUU. [Horwood, 1987]

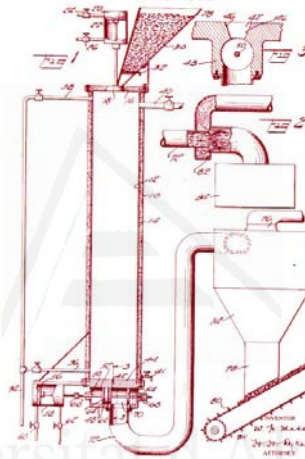


Figura 2.5.1. Patente de Manson, 1926.

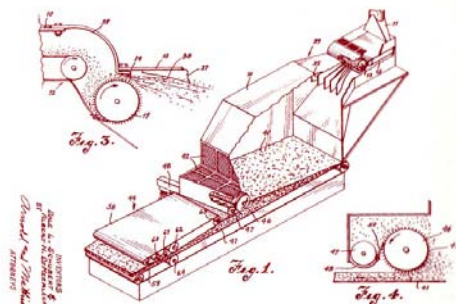


Figura 2.5.2. Patente de Schubert, 1953.

2.5.2.- Tableros de partículas.

La aparición del tablero de partículas obedece a una filosofía productiva común a otros materiales y otros tipos de tableros: el aprovechamiento de materiales de menor calidad, de los residuos de madera o de los productos de reciclaje de

la propia industria de la madera.

La idea de utilizar serrín para la producción de los tableros de partículas fue factible pero engañosa, ya que los tableros resultantes requerían cantidades enormes de adhesivos (40% sobre el peso en seco de la madera) para que las características mecánicas fueran aceptables. [Maloney, 1977]

En 1936 se registró la primera patente por parte del científico alemán Wilhelm Klauwitz que conseguiría fabricar tableros de partículas aglomeradas mediante adhesivos sintéticos con prensa de platos calientes. El auge de este tipo de tableros coincide con la escasez de madera en los años 1950-60.

En España, la primera fábrica se instaló en 1951 y empezó a funcionar en 1954: la empresa valenciana Vilarrasa Sicra. [Rico, 1971]

2.5.3.- Tableros de virutas orientadas. OSB

El origen de los tableros de virutas orientadas OSB se remonta a 1954. Un ingeniero tejano de origen alemán, Armin Elmendorf [Figura 2.5.3] patentó un tablero de partículas largas denominado *embed wall board* utilizando como ligante cemento. Posteriormente, en junio de 1965 patentó lo que denominó *Oriented Strand Board*, un tablero de virutas similares encoladas con adhesivos fenólicos.

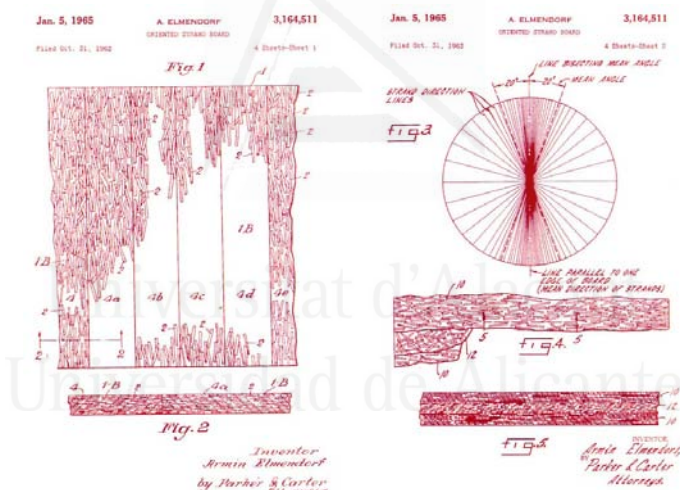


Figura 2.5.3. Composición de los tableros OSB. [Elmendorf, 1965]

El objetivo era conseguir un tablero de propiedades parecidas a los del tablero contrachapado, pero utilizando elementos de menor dimensión y por lo tanto aprovechar mejor los recursos forestales. La idea se llevó al ámbito industrial en 1960 en Clairmont (New Hampshire). Se diseñó toda la tecnología para fabricarlo pero la idea fracasó porque se diseñó mal el tamaño del tablero y no se conseguían las productividades adecuadas. La empresa quebró y la idea se aparcó, hasta que la multinacional canadiense Macmillan Bloedel la retomó y montó una fábrica similar en Saskatchewan para fabricarlo pero con una viruta más ancha (la anterior era más alargada, con forma de tira). Macmillan patentó en 1966 este producto con el nombre de *Aspenite* (ya que utilizaba como materia prima chopo -aspen-), para diferenciarlo del OSB pero tampoco tuvo demasiado éxito. [Götz, 1989]

Paralelamente, en Australia otros investigadores desarrollaron el *waferboard*, también de viruta ancha pero sin alinear. El producto se quedó parado a nivel

de prototipo. Sin embargo a principios de los años 80 la industria del contrachapado canadiense entró en recesión ante la competencia de precios de otros productores de EEUU, Europa y Asia. Algunas grandes empresas cerraron por culpa de la carestía de la madera. Los directivos de Macmillan decidieron dar un giro radical a su producción y dejar de fabricar contrachapado pasando a fabricar el *waferboard* o el *aspenite* pero con pino.

Finalmente tomaron el nombre que le había dado inicialmente Elmendorf: OSB. El éxito fue fulgurante y en sólo 15 años ya había superado al contrachapado en la construcción (55% frente al 45%). [CSCAE, 2010].



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

3.- TIPOLOGÍA Y FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS

3.1.- Tableros estructurales derivados de la madera

Para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este punto se indican los tipos de tableros estructurales derivados de la madera y sus particularidades en el proceso de fabricación.

3.1.1.- Materias primas

Los tableros derivados de la madera se componen, en la mayoría de los casos, de madera maciza o con diversos grados de manipulación mecánica, adhesivos, principalmente las relacionadas con las resinas de urea-formaldehído, aditivos que modifiquen las propiedades de los adhesivos y tratamientos de superficie con productos químicos o chapas de madera u otros materiales.

3.1.1.1.- Madera

La madera es un material anisótropo que forma el contenido del tronco de un árbol o de ramas de gran tamaño. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. [Figura 3.1.1].

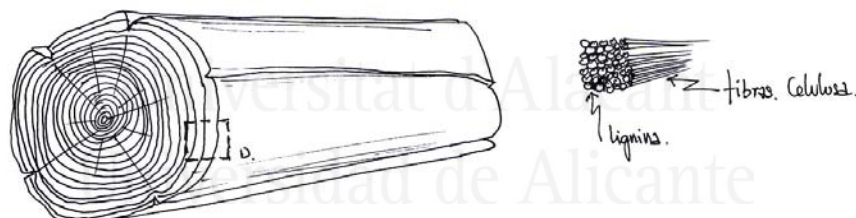


Figura 3.1.1 Troncos sin corteza. Fibras unidas por la lignina

Como la madera la produce y utilizan las plantas con fines estructurales [Figura 3.1.2] es un material muy resistente y gracias a esta característica y a su abundancia natural, es utilizada ampliamente por los humanos desde tiempos muy remotos.

Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Una de ellas es la fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también un material de construcción muy importante desde los comienzos de las construcciones humanas y continúa siéndolo hoy.

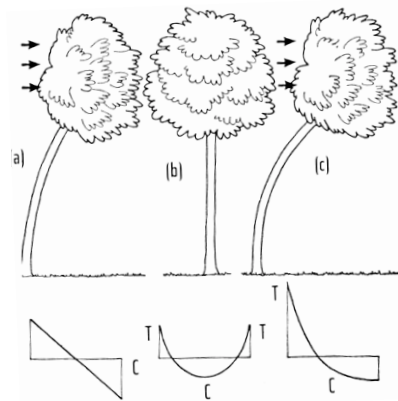


Figura 3.1.2 Comportamiento estructural de un tronco. [Gordon, 2004]

La madera se puede utilizar en diferentes formatos en función del tipo de tablero a fabricar, ya sea en forma de chapas (tableros contrachapados y tableros laminados), listones o piezas de madera (tableros de madera maciza), partículas de madera (tableros de partículas y tableros de virutas) o fibras (tableros de fibras). En todos los casos supone una mejora y una optimización de su aprovechamiento, de forma especial en aquellos en que se utiliza la madera en formatos pequeños como es el caso de las partículas, fibras o virutas. [Kollman, 1968]

Chapas de madera

Las chapas son láminas de madera muy finas ya que no sobrepasan los 7 mm de espesor. Si las láminas se unen por sus cantos o testas se obtienen chapas compuestas. La gran mayoría de las especies de madera son enrollables y aptas para obtener chapas de madera. Las más habituales son las de haya, nogal, roble, chopo, pino silvestre, pino radiata, abedul, pino Oregón, okume, embero y sapely. En la figura 3.1.3 se puede observar el aspecto de una chapa de sapely.

En los tableros contrachapados, el espesor máximo permitido es de 5 mm, normalmente, los finlandeses utilizan espesores de chapa comprendidos entre 2 y 3.5 mm y los norteamericanos de 2.5 a 4.8 mm. [Schulz, 1996]



Figura 3.1.3 Chapas de madera.

Partículas de madera

La forma y dimensión de la partícula de madera tiene una gran influencia en las propiedades del tablero. Las partículas utilizadas suelen tener una relación entre su longitud y su espesor comprendida entre 60 y 120. A título orientativo puede decirse que se ha encontrado, experimentalmente, como medidas óptimas de las partículas las siguientes:

- a.- Capas exteriores. Espesor 0.1 a 0.3 mm, longitud 10 a 12 mm y ancho 3 a 6 mm
- b.- Capas interiores. Espesor 0.3 a 0.5 mm, longitud 10 a 20 mm y ancho 3 a 6 mm

En las capas exteriores se suelen utilizar partículas más finas, sobre todo en aquellos tableros que se van a recubrir o rechapar para evitar que se marquen las partículas en el recubrimiento. [Maloney, 1977]

En la figura 3.1.4 se puede observar el aspecto de las partículas de madera.

Las especies más utilizadas en España para la obtención de las partículas son los pinos, aunque también se emplea el chopo, el eucalipto o la madera reciclada.



Figura 3.1.4 Partículas de madera. [Peraza, 2004]

Virutas de madera

De los años 70 a los 90 se utilizaban tiras de madera (*wafer*). Estas tiras de madera tienen una superficie máxima de 75 mm² y un espesor de 0.5 mm. Se obtienen del corte tangencial de trozos de madera, normalmente de chopo y se utilizan para los tableros denominados *waferboards*. Este tipo de tableros fueron reemplazados por tableros de virutas orientadas (*oriented strand boards*).



Figura 3.1.5 Virutas de madera.

Las virutas son más pequeñas, siendo su ancho la mitad de su longitud por lo que se utiliza el término viruta (*strand*) y no tira (*wafer*). Las virutas también se obtienen del corte tangencial de trozos de madera y se disponen habitualmente en tableros de tres capas. Las virutas suelen provenir de

especies de crecimiento rápido y de menor valor. En la figura 3.1.5 se puede observar el aspecto de las virutas de madera.

Fibras de madera

Las fibras se obtienen calentando partículas de madera y forzando su paso a través de los discos rotativos de un desfibrador.

Se utilizan para los distintos tipos de tableros de fibras. Las principales especies de madera utilizada en España son el pino, el eucalipto y la madera reciclada. En la figura 3.1.6 se puede observar el aspecto de las fibras de madera. [Chow, 1992]



Figura 3.1.6 Fibras de madera.

Madera maciza

Como su nombre indica la madera maciza su puede utilizar como componente principal en la confección de tableros de madera.

Las piezas de madera que se mencionan a continuación se utilizan para fabricar los distintos tipos de tablero de madera maciza:

- a.- Tablilla: pieza de madera aserrada de forma alargada, de grosor medio o igual a 40 mm y anchura menor a 80 mm.
- b.- Tabla: pieza de madera aserrada de forma alargada, de grosor menor de 40 mm pero no inferior a 10 mm y anchura mayor a 80 mm.
- c.- Listón: pieza de madera aserrada de forma alargada, de grosor comprendido entre 3 y 10 mm y anchura menor o igual a 25 mm.
- d.- Cuadradillo: pieza de madera aserrada de forma alargada, de grosor mayor a 40 mm y anchura no exceda de 80 mm.
- e.- Tablón: pieza de madera aserrada de forma alargada, de grosor igual o mayor a 40 mm y anchura mayor de 80 mm.

3.1.1.2 Adhesivos

Los adhesivos se utilizan para unir elementos de madera entre sí y poder darles consistencia y forma. La evolución del adhesivo ha discurrido en paralelo con el desarrollo de la industria química [Peraza, 1975]. En los avances que se están produciendo caben destacar dos: la eficacia del adhesivo y el cumplimiento de los requisitos técnicos y medioambientales, donde destaca el contenido de formaldehído de los tableros. Sobre este último punto hay que destacar que la mayor parte del formaldehído de los tableros se emite durante el proceso de fraguado del adhesivo.

El adhesivo que se debe utilizar depende del tipo de tablero y de su uso. En el caso de los tableros estructurales se deben utilizar colas mejoradas con aditivos.

Los más utilizados son los de urea-formol para interiores, urea-melamina-formol o fenol-formaldehído para exteriores. Últimamente se están introduciendo los de isocianato.

A continuación se indican cuales son los adhesivos más adecuados en función del tipo de tablero:

a.- Los adhesivos o resinas de urea formol (UF) se utilizan en los tableros para uso en interiores. Se pueden formular para que su fraguado se realice desde la temperatura ambiente hasta los 150° C. Debido a que tienen un color suave se suelen aplicar en decoración. [Dunky, 1998]

b.- Los adhesivos de melamina formol (MF) se utilizan principalmente, para la fabricación de laminados decorativos. Se pueden mezclar con los adhesivos de UF para mejorar las propiedades de resistencia a la humedad de los tableros (MUF según se indica en el Documento Básico de Seguridad estructural referido a estructuras de madera DB-SE-M del CTE).

c.- Los adhesivos de fenol formaldehído (PF) se utilizan en los tableros que se van a utilizar en ambientes expuestos a la humedad o al exterior, los cuales exigen unas mejores prestaciones de durabilidad. Para su fraguado requieren tiempos de prensado más largos y temperaturas más elevadas que los utilizados con los adhesivos de UF. Tienen un color más oscuro que los adhesivos de UF.

d.- Los adhesivos de isocianato [Papadopoulos, 2002] y sus polímeros (MDI, PMDI) consiguen encolados muy durables y resistentes, pero caros. Además hay que modificarlas a través de costosos procesos químicos, para evitar que se peguen a los platos de la prensa. Sin embargo, los adhesivos de isocianato consiguen uniones de alta resistencia con dosificaciones más bajas y las mismas prestaciones que se obtendrían utilizando adhesivos basados en resinas de formaldehído. [Aitim, 2007]

e.- En el apartado 4.5 del DB-SE-M del CTE también se contempla el uso de los adhesivos de poliuretano (PU), resina epoxi (EP) [Kobayasi, 2001], caseína, resorcina formaldehído (RF) y resorcina fenol formaldehído (RPF). En la tabla 3.1 se indican los tipos de adhesivos utilizados para madera estructural y su adecuación con la clase de servicio.

Tipo de adhesivo	Abreviatura	Clase de servicio			Observaciones
		1	2	3	
Fenol-formaldehído ^{(1) (2)}	PF	apto ⁽¹⁾	apto ⁽¹⁾	apto ⁽¹⁾	Adhesivo para encolar en caliente (110°-140°C); adecuado para fabricación de tableros de madera.
Resorcina-fenol-formaldehído ⁽²⁾	RPF	apto	apto	apto	
Resorcina-formaldehído ⁽²⁾	RF	apto	apto	apto	
Melamina-urea-formaldehído ^{(2) (3)}	MUF	apto	apto	poco apto	
Urea-formaldehído ⁽²⁾	UF	apto	poco apto ⁽³⁾	no apto	
Poliuretano ⁽⁴⁾	PU	apto	apto	apto	Aptitud reducida para rellenar las juntas. El fabricante indicará las prestaciones ante fuego.
Resinas epoxi ^{(4) (5)}	EP	apto	apto	apto	Apta para juntas gruesas. Presión de encolado reducida.
Caseína ⁽⁵⁾		apto	poco apto	no apto	Es necesario un fungicida.

⁽¹⁾ Sólo para encolado en caliente (110° - 140 °C); adecuado para fabricación de tableros derivados de la madera.

⁽²⁾ Preferentemente para encolar por encima de 30 °C.

⁽³⁾ No adecuada para una humedad relativa del aire elevada y simultánea con una temperatura por encima de 50 °C.

⁽⁴⁾ No adecuada para temperaturas superiores a los 50 °C.

⁽⁵⁾ Líneas de cola de color marrón oscuro.

⁽⁶⁾ Líneas de cola transparentes.

Tabla 3.1 Tipos de adhesivos utilizados para madera estructural y su adecuación con la clase de servicio [DB-SE-M, 2007]

3.1.1.3.- Aditivos y revestimientos

Con el objeto de mejorar las prestaciones de los adhesivos, se pueden añadir aditivos. Los más usuales son:

- a.- Las ceras con el objeto de aumentar la repelencia de la humedad.
- b.- Productos ignífugos.
- c.- Productos insecticidas con el fin de mejorar el comportamiento frente a insectos xilófagos.
- d.- Productos fungicidas para mejorar el comportamiento frente a hongos xilófagos.
- e.- Endurecedores para mejorar las prestaciones del adhesivo. [Papadopoulos, 2003]

3.1.2.- TIPOLOGÍA DE TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

Los tableros derivados de la madera son elementos que podríamos clasificar como elementos estructurales superficiales a nivel geométrico y que suelen trabajar por superficie activa.

Es claro que el uso de los tableros de madera es muy amplio, sin embargo y para el desarrollo de esta Tesis Doctoral, se tratan los tableros como elementos estructurales. En el desarrollo de este punto, más descriptivo, se comentarán algunos aspectos sobre la capacidad de aislamiento térmico y/o acústico de algunos tableros.

3.1.2.1.- Tableros de madera maciza

Los tableros de madera maciza están formados, generalmente, por maderas de coníferas y, como su nombre indica, no contienen ningún material adicional. Se pueden presentar como tableros cepillados o no. En la figura 3.1.7 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.

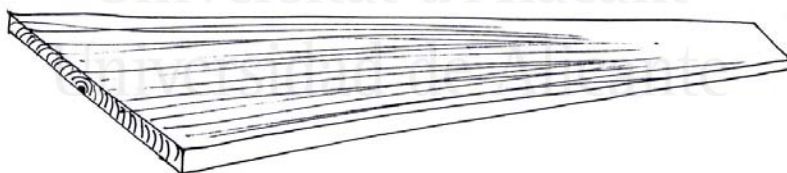


Figura 3.1.7 Tablero de madera maciza

Clasificación

En función de las condiciones de exposición, del tipo de madera y de su estado superficial, los tableros de madera maciza se clasifican del siguiente modo:

- a.- Condiciones de exposición
 - a.1.- Ambiente seco (SWP/1): clase de riesgo 1 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 1 [ENV 1995-1-1]
 - a.2.- Ambiente húmedo (SWP/2): clase de riesgo 2 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 2 [ENV 1995-1-1]
 - a.3.- Ambiente exterior (SWP/3): clase de riesgo 3 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 3 [ENV 1995-1-1]

- b.- Propiedades mecánicas.
 - b.1.- aplicaciones generales.
 - b.2.- Aplicaciones estructurales.
- c.- Especie de madera.
 - c.1.- Coníferas: según las características y singularidades de la madera se definen 5 clases (0, A, B, C y S)
 - c.2.- Frondosas: según las características y singularidades de la madera se definen 3 clases (A, B, C)

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
 Espesores (mm): 16, 18, 22, 24, 28, 38, 44, 48, 50, 63, 70, 75.
 Formatos (mm): Ancho: 75, 80, 100, 115, 120, 125, 140, 150, 160.
 Longitud (mm): 1500-6000

3.1.2.2.- Tableros de madera enlistonada

Los tableros de madera enlistonada están formados por listones de madera que pueden ser de de longitudes iguales o diferentes, unidos entre sí por medio de un adhesivo, siendo el grosor y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero. Suelen formar piezas prismáticas de madera maciza y sección rectangular, anchura mayor o igual a 25 mm y espesor comprendido entre 3 y 10 mm. Se puede utilizar cualquier especie de madera, las más habituales: Pino insignis, Pino gallego, Castaño, y Haya.

Los adhesivos utilizados dependen de las características y de las propiedades requeridas. Se suelen utilizar adhesivos de melamina-formol, acetato de polivinilo, duro plástico. En la figura 3.1.8 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.8 Tablero de madera enlistonada.

Clasificación

En función de las condiciones de exposición, del tipo de madera y de su estado superficial, los tableros de madera enlistonada se clasifican del siguiente modo:

- a.- Condiciones de exposición
 - a.1.- Ambiente seco: clase de riesgo 1 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 1 [ENV 1995-1-1]
 - a.2.- Ambiente húmedo: clase de riesgo 2 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 2 [ENV 1995-1-1]
 - a.3.- Ambiente exterior: clase de riesgo 3 [UNE EN 335.2] y clase de servicio 3 [ENV 1995-1-1]

- b.- Propiedades mecánicas.
 - b.1.- Aplicaciones generales.
 - b.2.- Aplicaciones estructurales.
- c.- Especie de madera.
 - c.1.- Coníferas: según las características y singularidades de la madera se definen 5 clases (0, A, B, C y S)
 - c.2.- Frondosas: según las características y singularidades de la madera se definen 3 clases (A, B, C)

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
Espesores (mm): 16, 18, 22, 24, 28, 38, 44, 48, 50, 63, 70, 75.
Formatos (mm): Ancho: 75, 80, 100, 115, 120, 125, 140, 150, 160.
Longitud (mm): 1500-6000

3.1.2.3.- Tableros de tres y cinco capas de madera maciza

Este tipo de paneles están compuestos por tres o cinco capas de madera blanda encolada, de manera que el sentido de las fibras de las capas consecutivas forma un ángulo de 90°. La cola empleada para su unión es melamina modificada y resina de urea-formaldehído.

Como el espesor de las capas varía según el panel y el fabricante, las propiedades elastomecánicas de los paneles de igual espesor pueden variar considerablemente. En la figura 3.1.9 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.

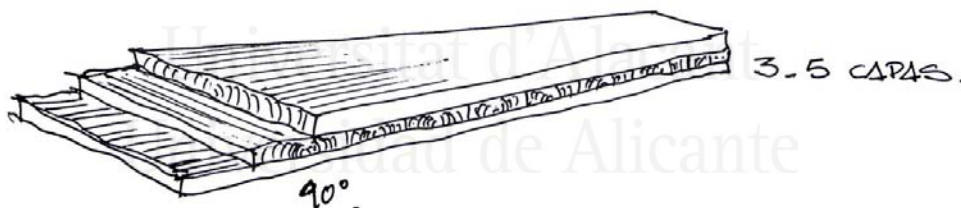


Figura 3.1.9 Tablero de tres o cinco capas de madera maciza.

Aplicaciones

Las principales aplicaciones de este tipo de tableros se pueden resumir en los siguientes grupos:

- a.- Carpintería, mobiliario y decoración:
 - a.1.- Fabricación de muebles.
 - a.2.- Muebles divisorios y mamparas.
 - a.3.- Divisiones interiores y tabiques.
 - a.4.- Doblado de paredes. [DIN 1052-3]
- b.- Estructurales: [DIN 68800-2].
 - b.1.- Base de cubiertas. [DIN 1052-3]
 - b.2.- Prefabricados.

- b.3.- Forjados. [DIN 1052-3]
- b.3.- Encofrados.
- b.4.- Elaboración de vigas cajón o casetones.
- b.5.- Paneles sándwich.
- b.6.- Alma de viguetas en doble T.
- b.7.- Cajas de carga de camiones.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
Espesores (mm): 12 - 75 los de tres capas y 33 - 80 los de cinco capas.
Formatos (mm): Ancho: 1000 - 4750.
Longitud (mm): 2500 - 6000

3.1.2.4.- Tableros contrachapados

Los tableros contrachapados se obtienen mediante encolado de chapas de madera superpuestas de modo que sus fibras formen un ángulo determinado, generalmente recto. Normalmente están compuestos por chapas impares, con el fin de equilibrar su estructura y comportamiento y facilitar su curvado.

El tablero contrachapado queda caracterizado por la especie o grupo de especies de madera empleadas para sus chapas, la calidad de las chapas y el tipo de encolado. En la figura 3.1.10 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.10 Tablero contrachapados. [Hugues, 2009]

La definición tradicional del tablero contrachapado se ha enriquecido con la ampliación a los posibles materiales que se pueden utilizar en su alma. Las denominaciones más habituales son:

- a.- Tablero contrachapado multicapa: está integrado por más de cinco chapas.
- b.- Tablero contrachapado con alma: cuando incluye un alma que no es una chapa de madera.
- c.- Tablero contrachapado laminado: su alma está constituida por tablillas de chapa de grosor inferior a 7 mm, dispuestas de canto y encoladas todas ellas o al menos en su mayor parte.

Por lo general este tipo de tableros se compone de:

a.- Chapas de madera: láminas finas de madera que no sobrepasa los 7 mm de espesor. Si las láminas de madera se unen por sus cantos o testas se obtienen chapas compuestas. Para aplicaciones estructurales se clasifican principalmente por la presencia y frecuencia de nudos y para aplicaciones decorativas por su estética.

b.- Recubrimientos: se pueden utilizar chapas decorativas de madera, revestimientos plásticos, papel impregnado con resinas sintéticas, y pintura.

c.- Aditivos: se incorporan durante su fabricación para mejorar algunas de sus propiedades (productos ignífugos; productos insecticidas; productos fungicidas, resinas, etc.)

Clasificación

En función de las condiciones de exposición, del tipo de madera y de su estado superficial o del tipo de cola utilizada, los tableros contrachapados se clasifican del siguiente modo:

a.- Según la calidad de encolado se clasifican, principalmente, en función del ambiente en donde va a instalarse: [DB-SE-M, 2007].

- a.1.- En ambiente interior seco (clase 1).
- a.2.- En ambiente exterior cubierto (clase 2).
- a.3.- En ambiente exterior a la intemperie (clase 3).

b.- Clasificación por otros aspectos y prestaciones según:

- b.1- Estado de su superficie, su aptitud para el acabado o especificaciones especiales.
- b.2.- Propiedades mecánicas: tableros estructurales.
- b.3.- Resistencia al fuego: tableros ignífugos.
- b.4.- Resistencia frente a organismos xilófagos: tableros tratados.
- b.5.- Resistencia frente agentes meteorológicos: t. impregnados con resinas.

c.- Tableros contrachapados españoles. Las especies más habituales son las que se relacionan a continuación:

- c.1.- Pino radiata.
- c.2.- Chopo.
- c.3.- Eucalipto.
- c.4.- Frondosas tropicales.

Las chapas de madera se clasifican en dos grandes grupos, chapas de abedul y chapas de coníferas, que incluyen a su vez diferentes clases. Las clasificaciones se basan en la presencia de singularidades de la madera y de defectos de fabricación.

Aplicaciones

Las principales aplicaciones de este tipo de tableros coinciden con las enumeradas en el punto 3.1.2.3 del presente trabajo, ampliadas en: cajas de carga para camiones, Pavimento de autobuses y pavimentos especiales (velódromos, pistas de patinaje...)

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
 Espesores (mm): 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 25, 40.
 Formatos (mm): 2500/3000x1250/2500 y 2400/3050x1200x1525

3.1.2.5.- Tableros laminados

Los tableros laminados constituyen un material elaborado a base de capas de madera. Al contrario que el contrachapado, las chapas que lo conforman se suelen disponer en dirección paralela a la veta y se encolan de modo impermeable con resina de fenol-formaldehído.

Si se precisan anchuras grandes, algunas chapas se disponen transversalmente para mejorar la estabilidad. En la figura 3.1.11 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.11 Tablero laminado

Clasificación

En función de las condiciones de exposición los tableros laminados se clasifican del siguiente modo:

- a.- LVL para usos generales y en interior en ambientes secos.
- b.- LVL/1 para aplicaciones estructurales en ambiente seco.
- c.- LVL/2 para aplicaciones estructurales en ambiente húmedo.
- d.- LVL/3 para aplicaciones estructurales en el exterior a la intemperie.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
 Espesores (mm): 21 - 69.
 Formatos (mm): máx. 1820 x 23000

3.1.2.6.- Tableros de fibras paralelas (PSL)

Los tableros de fibras paralelas (PSL) están compuestos por fibras de unos 16 mm de anchura y de 3.2 mm de espesor. Las fibras se alinean en paralelo al eje longitudinal del tablero y se encolan con resina de fenol-formaldehído impermeable. Después se encolan entre ellas hasta formar tableros de hasta 483 mm de grosor para posterior corte.

Actualmente la madera de fibras solo se fabrica en EEUU. Para dar un acabado impermeable a la madera se aplica una capa de parafina.

Debido a las dos clases de madera utilizadas en las fibras (pino Douglas y pino de sur), que corresponden a clase de resistencia 3 según la norma DIN 68364, no es necesario incorporar conservadores para la madera. En la figura 3.1.12 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.12 Tablero de fibras paralelas (PSL).

Aplicaciones

Los tableros de fibras paralelas (PSL) se pueden emplear allí donde se puede emplear la madera laminada encolada, pues sus propiedades son muy similares.

Las principales aplicaciones de este tipo de tableros se pueden resumir en los siguientes grupos:

- a.- Estructurales:
 - a.1.- Correas de cubiertas.
 - a.2.- Prefabricados.
 - a.3.- Encofrados.
 - a.4.- Elaboración de vigas cajón o casetones.
 - a.5.- Paneles sándwich.
 - a.6.- Alma de viguetas en doble T.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:

Espesores (mm): 44 - 280.

Formatos (mm): máx. 44-483 x 20000

3.1.2.7.- Tableros de virutas laminadas encoladas (LSL)

El LSL (*Laminated Strand Lumber*) es un panel a base de madera compuesto por virutas de madera de chopo de aproximadamente 0.8 mm de espesor, 25 mm de anchura y 300 mm de longitud y por una cola resistente al agua. Al estar las virutas completamente revestidas de cola, y poseer el panel una estructura homogénea, el LSL es particularmente resistente a la intemperie.



Figura 3.1.13 Tablero de virutas laminadas encoladas (LSL).

Los paneles con virutas orientadas exclusivamente en la dirección longitudinal del panel se pueden emplear como vigas. Orientando en el sentido transversal una parte de las virutas, las propiedades mecánicas en dirección longitudinal y transversal se asemejan bastante, por lo que se pueden emplear como paneles. En la figura 3.1.13 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.

Aplicaciones

Los tableros de virutas laminadas encoladas (LSL) se pueden emplear allí donde se puede emplear la madera laminada encolada, pues sus propiedades son muy similares. Se consideran las aplicaciones enumeradas en punto 3.1.2.7 de la presente Tesis Doctoral.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
Espesores (mm): 32 - 89.
Formatos (mm): máx. 2438 x 10700

3.1.2.8.- Tableros de fibras orientadas (OSB)

Los tableros de fibras o virutas orientadas (OSB) están formados por virutas de madera que se unen entre sí con un aglomerante mediante la aplicación de calor y presión. Las virutas de las capas exteriores están alineadas y dispuestas paralelamente a la longitud del tablero, mientras que la de la/s capa/s interior/es pueden estar orientadas aleatoriamente o alineadas perpendicularmente a la dirección de las virutas de las capas exteriores. [Kelvin, 2006]

Las siglas OSB se corresponden con las palabras inglesas Oriented Strand Board. Existe otro tipo de tablero muy similar al OSB que se denomina WAFERBOARD, tal y como se ha comentado en el punto 2 de este trabajo, que tiene una menor utilización y que se diferencia por el tamaño de sus virutas y porque éstas no tienen ninguna orientación predeterminada dentro del tablero.

Suelen estar compuestas por virutas que tienen una longitud aproximada de 80 mm y un grueso inferior a 1 mm de maderas de especies de crecimiento rápido. Los adhesivos dependen de las características y de las propiedades requeridas, se pueden utilizar adhesivos de Urea - formol, Urea - melamina - formol y Fenol - formaldehído.

Se pueden incorporar aditivos durante su fabricación para mejorar algunas de sus propiedades (productos ignífugos, productos insecticidas, productos fungicidas, etc.). En la figura 3.1.14 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.14 Tablero de fibras orientadas (OSB)

Clasificación

En función de las condiciones de exposición y del tipo de madera, los tableros de fibras orientadas (OSB) se clasifican del siguiente modo:

- a.- OSB/1 tableros para uso general y aplicaciones de interior utilizados en ambiente seco.
- b.- OSB/2 tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- c.- OSB/3 tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- d.- OSB/4 tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:

Espesores (mm): 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 22, 25, 30.

Formatos (mm): 2500/5000x1250, 5000x2500, 2440x1220, 2620x1250/2500.

3.1.2.9.- Tableros de fibras

Los tableros de están compuestos por partículas lignocelulósicas, a las que se puede añadir un adhesivo, mediante la aplicación de calor y/o presión. En la figura 3.1.15 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros. Los componentes de este tipo de tablero son los siguientes:

- a.- Fibras: se obtienen calentando las partículas de madera y forzando su paso a través de los discos rotativos del desfibrador.
- b.- Adhesivos: dependiendo de las características y de las propiedades requeridas se pueden utilizar adhesivos de Urea - formol, Urea - melamina - formol, Fenol - formaldehído y de isocianato.
- c.- Recubrimientos: se puede utilizar melamina, chapa sintética barnizable, chapa sintética barnizada, papel lacado, chapas naturales, papel fenólico, placas de acero o cobre, laminados plásticos, etc. En muchas ocasiones, y debido a sus buenas propiedades, también se lacan o pintan.
- d.- Aditivos: se incorporan durante su fabricación para mejorar algunas de sus propiedades (ceras, para aumentar su repelencia a la humedad, productos ignífugos, productos insecticidas, productos fungicidas y endurecedores.



Figura 3.1.15 Tablero de fibras

Clasificación

Los tableros de fibras se pueden clasificar en función de:

- a.- Tableros fabricados por el proceso húmedo [Meyers, 1986]. Son aquellos en los que el contenido de humedad de las fibras en el momento de su

formación es superior al 20%. Su fabricación está en retroceso. En función de su densidad se distinguen los siguientes tipos:

- a.1.- Tableros duros. Su densidad es de 900 kg/m³ y para denominarlos se utilizan las siglas HB, de Hard Board.
- a.2.- Tableros semiduros [Saligna, 2001]. Su densidad es de 400 kg/m³ a 900 kg/m³. Para denominarlos se utilizan las siglas MB, que significan Medium Board. Dentro de estos y en función de su densidad se clasifican en:

- a.2.1.- Tableros semiduros de baja densidad. Su densidad es de 400 kg/m³ a 560 kg/m³. Para denominarlos se utilizan las siglas MBL, de Medium Board Light.

- a.2.2.- Tableros semiduros de alta densidad. Su densidad es de 560 kg/m³ a 900 kg/m³. Para denominarlos se utilizan las siglas MBH, de Medium Board Heavy.

- a.3.- Tableros aislantes. Su densidad es de 230 kg/m³ a 400 kg/m³. Para denominarlos se utilizan las siglas SB, de Soft Board.

b.- Tableros de fibras fabricados por proceso seco - MDF [Mehmet, 2008]. Son aquellos en los que el contenido de humedad de las fibras en el momento de la formación es inferior al 20% y cuya densidad es de 450 kg/m³. Estos tableros se fabrican principalmente añadiendo un aglomerante sintético y mediante la aplicación de calor y presión. Con fines comerciales se pueden encontrar distintas denominaciones con distintos rangos de densidad:

- b.1.- HDF MDF con una densidad de 800 kg/m³.
- b.2.- MDF ligero MDF con una densidad de 650 kg/m³.
- b.3.- MDF ultra ligero MDF con una densidad de 550 kg/m³. Las siglas MDF proceden del inglés Medium Density Fiber.

- c.- Las condiciones de utilización.
 - c.1.- Ambiente seco. -
 - c.2.- Ambiente húmedo: H
 - c.3.- Exterior: E
- d.- Tipos de utilización.
 - d.1.- Aplicación general. -
 - d.2.- Aplicación estructural: L
 - d.3.- Para todas las clases de duración de la carga: A
 - d.4.- Solamente para cargas instantáneas y de corta duración: S

En los tableros estructurales se añaden el dígito 1 para tableros estructurales y el 2 para tableros estructurales de alta prestación.

Ejemplo:

- HB.HLA2 tablero duro de aplicación estructural de alta prestación para utilización en ambiente húmedo para todas las clases de duración de la carga.
- MDF.HLS tablero MDF estructural para utilización en ambiente húmedo solamente para cargas instantáneas o de corta duración. [Derya, 2007]

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:

- Espesores (mm): 5 - 16.
- Formatos (mm): Ancho: hasta 2100.
- Longitud (mm): hasta 5500

3.1.2.10.- Tableros de partículas prensados en plano (FP)

Los tableros de partículas prensados en plano se fabrican mediante la aplicación de presión y calor sobre partículas de madera (serrín, virutas y similares) y/u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas añadiendo un adhesivo. La expresión tableros de partículas es sinónima a la de tableros aglomerados, que todavía se sigue empleando. En la figura 3.1.16 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros. [Bodig, 2001]



Figura 3.1.16 Tablero de partículas

Clasificación

En función del proceso de encolado y de los conservadores para la madera utilizados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a.- V20. Esta resina es adecuada solo en ambientes con baja humedad, pues no es resistente a la corrosión atmosférica. Se utilizan colas de amionoplastos, fenólicas de endurecimiento alcalino y MDI polímero (PMDI). [Gatchell, 1996]
- b.- V100. Se puede utilizar en ambientes húmedos. Se utilizan como colas las resinas fenólicas de endurecimiento alcalino, resinas de fenol-resorcinol y PMDI.
- c.- V100G. Resistente en ambientes muy húmedos, protegidos frente a hongos mediante conservadores de la madera. Se utilizan como colas las resinas fenólicas de endurecimiento alcalino y PMDI.

Se pueden presentar con recubrimientos tipo melamina, chapa sintética barnizable, chapa sintética barnizada, papel lacado, chapas naturales, papel fenólico, placas de acero o cobre, laminados plásticos, etc.

En función del grado de humedad existente en la zona de aplicación y de sus prestaciones estructurales, los tableros de partículas se clasifican, según la UNE EN 312, en:

- a.- Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente seco [UNE EN 312-4]. Estos tableros están destinados a su utilización en el diseño y construcción de elementos estructurales [Vital, 1974] de la edificación o rigidizadores, por ejemplo tabiques, suelos, cubiertas o vigas en I. También se pueden denominar como tableros P4.
- b.- Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente húmedo [UNE EN 312-5]. Son tableros que están destinados a los mismos usos indicados en el apartado anterior sin embargo deben cumplir con una características especiales de resistencia de humedad [Tabla 2 UNE EN 312-5]. También se pueden denominar como tableros P5.

c.- Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente seco [UNE EN 312-6]. Estos tableros han aumentado sus propiedades respecto a las especificadas en la UNE EN 312-4. Pueden ser utilizados en el diseño y construcción de elementos estructurales de la edificación o rigidizadores, por ejemplo tabiques, suelos, cubiertas o vigas en I. También se pueden denominar como tableros P6.

d.- Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo [Suzuki, 1987]. Estos tableros han aumentado sus propiedades respecto a las especificadas en la UNE EN 312-5. Pueden ser utilizados para los mismos usos indicados en el apartado anterior sin embargo deben cumplir con una características especiales de resistencia de humedad [Tabla 2 UNE EN 312-7]. También se pueden denominar como tableros P7.

e.- Tableros P1 destinados a la utilización general en ambiente seco. [UNE-EN 312-1].

f.- Tableros P2. Tableros para aplicaciones de interior, incluso mobiliario, en ambiente seco. [UNE-EN 312-2].

g.- Tableros P3. Tableros no estructurales utilizados en ambiente húmedo. [UNE-EN 312-3].

Esta clasificación se mantiene en el momento de presentar las propiedades de resistencia y de valores de rigidez indicadas en el capítulo 4 de la presente Tesis Doctoral.

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
Espesores (mm): 4, 8, 10, 12, 16, 19, 22, 25, 28, 30, 38.
Formatos (mm): 1250x2500 y 1250x5000.
Tolerancias dimensionales definidas en la norma UNE EN 324-1.

3.1.2.11.- Tableros de partículas extruidas

Los tableros de partículas extruidas tienen una elevada resistencia al corte, pero una insuficiente cohesión. Por ello, cuando se utilizan en la construcción deben revestirse con tableros de partículas, tableros de chapas o de plástico. En la figura 3.1.17 se puede apreciar el aspecto de este tipo de tableros.



Figura 3.1.17 Tablero de partículas. [Sauerländer Spanplatten, 2009]

Dimensiones

Las dimensiones que, comúnmente, se utilizan de este tipo de tableros son:
Espesores (mm): Macizo: 10 - 34, con cavidades: 23 - 80.
Formatos (mm): Ancho: 900 - 2100.
Longitud (mm): hasta 5000

3.1.3.- PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

3.1.3.1.- Tableros de madera maciza

Los tableros de madera maciza se cortan en los aserraderos o se fresan en talleres de carpintería para su posterior cepillado en caso de ser necesario.

Si los tableros van a utilizarse en el exterior deben ser sometidos a un tratamiento preventivo con conservadores de la madera de construcción. Si los tableros van a estar expuestos a la intemperie, debe evitarse el uso de madera de pino.

Para evitar deformaciones en estructuras internas, el contenido de humedad de la madera debe quedar especificado en los pedidos. En el capítulo 4 se detallará la incidencia de la humedad en el proceso de cálculo de los tableros de madera.

3.1.3.2.- Tableros de alma enlistonada

En general, los tableros de madera blanda de 24 mm de espesor que se hayan secado de manera adecuada, hasta alcanzar un contenido de humedad del 6-8%, se consideran adecuados para el núcleo de los tableros de alma enlistonada. Estos tableros se cortan en listones con sierras circulares de hojas múltiples, de modo que la anchura del listón corresponda con el espesor del núcleo interior.

Los tableros se encolan con caseína, polivinilacetato o resinas urea-formaldehído, formando tableros que, posteriormente, se prensan.

Para la fabricación del núcleo, las chapas de corte rotatorio, de 5 a 8 mm de espesor, se encolan en el sentido de las fibras para crear bloques. Después se cortan en ángulo recto para obtener las chapas con las que se forman los tableros. En los procesos de fabricación, los chapados, ya sean transversales o en la misma dirección que la fibra, se encolan a las capas interiores con el mismo tipo de cola y se prensan. [Hugues, 2009]

3.1.3.3.- Tableros de tres y cinco capas de madera maciza

La fabricación de este tipo de tableros es similar a los anteriores, teniendo que cuenta que las capas de madera blanda encolada con las fibras cruzadas en perpendicular, como mínimo el 90% de las capas deben ser de la clase S10 [Din 4074-1], el resto deben ser de la clase S7 como mínimo.

Los chapados de la superficie deben tener un espesor de 4 a 9 mm como mínimo, los del interior, de 4 a 50 mm.

3.1.3.4.- Tableros de partículas prensados en plano (FP)

De manera sintética, se pueden considerar las siguientes fases de fabricación de los tableros de partículas: preparación de las partículas, secado, encolado, pre-prensado, prensado, enfriado y obtención del producto final.

a.- Preparación de las partículas

Materias primas en forma de astillas, serrín y virutas de madera llegan a la planta donde son apiladas y luego clasificadas mediante una criba que separa compuestos ajenos al proceso como piedras, metales y para separar para virutas con tamaños grandes, las cuales son enviadas a un molino de martillos, para homogeneizar el espesor. La parte aceptada se envía a silos de acopio de aserrín y viruta (silos de material húmedo).

Por otro lado llegan trozos de madera y astillas, estos trozos de madera son reducidos a astillas las cuales se almacenan en un silo que alimenta tres trituradoras que se encargan de homogeneizar el espesor de las partículas. El producto se envía a secado y el polvo generado en la molienda, es extraído y enviado a combustión en una planta térmica. Mediante tornillos helicoidales se forma una corriente de material de composición determinada (regulando la velocidad de los tornillos), que es enviada a secado. [Xu, 1998]

El cuadro anterior supone que la forma típica de las partículas es un paralelepípedo, ya que los tamices y los molinos utilizados en el proceso están diseñados para lograr tal geometría. En la práctica, una partícula aceptable debe cumplir con un rango de esbeltez entre 60 y 120, siendo el ideal 100, aunque este valor varía para partículas finas y gruesas. [Tröger, 1998]

b.- Secado de las partículas

Los gases de combustión provenientes de un quemador de fueloil y polvo de madera, son enviados a un pre-secador y luego a un secador horizontal rotatorio de 22 m de largo y de 11 ton/hora de capacidad de evaporación de agua. Las temperaturas de los gases de combustión a la entrada y salida fluctúan entre 175°C y 117°C respectivamente.

Las partículas y el vapor de agua generado que salen del secador son enviados a ciclones los cuales separan el vapor de las partículas, liberando vapor a la atmósfera y entregando por el fondo una corriente de partículas con humedad ajustada (ideal 1-2%).

c.- Encolado de partículas

En esta etapa del proceso se añade la cola a las partículas, la cual consta principalmente de: resina a base de Urea-Formaldehído, catalizador (acelera la velocidad de fraguado de la resina al centro del tablero), activador, reductor (disminuye las emisiones de formaldehído) y agua.

La cola es de extraordinaria importancia debido a su elevado precio, ésta influye enormemente en los costos de fabricación de los tableros. A causa de lo anterior, es muy importante que las partículas clasificadas como fino y grueso posean la mínima cantidad de polvo de madera ya que éste absorbe una mayor cantidad de cola debido a su mayor área superficial.

Previo a la aplicación de cola se aplica emulsión parafínica atomizada mediante boquillas con aire. La emulsión brinda propiedades hidrófobas al tablero, lubrica el sistema disminuyendo el roce de las partículas con la pared de las encoladoras y reduce, en parte la cola a aplicar.

La cola se aplica en distinta proporción para las partículas finas y gruesas, es así como en la salida de las encoladoras el material fino debe poseer humedad entre un 9% y un 13% y para el material grueso no debe superar el 10%. [Fahri, 1956]

d.- Formación de la pasta de partículas

Se realiza mediante una clasificación por sopladores de aire, utilizando una formadora móvil. Las partículas finas son arrastradas por el aire formando la primera capa, sobre una capa plana, mientras las más gruesas caen formando la capa media, luego, nuevamente se aplica material fino para formar la capa superior, la clave es el aprovechamiento de la diferencia de peso, por lo tanto el espesor de cada capa va a depender de la cantidad de fino y grueso utilizado en la formación. [Bo, 2006]

e.- Pre-prensado

Se realiza mediante una prensa estática, con una presión específica de 1 N/mm^2 , con una temperatura de placa superior de 50°C y de placa inferior 90°C aproximadamente, buscándose cuatro objetivos principalmente:

- a.- Dar al colchón de partículas una mayor consistencia.
- b.- Reducir el volumen del colchón.
- c.- Acortar el ciclo de prensado.
- d.- Disminuir los requerimientos de calor en la prensa.

La disminución del espesor de la pasta de partículas es de aproximadamente un 40%, en datos reales pasa lo siguiente, inicialmente entran a la formadora con un espesor de 55 mm aprox., salen de ella a 33 mm y de la pre-prensa con un espesor nominal de 15 mm.

f.- Prensado

En la prensa principal, de operación estática y de platos calefactados con aceite térmico, la pasta es sometida a presión hasta obtener la densidad deseada del tablero. El espesor bruto (antes del lijado), está dado por barras separadoras ubicadas en la prensa. La temperatura de los platos se mueve en el rango de 150°C a 200°C dependiendo del espesor del tablero. La presión de cerrado es de 3 N/mm^2 aproximadamente y luego baja a 1.7 N/mm^2 . Una humedad del 9-13% para las capas superficiales y no mayor del 10% en la capa central, corresponden a humedades ideales para el proceso de prensado, en el que se producen tres fenómenos principales:

- a.- Procesos mecánicos: deformación de las partículas por flexión y compresión, disminución del volumen de los poros y aumento de los puntos de contacto entre las partículas.
- b.- Procesos químicos, dados por el fraguado de la resina UF por policondensación, y algunas reacciones químicas de aditivos agregados al tablero.
- c.- Proceso térmico: fundamentalmente dado por la generación de vapor en las capas externas, el cual fluye hacia el interior del tablero permitiendo así el aumento de temperatura desde las capas superficiales al centro hasta alcanzar una temperatura aproximada de 105°C en el centro del tablero, temperatura a la cual la resina retícula.

g.- Enfriado

Los tableros ya prensados se depositan en un enfriador estrella, que consta de 14 aspas. Se enfrían los tableros hasta una temperatura de $50\text{-}55^\circ\text{C}$ gracias a la ventilación que poseen los tableros situados en las aspas.

Esta etapa es muy importante porque a la salida de la prensa, el tablero presenta temperaturas muy elevadas (sobre 170°C en las capas superficiales y sobre 100°C para la capa central). Si los tableros se almacenaran a esta temperatura, el tablero podría sufrir descomposición del polímero por hidrólisis. El tablero, al sufrir una hidrólisis, disminuye su resistencia mecánica, ya que desaparece el agente que mantiene cohesionadas las partículas.

h.-Obtención del producto final

Una de las últimas etapas del proceso es el recorte de rebordes, consiste en cortar los bordes del tablero, cuyas partículas no se encuentran correctamente cohesionadas en buena forma, a diferencia de las zonas más centrales, luego los tableros pasan a una bodega de reposo, aquí los tableros formateados adquieren su forma final gracias al reposo, es por esto que se debe cuidar la forma en que los tableros son almacenados para así evitar posibles arqueos y deformaciones. Luego pasa a una etapa de lijado y dimensionado (formateo), aquí los tableros son lijados para lograr un mejor acabado superficial, obteniendo superficies lisas y sin rugosidades que permiten mejorar el comportamiento del tablero frente al pintado o revestimiento de su superficie. En este punto es eliminado el sobreespesor dado a los tableros durante el proceso. Posterior a esto, se formatea el tablero, cortándolo en dimensiones específicas según sea el pedido del cliente y el patrón común. Después se realiza el embalaje, aquí el paquete de tableros es envuelto en polietileno, se le colocan tapas al paquete, utilizando tableros rechazados, luego se atan longitudinal y transversalmente al paquete. Aunque los tableros de madera no suelen emplearse en condiciones en que el peligro de pudrición es grande, debe tenerse en cuenta la posibilidad de daños provocados por hongos e insectos.

En caso de que sea preciso aplicar algún tratamiento con sustancias protectoras para determinadas aplicaciones, se ha comprobado experimentalmente que da resultados satisfactorios agregar a la resina, antes de mezclarla con las partículas, de 1 a 2% de pentaclorofenol sin que influya perjudicialmente en las propiedades del tablero. Finalmente los tableros están listos para enviarse a destino.

3.1.3.5.- Tableros contrachapados

Una lámina de madera maciza es relativamente inestable y experimentará movimientos de contracción y dilatación, de mayor manera en el sentido de las fibras de la madera, por ésta razón es probable que sufra distorsiones. Para contrarrestar este efecto, los contrachapados se construyen pegando las capas con las fibras transversalmente una sobre la otra, alternamente.

La mayoría de los contrachapados están formados por un número impar de capas para formar una pieza equilibrada. La cara de mejor calidad de un tablero se conoce como "cara anterior" y la de menor como "cara posterior" o reverso. Por otra parte la capa central se denomina "alma".

Los tableros contrachapados de haya, [Din 4074-1] están compuestos por entre tres y nueve chapas de un espesor de entre 1.5 y 3.2 mm cada una.

El proceso de fabricación es similar a los tableros antes analizados, siendo necesaria la utilización de colas tipo urea-formaldehído, calor y presión.

3.1.3.6.- Tableros laminados

Para este tipo de paneles sirven las especificaciones desarrolladas en el caso de los tableros contrachapados, pues la principal diferencia radica en la orientación de las chapas de madera que lo conforman.

Es necesario tener en cuenta que, para la fabricación de este tipo de tableros, los troncos de madera, se descortezan, se ponen en remojo y se cortan en chapas de 3 mm de espesor que, posteriormente, se cortarán en láminas dimensionadas y se secan. Las zonas con defectos, así como las que son demasiado ligeras, húmedas o deformadas, se desechan. [Detail, 2000]

Las chapas se unen escalonadamente, se encolan con resina de urea-formaldehído, paralelamente a su veta, se superponen y se presan para formar el tablero. Los grandes tableros así formados, se pueden cortar al tamaño deseado.

3.1.3.7.- Tableros de fibras paralelas (PSL)

En el proceso de fabricación de los tableros de fibras paralelas (PSL) los troncos, una vez remojados y tratados al vapor, se cortan para formar chapas de 2.5 a 3.2 mm de espesor. Posteriormente, las fibras se secan hasta alcanzar un contenido de humedad de al 9 al 10 % y se cortan en listones de 460 a 2600 mm de longitud.

Una vez desechadas las partes defectuosas, las fibras se encolan con resina de fenol-formaldehído y se presan mediante prensa continua. Seguidamente se procede a una fase de curado por microondas. Las fibras se colocan en paralelo unas con otras con los extremos escalonados.

Durante el proceso de prensado, el material se comprime para aumentar su densidad aparente hasta un valor algo superior (15% más) al de la madera original. Entre las fibras quedan cavidades que se pueden apreciar en los extremos. [Velásquez, 2002] y [Widsten, 2002]

3.1.3.8.- Tableros de virutas laminadas encoladas (LSL)

Los tableros de virutas laminadas encoladas (LSL) se fabrican a partir de madera de álamo de 1 x 25 x 300 mm que se encolan con resina de poliuretano (PMDI).

Una vez encoladas en un mezclador, las partículas se alinean en el sentido original de las fibras. La masa se prensa en caliente, se separa y se lija. La madera de partículas largas se fabrica en dos grados: Intrallam S e Intrallam P.

3.1.3.9.- Tableros de fibras orientadas (OSB)

Para la fabricación de los tableros de fibras orientadas (OSB) [Gernot, 2002] se utilizan partículas gruesas rectangulares (aprox. 35 x 75 mm, 0.6 mm de espesor). Las partículas planas se obtienen pelando y triturando chapas de madera con una trituradora. Posteriormente se tamizan, se clasifican, se secan, se encolan, se extienden y se orientan. Las fibras se colocan al través en tres o cinco capas en función del espesor deseado del tablero.



Figura 3.1.18 Fabricación tableros de OSB. [CSCAE, 2010]

En el caso de tableros de tres capas, el núcleo, que constituye el 50% del total, se suele colocar en el sentido transversal, mientras que las fibras de las capas superficiales, que constituyen el 25% cada una, transcurren en paralelo a la longitud mecanizada. Una vez alineadas las fibras, las capas se prensan con calor. Después se enfrían, se les da forma y se liján. La fase previa al prensado se puede observar en la figura 3.1.18. [Detail, 2008]

3.1.3.10.- Tableros de fibras

Los tableros de fibras se construyen a partir de maderas que han sido reducidas a sus elementos fibrosos básicos y posteriormente reconstituidas para formar un material estable y homogéneo. [Thompson, 2007]

Para la fabricación de este tipo de tableros, las virutas de madera son introducidas en un tanque de reacción conocido como desfibrador, son tratadas al vapor y posteriormente, desfibradas mecánicamente con muelas. Este proceso de fabricación permite explotar las propiedades de entrelazamiento de sus fibras y su poder adhesivo intrínseco. [Brochman, 2004]

La fuerza de adhesión se puede mejorar añadiendo agentes ligantes e hidrófugos, así como aplicando tratamientos térmicos.

Se fabrican de diferente densidad en función de la presión aplicada y el aglutinante empleado en su fabricación.

Se pueden dividir en dos tipos principales, los de alta densidad, que utilizan los aglutinantes presentes en la misma madera, que a su vez se dividen en duros y semiduros, y los de densidad media, que se sirven de agentes químicos ajenos a la madera como aglutinante de las fibras.

Se dividen, tal y como se ha visto anteriormente, en varios tipos:

a.- Tableros duros. Estos tableros han sido impregnados con resina y aceite para obtener un material más fuerte e impermeable y resistente a la abrasión.

b.- Tableros semiduros.

c.- Tableros de Densidad Media. Se trata de un tablero que tiene ambas caras lisas y que se fabrica mediante un proceso seco. Las fibras se encolan gracias a un adhesivo de resina sintética. Estos tableros pueden trabajarse como si se tratara de madera maciza.

Los diversos procesos de fabricación se diferencian, básicamente, en la técnica empleada para producir el material fibroso.

3.1.3.11.- Tableros de partículas extruidas

Para la fabricación de tableros de partículas extruidas, las partículas se mezclan con un agente ligante, la mezcla es empujada por medio de un émbolo y por ciclos hacia un conducto previamente calentado. La sección transversal de este conducto de moldeo del tablero es la que determina la sección del producto resultante. Las partículas se colocan en perpendicular a la superficie. Los tableros de partículas se producen en un proceso de fabricación continuo, ya que el proceso de calentamiento y la velocidad de carga están ajustados al tiempo de endurecimiento posterior. Cuando las partículas atraviesan el conducto, se entrelazan entre ellas para formar un tablero sin fin que se cortará en secciones una vez que el proceso de prensado se haya completado. Los tableros extruidos sólidos se fabrican de una sola capa. Debido a la disposición de las partículas, estos tableros tienen una resistencia a la flexión inferior a la de los tableros de partículas prensadas en plano. [Hough, 1987]

Los tableros de partículas extruidos solo son válidos para núcleos de los tableros compuestos. Los tableros con cavidades tubulares en sus núcleos se fabrican disponiendo tubos en sentido longitudinal en el conducto de fabricación tal y como se observa en la figura 3.1.19.

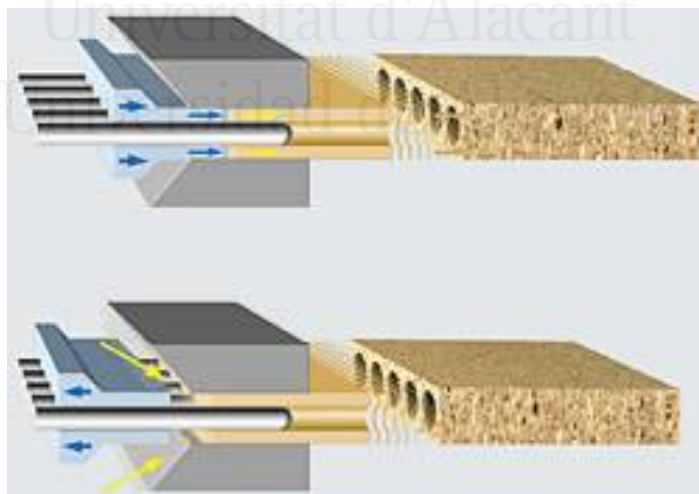


Figura 3.1.19 Fabricación de tableros con cavidades tubulares. [Sauerland spanplatte, 2009]

3.2.- Tableros derivados de materiales distintos a la madera

En este punto se estudian los tableros existentes en la actualidad y que no son derivados de la madera. Algunos de ellos no están destinados a tener que desarrollar un adecuado comportamiento estructural sino que están destinados a comportarse como materiales aislantes a nivel térmico, acústico o frente a la acción del fuego.

Durante el análisis de los tableros que se utilizan hoy en día en la construcción arquitectónica [Bowyer, 1995] podemos encontrar tableros de materiales tan variados como altramuz, bagazo, bambú [Mora, 2008; Rowell, 1988], cáscara de arroz [Ajiwe, 1998; Gerardi, 1998; Han-Seung, 2003; Pan, 2006], papel de periódico, materiales compuestos de cartón en células y poliuretano, hoja de té [Yalinkilic, 1998], piel de uva [Ntalos, 2002], piel de kiwi [Nemli, 2003], fibras de girasol [Khistorn, 1998], semillas molidas [Van Voorn, 2001] o cáscara de nuez [Gürü]. Sin embargo las propiedades tanto físicas como mecánicas de ellos no son conocidas al pertenecer el desarrollo de estos tableros a empresas privadas.

3.2.1. Tipología de tableros derivados de otros materiales

Como se verá en detalle a continuación, de este análisis se deduce, por un lado, que no existen en el mercado tableros derivados de la posidonia oceánica y, por otro, que todos los tableros comparten unas determinadas características de fabricación. El uso de la presión es necesaria para la fabricación y en la mayoría, se necesitan colas naturales o artificiales que permitan el ligado de los materiales que forman el tablero.

En algunos de ellos se intuyen principios básicos de sostenibilidad en el uso de determinados materiales naturales que pueden funcionar como sustitutos de la madera y contribuir a que su consumo sea menor. En este aspecto pueden resultar especialmente interesantes los tableros fabricados con paja, cáñamo, cáscara de almendra o de cacahuete.

3.2.1.1.- Fibrocemento

El fibrocemento es un material compuesto de fibra y cemento [Figura 3.2.1.]. Contiene un 40% de cemento portland, un 11 % de aditivo (polvo de caliza), un 2% de fibra de refuerzo y un 5% de fibras de celulosa y agua [Youngquist, 1994].

Según la norma DIN 18516-1, los tableros de fibrocemento se pueden utilizar como protección frente a la intemperie en cubiertas y muros, o como revestimientos ventilados de cerramientos exteriores.



Figura 3.2.1 Tablero de fibrocemento. [Naturvex, 2010]

3.2.1.2.- Cartón yeso

Los tableros de cartón yeso están compuestos por un núcleo de yeso revestido de cartón adhesivo. Las materias primas para su fabricación son el yeso natural y yeso obtenido de la desulfuración de gases de combustión [Figura 3.2.2].

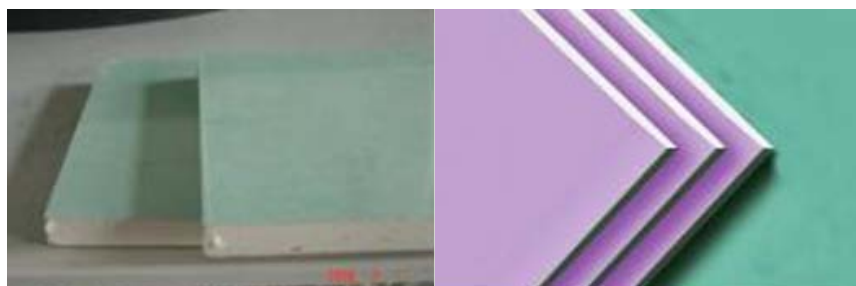


Figura 3.2.2 Tablero de cartón yeso convencional (izq.) e ignífugo (dcha.). [Naturvex, 2010]

En función de la aplicación que se les vaya a dar, pueden utilizarse varios tipos de tableros de cartón yeso con diferentes cartones envolventes y aditivos: Tablero de cartón yeso común; Tablero de cartón yeso ignífugo; Tablero de cartón yeso imprimado; Tablero de cartón yeso imprimado e ignífugo. Los tableros de cartón yeso pueden utilizarse como revestimiento de muros o forjados, de falsos techos o de tabiques prefabricados. También pueden utilizarse como capa niveladora. En todos los casos predomina la necesidad del tablero a resistir esfuerzos de flexión. Su utilización está permitida en aquellas áreas en las que lo están los tableros de madera de clase 20 [DIN 68800-2].

Los tableros de cartón yeso imprimados pueden instalarse en cerramientos exteriores siempre que se cumplan las condiciones para una protección efectiva y duradera ante la intemperie y así lo indique su certificación. También pueden utilizarse como capa de refuerzo en la construcción de techos de edificios de madera (fijados a la cara inferior), en cubiertas inclinadas y en sus divisiones portantes.

3.2.1.3.- Yeso y fibra de celulosa

Los tableros de yeso y fibra de celulosa son un tipo de tableros homogéneos formados por una mezcla de yeso natural calcinado y fibras de celulosa. Estas fibras se obtienen principalmente del reciclaje del papel y ayudan a incrementar las propiedades de resistencia del material [Figura 3.2.3 (izq.)].

Los tableros de yeso y fibra de celulosa encuentran su campo de aplicación más importante en el diseño y construcción de tabiquería, sobre estructuras de acero o de madera, en edificios administrativos, hoteles, viviendas, naves industriales, hospitales, escuelas, etc.

La construcción de tabiquería con paneles de yeso y fibras de celulosa debe cumplir con las exigencias de las normas de la construcción aplicables, en las que se refiere a protección contra incendios, estabilidad y aislamiento acústico. En España, su aplicación está amparada por el DIT N77 (Documento de Idoneidad Técnica).

También pueden utilizarse como capa de refuerzo en la construcción de techos de edificios de madera (fijados a la cara inferior), en cubiertas inclinadas y en sus divisiones portantes.

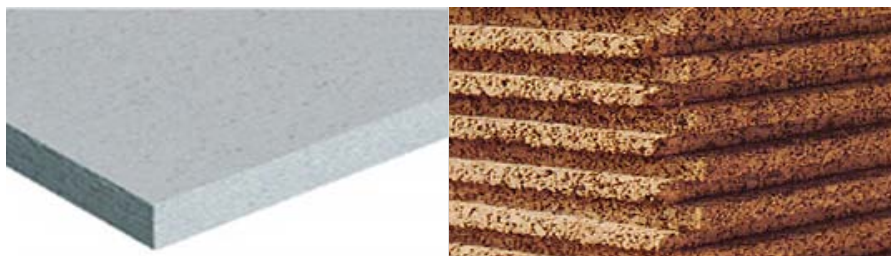


Figura 3.2.3 Tablero de yeso y fibras de celulosa (izq.); tablero de corcho (dcha.)

3.2.1.4.- Corcho

El corcho, la corteza exterior del alcornoque, puede adquirirse en forma de material granulado natural o expandido como tableros de uso principal aislante térmico. Las membranas celulares son muy flexibles, su módulo de elasticidad es muy bajo. Del mismo orden que materiales como el neopreno o similar.

El corcho presenta baja conductividad al calor, el sonido o a las vibraciones. Esto es debido al hecho de que los elementos gaseosos están sellados en los compartimientos minúsculos, impermeables, aislados uno del otro por un material resistente de humedad. El corcho es uno de los mejores aislantes térmicos y acústicos en el campo de las materias naturales. Gracias a la estructura de panal de la superficie se ve menos afectado por el impacto y la fricción que otras superficies duras [Figura 3.2.3 (dcha)]

Los tableros de corcho pueden clasificarse, de forma muy básica, en tableros macizos de corcho prensado y tableros tipo sándwich, compuestos dos capas exteriores, normalmente de madera, y una interior de corcho.

Se utiliza como componente de tabiquerías, fachadas, techos y suelos para el aislamiento térmico y acústico. Son el aislante más inalterable que existe. Destaca por su conductividad térmica, absorción acústica, y excelente comportamiento frente a la humedad, el fuego, la compresión o agentes químicos.

3.2.1.5.- Poliestireno expandido (EPS)

Las espumas plásticas son un producto refinado del petróleo que se fabrica mediante el espumado de la materia prima, con adición simultánea de agentes soplantes. El poliestireno expandido es resistente a la podredumbre, a la acción del moho y a los agentes parasitarios, sin embargo no resiste una exposición permanente a la humedad [Figura 3.2.4 (izq.)]

Se clasifican en función de su densidad desde los menos densos (tipo I) a los más densos (tipo V). Estas densidades oscilan entre 15 y 30 kg/m³. Suelen utilizarse en cubiertas planas sin ventilación posterior y en sistemas compuestos de aislamiento de cerramientos exteriores. También se usan como componente en la formación de paneles tipo sándwich. En la construcción de forjados, los tableros de EPS se utilizan como aislamiento frente al impacto y térmico [Hugues, 2009].

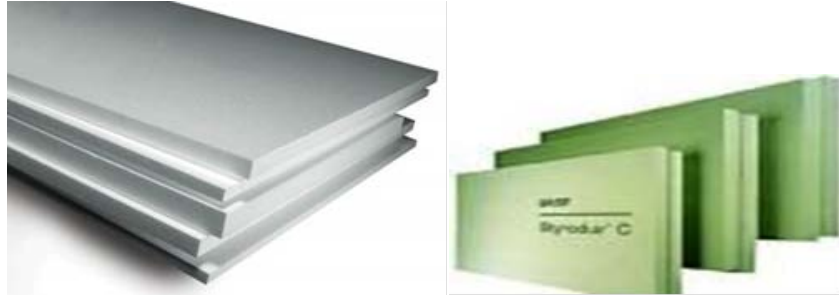


Figura 3.2.4 Tablero de EPS (izq.) y XPS (dcha.)

3.2.1.6.- Poliestireno extruido (XPS)

Los tableros de poliestireno extruido (XPS) están formados por una espuma plástica dura de alveolos cerrados. Se diferencia de los tableros EPS en el modo de fabricación. La espuma de poliestireno extruido se caracteriza por su baja absorción de la humedad y por su resistencia a la putrefacción, sin embargo no es resistente a los rayos ultravioleta [Figura 3.2.4 (dcha.)]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T, TR y TS. Sus densidades aparentes oscilan entre 25 y 45 kg/m³. Suelen utilizarse para cualquier tipo de aislamiento, aunque no se utilizan como aislamiento frente al impacto.

3.2.1.7.- Poliuretano (PUR)

Los tableros de poliuretano están compuestos de varios productos derivados del petróleo con diferentes densidades reticulares y aparentes. La espuma rígida de poliuretano de alta resistencia (HR) se distingue por su baja absorción de humedad y por su resistencia a la putrefacción. Los tableros de poliuretano se fabrican con espuma HR moldeada in situ [Figura 3.2.5 (izq.)]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T, TR, TS y TRS. Sus densidades aparentes oscilan entre 22 y 100 kg/m³. Se utilizan como aislamientos térmicos de cubiertas planas, como aislamientos en cubiertas muy inclinadas y como aislamientos en cerramientos exteriores de fachadas.

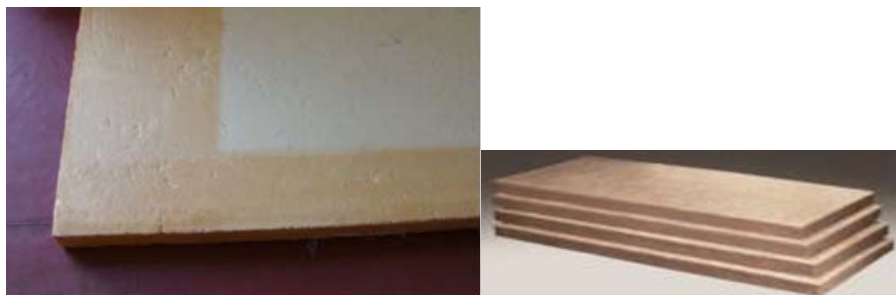


Figura 3.2.5 Tablero de PUR (izq.) y tableros de lana mineral (dcha.)

3.2.1.8.- Lana mineral

La lana mineral es una fibra sintética obtenida a partir de la fusión del vidrio, piedra y escoria. Se utiliza como aislamiento térmico y acústico en forma de hojas, esteras, fieltros o tableros. Los paneles compactos de lana mineral, por su estructura porosa que retiene fuertemente aire en su interior, por el tamaño y diámetro de sus filamentos y por su elasticidad, entre otras, son aislantes termo-acústicos idóneos para ser aplicados en elementos divisorios y trasdosados interiores, especialmente en sistemas de tabiquería seca con entramado autoportante y placas de yeso laminar [Figura 3.2.5 (dcha.)]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T, TV, TR, TS y TRS, TF, I, IC. Sus densidades aparentes oscilan entre 12 y 250 kg/m³.

Se utilizan como aislamientos térmicos en divisorias y cerramientos verticales de edificación residencial, oficinas, locales comerciales u hospitales, tanto en obra nueva como en rehabilitación, paredes de entramado autoportante y placas de yeso laminar y en trasdosados por una o ambas caras de paredes antiguas. También se utilizan como aislamiento frente al ruido de impacto en forjados.

3.2.1.9.- Lana de oveja

La lana de oveja es uno de los materiales más antiguos usados por el ser humano para protegerse de frío. Estos mantos son transpirables, al ser un material higroscópico absorbe y libera la humedad, ayudando a crear ambientes secos y a evitar daños en materiales de paredes y techos [Figura 3.2.6]



Figura 3.2.6. Tablero de lana de oveja [Isocotton, 2010]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T y TV. Sus densidades aparentes oscilan entre 20 y 80 kg/m³. Los tableros de lana de oveja se utilizan como aislamientos térmicos en divisorias y cerramientos verticales y cubiertas de edificación residencial, oficinas, locales comerciales u hospitales, tanto en obra nueva como en rehabilitación.

3.2.1.10.- Lino

El lino es una fibra perteneciente al grupo de las fibras internas que se obtienen de la planta del lino. Su función principal es la de aislante. Como tal, el lino resiste la acción del moho y cede hasta un 20% su peso propio en humedad [Figura 3.2.7 (izq.)]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T y TV. Su densidad aparente es de 25 kg/m³. Los tableros de lino se utilizan como aislamientos térmicos en divisorias y cerramientos verticales y cubiertas de edificación residencial, oficinas, locales comerciales u hospitales, tanto en obra nueva como en rehabilitación. También se utilizan como aislamiento frente al ruido de impacto en forjados.



Figura 3.2.7. Tableros de lino (izq.) y de fibras de coco (dcha.)

3.2.1.11.- Fibra de coco

La fibra de coco se obtiene de la capa fibrosa del coco [Khedari, 2004]. Se presenta en forma de fieltro enrollado, de esteras o de tableros aislantes [Figura 3.2.7 (dcha.)]

Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T, TV, I y IC. Su densidad aparente oscila entre 50 y 140 kg/m³. Los tableros de fibra de coco [Viswanathan, 2000] se utilizan como aislamientos térmicos en divisorias y cerramientos verticales y cubiertas de edificación residencial, oficinas, locales comerciales u hospitales, tanto en obra nueva como en rehabilitación.

3.2.1.12.- Cáñamo

La fibra de cáñamo es resistente al desgarre y a la tensión, lo que la hace adecuada para el aislamiento frente al ruido de impacto [Figura 3.2.8 (izq.)]. Se clasifican en función de su densidad siendo de los tipos T y TV. Su densidad aparente oscila entre 20 y 40 kg/m³. Se utilizan como aislamientos térmicos en divisorias y cerramientos verticales y cubiertas. También se utilizan como aislamiento frente al ruido de impacto en forjados.



Figura 3.2.8. Tableros de fibra de cáñamo

3.2.1.13.- Paja

Los tableros de paja son de núcleo sólido compuestos de trigo comprimido o paja de arroz. La alta presión y temperatura (240° C) hacen que la paja libere una resina natural que une las fibras entre sí. Existe la posibilidad de aplicar resinas sintéticas para su fabricación. Los tableros de paja comprimidos se cubren con papel 100% reciclado y se adhirieron a ambos lados con pegamento a base de agua [Erwin, 1997]

Al no usarse adhesivos con emisiones de formaldehído o con solo adhesivos naturales, los paneles de paja prensada contribuyen, a nivel de material, a la sostenibilidad en la construcción. Se caracteriza por su baja deformabilidad y, en especial al hinchazón [Karr, 2000]. La certificación que rige las características de los tableros de paja [Han, 1998] es la ISO9001: 2000, CE.

3.2.1.14.- Cáscara de cacahuete

Tableros hechos a base de alma de cacahuete, que no requieren adhesivos ni productos químicos, podrían ser utilizados en la construcción de viviendas baratas en Filipinas. El tablero ha sido desarrollado por el Dr. Dwight Eusebio del Centro de Investigación Forestal de Filipinas, pero ha de pasar todavía por la preceptiva serie de ensayos antes de entrar en la fase de producción industrial. Concretamente, ha de estudiarse su comportamiento ante las termitas y los hongos [Aitim, 2008]

3.2.1.15.- Cáscara de almendra

El tablero de cáscara de almendra es un compuesto obtenido al mezclar resinas sintéticas y naturales, cáscara de almendra triturada y otros aditivos. Tras un proceso de polimerización y sometiendo la pasta a determinadas condiciones de presión y temperatura dentro de un molde, esta se transforma en objetos rígidos, adoptan formas y texturas que se aplican a plafones decorativos. De esta manera se convierte un residuo vegetal como la cáscara de almendra, en una serie de objetos biodegradables y reciclables, que al ser fabricados por técnica de moldeo, pueden adquirir diferentes formas. Es un material considerado biodegradable, reciclable, ligero, hidrófugo (ideal para zonas húmedas), con buenas propiedades acústicas, y adecuado comportamiento al fuego.

El uso de tableros de cáscara de almendra no está muy extendido, sin embargo se suelen utilizar como revestimiento de muros o forjados, de falsos techos o de tabiques prefabricados y como celosías.

3.2.1.16.- Tableros laminados de alta presión (HPL)

También llamados tableros estratificados, son tableros formados por un núcleo de resina de fenol armado con fibras celulósicas o por un tablero de madera revestido por las dos caras. El conjunto se prensa a alta presión y temperatura. Son tableros de densidad y peso elevados, de ahí su denominación comercial.



Figura 3.2.9. Tableros laminados HPL [Aitim, 2000]

La norma armonizada que regula el Mercado CE de los laminados decorativos de alta presión (HPL) es la UNE EN 438-7. Esta norma define los tableros compactos como un tablero de alta densidad que se forma incorporando diferentes capas de fibras de madera o papeles tratados con resinas termoestables comprimidas a altas presiones y temperatura. Estas capas se denominan HPL, que se corresponden con las palabras inglesas *High Pressure Laminates* [Figura 3.2.9]

En función de sus aplicaciones se definen los de construcción interior, construcción exterior, transporte, mobiliario y revestimiento de suelos se pueden clasificar como: Laminados para aplicación horizontal, vertical, laminados compactos y para exteriores, laminados para suelos (con cinco grados de resistencia a la abrasión), e incluso laminados ignífugos.

En función de los principales materiales que intervienen en su fabricación, se pueden clasificar en: Laminados, formados por capas de material de fibra celulósica (normalmente papel) impregnadas con resinas termoestables y unidas entre sí mediante un proceso de presión. Se pueden distinguir los siguientes tipos: Laminados a baja y alta presión para la cara; Laminados a baja presión (LPL); Laminados a alta presión (HPL); Chapas de madera lisa o gofrada, impregnadas de resina empleados como cara vista con la misma función y en lugar de un laminado HPL. El núcleo puede estar formado por tableros de madera (partículas, fibras MDF, fibras HDF, contrachapados, alistonados) o por capa de una resina termoendurecible (fenólicas, acrílicas, bakelita, etc.) [Baker, 2008]

Las aplicaciones quedan divididas en función del entorno en el que se instalen. En ambiente interior se usan en revestimientos de paredes, techo y suelos; mobiliario de oficina, mobiliario de laboratorios, baños, cocinas, taquillas de vestuarios, revestimientos interiores de piscinas, encimeras, etc. En ambiente exterior se emplean en cerramientos de fachadas, cerramientos, elementos de guardería, juegos infantiles, etc.

3.2.1.17.- Tableros de partículas de madera aglomerados con cemento

Se obtienen aplicando presión sobre partículas de madera u otras de naturaleza vegetal, aglomeradas con cemento, a los que se pueden añadir otros aditivos. Se componen de partículas de madera, cementos Portland corrientes o cementos derivados del magnesio, con recubrimientos de chapas o láminas de plásticos, papeles decorativos impregnados, chapas metálicas, pintados, etc. Se pueden incorporar aditivos durante su fabricación para mejorar algunas de sus propiedades [Figura 3.2.10]



Figura 3.2.10. Tablero de partículas aglomeradas - cemento

La clasificación tipológica de los tableros de partículas aglomerados con cemento depende de las condiciones de exposición que deba soportar el panel. De acuerdo con la norma [ENV 1995-1-1] se definen tres clases de servicio (1, 2 y 3) para ambiente seco, húmedo o exterior respectivamente.

Las principales aplicaciones de este tipo de tableros se pueden resumir en los siguientes grupos: Carpintería, mobiliario y decoración, como revestimientos de paredes, techos y fachada; y Estructurales, tableros de cubierta y diafragma, entrevigado y diafragma de forjados, cerramiento y diafragma de muros, y divisiones interiores, tabiques.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

4.- PROPIEDADES DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

4.1.- Propiedades físicas de los tableros estructurales derivados de la madera

En la misma línea del capítulo anterior, para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este capítulo se presentan las propiedades físicas que influyen en los procesos de cálculo de los tableros estructurales derivados de la madera. Este punto permitirá conocer si estas propiedades también influyen o no en el comportamiento de los tableros derivados de la posidonia oceánica y/o madera de Pino Gallego.

4.1.1.- Densidad

La densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, debe considerarse al referirse a la densidad de la madera el volumen interno de espacios vacíos existentes.

El contenido de humedad de la madera influye sobre la relación madera/volumen, es decir, es afectado el peso y las dimensiones de la madera. Por ello se conocen distintos tipos de densidad, entre ellas destacan la densidad básica y la densidad de referencia. La densidad básica considera el volumen de la madera saturada con agua. La densidad de referencia considera masa y volumen en las mismas condiciones de humedad. La densidad de referencia varía del 12% al 20% de contenido de humedad [Hernán, 2006], es de uso frecuente y se le conoce como densidad normal.

La densidad de la madera es un criterio usado para estimar las características de resistencia mecánica de la madera satisfactoriamente. Se emplea también como elemento de juicio para estimar la cantidad de material leñoso de una especie. Se puede usar como estimador de la facilidad con que se deja trabajar la madera (cortar, cepillar, moldurar, etc.). O como indicador de la facilidad para tratar la madera (secar e impregnar). Normalmente las maderas de mayor densidad presentan una mejor resistencia mecánica y una mayor cantidad de material leñoso, pero se dejan trabajar y tratar con mayor dificultad.

La densidad de la madera varía con la especie y depende, además, de la edad de los árboles. Con todo, la magnitud de la densidad de la madera está estrechamente relacionada con la estructura anatómica de la madera, particularmente depende del espesor de la pared celular de las fibras [Herzog, 2003]. Normalmente se expresa en kg/m^3 y su medida se regula en la norma UNE EN 323.

La densidad de los tableros de madera maciza dependerá de la especie de madera utilizada. Aunque sus densidades habituales están entre 300 y 1000 kg/cm^3 [Nevado, 1999]. Tanto los tableros contrachapados como los laminados también determinarán su densidad en función de la especie o especies empleadas. Estando ambos en densidades próximas a 500 kg/m^3 . Para los tableros de fibras de densidad media, MDF, la norma UNE EN 316 especifica que su densidad debe ser igual o superior a 450 kg/cm^3 [Eleoterio, 2000]

En relación a los tableros de virutas orientadas, OSB, la norma UNE EN 300 no especifica la densidad mínima, lo único que exige es que la variación de la densidad en el interior del tablero debe ser del 10%. Como recomendación, los tableros de virutas que se utilicen en la construcción deberán tener una densidad mínima de 650 kg/cm^3 [Roffael, 2003]

4.1.2.- Contenido de humedad

La presencia de agua en la madera es un hecho conocido, ya que ésta es indispensable para la vida de las plantas. Cuando el árbol es talado, su madera conserva una cierta cantidad de agua que se localiza tanto en la pared celular como en otros espacios que pueden presentarse en la madera. La cantidad de agua existente en la madera puede variar mucho según la especie (pino o eucalipto), el tipo de madera (albura o duramen) y la edad de la madera (madera juvenil o madera adulta) [Graubner, 1986]. El contenido de humedad indica la masa de agua que contiene el tablero y se expresa en %. En la tabla 4.1.1 se exponen los contenidos de humedad definidos en las normas de cada tipo de tablero en el momento de su suministro.

Tabla 4.1.1 Contenidos de humedad de los tableros derivados de la madera

TIPO DE TABLERO	CONTENIDO DE HUMEDAD
Madera maciza	8 ± 2%
Contrachapado	10 ± 3%
Laminado	6 al 12%
Partículas	5 al 13%
Virutas orientadas OSB	1 al 12%
Fibras de densidad media MDF	4 al 10%

La madera contiene una cierta cantidad de agua depositada en las paredes celulares de las fibras. Normalmente cuando la madera intercambia humedad de la pared celular se producen variaciones en las dimensiones de la madera: la contracción o hinchamiento, definido por el coeficiente de contracción volumétrica, C_v , a partir del cual se puede clasificar la madera como: muy nerviosa, $0.75\% < C_v < 1\%$; nerviosa, $0.55\% < C_v < 0.55\%$; medianamente nerviosa, $0.55\% < C_v < 0.35\%$; y poco nerviosa, $0.15\% < C_v < 0.35\%$

Como la madera tiene un comportamiento anisótropo, los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales. La contracción tangencial es 1.5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera.

Ciertos defectos que ocurren durante el secado de la madera son ocasionados por las diferencias de contracción tangencial y radial, particularmente el defecto denominado acanaladura.

Igualmente la contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados encorvadura. Estos defectos son potenciados por la presencia de nudos que, comúnmente, presenta la madera juvenil del pino radiata.

4.1.3.- Estabilidad dimensional

Los datos de estabilidad dimensional indican las variaciones, aumentos o disminuciones, que se producen en los tableros cuando varían las condiciones ambientales, humedad relativa y temperatura del aire. Normalmente se expresan en las variaciones dimensionales que se producen cuando aumenta o disminuye el contenido de humedad del tablero en una unidad, variación dimensional unitaria [Niemz, 1996]

Tabla 4.1.2 Variaciones dimensionales de los tableros en cada dirección

TIPO DE TABLERO	LONGITUD (%)	ANCHURA (%)	ESPESOR (%)
Contrachapado	0.015	0.015	0.2
Laminado	0.025	0.025	0.3
Partículas	0.05	0.05	0.7
Virutas orientadas OSB	0.03	0.04	0.7
Fibras de densidad media MDF	0.15	0.05	0.7

La norma utilizada para comprobar y calcular la estabilidad dimensional de los tableros es la UNE EN 318. El procedimiento de ensayo consiste en comprobar los cambios dimensionales de las probetas normalizadas cuando se someten a diferentes condiciones ambientales (20°C y 30%; 20°C y 65% y 20°C y 85%). Los valores de variación dimensional se resumen en la tabla 4.1.2.

4.1.4.- Resistencia a la humedad

La resistencia a la humedad de los tableros derivados de la madera evalúa la calidad y durabilidad del encolado y va ligada a sus aplicaciones en exterior o en ambientes húmedos. La resistencia a la humedad de los tableros estándar suele ser relativamente baja, por lo que se deben emplear tableros en los que se ha mejorado este comportamiento con la incorporación de un adhesivo adecuado y de otros aditivos [Gutdeustch, 1996]. La resistencia del encolado a la acción del agua se comprueba mediante las pruebas de envejecimiento acelerado que se mencionan a continuación:

a.- En los tableros de madera maciza, contrachapados y laminados se utilizan una serie de pretratamientos (inmersión en agua a temperatura ambiente, inmersión en agua caliente, secado en estufa con ventilación forzada, etc.) y posteriormente se evalúa la resistencia a corte de cada línea de adhesivo y el porcentaje de madera que queda adherido.

b.- En los tableros de partículas, de fibras y de OSB se realizan una serie de ciclos (inmersión en agua a 20°C, introducción en un congelador con temperaturas entre -12°C y -25°C, secado de las probetas en una estufa a 70°C, etc.) y posteriormente se evalúa la resistencia a tracción y su hinchazón o resistencia a flexión.

4.1.5.- Conductividad térmica, aislamiento acústico y resistencia al vapor de agua

Los tableros derivados de la madera, al igual que otros materiales celulósicos, son malos conductores del calor debido a la escasez de electrones libres y a su porosidad. Para evaluar la conductividad térmica se utiliza un coeficiente que mide la transmisión de calor y su propagación a toda la masa del material. [Pandey, 1987]

El coeficiente de conductividad térmica se define en kilocalorías que hay que aportar a una pieza de 1 m de espesor, para que en un tiempo de una hora, la temperatura de la cara no expuesta al foco calórico aumente un grado Celsius [Sampathrajan, 1992]. En la tabla 4.1.3 se exponen los valores del coeficiente de conductividad térmica de los tableros derivados de la madera.

Tabla 4.1.3 Conductividad térmica de los tableros derivados de la madera

TIPO DE TABLERO	Densidad (kg/m ³)	Coef. de conductividad térmica (kcal/m h °C)	
		seco	húmedo
Madera maciza y contrachapado	1000	0.24	
	700	0.17	
	500	0.13	
Partículas	900	0.18	
	600	0.12	
	300	0.07	
Virutas orientadas OSB	650	0.13	
Fibras de densidad media MDF	250	0.05	
	400	0.07	
	600	0.10	

El asilamiento acústico es la diferencia entre el nivel de intensidad acústica incidente y el nivel de intensidad acústica transmitida. Cada elemento constructivo tiene un aislamiento acústico específico [Bekhta, 2000] y se evalúa habitualmente mediante dos parámetros:

a.- Absorción acústica. Es la energía extraída del campo acústico cuando la onda sonora incide sobre un objeto determinado.

b.- Coeficiente de absorción. Es la relación entre la energía acústica absorbida por un material y la energía acústica incidente sobre dicho material por unidad de superficie y se resume en la tabla 4.1.4.

Tabla 4.1.4 Coeficiente de absorción acústica de los tableros derivado de madera

TIPO DE TABLERO	Coef. de absorción acústico	
	250-500 Hz	1-2 kHz
Madera maciza y contrachapado	0.10	0.30
Partículas y virutas orientadas OSB	0.10	0.25
Fibras con densidad < 400kg/m ³	0.10	0.30
Fibras con densidad ≥ 400kg/m ³	0.10	0.30

Por último, la resistencia al vapor de agua es una característica necesaria para calcular las condensaciones que se pueden producir en el interior de los materiales. En los tableros depende del espesor y se puede determinar mediante ensayo [EN ISO 12572] o utilizar los valores del factor F (r_v) de resistencia al vapor de agua en función de la densidad del tablero de la tabla 4.1.5.

Tabla 4.1.5 Resistencia al vapor de agua de los tableros derivados de la madera

TIPO DE TABLERO	Densidad (kg/m ³)	Coef. de resistencia al vapor de agua (mm Hg m ² día/g)	
		seco	húmedo
Madera maciza y contrachapado	300	150	50
	500	200	70
	700	220	90
Partículas	300	50	10
	600	50	15
	Virutas orientadas OSB	650	50
Fibras de densidad media MDF	250	5	2
	400	10	5
	600	20	12

4.1.6.- Contenido de formaldehido

En la fabricación de los tableros derivados de la madera se pueden utilizar adhesivos que contienen formaldehido [Ismail, 2005], por lo tanto, en función de la cantidad de formaldehido del adhesivo utilizado, el tablero tendrá, a su vez, un determinado contenido de formaldehido que irá emitiendo al exterior [López, 1975]

El contenido de formaldehido de los tableros se puede calcular por el método del perforador [UNE EN 120], por el método de cámara [UNE EN 717-1] o por el método de análisis de gas [UNE EN 717-2]

4.2.- Propiedades mecánicas de tableros estructurales derivados de la madera

En la misma línea del capítulo anterior, para poder empezar el estudio de un nuevo material con el que proponer tableros estructurales es necesario conocer el estado del arte en dicho campo. En este punto se presentan las propiedades mecánicas que influyen en los procesos de cálculo de los tableros estructurales derivados de la madera. Este estudio permitirá conocer en qué medida influyen estas propiedades en el comportamiento de los tableros derivados de la posidonia oceánica y/o madera de Pino Gallego.

4.2.1.- Valores característicos de los tableros

Las aplicaciones de los tableros derivados de la madera relativas a su uso estructural requieren del conocimiento de sus propiedades mecánicas referentes a sus resistencias y rigideces. Se plantea el tema de las propiedades mecánicas en plural puesto que los tableros derivados de la madera (como la madera en sus distintas facetas estructurales) se comporta como un material que presenta anisotropía: sus propiedades mecánicas dependen de la dirección. Las resistencias y rigideces de los tableros derivados de la madera toman distintos valores en función de si los esfuerzos actúan en dirección longitudinal del tablero que si actúan en perpendicular a él. Debido al carácter anisótropo de los tableros presentan las siguientes propiedades:

A.- Resistencia.

- Flexión $(f_{m,p,k})$
- Tracción $(f_{t,p,k})$
- Compresión en el plano del tablero $(f_{c,p,k})$
- Compresión en el grueso $(f_{c,90,p,k})$
- Cortante en el plano $(f_{r,p,k})$
- Cortante en el grueso $(f_{v,p,k})$

B.- Rigidez.

- Flexión $(E_{m,p})$
- Tracción $(E_{t,p})$
- Compresión en el plano del tablero $(E_{c,p})$
- Compresión en el grueso $(E_{c,90,p})$
- Cortante en el grueso $(G_{v,p})$

4.2.1.1.- Tableros contrachapados

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados no figuran en las normativas vigentes actualmente en España [D-SE-M, 2007]. En él se indica que dichos valores deben ser aportados por el

fabricante y obtenidos según las normativas de ensayos UNE EN 789 y UNE EN 1058. La documentación existente es escasa debido a que la implantación de dichos valores es reciente y la complejidad de los procesos de ensayo para su obtención es alta [Ivanov, 2008]

Las tablas 4.2.1 y 4.2.2 presentan los valores de las propiedades mecánicas y los valores medios de los módulos de elasticidad de los tableros contrachapados de pino radiata fabricados en España. Las tablas 4.2.3 y 4.2.4 presentan los valores de las propiedades mecánicas y los valores medios de los módulos de elasticidad de los tableros contrachapados de coníferas (abedul) de Finlandia.

Tabla 4.2.1 Valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados de pino radiata

Espesor mm	Nº chapas	Densidad kg/m ³	R. Flexión N/mm ²	R. Compresión N/mm ²		R. Tracción N/mm ²		R. Cortante N/mm ²
				0°	90°	0°	90°	
9	4	-	24.9	-	-	-	-	-
12	5	471	22.2	21.8	16.7	12.7	5.0	2.1
15	7	472	22.9	23.5	17.4	14.3	8.0	2.0

Tabla 4.2.2. Valores medios de los módulos de elasticidad de los tableros contrachapados de pino radiata

Espesor mm	Nº chapas	E. Flexión N/mm ²	E. Compresión N/mm ²		E. Tracción N/mm ²		E. Cortante N/mm ²
			0°	90°	0°	90°	
9	4	8952	-	-	-	-	-
12	5	7881	6619	4610	8144	5350	221
15	7	7287	6638	5500	7441	5843	225

Tabla 4.2.3 Valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados de coníferas de Finlandia

Espesor mm	Nº chapas	Densidad kg/m ³	R. Flexión N/mm ²	R. Compresión N/mm ²		R. Tracción N/mm ²		R. Cortante N/mm ²
				0°	90°	0°	90°	
9	3	400	28.6	19.3	10.7	11.6	6.4	-
12	5	400	22.8	17.4	12.6	10.5	7.5	1.13
15	5	400	23.0	17.5	12.5	10.5	7.5	1.13

Tabla 4.2.4. Valores medios de los módulos de elasticidad de los tableros contrachapados de coníferas de Finlandia

Espesor mm	Nº chapas	E. Flexión N/mm ²	E. Compresión N/mm ²		E. Tracción N/mm ²		E. Cortante N/mm ²
			0°	90°	0°	90°	
9	4	11453	7714	4286	7714	4286	350
12	5	9124	6968	5032	6968	5932	350
15	5	9201	7013	4987	7013	4987	350

4.2.1.2.- Tableros laminados

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros laminados tampoco figuran en las normativas vigentes actualmente en España. En él se indica que dichos valores deben ser aportados por el fabricante y

obtenidos según las normativas de ensayos UNE EN 789 y UNE EN 1058. La tabla 4.2.5 presenta los valores de las propiedades mecánicas de este tipo de tableros conformados con madera abeto.

Tabla 4.2.5. Valores característicos de las propiedades mecánicas y valores medios de los módulos de elasticidad de los tableros laminados

Propiedad	
Resistencia a flexión	48 MPa
Resistencia a tracción paralela	48 MPa
Resistencia a tracción perpendicular	0.3 MPa
Resistencia a compresión paralela	38 MPa
Resistencia a compresión perpendicular	7 MPa
Resistencia a cortante	6 MPa
Módulo de elasticidad longitudinal	12 GPa
Módulo de elasticidad transversal	0.4 GPa

4.2.1.3.- Tableros de partículas

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de partículas quedan recogidos en las normativas vigentes actualmente en España, concretamente el anejo E.3 el documento básico de seguridad estructural referido a estructuras de madera [Akyüz, 2010]. Documento perteneciente a la segunda parte del Código Técnico de la Edificación.

Los valores de las propiedades de resistencia y rigidez están clasificados en función del grado de humedad que debe soportar la estructura una vez construida. [Nemli, 07]

Las tablas 4.2.6 y 4.2.7 presentan los valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros estructurales de partículas para uso en ambiente seco [UNE EN 312-4] y ambiente húmedo [UNE EN 312-5] respectivamente.

Tabla 4.2.6. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente seco [UNE EN 312-4]

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia	(característica), en N/mm²						
- Flexión	$f_{m,p,k}$	14,2	12,5	10,8	9,2	7,5	5,8
- Tracción	$f_{t,p,k}$	8,9	7,9	6,9	6,1	5,0	4,4
- Compresión	$f_{c,p,k}$	12,0	11,1	9,6	9,0	7,6	6,1
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,6	6,1	5,5	4,8	4,4	4,2
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Rigidez (media), en N/mm²							
- A flexión	$E_{m,p}$	3200	2900	2700	2400	2100	1800
- A tracción	$E_{t,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
- A compresión	$E_{c,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	860	830	770	680	600	550

Tabla 4.2.7. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente húmedo [UNE EN 312-5]

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm²							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	7,5
- Tracción	$f_{t,p,k}$	9,4	8,5	7,4	6,6	5,6	5,6
- Compresión	$f_{c,p,k}$	12,7	11,8	10,3	9,8	8,5	7,8
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,0	6,5	5,9	5,2	4,8	4,4
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
Rigidez (media), en N/mm²							
- A flexión	$E_{m,p}$	3500	3300	3000	2600	2400	2100
- A tracción	$E_{t,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
- A compresión	$E_{c,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	960	930	860	750	690	660

Las tablas 4.2.8 y 4.2.9 presentan los valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de partículas de alta prestación estructural para uso en ambiente seco [UNE EN 312-6] y ambiente húmedo [UNE EN 312-7] respectivamente.

Tabla 4.2.8. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo [UNE EN 312-6]

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		>6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm²							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	16,5	15,0	13,3	12,5	11,7	10,0
- Tracción	$f_{t,p,k}$	10,5	9,5	8,5	8,3	7,8	7,5
- Compresión	$f_{c,p,k}$	14,1	13,3	12,8	12,2	11,9	10,4
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,8	7,3	6,8	6,5	6,0	5,5
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Rigidez (media), en N/mm²							
- A flexión	$E_{m,p}$	4400	4100	3500	3300	3100	2800
- A tracción	$E_{t,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
- A compresión	$E_{c,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1200	1150	1050	950	900	880

Tabla 4.2.9. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo [UNE EN 312-7]

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm²							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	18,3	16,7	15,4	14,2	13,3	12,5
- Tracción	$f_{t,p,k}$	11,5	10,6	9,8	9,4	9,0	8,0
- Compresión	$f_{c,p,k}$	15,5	14,7	13,7	13,5	13,2	13,0
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	8,6	8,1	7,9	7,4	7,2	7,0
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	2,4	2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
Rigidez (media), en N/mm²							
- A flexión	$E_{m,p}$	4600	4200	4000	3900	3500	3200
- A tracción	$E_{t,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
- A compresión	$E_{c,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1250	1200	1150	1100	1050	1000

4.2.1.4.- Tableros de fibras (MDF)

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de fibras obtenidos por el proceso seco (DMF) quedan recogidos en las normativas vigentes actualmente en España, concretamente el anejo E.3 documento básico de seguridad estructural referido a estructuras de madera. Documento perteneciente a la segunda parte del Código Técnico de la Edificación.

Los valores de las propiedades de resistencia y rigidez están clasificados en función del grado de humedad que debe soportar la estructura una vez construida. La tabla 4.2.10 presenta los valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros estructurales de fibras para uso en ambiente seco DMF-LA [UNE EN 622-5] y ambiente húmedo MDF-HLS [UNE EN 622-5] respectivamente.

Tabla 4.2.10. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de fibras DMF

Propiedades		MDF-LA (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente seco				MDF-HLS (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente Húmedo ⁽¹⁾			
		Espesor nominal, t_{nom} , en mm							
		>1,8 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30	>1,8 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30
Resistencia (característica), en N/mm²									
- Flexión	$f_{m,p,k}$	21,0	21,0	21,0	19,0	22,0	22,0	21,0	18,0
- Tracción	$f_{t,p,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
- Compresión	$f_{c,p,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,5	6,5	6,5	5,0	8,5	8,5	8,5	7,0
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$ ⁽²⁾	-	-	-	-	- ⁽²⁾	-	-	-
Rigidez (media), en N/mm²									
- A flexión	$E_{m,p}$	3700	3000	2900	2700	3700	3200	3100	2800
- A tracción	$E_{t,p}$	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
- A compresión	$E_{c,p}$	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
- A cortante, en el grueso	$(G)_{v,p}$	800	800	800	600	1000	1000	1000	800

4.2.1.5.- Tableros de fibras duros y semiduros

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros estructurales de fibras duros o semiduros también quedan recogidos en las normativas vigentes actualmente en España, concretamente el anejo E.3 documento

básico de seguridad estructural referido a estructuras de madera. Documento perteneciente a la segunda parte del Código Técnico de la Edificación.

Los valores de las propiedades de resistencia y rigidez [Nadir, 2010] están clasificados en función del grado de humedad que debe soportar la estructura una vez construida. La tabla 4.2.11 presenta los valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros estructurales de fibras duros o semiduros para uso en ambiente seco [UNE EN 622-2] y ambiente húmedo [UNE EN 622-3].

Tabla 4.2.11. Valores de las propiedades de resistencia y rigidez de los tableros de fibras estructurales fabricados por proceso seco

Propiedades	Duros (UNE EN 622-2) Para su uso en ambiente húmedo			Semiduros (UNE EN 622-3) Para su uso en ambiente seco		
	Espesor nominal, t_{nom} , en mm			Espesor nominal, t_{nom} , en mm		
	$\leq 3,5$	$> 3,5$ a $5,5$	$> 5,5$	≤ 10	> 10	
Resistencia (característica), en N/mm²						
- Flexión	$f_{m,p,k}$	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
- Tracción	$f_{t,p,k}$	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
- Compresión	$f_{c,p,k}$	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez (media), en N/mm²						
- A flexión	$E_{m,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A tracción	$E_{t,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A compresión	$E_{c,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	2100	2000	1900	1300	1200

4.2.1.6.- Tableros OSB

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de OSB [Vikram, 2005] tampoco figuran en las normativas vigentes actualmente en España. Estos valores están recogidos en la norma europea 12369-1 "Valores característicos de tableros derivados de la madera: tableros de virutas orientadas (OSB), de partículas y de fibras". [Ayrilmis, 2005]

La tabla 4.2.12 presenta los valores de las propiedades mecánicas los tableros de virutas orientadas OSB 2 y 3, siendo los de OSB 2 los utilizados en ambientes secos y los de OSB 3 los utilizados en ambientes secos que cumplan con la UNE EN 300. [Codina, 1998] y [Morales, 2004]

Tabla 4.2.12 Valores característicos de los tableros de virutas orientadas OSB -2 y OSB-3

Espesor mm	Densidad kg/m ³	R. Flexión		R. Compresión		R. Tracción		R. Cortante N/mm ²
		N/mm ²		N/mm ²		N/mm ²		
			0°	90°	0°	90°		
6-10	550	18.0	15.9	12.9	9.9	7.2	1.0	
10-18	550	16.4	15.4	12.7	9.4	7.0	1.0	
18-25	550	14.8	14.8	12.4	9.0	6.8	1.0	

4.2.1.7.- Tableros LSL

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de LSL tampoco figuran en las normativas vigentes actualmente en España. Estos valores están recogidos de los datos aportados por fabricantes de tableros de virutas encoladas con colas de isocianato

4.2.1.8.- Tableros de madera maciza

Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de madera maciza tampoco figuran en las normativas vigentes actualmente en España. En la norma UNE EN 13353 se especifica que el fabricante debe aportar los valores característicos de las propiedades resistentes y los correspondientes valores medios de los módulos de elasticidad obtenidos de acuerdo con las UNE EN 789 y UNE EN 1058.

Del análisis de todos los valores anteriores se pueden hacer una serie de comentarios generales que sirven de referencia para el estudio y desarrollo del estudio de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica y/o madera de Pino Gallego. De entre todas ellas cabe destacar las siguientes:

a.- En España existen pocos datos referentes a las propiedades de resistencia y valores de rigidez de los tableros derivados de la madera. En la normativa española solo se aportan datos de los tableros de partículas y de los de fibras, teniendo que hacer referencia a normativas de rango europeo y en los ensayos y datos ofrecidos por los fabricantes de los tableros. Incluso los datos referidos a los tableros de partículas y de fibras son recientes (2007).

b.- La humedad es un factor determinante. La fabricación de los tableros derivados de la madera se realiza en unas condiciones de temperatura y humedad controladas, sin embargo, estas condiciones son diferentes una vez colocados en obra. Las propiedades de resistencia y valores de rigidez disminuyen a medida que aumenta el grado de humedad del ambiente. Esta disminución de la resistencia viene establecida por las condiciones de los ensayos o por coeficientes reductores aplicados a los valores característicos.

c.- Las propiedades de resistencia y valores de los módulos de elasticidad varían con el espesor. El comportamiento, por ejemplo, a compresión en dirección del tablero es diferente si se utilizan tableros de poco espesor (9, 10 mm) o si se utilizan de gran espesor (25, 30 mm). Los primeros se ven afectados, en mayor medida, por la inestabilidad de pandeo causada por la compresión.

d.- El incremento en la densidad de los tableros implica un aumento en los valores tanto de las propiedades de resistencia como en los de rigidez. Los porcentajes de variación son diferentes en función del tipo de tablero.

e.- Valores de resistencias: los tableros estructurales derivados de la madera tienen un adecuado comportamiento a flexión con valores de resistencia que oscilan entre los 18 y 48 N/mm². El principal esfuerzo, a nivel general, que los solicitan es el de flexión. También presentan un buen comportamiento a compresión en dirección del tablero. Los valores de resistencia al corte son pequeños, especialmente el de corte en el plano. Los valores de resistencia más pequeños son los de tracción perpendicular a la dirección del tablero. Es recomendable evitar este tipo de esfuerzo mediante el diseño de disposiciones constructivas. Los valores de los módulos de elasticidad varían de la misma forma que las propiedades de resistencia antes comentadas.

f.- Los valores de resistencia y rigidez están íntimamente relacionados con el tipo de colas utilizadas. El uso de colas de urea-formaldehído permite dar como resultado tableros de mayor resistencia y rigidez de los fabricados con poliuretano.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

5. PROPUESTA DE ESTUDIO DE LOS TABLEROS DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA

Una vez presentado el estado del arte en el campo de los tableros estructurales derivados de la madera, se presenta el planteamiento experimental del trabajo en el ámbito del estudio de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica y/o Pino Gallego.

En una segunda parte de este punto se presenta una de las repercusiones más importantes así como los resultados de la Tesis Doctoral.

5.1.- Presentación del planteamiento

Hace unos quince años, hablar de sostenibilidad era algo desconocido para la mayoría de las personas. Sin embargo los modelos sociopolíticos occidentales actuales se basan en el consumo. Si a este aspecto se le añade que cada vez más las necesidades dentro de estos modelos, son mayores, el resultado nos lleva a incrementos en las producciones, y aquí se inicia el proceso: más productos implica necesidad de utilización de más recursos, sin embargo éstos son limitados, y por lo tanto hay que preservarlos para poder utilizarlos de forma sostenida y continuada en el tiempo. Los incrementos de producción también implican mayores consumos de energía, en la recogida de materias primas, en el transporte, en la manipulación y elaboración, etc. Sin embargo el actual consumo de energía se basa principalmente en la transformación de recursos naturales y que, por lo tanto, son también limitados.

Como cierre de este círculo no sostenible, si hay más productos, hay más residuos que hay que eliminar, lo que, necesariamente, implica que es necesario reutilizarlos, reciclarlos e incorporarlos a la cadena antes iniciada.

Todo ello nos lleva a tener presente, en todos los aspectos, planteamientos sensatos que nos permitan regular la utilización de los recursos naturales, reducir los consumos energéticos y aprovechar los residuos.

El concepto de sostenibilidad debe estar presente. Sin embargo es un término muy complejo, que en la mayoría de las ocasiones no se entiende, se banaliza y se aplica de forma errónea, en ocasiones de forma intencionada con fines puramente lucrativos y totalmente insostenibles.

Podríamos definir la sostenibilidad como el uso coherente de los recursos.

Este planteamiento inicial es necesario centrarlo en un tema concreto que permita ser desarrollado de una forma ordenada y en el que se puedan aplicar los conceptos anteriormente citados. La Tesis Doctoral se centra, por un lado, en la recuperación de unos de los "residuos" naturales que el mar deja en las playas: la posidonia oceánica y por otro en el estudio de los tableros estructurales derivados de la madera con los siguientes objetivos:

a.- Aprovechar un "residuo" natural que es necesario retirar de las playas y que, por lo tanto, conlleva un trabajo, un consumo energético y una afección a la arena de las playas.

b.- Convertir lo que hoy en día es el trabajo de eliminación de la posidonia en vertedero en un proceso de utilización como materia prima para la fabricación de tableros estructurales.

c.- El hecho de utilizar la posidonia oceánica como materia prima para la fabricación de tableros estructurales implica que su aplicación será paralela a los derivados de la madera y, por lo tanto, se producirá una reducción de las necesidades de utilización de la madera. Ello supone una apuesta que permite controlar la tala de árboles. Una materia prima natural como la posidonia que no se utiliza y genera costes energéticos vanos, sustituye parcialmente, el uso de otra materia prima natural como es la madera que se encuentra en fase de sobreexplotación en algunas partes del mundo.

Con el planteamiento expuesto no se pretende sustituir el 100% del uso de la madera [Youngquist, 1999] en los tableros ni generar una explotación de posidonia oceánica. Si a lo largo de un año se puede rescatar de las costas una cantidad de posidonia, la que exista y lo medios permitan, y ésta se utiliza como materia prima en la cadena de fabricación de tableros derivados de la madera, se reducirá el consumo de madera, pudiendo convivir con ella. Se pueden plantear procedimientos mixtos de utilización de madera-posidonia, solo madera o solo posidonia, dependiendo de los usos y aplicaciones. [FAO, 1958]

d.- Sin embargo, el objetivo de esta Tesis Doctoral no consiste en desarrollar procesos de fabricación sino de estudiar las propiedades mecánicas de este nuevo material, especialmente su comportamiento a compresión paralela al tablero, para poder aplicarlo con fines estructurales, sean en arquitectura o sea en el ámbito del diseño de mobiliario.

e.- Conocido el comportamiento de este nuevo material y de sus propiedades mecánicas, se podrá estudiar y proponer nuevos desarrollos teóricos para el cálculo de los tableros que resulten de la utilización de la posidonia en futuras líneas de investigación.

5.2.- Aspectos medioambientales

En la presentación del planteamiento realizada en el punto anterior se ha planteado una problemática relacionada con el medio ambiente. En este sentido y relacionado con la recogida de la posidonia de las playas, es necesario establecer las siguientes indicaciones: [Figura 5.2.1]

a.- se constata que la presencia de estos residuos es abundante.

b.- no se procede la retirada de los mismos de manera frecuente, ya que en las operaciones se retiran grandes cantidades de arena. La frecuencia de retirado es mayor en verano.

c.- los costes son muy elevados cuando se precisa de intervenciones humanas al no poder acceder la maquinaria empleada.

d.- el vertido genera importantes costes económicos, dada la distancia entre el vertedero y las distintas playas donde está presente este residuo.

e.- por último, se plantea la necesidad de ofrecer una solución distinta a la que se viene realizando en la actualidad, tanto en su retirada como en la búsqueda de alternativas distintas a ubicarlas en vertedero.



Figura 5.2.1. Cosecha de posidonia en las orillas de las playas. Cabo de Santa Pola

Todos estos factores recobran especial importancia, si como ocurre en las costas del Mediterráneo, se debe jugar con el binomio "respeto ambiental-turismo".

En la tabla 5.2.1 se muestran los valores medios de la acumulación de residuos de posidonia anuales en las playas objeto del estudio:

Municipio	M3 de residuo acumulado
Alicante	10.000
El Campello	22.500
Santa Pola	25.000

Tabla 5.2.1. Cosecha de posidonia por municipios. Fuente: Instituto ecológico del litoral marítimo del mediterráneo. [Saval, 2003]

5.2.1.- Contenidos de arena del residuo de posidonia oceánica.

En lo relativo a los aspectos medio ambientales, es importante destacar la necesidad de controlar la cantidad de arena que se retira de las playas en los proceso de recogida de la posidonia.

El trabajo desarrollado al respecto consiste, en esencia, en caracterizar el residuo de posidonia oceánica y evaluar la cantidad de arena y otros restos que se presentan junto a ella en las siguientes fases:

- a) En acúmulos formados en la playa.
- b) Tras operaciones de lavado "in situ" con agua de mar.
- c) En los vertederos donde se ubican.

Todo ello con la intención de determinar, aproximadamente, la cantidad de arena retirada de las playas y por tanto poder valorar dicho impacto.

Para obtener una información más precisa y concreta de los elementos que forman el residuo de las muestras de posidonia oceánica y en qué cantidad se presentan éstos, se realizan análisis de fluorescencia de Rayos X. [Saval, 2003]

Sometidas dos muestras SA1 y SA2 a análisis de fluorescencia de Rayos X, se exponen formando óxidos los resultados obtenidos en la tabla 5.2.2:

Oxidos	SA1 sin lavar	SA2 lavada
MgO	2.42	2.15
SiO ₂	1.68	1.52
P ₂ O ₅	0.35	0.39
S	2.42	2.66
Cl	11.59	2.80
K ₂ O	0.94	0.30
CaO	15.06	15.67
Fe ₂ O ₃	2.32	3.89
Restos	0.76	1.45
P.F (pérdida al fuego)	56.4	67.5

Tabla 5.2.2. Contenidos de óxidos de muestras de posidonia

Puede apreciarse el notable descenso al lavar la muestra del Cl, el Na y el K. Asimismo, debe indicarse la importancia de la pérdida al fuego de las dos muestras que presentan porcentajes del 56.4 y 67.5 respectivamente.

Una vez caracterizada la Posidonia y por lo tanto conocidos qué elementos son los que se depositan al retirar estos residuos en los vertederos, es necesario determinar la presencia de las arenas presentes en los mismos.

Para obtener el porcentaje de la presencia de arenas que se encuentran junto con la posidonia, es necesario realizar los siguientes pasos.

En primer lugar se recogen muestras de la parte superficial y profunda de los montones de residuos acumulados en las playas y del mismo modo se procede en vertedero. Se inician los preliminares del trabajo procediéndose a la homogeneización de las muestras tomándose 1 Kg por cada una de ellas e identificándose las mismas como:

- SAM1: Muestra de residuo de posidonia depositado en vertedero.
- SAM2: Muestra de acumulo de posidonia en la playa.
- SAM3: Muestra de posidonia lavada en el mar.

Seguidamente se realizan las operaciones de tamizado, utilizándose para ello la siguiente serie de tamices:

- 2 mm
- 1 mm
- 0.5 mm
- 0.25 mm
- 0.125 mm
- 0.063 mm

Todas las fracciones de cada tamiz obtenidas se secan en estufa a temperatura de 60°C durante un período de 24 horas. Transcurrido este tiempo se pesan cada una de las fracciones, obteniéndose el peso total y el porcentaje en peso que representan cada una de ellas.

En las tablas 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 y 5.2.6 se ofrecen los diferentes pesos retenidos del material seco, indicando su granulometría y peso total:

TAMIZ	PESO	PORCENTAJE
2 mm	29.44	14.72
1 mm	8.04	4.02
0.5 mm	19.76	9.88
0.250 mm	39.04	19.52
0.125 mm	99.44	49.72
0.063 mm	4.20	2.10
TOTAL	199.92	99.96

Tabla 7.2.3. SAM1: Acumulados en centro gestión residuos (muestra 200 g).

Si se observan las retenciones producidas en los distintos tamices presentados en la tabla anterior y, dado que en el tamiz 2 mm se retiene prácticamente la totalidad del residuo vegetal de posidonia, puede afirmarse que el porcentaje en peso que corresponde a arena de la retirada de la posidonia al vertedero es del orden del 83%.

Del mismo modo, se procede con el residuo acumulado en la playa:

TAMIZ	PESO	PORCENTAJE
2 mm	80.54	40.27
1 mm	5.84	2.92
0.5 mm	8.00	4.00
0.250 mm	14.86	7.43
0.125 mm	85.34	42.67
0.063 mm	5.34	2.69
TOTAL	199.96	99.98

Tabla 5.2.4. SAM2: Acumulados en la Playa. (muestra 200 g)

Se deduce del análisis granulométrico en este caso, si se tiene en cuenta que la muestra ha sido recogida manualmente que, la cantidad de arena que queda fijada en el residuo de posidonia viene a representar aproximadamente el 58% en peso de la misma.

Con la finalidad de comprobar si realizando operaciones de agitación y lavado del residuo de la muestra SAM2 en el interior del mar, podría con cierta facilidad desprenderse la arena del mismo, se realizan (de forma manual) introduciendo la posidonia en el tamiz 2 mm y el conjunto sumergido en el agua, las operaciones de lavado durante intervalos de 1 minuto.

TAMIZ	PESO	PORCENTAJE
2 mm	70.56	70.57
1 mm	0	0
0.5 mm	4.4	4.40
0.250 mm	5.52	5.52
0.125 mm	16.20	16.20
0.063 mm	3.30	3.30
TOTAL	99.98	99.99

Tabla 5.2.5. SAM3: Lavada con Agua de mar.

Si se contemplan las retenciones en la tabla anterior, se observa que en este caso, tras el proceso descrito, la cantidad de arena que persiste fijada es del 14.71%. Puede asimismo, observarse que del peso inicial de la muestra SAM2 de 200 g. se han perdido durante el lavado en el mar 101 g., correspondiendo de los mismos 13 g. a restos de posidonia y 86 g. a arena de playa.

En la siguiente tabla se recogen los porcentajes de arena y de restos de posidonia oceánica, medidos en peso seco y volumen, presentes en cada una de las tres muestras estudiadas, teniendo en cuenta que las densidades medias aparentes del residuo son del orden de 0.14 g/cm³ y la densidad media aparente de la arena 1.4 g/cm³.

%	En Playa	Lavada mar	Vertedero
Volumen Posidonia	89.33%	96.55%	70.10%
Volumen Arenas	16.67%	3.45%	29.90%
Peso Seco Posidonia	41.73%	35.28%	16.73%
Peso Seco Arenas	58.25%	14.71%	83.23%

Tabla 5.2.6. % de arena y posidonia oceánica.

Si se observan los datos ofrecidos en la tabla anterior y se comparan los porcentajes que representa el peso de la arena tras su lavado en agua de mar y su homónimo en la actual retirada a vertedero del residuo, cabe concluir que se estaría dejando en su hábitat el 79% aproximadamente de la arena hoy retirada.

5.2.2.- Contenidos y emisiones tóxicas de los tableros derivados de la madera

En el punto 3.1.1.2 de esta Tesis Doctoral se han estudiados los tipos de adhesivos que se usan con más frecuencia en la fabricación de tableros derivados de la madera. Entre ellos los más utilizados son los relacionados con el formaldehído lo que implica que hay que controlar las emisiones tóxicas derivadas de este material.

Por último se hará referencia a las emisiones de CO₂ realizadas durante el proceso de fabricación de los tableros.

a.- Formaldehído

El pegamento utilizado en el proceso de producción produce una sustancia toxica: el formaldehído, que es un gas incoloro, muy soluble en agua, de olor penetrante y con propiedades irritantes.

La gran controversia imperante respecto a las consecuencias a largo plazo de una exposición prolongada a niveles relativamente bajos de formaldehído, niveles que son típicos en edificios con aislamiento para conservar energía.

Sin embargo se ha detectado que este compuesto es un posible cancerígeno humano, con base en estudios experimentales y de epidemiología humana. Los estudios epidemiológicos sugieren un aumento en la incidencia de tumores cerebrales, leucemia y cirrosis hepática entre los trabajadores.

Las pruebas de laboratorio indican que el formaldehído produce cáncer nasal en ratas y que al parecer produce mutaciones en bacterias, levaduras y en las células de mamíferos y humanos. Algunos datos indican que los metabolitos primarios pueden ser tóxicos para el sistema nervioso, pero estos datos son demasiado escasos para extraer de ellos conclusiones.

La exposición aguda al formaldehído puede causar envenenamiento y es letal a niveles que exceden las 100 ppm. Algunos de los síntomas de envenenamiento son: dolor abdominal, ansiedad, irritación en nariz y garganta, depresión del sistema nervioso central, coma, convulsiones, diarrea, dolor de cabeza, náusea, vómitos y varios problemas respiratorios, como bronquitis, pulmonía o edema pulmonar.

Niveles más bajos de exposición causan dermatitis, tos y disminución de la capacidad pulmonar. Los síntomas clásicos a niveles bajos de formaldehído incluyen catarro, garganta irritada, insomnio, dolor de cabeza, fatiga, dificultad para respirar, sinusitis, dolor en el pecho, náusea frecuente y bronquitis.

De ingerir formaldehído, debe inducirse el vómito y tomar grandes cantidades de agua. La exposición vía ocular o cutánea debe tratarse irrigando inmediatamente los ojos y/o lavando la piel con agua. La aplicación de barreras en la superficie (pinturas, lacas o barnices) sobre tableros de madera pueden reducir el nivel de emisión de formaldehído. La tabla 5.2.7 ilustra algunos datos técnicos de este compuesto:

Cantidad de Formaldehído en ppm	Efectos a varias concentraciones de aire
0-0.05	Sin efectos reportados
0.05-1.0	Umbral de olor
0.05-1.05	Efectos neurofisiológicos
0.05-2.0	Irritación de los ojos
0.10-25	Irritación respiratoria superior
5.0-30	Efectos pulmonares y de vías respiratorias bajas
50-100	Edema pulmonar, inflamación, pulmonía
100+	Muerte

Tabla 5.2.7. Efecto del formaldehído en el ser humano.

Es importante destacar que en la industria de los tableros existe la preocupación de bajar los niveles de emisión de formaldehído en sus productos,

pero principalmente como requisito competitivo, y se ha llegado a niveles muy bajos.

b.- Dióxido de Carbono.

Las emisiones de CO₂ producidas en la fabricación de tableros de partículas se producen por la combustión de petróleo y madera para desarrollar el secado del material, por otra parte se podría decir que esta actividad industrial está implicada en el aumento de CO₂ por la deforestación necesaria para obtener la materia prima.

El hombre a través de diversas actividades y muchas veces sin advertirlo, está contribuyendo a cambiar el clima de la tierra. Ello es consecuencia de prácticas que producen emisiones continuas a la atmósfera de ciertos gases: el dióxido de carbono y otros que incrementan el "efecto invernadero" y, por cierto, la temperatura de la superficie terrestre y de la baja atmósfera. La existencia de estos cambios provocará impactos importantes para toda la sociedad.

La temperatura global de la tierra es el resultado del balance existente entre la energía que llega del espacio (radiación solar) y la pérdida de calor (enfriamiento) debida a la energía devuelta por la superficie terrestre y la atmósfera hacia el espacio. Cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera, una parte es absorbida por ésta, mientras que otra es reflejada por las nubes o la superficie terrestre. El resto es absorbida por la tierra, la cual se calienta y transfiere también calor a la atmósfera y el espacio (radiación infrarroja). Parte de la radiación terrestre es absorbida en la atmósfera por algunos de sus componentes, llamados gases de efecto invernadero, que actúan como un manto que impide que la misma escape al espacio y contribuyen a mantener el calor de la tierra, entre los más importantes, de origen natural son, el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, dióxido de nitrógeno y ozono, sin la existencia de estos gases nuestro planeta tendría una temperatura promedio de -15°C, con lo que obviamente sería casi inhabitable.

Muchas de las actividades humanas contribuyeron directa e indirectamente al aumento de concentraciones de algunos gases efecto invernadero, sino que también introdujeron otros que no existían en la atmósfera los conocidos Clorofluocarbonos.

Las emisiones proceden fundamentalmente de la utilización del carbón, petróleo y gas natural como fuentes de energía, de la destrucción de bosques y otros sumideros y depósitos naturales que absorben o almacenan el dióxido de carbono y otros gases efecto invernadero. Si las emisiones de estos gases continúan, el ritmo de aumento de la temperatura media mundial sea de 0.3 °C por década, lo que traería un aumento de la temperatura mundial de 1 grado por encima del valor actual para el año 2023 y de 3.2°C antes del final de este siglo.

Las consecuencias de esto son el aumento de las precipitaciones en algunas regiones y decrecimiento en otras, el aumento de la evaporación media mundial y una reducción del área cubierta por hielos marinos y nieve. Los cambios climáticos pueden dar lugar a nuevas configuraciones de la circulación atmosférica y oceánica. Se predice que el aire a nivel de superficie se calentará más rápidamente sobre la tierra que sobre los océanos y que el calentamiento máximo en promedio, se producirá alrededor de la Antártica y en la región septentrional de Atlántico norte.

La consecuencia que se desprende de este análisis en lo referente al tema del trabajo es clara: en la propuesta de fabricación de los tableros derivados de la posidonia oceánica no se utilizarán adhesivos que puedan producir emisiones de formaldehidos.

El factor relativo a las emisiones de CO₂ no es objeto ni del trabajo ni de la Tesis Doctoral, sin embargo abre otro camino de investigación para futuros trabajos o tesis tal y como se indica en el capítulo 9 de este trabajo de investigación.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

6. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

En este punto se desarrollan las diferentes metodologías seguidas para cumplir con los objetivos planteados anteriormente. La investigación se ha desarrollado dentro de la línea de investigación sobre uso de materiales reciclados en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante.

6.1.- Punto de partida y plan de trabajo

El desarrollo de la Tesis Doctoral está basado en un material nuevo, por lo que no hay antecedentes que permitan tener un punto de partida para continuar trabajos anteriores. Sin embargo si existe experiencia en la fabricación y estudio de tableros derivados de la madera, incluido normativas que inciden en su clasificación, composición y ensayos así como normativas que rigen su cálculo estructural. En otro sentido, existe algo de experiencia en el desarrollo de tableros derivados de productos agrícolas en base a la tecnología europea llamada Ecobindin [AITIM, 2008], aunque no quedan avaladas por normativa específica. El precedente más directo consiste en la patente de Ferrazzini de 1985 en la que elabora tableros de posidonia con adhesivos bajo presión, sin embargo, su finalidad está relacionada con el comportamiento frente al fuego de estos paneles.

El estudio del arte referido a los tableros de madera y otros derivados presentados en el Capítulo 3, representa el punto de partida de toda la investigación realizada en la Tesis Doctoral. A continuación se detallarán las variables de estudio y las dos fases experimentales planteadas, que servirán para el estudio de caracterización de propiedades mecánicas de tableros de materiales compuestos con mezcla de fibras de madera y posidonia oceánica reciclada.

6.1.1.- Planteamiento general

Como ya se ha podido observar, tras la recopilación de información incluida anteriormente, las principales variables que influyen en el comportamiento mecánico de los tableros derivados de la madera y, apoyándose en ellas, en los tableros derivados de la posidonia oceánica son las siguientes:

- a.- Tratamiento de la posidonia
 - a.1.- Sin triturar P1
 - a.2.- Triturado medio. Permanecen fibras P2
 - a.3.- Trituradas. Partículas P3

- b.- Presión aplicada durante la fabricación
 - b.1.- Presión 1 A
 - b.2.- Presión 2 B
 - b.3.- Presión 3 C

c.- Dosificación cola-posidonia	
c.1.- Cantidad cola indicada por fabricante	I
c.2.- Incremento cola	II
c.3.- Incremento posidonia	III
d.- Espesor	
d.1.- De 6 a 13 mm	a
d.2.- De 13 a 20 mm	b
d.3.- De 20 a 25 mm	c
e.- Tipo de cola	
e.1.- Isocianato (MDI)	i
e.2.- Poliuretano (PU)	ii
e.3.- Resinas epoxi (EP)	iii

Las combinaciones de estas variables permitirán obtener una variedad de ensayos y datos que servirán para conocer las mejores combinaciones de variables, de forma que se puedan optimizar las prestaciones de tipo estructural de los tableros derivados de la posidonia oceánica y partículas de madera de Pino Gallego.

En la figura 6.1.1 se expresa el número de ensayos, por cada propiedad, que se deberían realizar en función de las variables anteriores que permanezcan abiertas, teniendo en cuenta que cada anillo representa una variable. Sin tener en cuenta que cada ensayo debería repetirse varias veces para determinar su significancia estadística, la cantidad de combinaciones quedaría de esta manera:

- a.- Cinco variables abiertas será necesario realizar 3^5 , es decir, 243 ensayos.
- b.- Cuatro variables abiertas será necesario realizar 3^4 , es decir, 81 ensayos.
- c.- Tres variables abiertas será necesario realizar 3^3 , es decir, 27 ensayos.
- d.- Dos variables abiertas será necesario realizar 3^2 , es decir, 9 ensayos.
- e.- Un variable abierta será necesario realizar 3^1 , es decir, 3 ensayos.

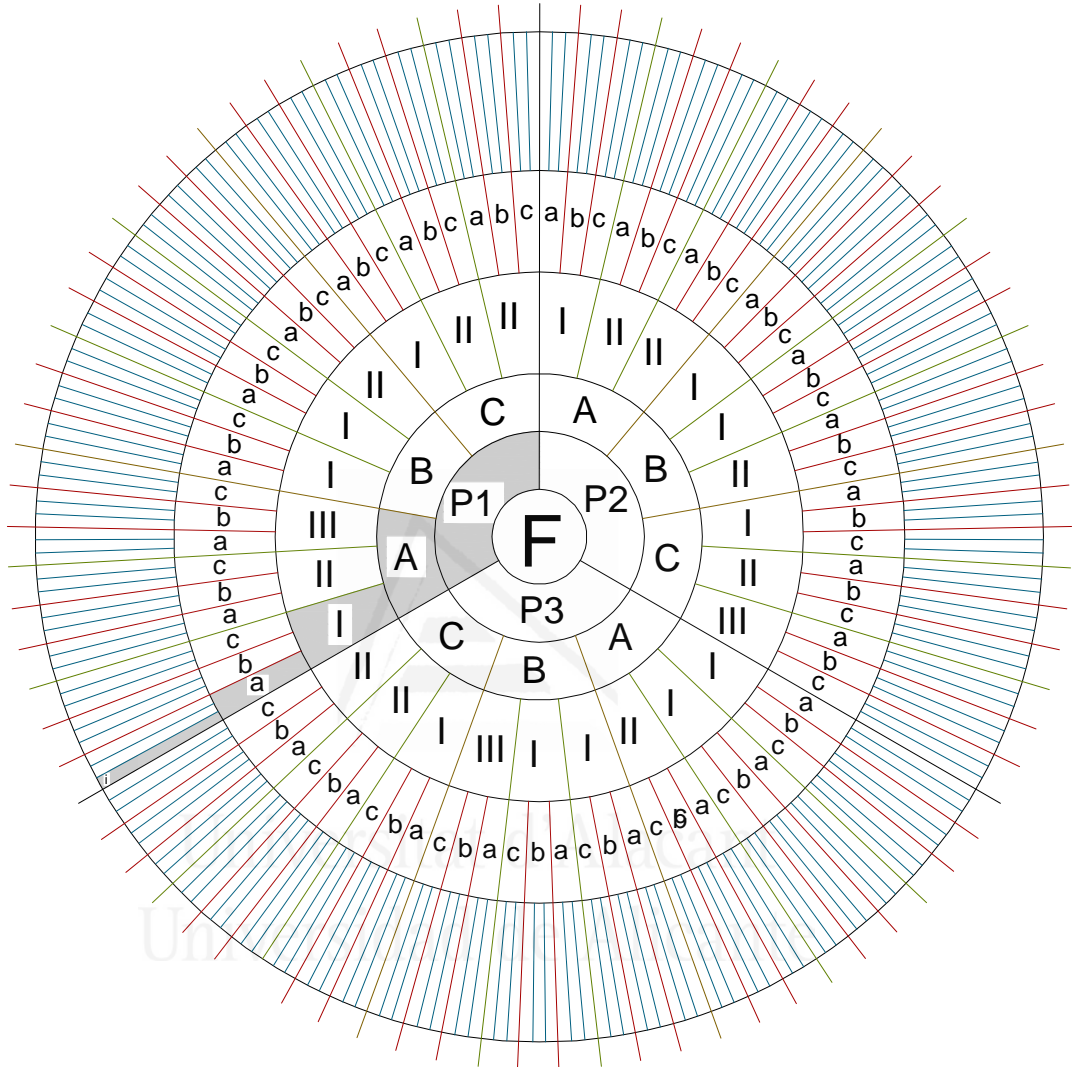


Figura 6.1.1. Número de ensayos en función del número de variables a considerar (1 a 5)

6.1.2.- Programa experimental

Debido al elevado número de probetas a realizar, en el caso de dejar abiertas todas las variables de estudio antes definidas, en la presente Tesis Doctoral se decidió fijar algunas de ellas, dividiendo la investigación en dos fases diferenciadas. En la primera de ellas se estudiará el efecto de la dosificación resina/fibras en tableros de posidonia oceánica, para posteriormente compararlos con las propiedades medidas en tableros de madera. En la segunda se estudiará principalmente la posibilidad de combinar posidonia oceánica reciclada con partículas de madera de Pino Gallego al fabricar los nuevos paneles.

Estudio 1: Propiedades mecánicas de paneles de posidonia oceánica

En la tabla 6.1.1 se resumen las condiciones de elaboración de los quince tableros de posidonia oceánica preparados, desde la Fp₁ a la Fp₁₅, en este estudio preliminar. Además, se cortaron nueve probetas de un tablero de partículas madera, de Fp₁₆ a Fp₂₄

Todas las probetas de posidonia son de dimensiones 200 x 200 mm, excepto la Fp₉, Fp₁₁ y Fp₁₄, que son de tamaño 780 x 300 mm, para poder realizar correctamente los ensayos de flexión. En las probetas de madera, la Fp₂₃ y Fp₂₄ tienen dimensiones 700 x 300 mm y el resto son de 70 x 45 mm, con 25 o 30 mm de espesor.

Tabla 6.1.1. Condiciones de fabricación de las probetas de posidonia oceánica del estudio 1

Código	Posidonia (g)	PU-823 (g)	Dosificación (% resina/PO)	o _{curado} (MPa)	t _{curado} (h)	Espesor (mm)
Fp ₁	120	-	0%	4.5	48	10
Fp ₂	200	516	258%	-	40 min	27
Fp ₃	563	-	0%	4.5	48	49
Fp ₄	250	150	60%	4	6	10
Fp ₅	800	240	30%	2.5	12	31
Fp ₆	833	125	15%	2.5	6	30
Fp ₇	1000	200	20%	2	12	30
Fp ₈	1333	266	20%	variable	5	30
Fp ₉	1404	210	15%	0.61	12	10
Fp ₁₀	765	135	15%	variable	6	28
Fp ₁₁	2685	474	15%	variable	12	23
Fp _{12.123}	765	135	15%	variable	10	22
Fp ₁₃	825	82.5	10%	variable	6	22
Fp ₁₄	1862	373	20%	variable	6	9
Fp ₁₅	900	90	10%	variable	6	40

Es interesante destacar el comportamiento reológico del material durante el proceso de fabricación (también durante el proceso de carga de las probetas como se verá posteriormente) tal y como se indica en la figura 6.1.2 correspondiente a la probeta Fp₂. Tras terminar la rampa de carga y mientras se mantuvo una carga de 18 t, los movimientos siguieron produciéndose de manera significativa (espesor inicial 100 mm, espesor al final del incremento de carga 39.4 mm y espesor final 27.1 mm)

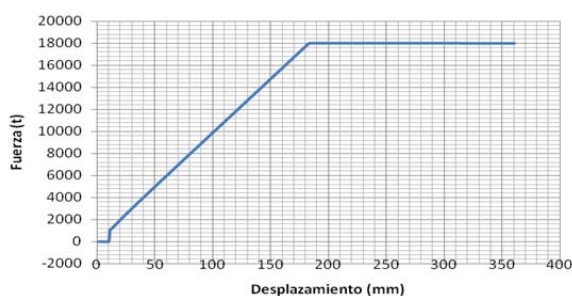


Figura 6.1.2. Comportamiento reológico del material

Estudio 2: Caracterización de tableros de partículas de madera y posidonia oceánica

Este segundo estudio se centra en estudiar principalmente dos factores, el tipo de adhesivo empleado, y la posibilidad de combinar fibras de madera y posidonia para fabricar un material mejorado. De esta forma se han empleado dos adhesivos diferentes de base poliuretano, el PU823 y el PU815 (que contiene isocianatos)

Las combinaciones de madera de pino y posidonia oceánica se obtuvieron variando la dosificación madera/posidonia entre 0/100, 25/75, 50/50, 25/75 y 100/0, expresados como porcentajes de la masa total de fibras empleada. Al igual que en el estudio anterior se prepararon muestras curadas con diferentes tiempos y presiones de fabricación, y para diferentes espesores del panel.

Todas las dosificaciones fabricadas se han resumido en las Tablas 6.1.2 y 6.1.3 incluyendo los porcentajes de combinación posidonia madera, el tipo y dosificación de adhesivo empleado, y las condiciones de curado de las muestras. En total se prepararon 126 probetas adicionales para este segundo estudio.

Tabla 6.1.2. Probetas fabricadas con resina con isocianatos MDI del estudio 2

<i>PO/M</i> (% masa PO/M)	<i>Resina</i>	<i>Dosificación</i> (% masa resina/fibras)	<i>ocurado</i> (MPa)	<i>tcurado</i> (h)	<i>Espesor</i> (mm)
100%M	MDI	20%	4	3	14
100%M	MDI	30%	4	3	13-14
100%M	MDI	40%	4	3	14
25%PO + 75%M	MDI	15%	4	3	11-12
25%PO + 75%M	MDI	20%	4	3	12
25%PO + 75%M	MDI	30%	4	3	12
25%PO + 75%M	MDI	60%	1.25	3	17-18
50%PO + 50%M	MDI	15%	4	3	11-12
50%PO + 50%M	MDI	20%	4	3	11
50%PO + 50%M	MDI	30%	4	3	11-12
75%PO + 25%M	MDI	15%	4	3	10-11
75%PO + 25%M	MDI	20%	4	3	11
75%PO + 25%M	MDI	30%	4	3	11
100%PO	MDI	10%	3	2	0
100%PO	MDI	10%	3	3	13
100%PO	MDI	15%	2.5	3	17-26
100%PO	MDI	15%	5	3	19
100%PO	MDI	20%	2	3	21-24
100%PO	MDI	20%	2	6	30
100%PO	MDI	20%	2.5	3	14-20
100%PO	MDI	25%	3	2	18
100%PO	MDI	25%	3	3	15
100%PO	MDI	30%	2	3	20
100%PO	MDI	30%	2.5	3	20-21
100%PO	MDI	30%	4	3	11
100%PO	MDI	40%	1.25	3	15

Tabla 6.1.3. Condiciones de fabricación de las probetas de con resina PU823 del estudio 2

PO/M (% masa PO/M)	Resina	Dosificación (% masa resina/fibras)	σ_{curado} (MPa)	t_{curado} (h)	Espesor (mm)
100%M	PU	10%	3.75	6	13
100%M	PU	20%	3.75	6	13
100%M	PU	30%	3.75	6	13
25%PO + 75%M	PU	15%	3.75	6	11-13
25%PO + 75%M	PU	20%	3.75	6	11-15
25%PO + 75%M	PU	30%	3.75	6	11-14
25%PO + 75%M	PU	40%	3.75	6	11-15
25%PO + 75%M	PU	50%	3.75	6	12-15
50%PO + 50%M	PU	15%	3.75	6	11-13
50%PO + 50%M	PU	20%	3.75	6	12-14
50%PO + 50%M	PU	30%	3.75	6	11-15
50%PO + 50%M	PU	40%	3.75	6	11-13
50%PO + 50%M	PU	50%	3.75	6	10-15
75%PO + 25%M	PU	15%	3.75	6	10-15
75%PO + 25%M	PU	20%	3.75	6	10-14
75%PO + 25%M	PU	30%	3.75	6	10-14
75%PO + 25%M	PU	40%	3.75	6	10-14
75%PO + 25%M	PU	50%	3.75	6	10-15
100%PO	PU	15%	2.5	6	-
100%PO	PU	20%	2.5	6	25
100%PO	PU	30%	2.5	6	24
100%PO	PU	60%	2.5	6	15
100%PO	PU	40%	1.25	6	16

6.2.- Materiales

Para la elaboración, estudio y ensayo de los tableros derivados de la posidonia oceánica se han fabricado probetas de las diferentes dosificaciones aquí especificadas. Para su preparación ha sido necesaria la utilización de las siguientes materias primas:

- a.- Posidonia oceánica, obtenida del litoral sur de Alicante.
- b.- Probetas de tableros de partículas de madera.
- c.- Adhesivo de poliuretano.
- d.- Adhesivo MDI.

6.2.1.- Posidonia oceánica

En las costas españolas existen cuatro especies de fanerógamas marinas: *Zostera marina*, *Zostera noltii*, *Cymodonea nodosa* y la *Posidonia oceánica*. Las dos últimas se encuentran tanto en las costas atlánticas como en las mediterráneas y son las únicas que llegan a las islas Canarias [Belzunde, 2005]

La posidonia oceánica es una especie ampliamente distribuida por las costas mediterráneas. Esta planta presenta gruesos rizomas, de hasta 1 cm de diámetro, algo comprimidos lateralmente y con una serie de nódulos, de los que salen raicillas de unos 4 mm de grosor y 10-15 cm de longitud. Tanto rizomas como raíces están lignificados. De los rizomas parten verticalmente tallos cortos y del extremo de cada uno sale un haz de hojas largas y acintadas de, aproximadamente, un cm de ancho y una longitud que puede sobrepasar el metro. Cada haz o fascículo presenta un número medio de seis a ocho hojas.

La posidonia oceánica forma extensas praderas que constituyen una de las formaciones más características de las costas mediterráneas, extendiéndose

desde las aguas superficiales hasta unos 40 - 50 m [Figura 6.2.1]. De toda la costa mediterránea las praderas más extensas y con mayor densidad de hoja se encuentran en las islas Baleares y en Almería [Marbá, 1997]



Figura 6.2.1. Posidonia oceánica

La posidonia oceánica utilizada en el trabajo se recogido del término municipal de Elche y de Santa Pola [Figura 6.2.2]



Figura 6.2.2. Posidonia oceánica

En las Figuras 6.2.3 a 6.2.7 se recogen distintas imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica (SEM), sacadas durante un trabajo anterior de la misma línea de investigación [Saval, 2003], y en las que pueden verse las formas de la posidonia oceánica utilizada para el desarrollo del trabajo en las diferentes fases del proceso de fabricación: trituradas o en hoja entera y lavada o sin lavar.

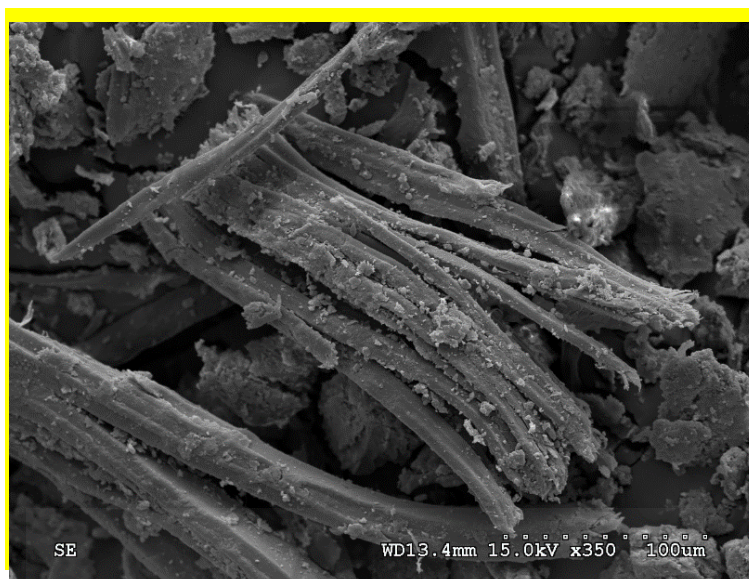


Figura 6.2.3. Residuo de posidonia natural triturada sin lavar a 350 aumentos

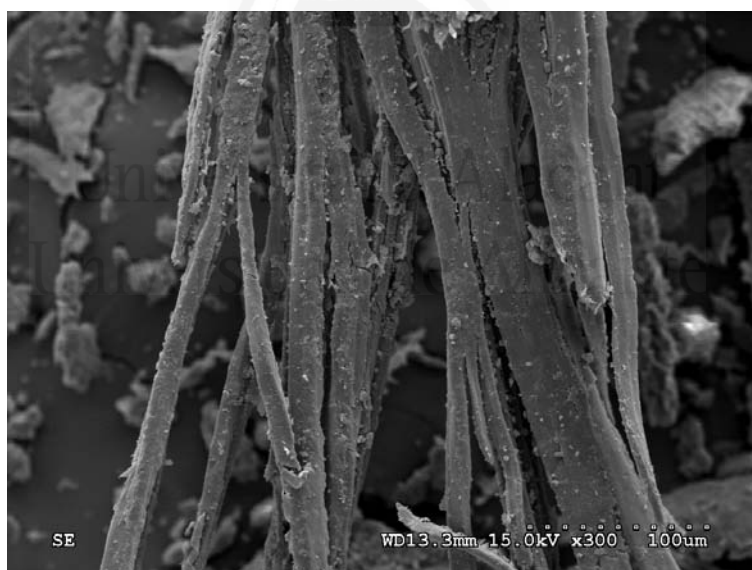


Figura 6.2.4. Residuo de posidonia natural triturada sin lavar a 300 aumentos.



Figura 6.2.5. Residuo de posidonia natural triturada lavada a 450 aumentos

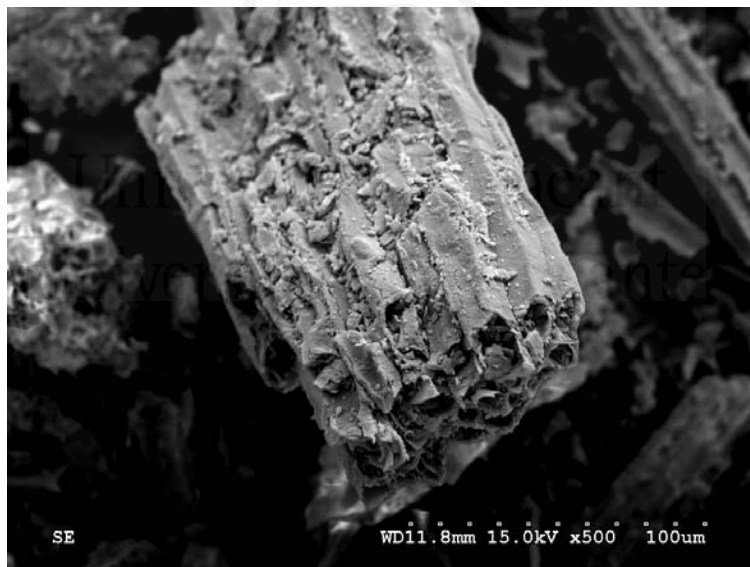


Figura 6.2.6. Residuo de posidonia natural triturada lavada a 500 aumentos.

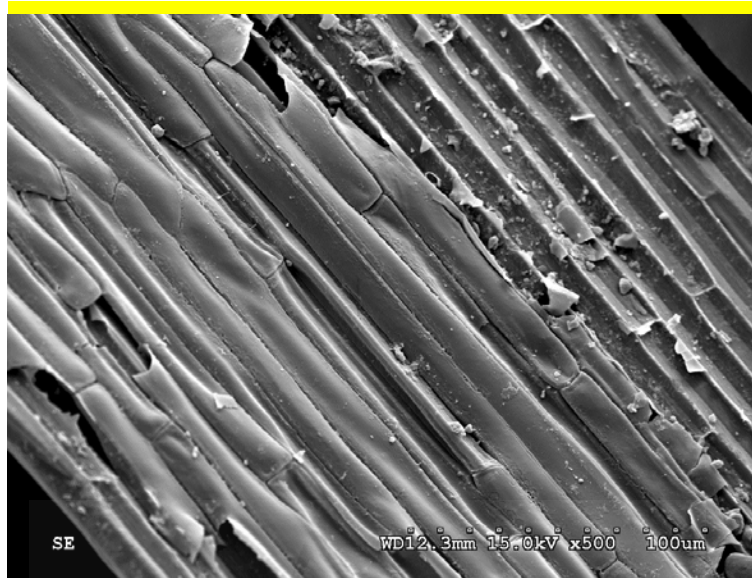


Figura 6.2.7. Residuo de posidonia lavada sin triturar (500 aumentos) [García, 2008]

6.2.2.- Partículas de madera

La forma y dimensión de la partícula de madera tiene una gran influencia en las propiedades del tablero. Las partículas utilizadas suelen tener una relación entre su longitud y su espesor comprendida entre 60 y 120. A título orientativo puede decirse que se ha encontrado, experimentalmente, como medidas óptimas de las partículas las siguientes:

- a.- Capas exteriores. Espesor 0.1 a 0.3 mm, longitud 10 a 12 mm y ancho 3 a 6 mm
- b.- Capas interiores. Espesor 0.3 a 0.5 mm, longitud 10 a 20 mm y ancho 3 a 6 mm

En las capas exteriores se suelen utilizar partículas más finas, sobre todo en aquellos tableros que se van a recubrir o rechapar para evitar que se marquen las partículas en el recubrimiento. [Maloney, 1977]

Las partículas de madera de Pino Gallego utilizadas en la fabricación de tableros solo de madera de Pino Gallego para el desarrollo esta Tesis Doctoral cumplen con estas especificaciones respecto de la diferenciación entre capas exteriores e interiores. Se han utilizado partículas cuyas medidas corresponden a las de capa interior:

Espesor de 0.3 a 0.5 mm
Longitud de 10 a 20 mm
Ancho de 3 a 6 mm

6.2.3.- Adhesivos

Con el fin de experimentar con adhesivos que no emitieran formaldehidos, se utilizan dos adhesivos de poliuretano, concretamente uno monocomponente, el PU-823 (PU) y otro bicomponente con isocianatos el PU-815 (MDI), ambos suministrados por KEFREN Adhesivos.

El producto PU-823 es un prepolímero de poliuretano en base solvente que retícula por humedad. Se emplea como ligante flexible monocomponente sin disolventes para aglomerar casi todo tipo de partículas, tales como caucho, corcho o espumas flexibles y del que conviene destacar:

a.- Sus propiedades generales según indica el fabricante.

Base: Prepolímero-Poliuretano alifático monocomponente.

Color: Transparente.

Consistencia: Líquido viscoso.

Densidad a 25°C: 1.02 g/cm³ aprox.

Viscosidad a 25°C: 1000-2000 cps.

Limpieza: Utilizar disolventes sin agua y sin grupos OH (alcoholes).

b.- Su utilización. El producto se mezcla con el material a aglomerar en un porcentaje que oscilará entre el 10 y el 20% en peso. Una vez obtenida una mezcla homogénea se coloca en el molde y se deja curar. El proceso de curado dependerá de las condiciones de trabajo (temperatura, humedad del ambiente y de los materiales...). A 25°C y 50% HR el tiempo de curado para un film de 150 micras es de 3-4 horas.

c.- Su almacenamiento. En unas condiciones óptimas de almacenamiento entre 10 y 25°C, este material tiene una estabilidad de 6 meses, en envase original sin abrir.

El producto PU-815 es un adhesivo de poliuretano bicomponente, exento de solventes, indicado para ser empleado en el pegado de numerosos materiales en la industria de la construcción y paneles sándwich: hormigón, geotextiles, láminas de PVC, plástico, metal, caucho, madera, fibra de vidrio, etc. Entre sus prestaciones pueden destacarse los siguientes aspectos:

a.- Sus propiedades generales según indica el fabricante.

Base: Poliéter/Poliéster de reticulación química con isocianato MDI.

Color: el componente PU-815A es beige y el PU-815B es marrón.

Dosificación: en masa la relación componente A/componente B 5/1 aprox.

Consistencia: Muy buena tixotropía de la mezcla.

Densidades: 1.67 g/cm³ aprox. el componente PU-815A y 1.32 g/cm³ aprox. el PU-815B.

Vida de la mezcla: a 20°C unos 60 minutos aproximadamente.

Viscosidad: Resina 25000 mPas (Brookfield LVT). Y Mezcla 7000 mPas (Brookfield LVT) aprox.

Rendimiento: en función de las superficies a unir unos 500 ± 200 g/m².

Dureza: Shore D final: 82 aproximadamente.

Limpieza: Utilizar exclusivamente disolvente HL.

b.- Respecto de su utilización el fabricante diferencia tres fases: la preparación de las superficies, la mezcla del adhesivo y el encolado.

Preparación de las superficies: Las superficies a encolar deben estar limpias, secas y exentas de polvo y grasa. Se recomienda almacenar los materiales y trabajar en locales secos y aclimatados.

Preparación del adhesivo: Mezclar completamente en las proporciones indicadas los dos componentes para obtener una mezcla perfectamente homogénea. No mezclar más de la cantidad necesaria a utilizar durante el límite de vida de la mezcla. También puede ser utilizado mediante un mezclador/dosificador automático.

Encolado: La mezcla de adhesivo preparado se deposita sobre la superficie en cantidad suficiente para asegurar un buen relleno en la unión adhesiva. El pegado debe realizarse en un tiempo inferior a la vida de la mezcla, manteniendo el contacto suficiente mediante presión un tiempo 2 o 3 veces superior a éste. La reticulación definitiva se obtiene a las 48 horas. Temperaturas elevadas aumentan la velocidad de reticulación y acortan los tiempos de trabajo.

c.- Su almacenamiento. Hasta 12 meses a temperatura entre 10 y 25°C, en lugar seco y en embalaje original sin abrir. Las fichas técnicas de los adhesivos utilizados se ajuntan en el anejo D

6.2.4.- Aditivos

Por lo general, en la fabricación de tableros derivados de la madera se suelen utilizar aditivos que mejoran su comportamiento frente a la humedad, ataques biológicos, o que aceleran el proceso de fraguado de los adhesivos.

En el proceso de fabricación de las probetas de este trabajo no se ha utilizado ningún aditivo pues, no se estudia el comportamiento frente a la humedad de las probetas y el reticulado del poliuretano se ha realizado a temperatura ambiente siendo necesario un tiempo de 6 horas para poder desmoldar las probetas. No ha sido necesaria la utilización de acelerantes.

6.3.- Fabricación de probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica

Para la fabricación de las probetas se ha seguido la siguiente metodología:

- a.- Recogida de la posidonia.
- b.- Lavado de las hojas de posidonia.
- c.- Secado natural de las hojas de posidonia.
- d.- Secado en estufa de las hojas de posidonia.
- e.- Manipulación del tamaño de las hojas. Proceso de triturado.
- f.- Elaboración de la mezcla.
- g.- Preparación de los moldes de acero.
- h.- Aplicación al molde de productos desencofrantes.
- i.- Prensado de la mezcla.
- j.- Proceso de desmolde y acabados superficiales.
- k.- Clasificación de las probetas.

6.3.1.- Recogida de la posidonia

La posidonia oceánica se ha obtenido directamente de los depósitos naturales acumulados en las playas antes mencionadas y previamente a su necesaria recogida y eliminación por los servicios de limpieza [Figuras 6.3.1 y 6.3.2].



Figuras 6.3.1 y 6.3.2. Obtención de la posidonia oceánica. Cabo Santa Pola

6.3.2.- Lavado de las hojas de posidonia y secado natural

Tras ser envasada y transportada en bolsas de plástico, la posidonia obtenida es sometida a un proceso de limpieza con agua dulce y por decantación en cuba, para la eliminación de partículas de sal y otros restos orgánicos e inorgánicos [Figuras 6.3.3, 6.3.4 y 6.3.5]



Figuras 6.3.3, 6.3.4 y 6.3.5 Acopio de Posidonia oceánica de la playa + Limpieza de restos de sal y otras materias orgánicas e inorgánicas + Secado a temperatura ambiente de la posidonia oceánica limpia de restos de sal y otras materias

6.3.3.- Secado en estufa de las hojas de posidonia

Posteriormente se realiza el proceso de secado a temperatura ambiente durante 10 días. En algunos casos, debido a periodos de lluvias, el secado se realiza en estufa a 110 °C durante 2 horas tal.

6.3.4.- Manipulación del tamaño de las hojas. Proceso de triturado

Una parte de la posidonia limpia y seca es sometida a un proceso de triturado, almacenándose por separado y para su posterior utilización en el laboratorio tanto la posidonia en su tamaño natural como molida, para utilizarla posteriormente en la elaboración de dos tipos de tablero, con posidonia oceánica triturada [Figura 6.3.6] o sin triturar [Figura 6.3.7].



Figura 6.3.6. Molino del laboratorio de materiales del Departamento de Ingeniería Civil y hoja de posidonia oceánica después del proceso de molido.



Figura 6.3.7. Hoja entera de posidonia oceánica

6.3.5.- Elaboración de la mezcla

Toda la posidonia utilizada para la fabricación de las probetas ha sido triturada. En este sentido es importante destacar la necesidad de eliminar, antes de elaborar la mezcla, las partículas finas, de lo contrario absorben la mayor parte del adhesivo, al tener mayor superficie, e impiden que el reparto sea uniforme [Figura 6.3.8].



Figura 6.3.8. Probeta F_p 4. Dosificación al 60% poliuretano

El amasado se ha realizado a mano de tal manera que se introduce en un recipiente de plástico toda la cantidad de poliuretano para, posteriormente, introducir la posidonia a capas de máximo 20 mm de espesor. Introducida la primera capa se produce un primer paso de amasado; el adhesivo se distribuye y permite recibir la segunda capa de posidonia para repetir el proceso hasta que se haya vertido todo el peso de posidonia. De no realizarse este proceso, el reparto de poliuretano no es uniforme y la probeta no será válida, como puede verse en las probetas F_p 1,2 y 3 incluida en el Anejo A.

En las probetas en las que se utilizan partículas de madera de Pino Gallego se debe producir la mezcla con la posidonia y los adhesivos en función de las dosificaciones establecidas en el Capítulo 7 de esta Tesis Doctoral.

6.3.6.- Preparación de los moldes de acero

Para poder fabricar la probeta, es necesario que la mezcla antes preparada quede confinada y poder someterla a presión. Se diseñaron y realizaron dos moldes de acero S275 de dimensiones interiores 200x200x120 mm [Figura 6.3.9] y de 780x300x120 mm elaborados con perfiles laminados L120.10, chapas de acero de 15 mm de espesor y tornillería T12.

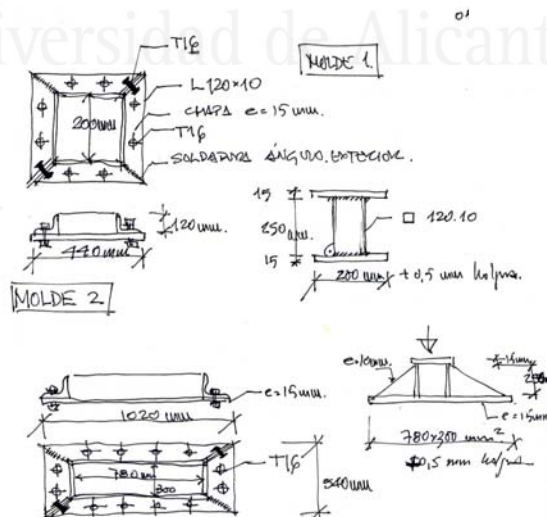


Figura 6.3.9. Diseño de molde de 200x200x120 mm y de molde de 780x300x120 mm.

Para el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros de posidonia se realizan probetas cuyas dimensiones coinciden con las de las probetas de tableros derivados de la madera dadas por las correspondientes UNE EN, diseñando, fabricando moldes de las dimensiones antes citadas, se da cabida a probetas que sirven para realizar ensayos de compresión en el plano del tablero, compresión en el espesor, tracción en dirección del tablero y flexión, así como sus módulos de elasticidad [Figura 6.3.10]



Figura 6.3.10. (Izquierda) Molde de 200x200x120 mm de acero S275. (Derecha) Molde de 780x300x120 mm de acero S275

Los espesores de las probetas de posidonia no superan los 40 mm, sin embargo, las probetas tienen espesores muy superiores antes de someterlas a presión. Espesores que rondan los 120 mm, es por esa razón se utilizan perfiles en L 120.10, para tener un fondo de molde de 120 mm. Los moldes están formados por tres piezas, dos laterales y un fondo unidas por tornillería [Figura 6.3.10] con el fin de poder realizar el proceso de desmolde sin afectar la integridad de la probeta.

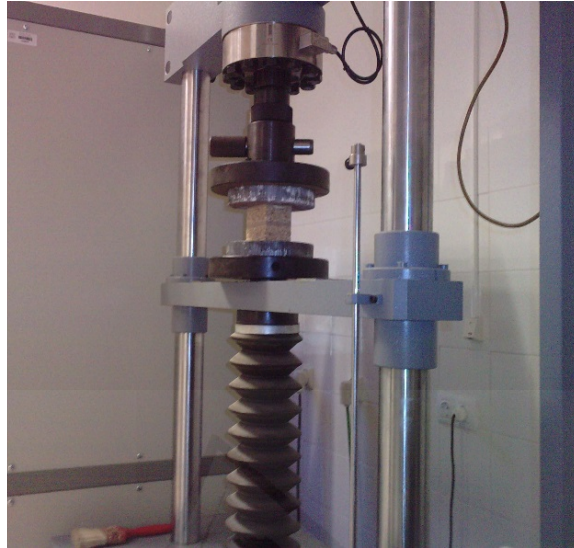
6.3.7.- Aplicación al molde de productos desencofrantes

Para evitar que los adhesivos de poliuretano que contienen las probetas se pegaran a las paredes y fondo del molde, se utiliza en primer lugar una capa de parafina. Esta solución evita que la probeta se adhiera al molde, sin embargo la parafina se incrusta en los cantos de la propia probeta por el efecto de la presión que se ejerce y altera las dimensiones y el aspecto superficial de la misma por lo que se desecha la solución. Finalmente y al reducir los contenidos de poliuretano, tan solo es necesario forrar el molde con un film de plástico transparente.

6.3.8.- Prensado de la mezcla

Una vez introducida la mezcla en el molde se procede a su prensado para poder conseguir la densidad deseada y, por ende, sus propiedades mecánicas. La capacidad de carga de las prensas utilizadas es de 20 t [Figuras 6.3.11 a y b]

para las probetas del molde de 200x200x120 mm y de 30 t [Figura 8.4.18] para las probetas del molde de 780x300x120 mm.



Figuras 6.3.11 a. Prensa con capacidad de 20 t.



Figura 6.3.11 b. Pórtico de carga con capacidad de 30 t.

El proceso de carga queda controlado informáticamente pudiendo realizarse los ensayos por dos caminos:

a.- Fijando la presión ejercida. Teniendo en cuenta que la máxima posible es de 5 N/mm^2 para las probetas de $200 \times 200 \text{ mm}$ y de 1.28 N/mm^2 para las probetas de $780 \times 300 \text{ mm}$. En el segundo tipo de probetas, la presión se ha demostrado insuficiente, las probetas así obtenidas no tienen las adecuadas propiedades mecánicas para el uso estructural.

b.- Fijando el espesor de tal forma que la presión ejercida es variable. Este caso permitió elaborar probetas de hasta 1050 kg/m^3 de densidad.

El tiempo de prensado mínimo es de seis horas, pues ese es el tiempo que corresponde al fraguado o reticulado del adhesivo de poliuretano. Los tiempos de prensado pueden disminuir si aumenta la temperatura del molde según el ratio de 50% de disminución en el tiempo para aumentos de temperatura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

6.3.9.- Proceso de desmolde y acabados superficiales

El penúltimo paso ha consistido en proceder al desmolde de la probeta y regularizar las rebabas que pudiera presentar debido a las pequeñas holguras existentes entre las piezas del molde [Figura 6.3.12]. Inicialmente, el uso de parafina generó incrustaciones de la misma en los cantos de la propia probeta por el efecto de la presión que se ejerce y altera sus dimensiones y aspecto superficial por lo que se desechó dicha solución, como se explicó anteriormente.



Figura 6.3.12. Desmolde de las probetas. Incrustaciones de parafina

6.3.10.- Clasificación de las probetas

Por último en este proceso de fabricación de las probetas, sacadas del molde y comprobada su apariencia se clasifican por número de probeta, dosificación, dimensiones y densidad para poder ser ensayadas y obtener los datos correspondientes a las propiedades mecánicas.

6.4.- Ensayos

Una vez fabricadas las probetas, se cortaron y acondicionaron para los ensayos a realizar, que se basan en su mayoría en los procedimientos establecidos en la norma UNE EN 789. Durante el desarrollo del trabajo se han realizado los ensayos encaminados a obtener las siguientes propiedades mecánicas de las probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica:

- a.- Compresión paralela al tablero.
- b.- Módulo de elasticidad en compresión paralela al tablero.
- c.- Compresión perpendicular al tablero.
- d.- Flexión.
- e.- Módulo de elasticidad en flexión.

6.4.1.- Metodología

El procedimiento seguido se inicia con el corte de las probetas para ajustarlas a las dimensiones indicadas en la UNE EN 789 para, posteriormente, incluir los elementos de medida de deformaciones (reloj comparador o galga extensométrica) y proceder a la medición de los datos necesarios para la obtención del módulo de elasticidad longitudinal. En una segunda fase, se retira el reloj comparador si lo hubiere, y se procede a la obtención de la carga de rotura.

A continuación se detallan las particularidades del procedimiento específico seguido en función de la propiedad mecánica que se esté estudiando.

6.4.1.1.- Compresión paralela al tablero

Para la realización de los ensayos de compresión paralela al plano del tablero es necesario utilizar probetas cuyas dimensiones varíen en función de los espesores [UNE EN 789]. Las probetas elaboradas tienen espesores que varían desde los 40 mm hasta los 10 mm. En las figuras 6.4.1 a 6.4.2 se detallan dichas dimensiones para cada uno de los rangos de espesor de tablero indicados en la normativa. Siendo t_1 el espesor de la probeta (entre 10 y 40 mm); l es su altura, 200 mm para las probetas ensayadas de posidonia; y b es la base de la probeta y toma el valor de 200, 100 o 50 mm en función del espesor del tablero original.

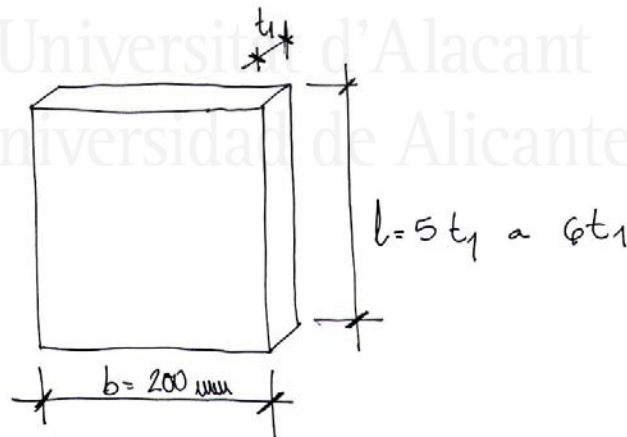


Figura 6.4.1. Dimensiones de la probeta con espesor de 40 mm.

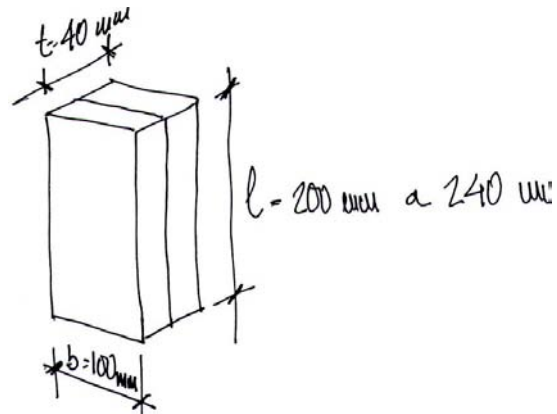


Figura 6.4.2. Dimensiones de la probeta con espesores entre 40 y 15 mm.

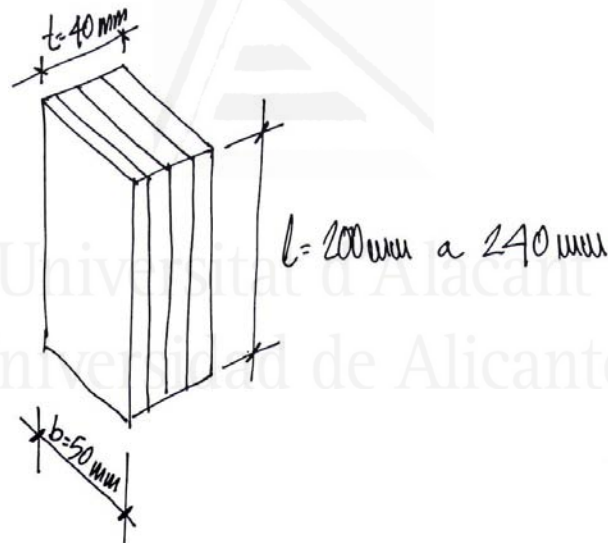


Figura 6.4.3. Dimensiones de la probeta con espesor de 10 mm.

Una vez transformadas las probetas para adaptarse a las medida correspondientes a sus espesores y con posterioridad a realizar las mediciones para estimar su módulos de elasticidad, se procede a la carga de la probeta hasta rotura [Figura 6.4.5] con las siguientes particularidades:

- a.- la carga se aplicara paralela al plano del tablero y a través de una rótula [Figura 6.4.4]. Las prensas utilizadas disponen de rótula en la cabeza de carga [Figura 6.4.5].

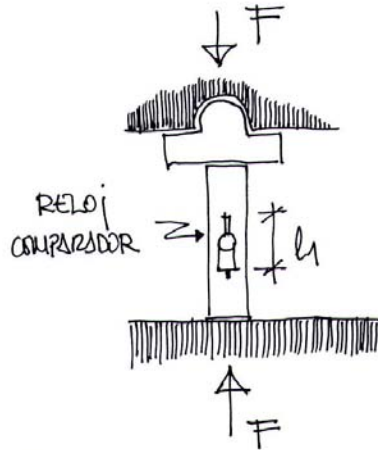


Figura 6.4.4. Procedimiento de carga en compresión en el plano

b.- Es necesario estimar la velocidad de carga, por lo tanto es necesario estimar la carga de rotura y dividirla entre 300 s. La norma UNE EN 789 permite una tolerancia en el tiempo de rotura de ± 120 s.



Figura 6.4.5. Procedimiento de carga a través de rótula

Tras el proceso de entrada en carga y rotura de las piezas con obtención de la carga de rotura [Figura 6.4.6] se procede a la obtención de las tensiones de rotura, dato tomado como base para la obtención de la propiedad mecánica de resistencia compresión en el plano del tablero. La ecuación 6.4.1 que permite obtener esta tensión de rotura es la indicada en el apartado 8.5.2 de la norma UNE EN 789.

$$f_c = \frac{F_{\max}}{A} \quad [6.4.1]$$

Donde:

f_c es la tensión de rotura a compresión paralela al plano.
 F_{\max} es la carga de rotura.
 A es el área transversal de las probetas ensayadas.



Foto 6.4.6. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Tensión de rotura

6.4.1.2.- Módulo de elasticidad en compresión paralela al tablero

Para la realización de los ensayos encaminados a obtener el módulo de elasticidad en compresión paralela al plano del tablero es necesario utilizar las mismas probetas que posteriormente se llevarán hasta rotura para evaluar la resistencia del panel, y cuyas dimensiones varían en función de los espesores [UNE EN 789], tal y como se indicó anteriormente y quedó reflejado en las figuras 6.4.1 a 6.4.3. Una vez preparadas las probetas para adaptarse a la medida correspondiente a sus espesores se procede a la carga de la probeta en dos fases con las siguientes particularidades:

- a.- En el caso de usar relojes comparadores para la medida de acortamientos, la longitud de referencia para la medición de las deformaciones [l_1], estará centrada en la probeta y comprendida entre 75 y 125 mm [Figura 6.4.3] con una tolerancia de ± 0.5 mm. En los ensayos realizados se toma como longitud de referencia 75 mm. En el caso de usar galgas extensométricas se dispondrán dos galgas centradas y en dirección longitudinal, una en cada cara de la muestra.



Figura 6.4.7. Marcas de referencia para la lectura de las deformaciones, $l_1 = 75$ mm.

b.- Como ya se indicó en el punto anterior, es necesario estimar la carga máxima que resiste la probeta. Este valor estimado no sólo sirve para establecer la velocidad de carga sino también, para acotar las dos fases de carga de la probeta; las dos lecturas de deformación necesarias para la obtención del módulo de elasticidad longitudinal en compresión en el plano del tablero. Los dos niveles de carga y por lo tanto, de lectura están establecidos en UNE EN-789, el primero en el 10% de la carga máxima y el segundo en el 40% de la misma.

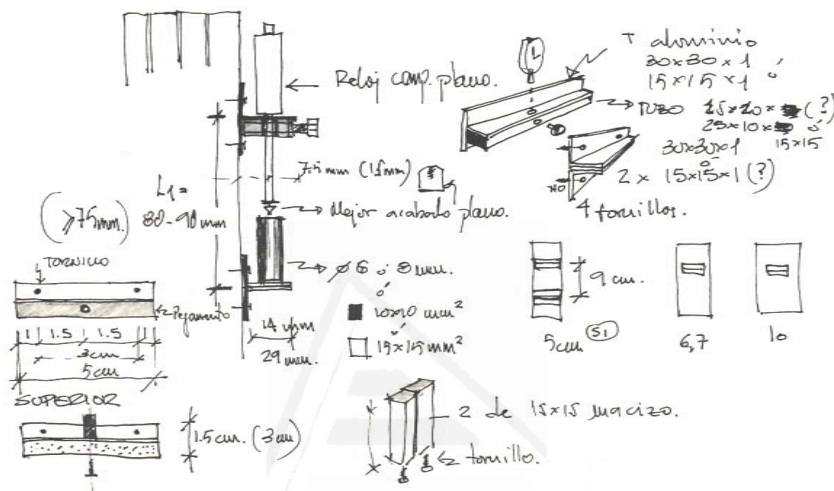


Figura 6.4.8. Diseño del dispositivo auxiliar de soporte para el reloj comparador.

Para poder disponer el reloj comparador de tal manera que pudiera tomar medidas dentro de la longitud de referencia fue necesario diseñar un dispositivo auxiliar que permitiera sujetar en condiciones el reloj. En la figura 6.4.8 se muestran los bocetos del diseño y en la figura 6.4.9 el resultado aplicado a una de las probetas. El dispositivo está formado por perfiles de aluminio y tornillería de acero. La sujeción a la probeta se realiza por medio de adhesivo de cianocrilato.



Figura 6.4.9. Aplicación del dispositivo de medida de deformaciones.

Para la obtención de los módulos de elasticidad se ha seguido el procedimiento establecido en el apartado 7.4.2 de la UNE EN-789. Según este procedimiento, el módulo de elasticidad se obtiene según la ecuación 6.4.2.

$$E_c = \frac{F_2 - F_1}{l_1} \cdot \frac{l_2}{u_2 - u_1} \cdot A \quad [6.4.2]$$

Donde:

- F_2 corresponde al 40% de la carga de rotura a compresión en el plano.
- F_1 corresponde al 10% de la carga de rotura a compresión en el plano.
- l_1 es la longitud de referencia. En las probetas ensayadas 75 mm.
- u_2 es el movimiento de acortamiento referido a la carga F_2 .
- u_1 es el movimiento de acortamiento referido a la carga F_1 .

Se emplean dos métodos de medida de las deformaciones en las probetas: movimientos con reloj comparador o deformaciones medidas a través de galga extensométrica [Figuras 6.4.10 y 6.4.11]. En los ensayos donde se empleó esta segunda opción, Figura 6.4.10, el módulo elástico se calculó de forma análoga pero con los valores de deformación unitaria registrados en un extensómetro modelo Vishay P3.



Figura 6.4.10. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Deformaciones por extensometría.



Figura 6.4.11. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Deformaciones por micrómetro

6.4.1.3.- Compresión perpendicular al tablero

Para la realización de los ensayos de compresión perpendicular al tablero o en el espesor, es necesario utilizar probetas cuyas dimensiones están referidas a la norma UNE EN 789 en su anejo D. Las probetas elaboradas tienen espesores que varían desde los 30 mm, las de tablero de partículas de madera, hasta los 22 mm, las de posidonia. Las dimensiones son las indicadas en la figura 6.4.12. siendo: h la altura de la probeta, que puede variar entre 50 y 90 mm, y en este caso fue de 60 y 66 mm para las muestras de madera y posidonia respectivamente; l es su anchura que toma el valor de 70 mm; y b es la base, que será de 45 mm.

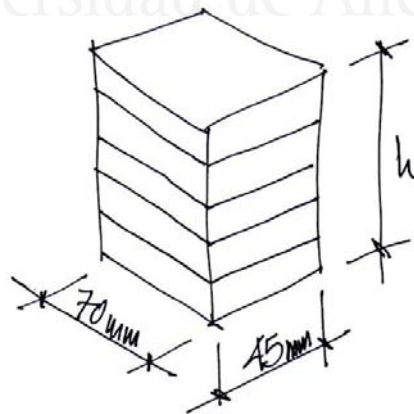


Figura 6.4.12. Dimensiones de la probeta para ensayo compresión en el espesor

Una vez transformadas las probetas para adaptarse a las medidas indicadas por la normativa, se procede a la carga de la probeta hasta rotura [Figura 6.4.13] con las siguientes particularidades:

a.- la carga se aplicará perpendicular al plano del tablero y a través de una rótula. Las prensas utilizadas disponen de rótula en la cabeza de carga [Figura 6.4.5]

b.- la carga máxima no se encuentra en el momento de la rotura de la probeta sino en el momento en que la deformación provoca un acortamiento de la probeta del 1% de su altura, figura 6.4.14



Figura 6.4.13. Ensayo a compresión en el espesor. Tablero de posidonia

De las probetas ensayadas durante el proceso de elaboración de este trabajo de investigación, sólo en dos se siguió este procedimiento, parando el ensayo una vez alcanzada la deformación indicada. En el resto se intentó llegar a la carga que produjera la rotura del material.

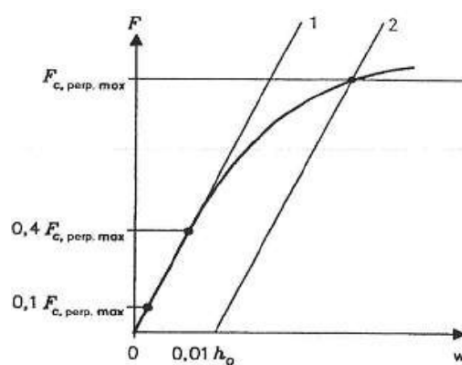


Figura 6.4.14. Cálculo de la resistencia a compresión perpendicular al tablero

Para la obtención de la resistencia en el espesor del tablero de posidonia se ha seguido el procedimiento establecido en anejo D de la UNE EN 789, se obtiene aplicando la ecuación 6.4.3

$$f_{c,90} = F_{c,90} \max / b \cdot l \quad [6.4.3]$$

Donde:

$f_{c,90}$ corresponde a la resistencia a compresión perpendicular al tablero.
 $F_{c,90} \max$ corresponde a la carga para un acortamiento del 1%
 $b \cdot l$ es el área que forma la base de la probeta.

Aunque se analizará con mayor detalle posteriormente, en el caso de las probetas realizadas con tablero de posidonia [Figura 6.4.15] sí se produjo la rotura de las mismas a altas tensiones [ver anejo B, ensayos E_y 9r, 10r, 11r, 16r, 17r y 18r], mientras que en las de tablero de partículas de madera, la rotura fue mínima, notándose una fuerte deformación (25 mm de movimiento en 60 mm de altura total inicial), Figura 6.4.16. En los ensayos 19r y 20r sí se siguió estrictamente el procedimiento indicado en la norma UNE EN 789 dando como resistencias a compresión en el espesor muy pequeñas.



Figura 6.4.15. Ensayo a compresión en el espesor. Tablero de posidonia. Rotura



Figura 6.4.16. Ensayo a compresión en el espesor. Tablero de partículas de madera. Deformación

6.4.1.4.- Resistencia a flexión

Para la realización de los ensayos a flexión, es necesario utilizar probetas cuyas dimensiones están referidas a la norma UNE EN 789 en su apartado 7. Las probetas elaboradas tienen espesores que varían desde los 10 mm, las de tablero de partículas de madera, hasta los 22 mm que llegan a alcanzar las de posidonia. La longitud varía con el espesor, por ejemplo para tableros de 10 mm de espesor corresponde una longitud de 780 mm. El ancho es fijo en todos los casos e igual a 300 mm. En la figura 6.4.17. se indican las principales dimensiones y configuración para el ensayo de flexión en cuatro puntos.

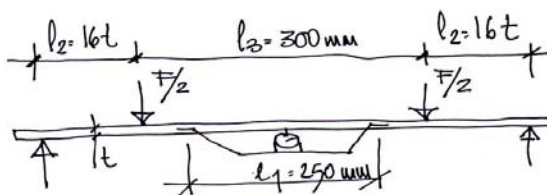


Figura 6.4.17. Dimensiones de la probeta para ensayo a flexión. Cotas en mm

Para la obtención de las cargas de rotura no se ha seguido el procedimiento marcado por la norma UNE EN 789, pues el valor de las cargas estimadas de rotura es tan pequeño que los valores dados por las prensas no son representativos. Como alternativa, y también para obtener resultados orientativos, se prepararon probetas de 780x300x10 o 22 mm, que se colocan biapoyadas [Figuras 6.4.18 y 6.4.19] con una luz de 700 mm y se cargan puntualmente en el centro del vano. El valor de las tensiones en el momento de la rotura se obtiene por las clásicas expresiones de la resistencia de materiales, ecuación 6.4.4.



Figura 6.4.18. Ensayo a flexión. Tablero de partículas de madera.

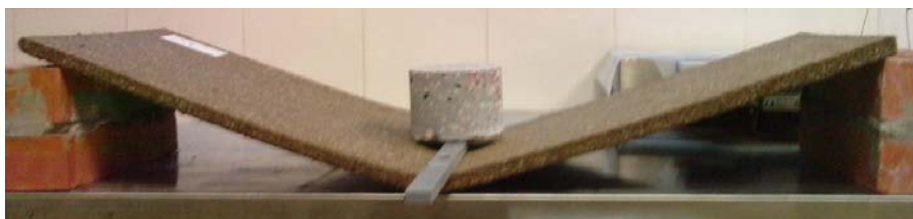


Figura 6.4.19. Ensayo a flexión. Tablero de posidonia triturada.

$$f_m = 3 \cdot P \cdot L^2 \cdot b \cdot h^2 \quad [6.4.4]$$

Donde:

f_m	corresponde a la resistencia a flexión del tablero.
P	corresponde a la carga en el momento de la rotura de la probeta.
b	es el ancho de la probeta igual a 300 mm.
h	es el canto de la probeta: entre 22 y 10 mm según la probeta.
L	es la luz del vano igual a 700 mm.

6.4.1.5.- Módulo de elasticidad en flexión

Una vez transformadas las probetas para adaptarse a las medida correspondientes a sus espesores se procede a la carga de la probeta en dos fases con las siguientes particularidades:

a.- La longitud de referencia para la medición de las deformaciones [l_1] estará centrada en la probeta y toma el valor de 250 mm [Figura 6.4.17] con una tolerancia de ± 0.5 mm.

b.- Tal y como se ha inidicado anteriormente, es necesario estimar la carga máxima que resiste la probeta. Los dos niveles de carga y por lo tanto, de lectura están establecidos, el primero en el 10% de la carga máxima y el segundo en el 40% de la misma.

El proceso de obtención del módulo de elasticidad en flexión [Figuras 6.4.20], se aparta del procedimiento establecido en la UNE EN 789, sin embargo si se toman dos lecturas correspondientes, aproximadamente, al 10% y 40% de la carga de rotura. Sin embargo, el cálculo se realiza utilizando la expresión conocida de la flecha en el centro de luz de una viga biapoyada con una carga puntural en el centro [6.4.5]. Los resultados así obtenidos son aproximados y con un indice de error alto.

$$f_m = P \cdot L^3 / 48 \cdot E_m \cdot I \quad [6.4.5]$$

Donde:

P	es la carga en cada escalón de carga.
L	es la luz de la viga. En este caso 700 mm.
E_m	es el módulo de elasticidad longitudinal buscado.
I	es el momento de inercia.



Figura 6.4.20. Ensayo a flexión. Tablero de posidonia.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

7 RESULTADOS DE LA FABRICACION DE LAS
PROBETAS Y ENSAYOS

7.- RESULTADOS DE LA FABRICACION DE LAS PROBETAS Y DE LOS ENSAYOS

7.1.- Fabricación de Probetas

El proceso de fabricación de las probetas se dividió en dos fases temporales. La primera de ellas corresponde a la realización de las 24 primeras probetas y coincide con el desarrollo llevado a cabo para el trabajo de investigación avanzada que sirvió para obtener el Diploma de Estudios Avanzados (DEA). La segunda de ellas abarca desde la fabricación de las probetas 25 a 162.

7.1.1.- Factores infuyentes en la fabricación de las probetas

Para la fabricación de las probetas ha sido necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones
- Dosificaciones en peso y % de Posidonia, Madera de pino y los distintos adhesivos utilizados
- Las fuerzas y velocidad de prensado
- El tiempo de endurecimiento del adhesivo y la temperatura del proceso
- Peso, volumen y densidad

a.- Dimensiones

Tal y como se ha expuesto en capítulos anteriores, las dimensiones de las probetas están basadas en las dimensiones marcadas por las diferentes noras UNE para la realización de ensayo tendentes a la obtención de las propiedades mecánicas de los tableros estructurales derivados de la madera.

Básicamente se han elaborado maquetas de las siguientes dimensiones:

- Para los ensayos de Compresión paralela al tablero: 20x20xe. Los espesores han variados entre 9 mm y 40 mm para las probetas de la primera fase y entre 11 mm y 30 mm en las probetas de la segunda, siendo los espesores más utilizados los de 11, 13 y 15 mm.
- Para los ensayos de flexión se han fabricado tableros de 780x300xe, siendo los espesores de 10 mm y 15 mm
- Para los ensayos de compresión perpendicular al plano del tablero se han fabricado probetas de 70x45x20 mm³

b.- Dosificaciones en peso y % de Posidonia, Madera de pino y los distintos adhesivos y utilizados

Para la elaboración de la probetas se han dosificado, en peso y porcentaje de adhesivo respecto al total, las cantidades de posidonia Oceánica, partículas de madera de pino y la cantidad de adhesivo. Se han utilizado dos tipos de adhesivos derivados del poliuretano, uno como monocomponente (PU-832) y otro con isocianatos (MDI) con dos componentes A (PU815A) y un endurecedor B (PU815-B) con una dosificación de 5:1

c.- Fuerzas y velocidad de prensado

En la elaboración de las probetas se han utilizado dos tipos de prensas tal y como se ha especificado en el capítulo anterior. En este proceso se han fijado las condiciones de fuerza de prensado y velocidad de aplicación de dicha fuerza sobre la probeta en fase de elaboración. La velocidad ha permanecido constante para todas las probetas: 0.16 t/s.

7.1.2.- Numeración de las probetas y datos utilizados

En las tablas siguientes se resume la numeración y datos utilizados en la fabricación de las probetas dividido por fases.

Tabla 7.1.1. Fase 1. Probetas 1 a 24

PROBETA	FECHA	P0 (gr)	Densif. (%)	FU-823	M.P.M.O.	MOI	Densif. S.1	FU-815 A	FU-915B	5A/1B	F(T)	D. PRACTA	t	v (V)	ε (mm)	v (cm)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)
Nº 1	1/6/10	120	0%	-	-	-	-	-	-	-	18	40 mm	48h	0,16	10	186	120	0,645
Nº 2	6/7/10	200	258%	516	-	-	-	-	-	-	18	40 mm	48h	0,16	10	186	120	0,645
Nº 3	29/6/10	563	0%	-	-	-	-	-	-	-	18	48h	48h	0,16	49	1960	563	0,287
Nº 4	8/7/10	250	60%	150	-	-	-	-	-	-	16	40	6h	0,16	10	400	444	1,110
Nº 5	15/7/10	800	30%	240	-	-	-	-	-	-	10	25	12h	0,16	31	1240	1030	0,830
Nº 6	16/7/10	833	15%	125	-	-	-	-	-	-	10	25	6h	0,16	30	1200	948	0,790
Nº 7	19/7/10	1000	20%	200	-	-	-	-	-	-	8	20	12h	0,16	30	1200	1188	0,990
Nº 8	22/7/10	1333	20%	266	-	-	-	-	-	-	F1 F2	P1 P2	5h	0,16	30	1200	1200	1
Nº 9	9/9/10	1404	15%	210	-	-	-	-	-	-	14,2	6,07	12h	0,16	10	2340	1404	0,6
Nº 10	10/9/10	765	15%	135	-	-	-	-	-	-	variable	variable	6h	0,16	27,5	1100	990	0,9
Nº 11	10/9/10	2685	15%	474	-	-	-	-	-	-	variable	variable	12h	0,16	22,5	5265	3554	0,675
Nº 12	14/9/10	765	15%	135	-	-	-	-	-	-	variable	variable	10h	0,16	22	880	900	1,034
Nº 13	15/9/10	825	10%	82,5	-	-	-	-	-	-	variable	variable	6h	0,16	22	880	909	1,034
Nº 14	15/9/10	1862	20%	373	-	-	-	-	-	-	variable	variable	6h	0,16	9	2106	2106	1
Nº 15	22/9/10	900	10%	90	-	-	-	-	-	-	variable	variable	6h	0,16	40	1600	990,4	0,619
Nº 16	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	1000	555	0,535
Nº 17	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	1000	555	0,535
Nº 18	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	94,5	62	0,656
Nº 19	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	94,5	62	0,656
Nº 20	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	94,5	62	0,656
Nº 21	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	94,5	62	0,656
Nº 22	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	94,5	62	0,656
Nº 23	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	2250	-	-
Nº 24	4/09/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	2250	-	-

7. Resultados de la fabricación de las probetas y de los ensayos

Tabla 7.1.2. Fase 2. Probetas 25 a 67

PROBETA	FECHA	PO (gr)	Dosif. (%)	PU-823	M. PINO	MDI (gr)	Dosif. 5:1 PU-813A	5A/1B	F (T)	P. PARCIAL	t	v (v/s)	e (mm)	V (cm ³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	Dosif. (PO + M)
Nº 25	7/6/11	700	20%	-	-	140	116,66	23,33	8	20	6h (21.600 s)	0,16	30	1200	838	0,698	100%PO
Nº 26	8/6/11	500	30%	-	-	150	125	25	8	20	3h (10.800 s)	0,16	20	800	640	0,800	100%PO
Nº 27	13/6/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	8	20	3h	0,16	21	840	596,3	0,709	100%PO
Nº 28	13/6/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	19	760	595,6	0,784	100%PO
Nº 29	14/6/11	400	20%	-	-	80	66,67	13,33	10	25	3h	0,16	16	640	475,4	0,743	100%PO
Nº 30	14/6/11	400	15%	-	-	60	50	10	10	25	3h	0,16	17	680	456,8	0,672	100%PO
Nº 31	15/6/11	400	25%	-	-	100	83,33	16,67	12	30	3h	0,16	15	600	493,8	0,823	100%PO
Nº 32	15/6/11	300	10%	-	-	30	25	5	12	30	3h	0,16	20	520	329,4	0,633	100%PO
Nº 33	16/6/11	400	15%	-	-	60	50	10	10	25	3h	0,16	19	760	457,1	0,601	100%PO
Nº 34	16/6/11	400	20%	-	-	80	66,67	13,33	10	25	3h	0,16	17	680	481,4	0,708	100%PO
Nº 35	17/6/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	8	20	3h	0,16	24	960	591,9	0,670	100%PO
Nº 36	21/6/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	20	800	588	0,735	100%PO
Nº 37	22/6/11	500	30%	-	-	150	125	25	8	20	2h (7.200 s)	0,16	20	800	634,9	0,794	100%PO
Nº 38	22/6/11	400	25%	-	-	100	83,33	16,67	12	30	2h (7.200 s)	0,16	18	720	484,1	0,672	100%PO
Nº 39	22/6/11	300	10%	-	-	30	25	5	10	30	2h	0,16	-	-	-	-	100%PO
Nº 40	27/6/11	500	15%	75	-	-	-	-	10	25	3h	0,16	-	-	-	-	100%PO
Nº 41	28/6/11	500	15%	-	-	75	62,5	12,5	10	25	3h	0,16	26	1040	572	0,55	100%PO
Nº 42	28/6/11	500	15%	-	-	75	62,5	12,5	10	25	3h	0,16	24	960	574,9	0,598	100%PO
Nº 43	28/6/11	500	20%	100	-	-	-	-	10	25	6h	0,16	25	1000	600	0,6	100%PO
Nº 44	29/6/11	500	15%	-	-	75	62,5	12,5	10	25	3h	0,16	24	960	574,3	0,598	100%PO
Nº 45	29/6/11	500	15%	-	-	75	62,5	12,5	10	25	3h	0,16	24	960	573,3	0,597	100%PO
Nº 46	29/6/11	500	30%	150	-	-	-	-	10	25	6h	0,16	24	960	648,5	0,675	100%PO
Nº 47	30/6/11	500	15%	-	-	75	62,5	12,5	10	25	3h	0,16	19	760	596,9	0,785	100%PO
Nº 48	30/6/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	15	600	587,4	0,979	100%PO
Nº 49	30/6/11	500	60%	300	-	-	-	-	10	25	6h	0,16	15	600	807	1,345	100%PO
Nº 50	1/7/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	15	600	582,6	0,971	100%PO
Nº 51	1/7/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	14	560	583,4	1,042	100%PO
Nº 52	1/7/11	500	50%	250	-	-	-	-	10	25	6h	0,16	-	-	-	-	-
Nº 53	4/7/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	16	640	584	0,913	100%PO
Nº 54	4/7/11	500	20%	-	-	100	83,33	16,67	10	25	3h	0,16	15	600	586,5	0,978	100%PO
Nº 55	4/7/11	175	15%	52,5	175	-	-	-	15	37,5	6h	0,16	11	440	395	0,897	50%PO + 50%MM
Nº 56	5/7/11	500	30%	-	-	150	125	25	10	25	3h	0,16	21	840	632	0,752	100%PO
Nº 57	5/7/11	500	30%	-	-	150	125	25	10	25	3h	0,16	21	840	629,5	0,749	100%PO
Nº 58	5/7/11	175	20%	70	175	-	-	-	15	37,5	6h	0,16	12	480	411	0,85	50%PO + 50%MM
Nº 59	6/7/11	500	30%	-	-	150	125	25	10	25	3h	0,16	21	840	628,8	0,748	100%PO
Nº 60	6/7/11	500	30%	-	-	150	125	25	10	25	3h	0,16	20	800	635,7	0,794	100%PO
Nº 61	6/7/11	175	30%	105	175	-	-	-	15	37,5	6h	0,16	11	440	441,4	1	50%PO + 50%MM
Nº 62	7/7/11	350	30%	-	-	105	87,5	17,5	16	40	3h	0,16	11	440	438,2	0,99	100%PO
Nº 63	7/7/11	175	15%	-	-	175	52,5	8,75	16	40	3h	0,16	11	440	392	0,886	50%PO + 50%MM
Nº 64	7/7/11	175	40%	140	175	-	-	-	15	37,5	6h	0,16	11	440	470,8	1,07	50%PO + 50%MM
Nº 65	8/7/11	175	15%	-	-	175	52,5	8,75	16	40	3h	0,16	12	480	393	0,82	50%PO + 50%MM
Nº 66	8/7/11	175	15%	-	-	175	52,5	8,75	16	40	3h	0,16	11	440	397	0,90	50%PO + 50%MM
Nº 67	8/7/11	175	50%	175	175	-	-	-	15	37,5	6h	0,16	10	400	507	1,26	50%PO + 50%MM

7. Resultados de la fabricación de las probetas y de los ensayos

Tabla 7.1.3. Fase 2. Probetas 68 a 112

PROBETA	FECHA	PO (kN)	Dosif (%)	PU - 823	M. PINO	MDI (kN)	Dosif 5:1	5A/18	F (T)	P PARCIAL	t	v (V)	e (mm)	v (cm ³)	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/cm ³)	Dosif. (PO + M)
Nº 68	11/7/11	175	15%	-	175	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	393.8	0.89	50%PO + 50%M
Nº 69	11/7/11	175	15%	-	175	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	392.8	0.89	50%PO + 50%M
Nº 70	11/7/11	262.5	15%	52.5	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	10	400	393	0.98	75%PO + 25%M
Nº 71	12/7/11	175	20%	-	175	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	407	0.92	50%PO + 50%M
Nº 72	12/7/11	175	20%	-	175	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	407.8	0.93	50%PO + 50%M
Nº 73	12/7/11	262.5	20%	70	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	10	400	410	1.025	75%PO + 25%M
Nº 74	13/7/11	175	20%	-	175	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	410.2	0.93	50%PO + 50%M
Nº 75	13/7/11	175	20%	-	175	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	413.6	0.94	50%PO + 50%M
Nº 76	13/7/11	262.5	30%	105	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	10	400	438.3	1.095	75%PO + 25%M
Nº 77	14/7/11	175	20%	-	175	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	411.8	0.93	50%PO + 50%M
Nº 78	14/7/11	175	30%	-	175	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	444	1	50%PO + 50%M
Nº 79	14/7/11	262.5	40%	140	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	10	400	467	1.17	75%PO + 25%M
Nº 80	15/7/11	175	30%	-	175	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	445.1	1.01	50%PO + 50%M
Nº 81	15/7/11	175	30%	-	175	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	444.8	1.01	50%PO + 50%M
Nº 82	15/7/11	262.5	50%	175	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	10	400	491	1.23	75%PO + 25%M
Nº 83	18/7/11	175	30%	-	175	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	444.5	0.92	50%PO + 50%M
Nº 84	18/7/11	175	30%	-	175	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	445.1	1.01	50%PO + 50%M
Nº 85	18/7/11	87.5	15%	52.5	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	11	440	392.6	0.89	25%PO + 75%M
Nº 86	19/7/11	262.5	15%	-	87.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	10	400	393.7	0.98	75%PO + 25%M
Nº 87	19/7/11	262.5	15%	-	87.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	10	400	394.5	0.98	75%PO + 25%M
Nº 88	19/7/11	87.5	20%	70	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	11	440	409.6	0.93	25%PO + 75%M
Nº 89	20/7/11	262.5	15%	-	87.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	10	400	395.6	0.98	75%PO + 25%M
Nº 90	20/7/11	262.5	15%	-	87.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	391.1	0.88	75%PO + 25%M
Nº 91	20/7/11	87.5	30%	105	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	11	440	437.6	0.99	25%PO + 75%M
Nº 92	21/7/11	262.5	15%	-	87.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	395	0.89	75%PO + 25%M
Nº 93	21/7/11	262.5	20%	140	87.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	409.6	0.93	75%PO + 25%M
Nº 94	21/7/11	87.5	40%	140	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	11	440	482.3	1.09	25%PO + 75%M
Nº 95	22/7/11	262.5	20%	-	87.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	410.2	0.93	75%PO + 25%M
Nº 96	22/7/11	262.5	20%	-	87.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	410.5	0.93	75%PO + 25%M
Nº 97	22/7/11	87.5	50%	175	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	12	480	505.9	1.05	25%PO + 75%M
Nº 98	25/7/11	262.5	20%	-	87.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	411.8	0.93	75%PO + 25%M
Nº 99	25/7/11	262.5	20%	-	87.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	11	440	404.4	0.92	75%PO + 25%M
Nº 100	25/7/11	262.5	30%	-	87.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	434.8	0.98	75%PO + 25%M
Nº 101	26/7/11	262.5	30%	-	87.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	433.3	0.98	75%PO + 25%M
Nº 102	26/7/11	262.5	30%	-	87.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	442.3	1	75%PO + 25%M
Nº 103	26/7/11	262.5	30%	-	87.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	438.7	0.99	75%PO + 25%M
Nº 104	27/7/11	262.5	30%	-	87.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	11	440	434	0.98	75%PO + 25%M
Nº 105	27/7/11	87.5	15%	-	262.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	12	480	393.6	0.82	25%PO + 75%M
Nº 106	27/7/11	87.5	15%	-	262.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	395.2	0.89	25%PO + 75%M
Nº 107	28/7/11	87.5	15%	-	262.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	11	440	396.1	0.90	25%PO + 75%M
Nº 108	28/7/11	87.5	15%	-	262.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	12	480	396.2	0.83	25%PO + 75%M
Nº 109	28/7/11	87.5	15%	-	262.5	52.5	43.75	8.75	16	40	3h	0.16	12	480	399.2	0.86	25%PO + 75%M
Nº 110	29/7/11	87.5	20%	-	262.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	12	480	413.5	0.86	25%PO + 75%M
Nº 111	29/7/11	87.5	20%	-	262.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	12	480	417.2	0.87	25%PO + 75%M
Nº 112	29/7/11	87.5	20%	-	262.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	12	480	412.8	0.86	25%PO + 75%M

7. Resultados de la fabricación de las probetas y de los ensayos

Tabla 7.1.4. Fase 2. Probetas 113 a 151

PROBETA	FECHA	PO (gr)	Dosis (%)	PU - 823	M. PIMO	MDI (gr)	Densif. S-1		F (T)	P. PARCIAL	t	v (V/s)	e (mm)	V (cm ³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	Dosis (PO + M)	
							PU-815 A	PU-815 B										
Nº 113	5/9/11	87.5	20%	-	262.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	12	480	413.2	0.86	25%PO+75%M	
Nº 114	5/9/11	87.5	20%	-	262.5	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	12	480	410.1	0.85	25%PO+75%M	
Nº 115	5/9/11	87.5	30%	-	262.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	12	480	443.7	0.92	25%PO+75%M	
Nº 116	6/9/11	87.5	30%	-	262.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	12	480	443.7	0.92	25%PO+75%M	
Nº 117	6/9/11	87.5	30%	-	262.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	12	480	444.7	0.92	25%PO+75%M	
Nº 118	6/9/11	87.5	30%	-	262.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	12	480	444.1	0.92	25%PO+75%M	
Nº 119	7/9/11	87.5	30%	-	262.5	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	12	480	440.8	0.92	25%PO+75%M	
Nº 120	13/9/11	2000	15%	-	-	300	250	50	20	8.55	3h	0.16	19	4446	2283.6	0.51	100%PO	
Nº 121	15/9/11	2000	40%	-	-	800	666.67	133.33	29	12.4	3h	0.16	15	3510	2704.5	0.77	100%PO	
Nº 122	27/9/11	-	20%	-	350	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	14	560	414.7	0.74	100%M	
Nº 123	27/9/11	-	20%	-	350	70	58.3	11.67	16	40	3h	0.16	14	560	416	0.74	100%M	
Nº 124	27/9/11	-	10%	-	350	350	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	382.3	0.73	100%M	
Nº 125	28/9/11	-	30%	-	350	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	13	520	450.4	0.86	100%M	
Nº 126	28/9/11	-	30%	-	350	105	87.5	17.5	16	40	3h	0.16	14	560	449.2	0.80	100%M	
Nº 127	28/9/11	-	10%	-	350	350	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	381.2	0.73	100%M	
Nº 128	29/9/11	-	40%	-	350	140	116.67	23.3	16	40	3h	0.16	14	560	482.9	0.86	100%M	
Nº 129	29/9/11	-	40%	-	350	140	116.67	23.3	16	40	3h	0.16	14	560	480.9	0.85	100%M	
Nº 131	30/9/11	-	20%	70	350	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	414.5	0.79	100%M	
Nº 132	3/10/11	-	20%	70	350	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	412.8	0.79	100%M	
Nº 133	3/10/11	-	30%	105	350	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	439.6	0.84	100%M	
Nº 130	3/10/11	500	60%	-	1500	1200	1000	200	29	12.4	3h	0.16	18	4212	3123.5	0.74	25%PO+75%M	
Nº 134	4/10/11	-	30%	105	350	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	442.6	0.85	100%M	
Nº 135	5/10/11	175	15%	52.5	175	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	425.9	0.82	50%PO+50%M	
Nº 136	5/10/11	2000	40%	800	-	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	16	3744	2695.7	0.72	100%PO	
Nº 137	7/10/11	175	20%	70	175	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	14	560	408.8	0.73	50%PO+50%M	
Nº 140	7/10/11	500	60%	-	1500	1200	1000	200	29	12.4	3h	0.16	17	3978	3099.7	0.78	25%PO+75%M	
Nº 139	10/10/11	175	40%	140	175	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	473.2	0.91	50%PO+50%M	
Nº 146	10/10/11	500	60%	-	1500	1200	1000	200	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	-	75%PO+25%M
Nº 141	11/10/11	175	50%	175	175	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	504	0.84	50%PO+50%M	
Nº 143	13/10/11	262.5	20%	70	87.5	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	14	560	408.8	0.73	75%PO+25%M	
Nº 156	13/10/11	2000	50%	-	-	1000	833.33	166.67	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	-	100%PO
Nº 145	17/10/11	262.5	40%	140	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	14	560	487.2	0.87	75%PO+25%M	
Nº 147	17/10/11	1000	40%	800	1000	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	-	-	-	-	-	50%PO+50%M
Nº 148	18/10/11	262.5	50%	175	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	522	0.87	75%PO+25%M	
Nº 148	19/10/11	1000	50%	52.5	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	13	520	400.4	0.77	25%PO+75%M	
Nº 155	19/10/11	87.5	15%	87.5	1000	1000	833.33	166.67	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	-	50%PO+50%M
Nº 149	20/10/11	87.5	20%	70	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	418.4	0.69	25%PO+75%M	
Nº 156	20/10/11	2000	50%	1000	-	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	-	-	-	-	-	100%PO
Nº 151	21/10/11	87.5	30%	105	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	14	560	450.8	0.80	25%PO+75%M	

7. Resultados de la fabricación de las probetas y de los ensayos

Tabla 7.1.5. Fase 2. Probetas 152 a 162

PROBETA	FECHA	PO (gr)	Desif. (%)	PU - 823	M. PINO	MID (gr)	Desif. S:1 PU- 815 A	SA/LB PU- 815 B	F (T)	P PARCIAL	t	v (t/s)	e (mm)	V (cm ³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)	Desif. (PO + M)
Nº 152	24/10/11	87.5	40%	140	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	487.2	0.81	25%PO +75%M
Nº 153	25/10/11	87.5	50%	175	262.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	514	0.86	25%PO +75%M
Nº 138	26/10/11	175	30%	105	175	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	450.5	0.75	50%PO+50%M
Nº 157	26/10/11	2000	50%	-	-	1000	833.33	166.67	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	100%PO
Nº 142	28/10/11	262.5	15%	52.5	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	15	600	400.2	0.67	75%PO +25%M
Nº 158	31/10/11	1000	50%	1000	1000	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	-	-	-	-	50%PO +50%M
Nº 144	31/10/11	262.5	30%	105	87.5	-	-	-	15	37.5	6h	0.16	14	560	451.1	0.8	75%PO +25%M
Nº 159	2/11/11	1000	50%	-	1000	1000	833.33	166.67	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	50%PO +50%M
Nº 160	3/11/11	2000	50%	1000	-	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	-	-	-	-	100%PO
Nº 161	7/11/11	1000	50%	-	1000	1000	833.33	166.67	29	12.4	3h	0.16	-	-	-	-	50%PO +50%M
Nº 162	9/11/11	1000	50%	1000	1000	-	-	-	29	12.4	6h	0.16	-	-	-	-	50%PO +50%M

Tablas de probetas documentadas que no han completado su proceso de fabricación (tabla 7.1.6)

Nº 1	INOPERATIVA	Sin suficiente cohesión.
Nº 2	INOPERATIVA	Fallida por exceso de adhesivo
Nº 3	INOPERATIVA	
<hr/>		
Nº 9	-	Muy deformable. Falta Presión
<hr/>		
Nº 14	INOPERATIVA	La prensa no puede conformarla
Nº 15	INOPERATIVA	La prensa no puede conformarla
Nº 16	-	Probeta almacén de maderas
Nº 17	-	Probeta almacén de maderas
Nº 18	-	Probeta almacén de maderas
Nº 19	-	Probeta almacén de maderas
Nº 20	-	Probeta almacén de maderas
Nº 21	-	Probeta almacén de maderas
Nº 22	-	Probeta almacén de maderas
Nº 23	-	Probeta almacén de maderas
Nº 24	-	Probeta almacén de maderas
<hr/>		
Nº 38	INOPERATIVA	Tiempo prensado insuficiente
Nº 39	INOPERATIVA	Tiempo prensado insuficiente
Nº 40	INOPERATIVA	Dosif. Insuficiente PU-823 15%
<hr/>		
Nº 43	INOPERATIVA	Falta cohesión (partículas sueltas)
<hr/>		
Nº 46	INOPERATIVA	Falta cohesión (partículas sueltas)
<hr/>		
Nº 49	FUGAS PU823	Excesivo PU (fugas en el molde) PU > 60% (ERROR al pesar cantidades)
<hr/>		
Nº 52	FALTA X HACER	

Tabla 7.1.6. Probetas con problemas de fabricación

Finalmente se aporta, a modo de ejemplo de funcionamiento en laboratorio, de una tabla de planificación (tabla 7.1.7) en el proceso de fabricación de las probetas.

08:00 - 08:45	1. Desmoldar Probeta 1 2. Colocar + Atornillar moldes 3. Amasar nueva mezcla 4. Nivelar 5. Poner en marcha prensa P2	
8:45 - 11:45	Prensado probeta 2 (3h)	> Preparar siguiente cantidad PO
11:45 - 12:00	1. Desmoldar Probeta 2 2. Colocar + Atornillar moldes 3. Amasar nueva mezcla 4. Nivelar 5. Poner en marcha prensa P3	
12:00 - 15:00	Prensado probeta 3 (3h)	> Preparar siguiente cantidad PO
15:00 -15:30	1. Desmoldar Probeta 3 2. Colocar + Atornillar moldes 3. Amasar nueva mezcla 4. Nivelar 5. Poner en marcha prensa P4	> Datos probeta obtenida

Tabla 7.1.7 Planificación en el proceso de fabricación de probetas.

7.1.3.- Resumen de las probetas fabricadas por ensayo

La mayor parte de las probetas se han fabricado para obtener los resultados referentes a las propiedades mecánicas de los tablero de compresión paralela al tablero y de su módulo de elasticidad longitudinal pues, estos datos, son uno de los principales objetivos de esta tesis Doctoral. Sin embargo, y sobre todo en la primera fase de trabajo, se han fabricado también probetas encaminadas a obtener la resistencia perpendicular al tablero, resistencia a flexión y módulo de elasticidad longitudinal en flexión.

7.1.3.1.- Probetas para ensayo de compresión paralela al tablero

Son las más numerosas y corresponden a la siguiente numeración: Probetas 1 a 8,13,16,17,18,19 y de 25 a 153

7.1.3.2.- Probetas para ensayo de compresión perpendicular al tablero

Corresponden a la siguiente numeración: Probetas 10,12.1,12.2,12.3,20,21 y 22

7.1.3.3.- Probetas para ensayo de flexión

Corresponden a la siguiente numeración:
Probetas 9,11,14,23, 24 y de 154 a 162

7.1.3.4.- Probetas para la obtención del módulo de elasticidad longitudinal en compresión paralela a la fibra

Corresponden a la siguiente numeración:
Probetas 1 a 8,13,16,17,18,19 y de 25 a 153

7.1.3.5.- Probetas para la obtención del módulo de elasticidad longitudinal en flexión

Corresponden a la siguiente numeración:
Probetas 9,11,14,23, 24 y de 154 a 162

El anejo A de esta tesis doctoral contiene el resumen de los datos de fabricación de las probetas correspondientes a la primera fase de trabajo. Los datos de fabricación de las probetas de la fase 2 son homogéneos se incluyen en las fichas de resultados que se recopilan en el Anejo B y en las tablas resumen de este capítulo.

7.2.- Resultados de los ensayos referentes a las propiedades mecánicas

Los resultados de todos los ensayos correspondientes a las propiedades mecánicas y probetas antes descritas se recopilan en el Anejo B de esta Tesis Doctoral.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante los dos estudios planteados en el apartado anterior.

8.1.- ESTUDIO 1: Resultados de los ensayos referentes a propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica

En esta discusión preliminar se presentarán los principales problemas detectados durante la fabricación de probetas de posidonia oceánica en una matriz de poliuretano. Posteriormente se discutirá el efecto sobre las propiedades mecánicas que se observaron en relación con las distintas variables controladas durante la fabricación de los compuestos.

En primer lugar es necesario apuntar un par de aspectos que influyen a la hora de dosificar y amasar las mezclas de poliuretano y posidonia. Para la elaboración de la mezcla fue necesario establecer las dosificaciones a utilizar. Al no existir grandes referencias al respecto, inicialmente se tomaron dosificaciones en masa elevadas, hasta un 60% de poliuretano (respecto a la masa de posidonia). Este hecho suponía elevar el coste de las probetas y permitir que el comportamiento del tablero estuviese gobernado más por el adhesivo que por la posidonia.

Para evitar esta situación se redujeron las cantidades de adhesivo, en un primer lugar al 30%, al 20% hasta estabilizar las dosificaciones en un 15%. Al reducir la cantidad de resina hasta el 10% [ver anejo A, probeta $F_p 10$], resultó necesario aumentar la presión para garantizar un correcto curado del material y evitar que la probeta se disgregue.

Toda la posidonia utilizada para la fabricación de las probetas ha sido triturada. En este sentido es importante destacar la necesidad de eliminar, antes de elaborar la mezcla, las partículas finas, de lo contrario absorben la mayor parte del adhesivo, al tener mayor superficie específica, e impiden que el reparto sea uniforme.

Por último, se realizó una probeta sin resina (dosificación 0%) buscando que actuara como agente ligante la lignina de la propia posidonia entera. Sin embargo la probeta fue fallida por falta de presión [Figura 8.1.1]. Como se detallará a continuación, las presiones de fabricación deben ser superiores a los 2 N/mm², de lo contrario no es posible llegar a conseguir densidades de material con prestaciones estructurales.



Figura 8.1.1. Probeta $F_p 3$. Dosificación al 0% poliuretano.

8.1.1.- Propiedades mecánicas

El procedimiento seguido en el 90 % de los ensayos corresponde a las indicaciones explicitadas en la UNE EN 789. Los resultados detallados de cada ensayo quedan recogidos en el anejo A estando clasificados en ensayos con resultados de tensión de rotura y ensayos con resultados de módulos de elasticidad. En la Tabla 8.1.1 se incluye un resumen con los valores de cada una de las propiedades medidas experimentalmente (densidad, resistencias en su plano o perpendiculares al tablero y a flexión y módulo elástico).

Como comentario general, es interesante destacar que las resistencias aumentan con la densidad así como con el incremento de adhesivo de poliuretano, tal y como se indica en las tabla 8.1.1 y las figuras 8.1.2 y 8.1.3. Sin embargo, con el aumento del porcentaje de adhesivo, disminuyen los módulos de elasticidad longitudinales. Por otra parte, las probetas de tablero de partículas de madera ensayados reflejan que tienen mayores resistencias y módulos de elasticidad.

A continuación se discutirán las particularidades encontradas para cada una de las propiedades mecánicas determinadas, y la influencia observada de cada uno de los parámetros variados.

Tabla 8.1.1. Propiedades mecánicas de paneles de madera o de posidonia oceánica en matriz de PU. El módulo de elasticidad incluido se corresponde con el del ensayo de resistencia realizado, bien compresión en el plano del tablero, bien flexión. * Carga correspondiente al 1% del acortamiento de la altura según indica la UNE EN 789.

Probeta	Fibras	Densidad (kg/m ³)	R _{comp} , (MPa)	R _{comp} , (MPa)	R _{flex} (MPa)	E (MPa)
Fp ₁	Posidonia	645				
Fp ₂	Posidonia	-				
Fp ₃	Posidonia	287				
Fp ₄	Posidonia	1110	9.45			361.8
Fp ₅	Posidonia	830	7.39			346.1
Fp ₆	Posidonia	790	7.46			352.9
Fp ₇	Posidonia	990	6.11			456.3
Fp ₈	Posidonia	645	6.84			146.7
Fp ₉	Posidonia	600			0.7	116.7
Fp ₁₀	Posidonia	900				
Fp ₁₁	Posidonia	645			1.2	369.6
Fp _{12.1}	Posidonia	1034		27.0		
Fp _{12.2}	Posidonia	1034		27.1		
Fp _{12.3}	Posidonia	1034		25.7		
Fp ₁₃	Posidonia	1034	5.59			461.6
Fp ₁₄	Posidonia	1000			3.3	405.5
Fp ₁₅	Posidonia	619				
Fp ₁₆	Madera	555	6.53			
Fp ₁₇	Madera	555	6.57			1461.4
Fp ₁₈	Madera	555		31.7		
Fp ₁₉	Madera	555		47.6		
Fp ₂₀	Madera	555		57.1		
Fp ₂₁	Madera	555		0.49*		
Fp ₂₂	Madera	555		1.24*		
Fp ₂₃₋₂₄	Madera	555			9.3	5000

En primer lugar, los resultados del ensayo a compresión en la dirección del tablero se han representado en la Figura 8.1.2. en la que se compara la resistencia conseguida en función de la dosificación de resina. Y observándose un comportamiento prácticamente lineal, que consigue mayor resistencia a mayor cantidad de resina.

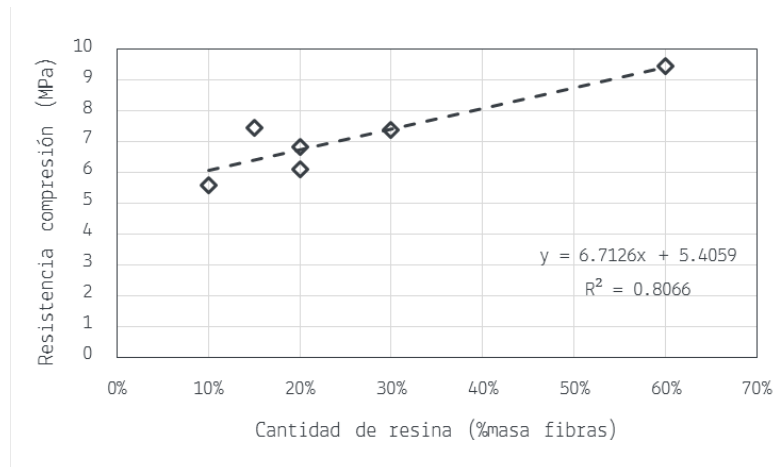


Figura 8.1.2. Ensayo a compresión en el plano del tablero, resistencia en función de la dosificación de poliuretano

En la Figura 8.1.3. se representa de nuevo la resistencia a compresión de los paneles, pero esta vez en función de la densidad obtenida tras el prensado de la muestra. Si bien han llegado a conseguirse con tableros de posidonia resistencias mayores que en tableros de madera de pino, con el adhesivo de poliuretano utilizado, se requieren altas densidades en el material para que adquiera aceptables propiedades mecánicas. Estas densidades han tenido que ser superiores a 850 kg/m³. Con densidades del orden de 600 kg/m³, el material ha tenido una respuesta estructural muy baja.

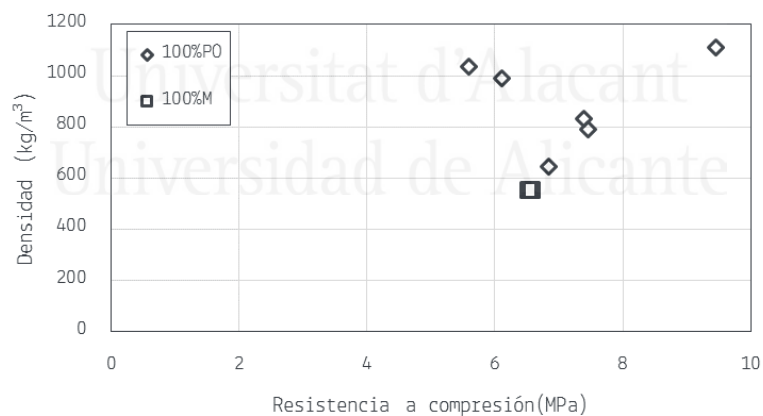


Figura 8.1.3. Ensayo a compresión en el plano del tablero, resistencia en función de la densidad de la muestra

En la Figura 8.1.4. se representa la densidad de los paneles para cada una de las dosificaciones de resina empleadas. A la vista de la gráfica queda claro que no existe una relación directa entre ambos parámetros, teniendo que tener en cuenta otros aspectos de mayor importancia como el tiempo y presión aplicada durante el curado. Se recomienda que las presiones de fabricación deben ser superiores a los 2 N/mm² si se desea obtener paneles con prestaciones estructurales.

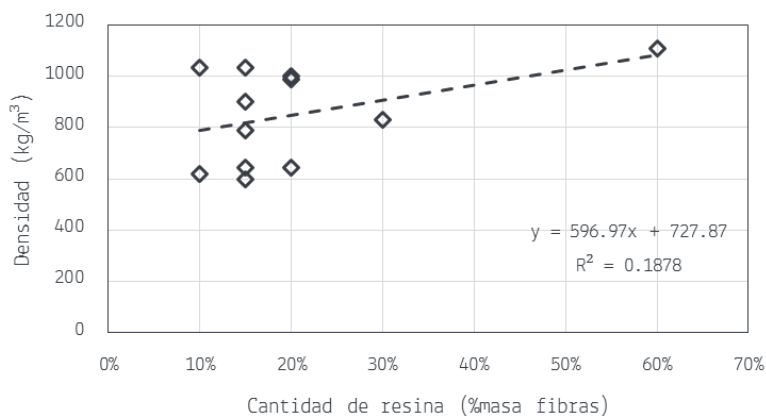


Figura 8.1.4. Densidad de los tableros de posidonia en función de la dosificación de poliuretano



Figura 8.1.5. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Rotura en el apoyo (izq.); Rotura por pandeo (dcha.)

En los tableros ensayados se ha observado una influencia del espesor del mismo en la forma de rotura de los paneles. En las probetas con espesores superiores a 25 mm, la rotura se produce por el efecto de las tensiones tangenciales desarrolladas durante el proceso de carga [Foto 8.1.5(izq.)]. Sin embargo, las probetas con espesores menores rompen por efecto de la inestabilidad de pandeo provocada por la compresión introducida [Figura 8.1.5(dcha.)]

Si consideramos el estado tensional de las probetas durante este ensayo, puede verse que sólo están sometidas a tensiones normales en el eje longitudinal [Y] y no aparecen, para el sistema de ejes cartesianos x-y, tensiones tangenciales ni tensiones normales en el eje X. Representando gráficamente el estado tensional de las probetas a través del círculo de Mohr [Figura 8.1.6], puede observarse que las máximas tensiones tangenciales, causantes de la rotura de las probetas de espesores superiores a 25 mm se produce según una dirección de 45°.

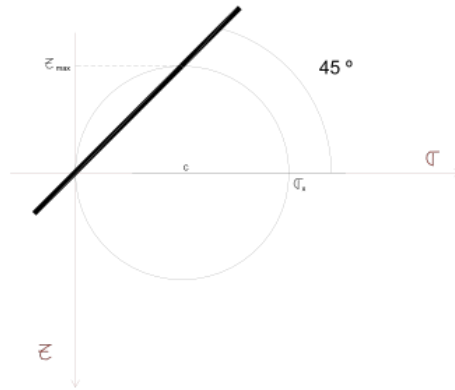


Figura 8.1.6. Dirección de la rotura de las probetas. 45°

Todos los resultados de los ensayos realizados a compresión en el plano del tablero y de espesores son superiores a 25 mm confirman este tipo de rotura tal y como se aprecia en la figura 8.1.8 correspondiente a la probeta Fp 17 [ver anejo A, ensayo Ey 15r]

A la vista de los resultados obtenidos y de la forma de romper, cabe hacer la siguiente comparación: las probetas de tableros de partículas de madera de 25 mm rompen por corte, tal y como se ha indicado, y la rotura se produce en la zona central [Figura 8.1.7]. Sin embargo en las de posidonia, la rotura a 45° se produce en las zonas de los bordes, lo que está indicando que estos suponen un punto débil [Figura 8.1.8]

Esto es debido a que los extremos de las probetas, durante el proceso de fabricación, no reciben las mismas condiciones de presión que las zonas centrales. Ello supone que, durante el segundo estudio, será necesario fabricar probetas de mayores dimensiones para, posteriormente, recortarlas y ajustar las medidas, de tal manera que la probeta a ensayar tenga las mismas condiciones de presión y, por lo tanto, presente un comportamiento homogéneo.



Foto 8.1.7. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Rotura por corte a 45°.



Figura 8.1.8. Ensayo a compresión en el plano del tablero. Fallo en los bordes

El uso del adhesivo es determinante en el valor final de las propiedades mecánicas. En las probetas ensayadas en este estudio se ha utilizado un adhesivo de poliuretano con unas características que favorecen la deformabilidad de las probetas fabricadas, aspecto que se confirma con los bajísimos módulos de elasticidad obtenidos (del orden de 350 N/mm²), y representados en la Figura 8.1.9. Durante el siguiente estudio se empleará otro tipo de adhesivo con el fin de mejorar la rigidez del material compuesto.

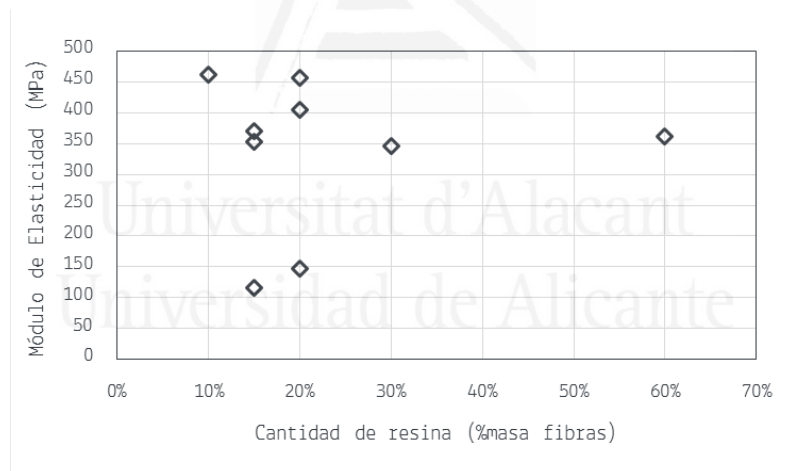


Figura 8.1.9. Ensayo a compresión en el plano del tablero, módulo elástico en función de la dosificación de poliuretano.

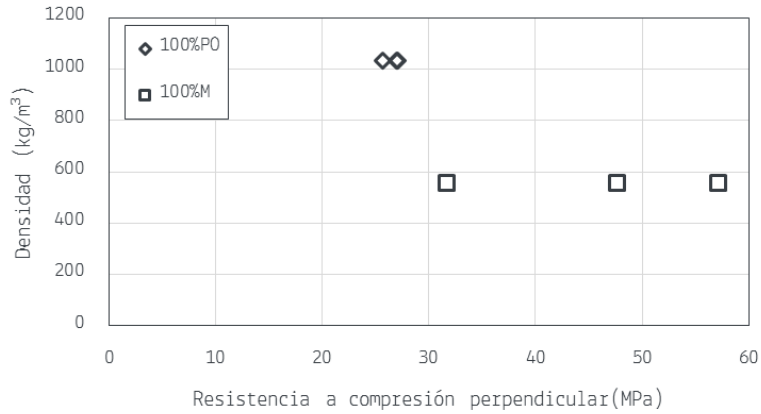


Figura 8.1.10. Ensayo a compresión en el plano del tablero, resistencia en función de la dosificación de poliuretano

Pasando a los ensayos de compresión pero en dirección perpendicular al tablero, la figura 8.1.10 incluye los resultados de resistencia en función de la densidad del material. Los resultados de los paneles de posidonia tuvieron menor dispersión que los correspondientes a paneles de madera. Sin embargo las tensiones alcanzadas en el pino fueron mucho mayores que en la posidonia, hasta aproximadamente el doble de resistencia.

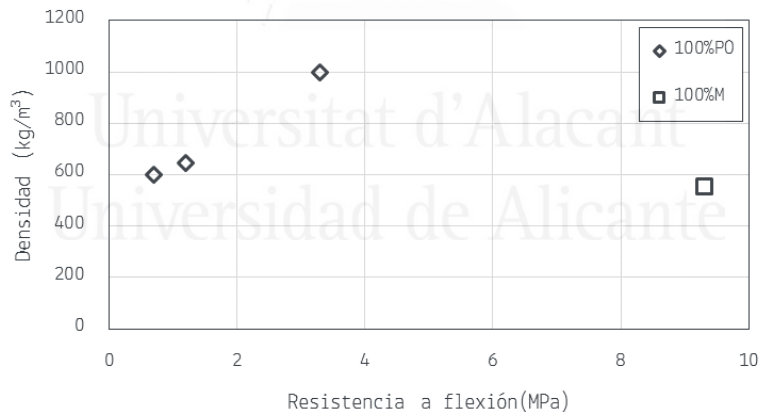


Figura 8.1.11. Ensayo a flexión, resistencia en función de la densidad

Comparando los resultados obtenidos de las probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica y los de partículas de madera, se observa que aparece una gran diferencia de comportamiento en flexión (Figura 8.1.11.) y compresión en el plano perpendicular al tablero (Figura 8.1.10.). Los resultados en compresión en el plano del tablero son más parejos. Mientras que en los de madera la resistencia a flexión obtenida se sitúa sobre los 9 N/mm², en los de posidonia es de 1.5 N/mm². En compresión paralela al tablero, los resultados, tanto en un material como en otro, se sitúan en los 6.5 N/mm².

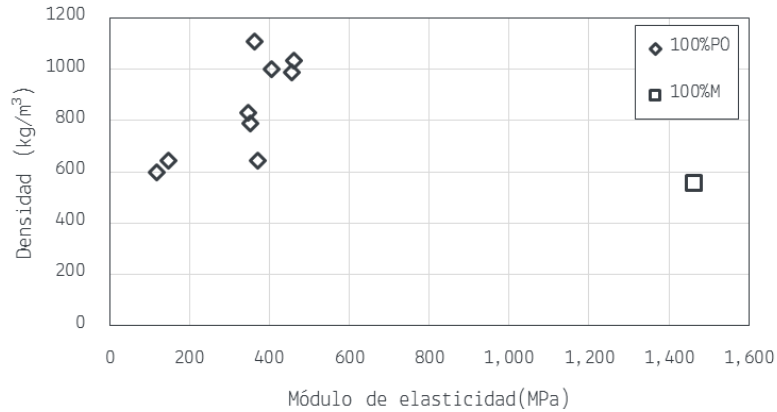


Figura 8.1.12. Módulo de elasticidad en función de la densidad.

Las mayores diferencias aparecen en los valores de los módulos de elasticidad (Figura 8.1.12.): en la madera se sitúan en valores de 1500 N/mm^2 y en el tablero de posidonia en 350 N/mm^2 , en valores de compresión en el plano del tablero. Como se ha comentado antes, debido al uso del poliuretano en los tableros de posidonia. Los tableros de partículas utilizados están conformados usando como adhesivo el fenol-formaldehído.

Por último, en la figura 8.1.13 se observa el carácter reológico del material durante el proceso de ensayo E_{1E} para la obtención del módulo de elasticidad de la probeta 8. En ella se aprecia cómo, al mantener la carga (dos escalones), el movimiento persiste, siendo más significativo en el segundo escalón que corresponde a una carga mayor.

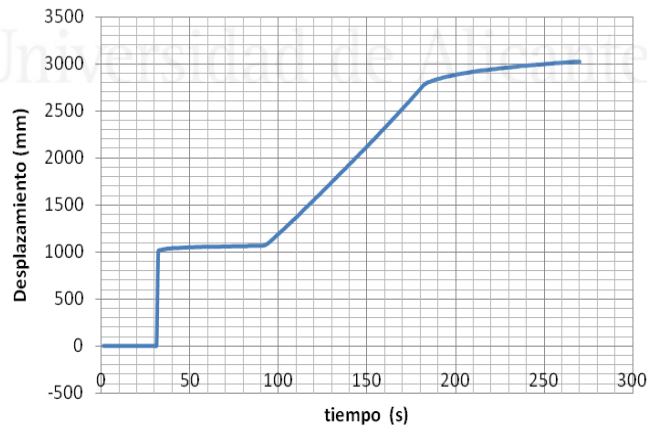


Figura 8.1.13. Comportamiento viscoelástico del material.

8.2.- ESTUDIO 2: Caracterización del nuevo material. Estudio propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica

El objetivo de partida de este estudio es doble, estando enfocado por una parte a la valoración de la viabilidad de un uso combinado de la posidonia oceánica y las fibras de madera para la obtención de un material compuesto mejorado. Y por otra parte se pretende evaluar la influencia del tipo de adhesivo empleado, a fin de optimizar la dosificación del mismo para alcanzar las prestaciones mecánicas deseadas.

Debido a estos dos planteamientos iniciales, la discusión siguiente se desglosará, de forma sistemática, ordenando los resultados por cada tipo de adhesivo (PU o MDI), y por cada dosificación entre fibras vegetales (masa posidonia respecto masa madera). Como parámetros adicionales de estudio, se han considerado la tensión y tiempo de curado, variables que sólo se han estudiado para determinadas condiciones fijas de dosificación de fibras y resina.

A modo de resumen se han incluido los resultados y dosificaciones distintas empleadas en el presente estudio en las tablas 8.2.1 y 8.2.2, correspondiéndose la primera a las muestras que utilizaron MDI, un adhesivo con isocianatos, como matriz, y la segunda a aquellos tableros con PU. En ambas tablas se han incluido los valores medios y desviaciones estándar de todos los ensayos en que ha sido posible la medida de cada propiedad. Al igual que en el estudio preliminar, algunas dosificaciones no consiguieron llegar a ser ensayables por falta de resina o presión durante el curado de ésta.

Tabla 8.2.1. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados con MDI, se muestra el valor medio \pm desviación estándar. Las propiedades marcadas con - no pudieron ser ensayadas

Resina (%masa fibra)	Fibras (%PO/%Pino)	σ curado (MPa)	tcurado (h)	Densidad (g/cm ³)	Rcomp (MPa)	E (MPa)
MDI 10%	100/0	3	2	-	-	-
MDI 10%	100/0	3	3	0.633	0.99	308.1
MDI 15%	100/0	5	3	0.514	-	-
MDI 15%	100/0	2.5	3	0.629 \pm 0.078	1.16 \pm 0.54	346 \pm 117
MDI 20%	100/0	2	6	0.698	1.73	392.2
MDI 20%	100/0	2	3	0.663 \pm 0.066	1.66 \pm 0.41	416.3
MDI 20%	100/0	2.5	3	0.872 \pm 0.129	2.21 \pm 0.55	577.6 \pm 311.7
MDI 25%	100/0	3	3	0.823	3.16	497.3
MDI 25%	100/0	3	2	0.672	-	-
MDI 30%	100/0	2	3	0.797 \pm 0.005	2.44 \pm 0.50	409.4 \pm 104.5
MDI 30%	100/0	2.5	3	0.761 \pm 0.022	1.40 \pm 0.36	397.2 \pm 130.4
MDI 30%	100/0	4	3	0.996	3.24	620.1
MDI 40%	100/0	1.25	3	0.600	-	-
MDI 15%	75/25	4	3	0.949 \pm 0.051	1.62 \pm 0.66	522.5 \pm 239.6
MDI 20%	75/25	4	3	0.930 \pm 0.006	3.88 \pm 1.10	893.0 \pm 161.5
MDI 30%	75/25	4	3	0.992 \pm 0.009	4.46 \pm 0.89	1240.9 \pm 369.2
MDI 15%	50/50	4	3	0.880 \pm 0.034	2.33 \pm 0.75	674.4 \pm 171.0
MDI 20%	50/50	4	3	0.932 \pm 0.006	4.05 \pm 0.95	1144.8 \pm 159.6
MDI 30%	50/50	4	3	0.994 \pm 0.038	4.27 \pm 0.95	770.8 \pm 440.7
MDI 15%	25/75	4	3	0.855 \pm 0.040	3.12 \pm 0.45	808.0 \pm 260.6
MDI 20%	25/75	4	3	0.861 \pm 0.005	3.64 \pm 1.13	889.5 \pm 187.6
MDI 30%	25/75	4	3	0.924 \pm 0.003	4.22 \pm 0.55	942.4 \pm 162.5
MDI 60%	25/75	1.25	3	0.741	-	-
MDI 20%	0/100	4	3	0.742 \pm 0.002	3.09 \pm 0.26	739.3 \pm 126.3
MDI 30%	0/100	4	3	0.834 \pm 0.045	5.93 \pm 1.16	1053.3 \pm 278.7
MDI 40%	0/100	4	3	0.861 \pm 0.003	7.69 \pm 1.58	989.5 \pm 53.5

Tabla 8.2.2. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados con PU, se muestra el valor medio \pm desviación estándar. Las propiedades marcadas con - no pudieron ser ensayadas

Resina (%masa fibra)	Fibras (%PO/%Pino)	σ curado (MPa)	tcurado (h)	Densidad (g/cm ³)	Rcomp (MPa)	E (MPa)
PU 15%	100/0	2.5	6	-	-	-
PU 20%	100/0	2.5	6	0.600	-	-
PU 30%	100/0	2.5	6	0.676	-	-
PU 40%	100/0	1.25	6	0.720	-	-
PU 60%	100/0	2.5	6	1.345	-	-
PU 15%	75/25	3.75	6	0.825 \pm 0.223	2.08 \pm 0.04	461.6 \pm 41.4
PU 20%	75/25	3.75	6	0.878 \pm 0.209	2.89 \pm 0.23	668.3 \pm 219.8
PU 30%	75/25	3.75	6	0.951 \pm 0.205	3.30 \pm 0.17	726.1 \pm 395.2
PU 40%	75/25	3.75	6	1.019 \pm 0.210	5.71 \pm 3.22	582.5 \pm 182.4
PU 50%	75/25	3.75	6	1.049 \pm 0.253	5.21 \pm 1.18	543.6 \pm 68.6
PU 15%	50/50	3.75	6	0.858 \pm 0.056	2.92 \pm 0.02	595.5 \pm 229.5
PU 20%	50/50	3.75	6	0.793 \pm 0.089	3.69 \pm 0.87	669.1 \pm 237.0
PU 30%	50/50	3.75	6	0.877 \pm 0.178	3.93 \pm 1.45	542.7 \pm 314.2
PU 40%	50/50	3.75	6	0.990 \pm 0.113	6.71 \pm 1.44	896.7 \pm 36.1
PU 50%	50/50	3.75	6	1.054 \pm 0.302	4.38 \pm 1.38	535.4 \pm 82.3
PU 15%	25/75	3.75	6	0.831 \pm 0.086	2.01 \pm 0.10	516.9 \pm 57.4
PU 20%	25/75	3.75	6	0.814 \pm 0.165	3.47 \pm 1.40	588.9 \pm 193.8
PU 30%	25/75	3.75	6	0.900 \pm 0.134	4.06 \pm 0.77	795.5 \pm 421.4
PU 40%	25/75	3.75	6	0.954 \pm 0.201	6.32 \pm 2.22	849.8 \pm 554.5
PU 50%	25/75	3.75	6	0.955 \pm 0.140	6.56 \pm 1.15	814.5 \pm 560.3
PU 60%	25/75	1.25	3	0.779	-	-
PU 10%	0/100	3.75	6	0.734 \pm 0.001	2.63 \pm 0.34	527.5 \pm 0.6
PU 20%	0/100	3.75	6	0.795 \pm 0.002	2.59 \pm 0.78	409.9 \pm 123.5
PU 30%	0/100	3.75	6	0.848 \pm 0.004	3.96 \pm 0.07	528.8 \pm 91.6

8.2.1. Influencia de la dosificación del adhesivo

En primer lugar se representarán por separado los resultados obtenidos para cada tipo de resina, PU o MDI, independientemente de la dosificación relativa de fibras de posidonia y madera. De esta manera se pretende determinar, en un análisis preliminar, la mejora de prestaciones mecánicas de una u otra matriz polimérica.

Durante toda la discusión se estudiarán por separado la densidad, y la resistencia a compresión y módulo de elasticidad en la dirección del plano del panel. Posteriormente se tratará de determinar alguna correlación entre dichas propiedades. Los resultados representados se corresponden con los valores medidos para cada muestra de forma individual, en posteriores análisis se agruparán los resultados según sus valores medios y dispersiones. O incluso se agruparán los resultados en función de otros de los parámetros modificados durante la ejecución, como por ejemplo, las condiciones de tensión y duración de curado o el espesor de fabricación de los paneles.

Tableros realizados con PU

En primer lugar, en la figura 8.2.1 se han representado los valores de densidad de las probetas fabricadas en función de la cantidad de poliuretano empleada, expresada como porcentaje en masa de la totalidad de fibras (posidonia más pino). Como tendencia general puede afirmarse que un mayor contenido en poliuretano lleva a densidades mayores del material compuesto. La densidad varió entre unos 0.6 y 1.3 g/cm³, para valores concretos de alguna dosificación puede consultarse la tabla 8.2.2 o las fichas individuales del Anejo 2. Como valor de referencia puede retomarse la densidad de los tableros de madera ensayados en el primer estudio que fue de 0.555 g/cm³, ligeramente inferior a la

densidad mínima conseguida con resina de poliuretano.

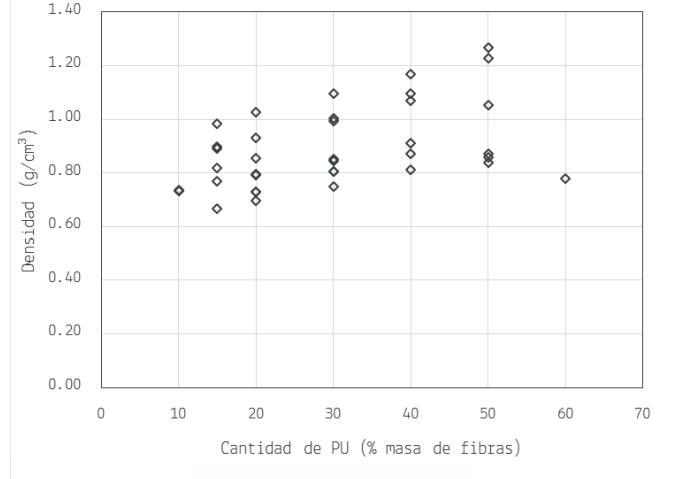


Figura 8.2.1. Relación entre la densidad y la dosificación de PU del material compuesto.

Adicionalmente, para una dosificación fija de resina, se observa una dispersión grande de resultados, variando los valores de cada categoría en un intervalo de amplitud aproximada 0.4 g/cm^3 . Este hecho se debe a las distintas condiciones tanto de fabricación, como de dosificación específica de fibras vegetales, ya que este primer acercamiento no discrimina entre materiales con distintas proporciones de madera/posidonia, como se detallará posteriormente.

Pasando a comentar los resultados sobre resistencia a compresión de los paneles, la figura 8.2.2 muestra de nuevo los valores individuales de resistencia en función de la cantidad de poliuretano. En este caso la variación global de resultados va desde resistencias de apenas 2 N/mm^2 hasta valores de 8 N/mm^2 . De nuevo la tendencia general es a un aumento de resistencias conforme se incrementa la dosificación de resina. Sin embargo, aquí parece registrarse una cantidad óptima de poliuretano en torno al 40% de la masa de fibras vegetales, aunque se realizará un análisis más detallado en apartados posteriores.

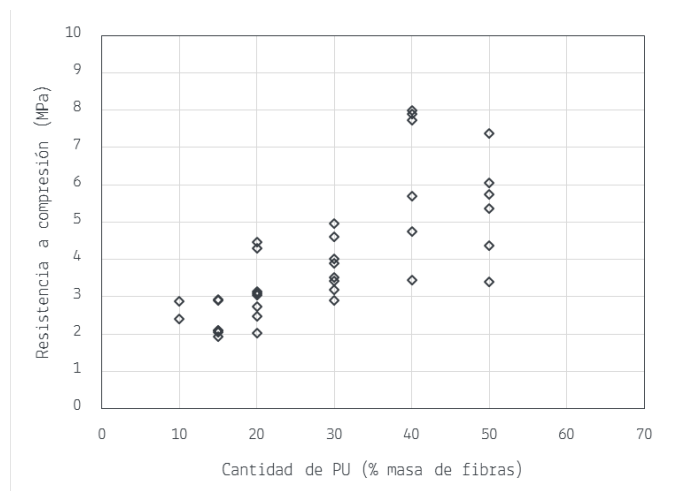


Figura 8.2.2. Relación entre la resistencia a compresión y la dosificación de PU del material.

La figura 8.2.3 representa los resultados de módulo de elasticidad frente a las dosificaciones de poliuretano del compuesto. A diferencia de los dos casos anteriores, no puede apreciarse ninguna tendencia creciente en lo referido a la rigidez del material, oscilando el módulo de Young entre 300 y 1200 N/mm². Sin embargo, sí se detecta un aumento en la dispersión de resultados conforme se incrementa la cantidad de poliuretano, lo que parece indicar que en este parámetro serán más determinante otras variables como la dosificación relativa de fibras, como se analizará posteriormente.

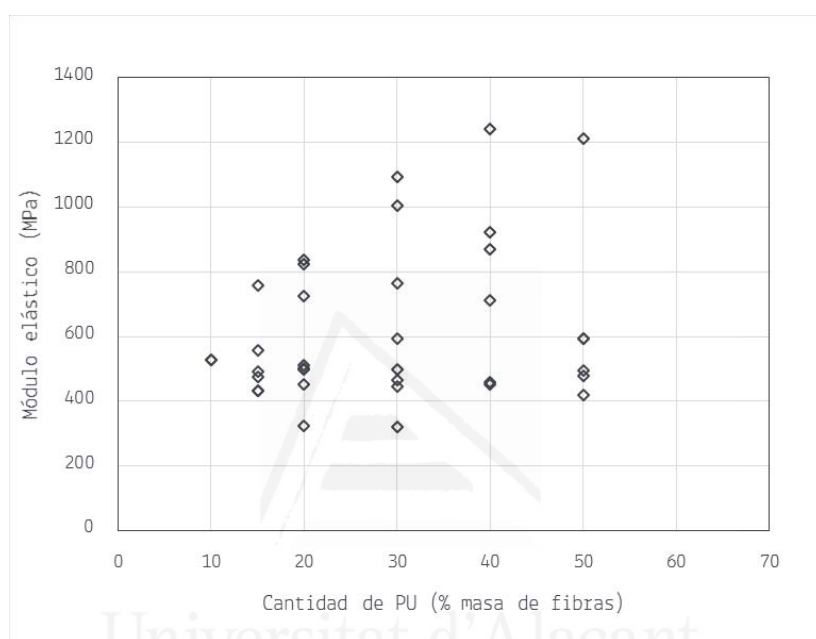


Figura 8.2.3. Relación entre el módulo de elasticidad y la dosificación de PU del material.

Tableros realizados con MDI.

A continuación se analizarán la evolución de propiedades mecánicas de las probetas que contenían una resina de poliuretano con isocianatos (MDI). La figura 8.2.4 incluye los valores de densidad para las probetas con matriz de MDI, en función de la dosificación en masa de esta resina, con respecto a la masa total de fibras de posidonia más fibras de madera de pino. En este caso, salvo pequeñas excepciones, vuelve a verse una tendencia general creciente, es decir, a mayor cantidad de resina mayor densidad del conjunto. En este punto es necesario recordar la mayor densidad de los componentes de esta resina, que están entre 1.3 y 1.5 g/cm³, valores superiores a la densidad de las fibras vegetales, con lo que parece lógico que una mayor cantidad de MDI aumente la densidad del conjunto. No existen prácticamente datos para probetas con elevadas cantidades de resina, al no tener muestras ensayables debido a problemas con el curado de las muestras con esta dosificación.

Por último, conviene resaltar que la mayor parte de probetas se encuentra en el intervalo entre 0.9 y 1 g/cm³, y que las densidades mínimas conseguidas son del mismo orden, incluso inferior 0.51 g/cm³, que la de los paneles de madera del primer estudio.

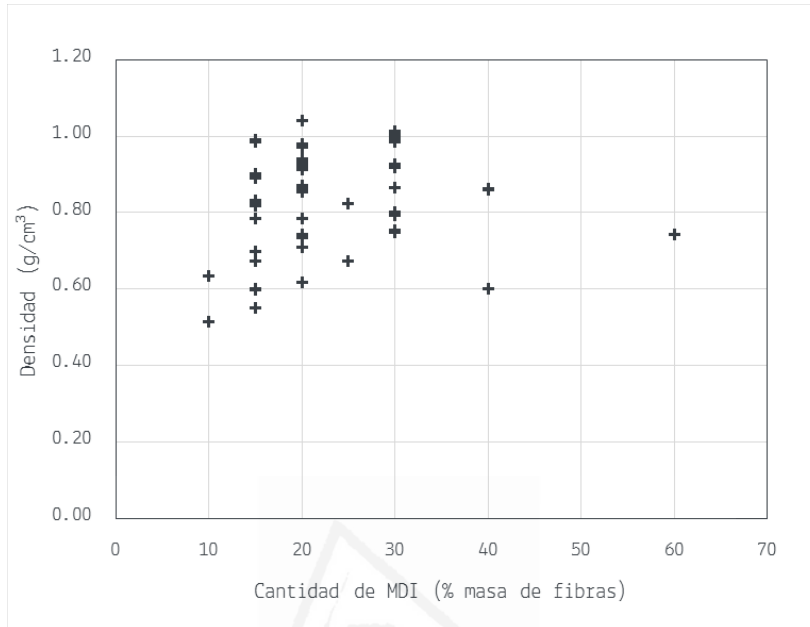


Figura 8.2.4. Relación entre la densidad y la dosificación de MDI del material compuesto.

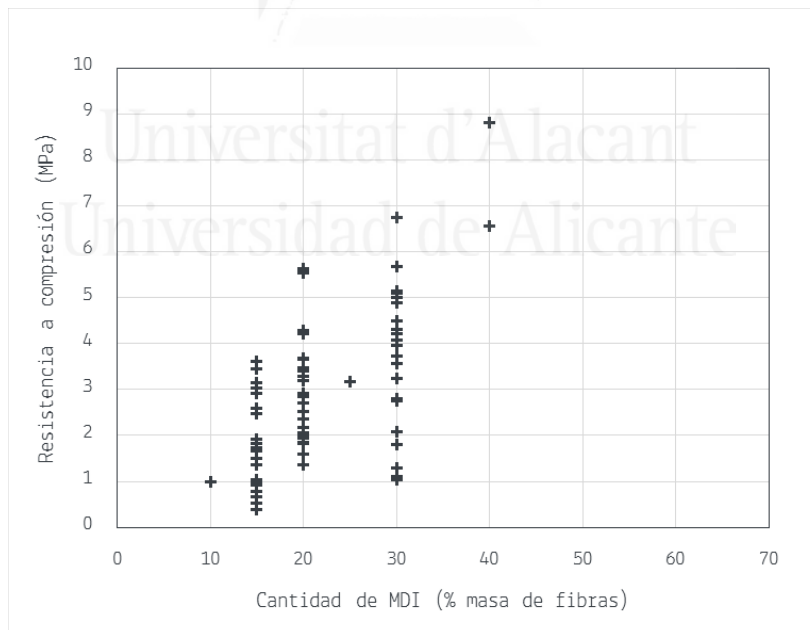


Figura 8.2.5. Relación entre la resistencia a compresión y la dosificación de MDI del material.

La figura 8.2.5 representa las resistencias a compresión en función de la dosificación en masa de MDI, con respecto a la masa total de fibras vegetales. El intervalo de variación en este caso se amplía, oscilando la resistencia entre prácticamente nula ($< 1 \text{ N/mm}^2$), y hasta alcanzar casi los 9 N/mm^2 . De nuevo la variación de resultados es enorme, si no se hacen más diferenciaciones que la fracción másica correspondiente a la matriz. Valga de ejemplo la serie con una cantidad de MDI del 30% de la masa de fibras, en la que las resistencias abarcan valores entre 1 y 7 N/mm^2 .

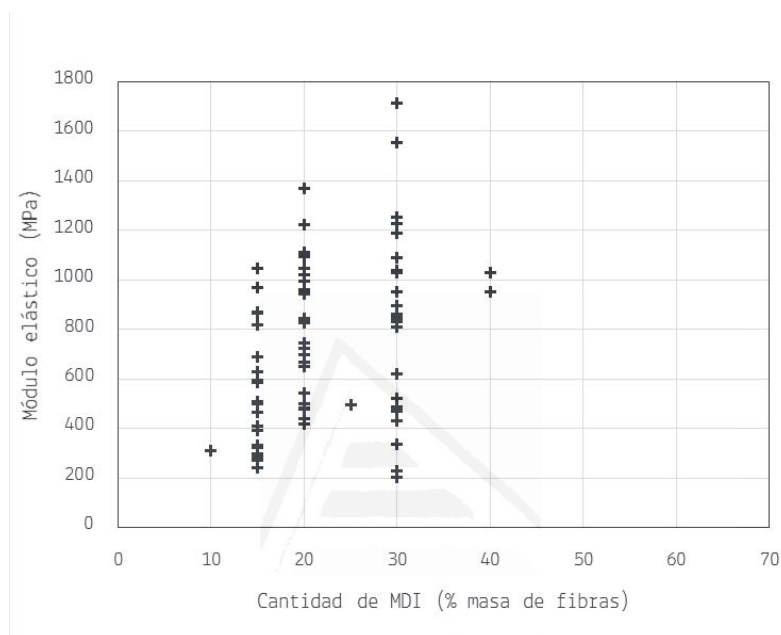


Figura 8.2.6. Relación entre el módulo de elasticidad y la dosificación de MDI del material.

Por último en este apartado, los valores de módulo de elasticidad en función de la cantidad de MDI se han representado en la figura 8.2.6. A pesar de verse una ligera tendencia creciente, los resultados variaron entre 200 y 1700 N/mm^2 . Por lo que, de nuevo, se requerirán análisis más detallados en lo relativo a este parámetro mecánico. Al igual que en la resistencia a compresión, la serie con mayor variabilidad vuelve a ser la del 30% de MDI.

Comparativa entre tableros fabricados con PU y MDI.

Como último punto de este primer acercamiento a la influencia del tipo y cantidad de resina en las propiedades de los tableros, se va a proceder a comparar los resultados conseguidos con ambas resinas. Y adicionalmente, se cruzarán los resultados de diferentes propiedades entre sí para tratar de detectar las posibles correlaciones entre ellas.

Siguiendo el mismo orden usado anteriormente, la figura 8.2.7 compara las densidades de cada probeta en función de la cantidad de MDI o PU respectivamente. Para cada serie se ha realizado un ajuste mediante mínimos cuadrados de una función lineal, incluyéndose las respectivas ecuaciones del ajuste así como el coeficiente de correlación r^2 .

En ambos casos los ajustes no resultan significativos, ya que debido a la dispersión, al no filtrar resultados por tipo de fibras, los valores del coeficiente de correlación son inferiores a 0.21. En cualquier caso, sí se ve reflejada la tendencia creciente comentada anteriormente, siendo el aumento de densidad mayor para el caso de las probetas con poliuretano. Sin embargo, la tendencia de la serie con MDI pudo verse afectada por los problemas aparecidos en las dosificaciones de resina mayores al 30%.

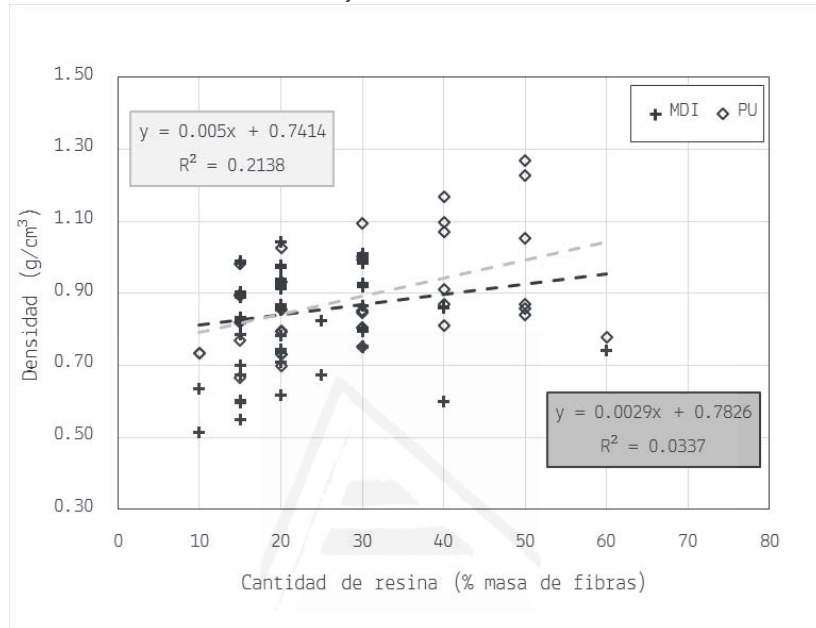


Figura 8.2.7. Relación entre la densidad y la dosificación de resina del material compuesto, diferenciando los dos tipos de matriz empleados, MDI o PU

En la figura 8.2.8 se han comparado los resultados de resistencias a compresión de ambas resinas en función de la cantidad de MDI o PU respectivamente. En este caso también se han incluido sendos ajustes lineales mediante mínimos cuadrados, con sus correspondientes ecuaciones y coeficientes de correlación r^2 . La relación entre dosificación de resina y resistencia a compresión resulta más significativa, como muestra el coeficientes de correlación mayor a 0.5 para las muestras con PU. Esta correlación sería ligeramente más representativa, estadísticamente hablando, si se ajustase una función polinómica de segundo grado (Figura 8.2.9), si existiese un máximo relativo como el que se indicaba anteriormente.

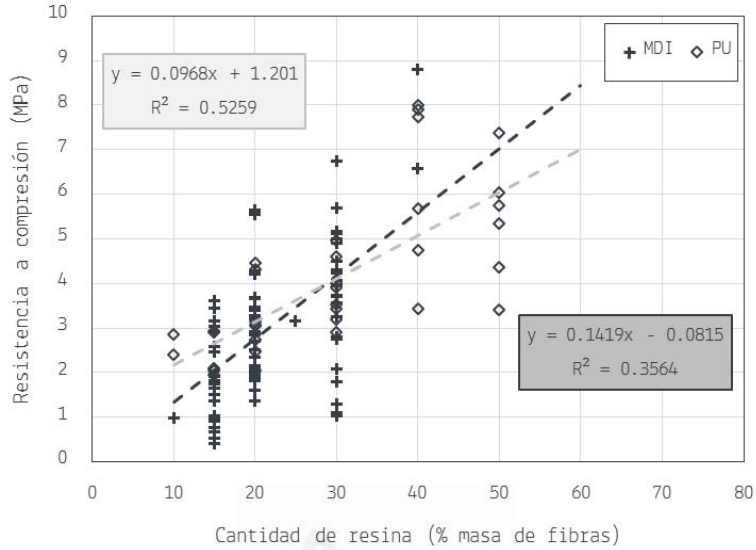


Figura 8.2.8. Relación entre la resistencia a compresión y la dosificación de resina del material compuesto, diferenciando los dos tipos de matriz empleados, MDI o PU.

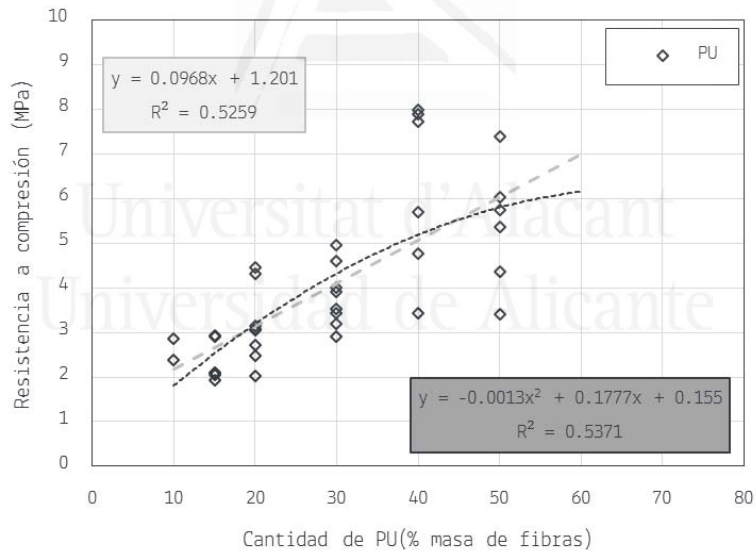


Figura 8.2.9. Distintos ajustes entre la resistencia a compresión y la dosificación PU.

En la figura 8.2.10 se comparan los resultados de módulos de elasticidad de ambas resinas en función de la cantidad de MDI o PU, de nuevo con sus correspondientes ecuaciones y coeficientes de correlación r^2 calculados en un ajuste de mínimos cuadrados. Ambas resinas presentan muy malas correlaciones con valores de r^2 que apenas alcanzan 0.1, confirmando la alta dispersión de módulos entre probetas de la misma dosificación de resina. En cualquier caso, la ligera tendencia creciente existente fue mayor en las probetas con MDI, que además fueron las más rígidas de las muestras ensayadas.

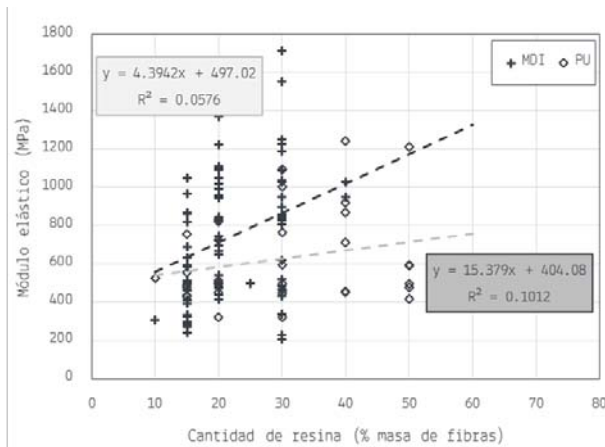


Figura 8.2.10. Relación entre el módulo elástico en compresión y la dosificación de resina del material compuesto, diferenciando los dos tipos de matriz empleados, MDI o PU

A continuación, se buscarán correlaciones cruzando los resultados de diferentes propiedades mecánicas, independientemente de la dosificación de resina fijada. En la figura 8.2.11 se han representado los valores de resistencia a compresión frente a los módulos elásticos para cada probeta de MDI o PU. Las ecuaciones mostradas se corresponden con un ajuste de mínimos cuadrados. En este caso, como se podía esperar, se ve una mejor correlación entre ambas propiedades, siendo las probetas con mayor resistencia las que presentaron mayor módulo de elasticidad. Y, para el caso de probetas con MDI, se llegó a un coeficiente de correlación próximo a 0.6.

Por último, también cabe destacar que la pendiente de ambas funciones es muy similar, por lo que puede deducirse que la influencia de la cantidad de resina es prácticamente independiente del tipo de resina empleado. Aunque las probetas de PU mostraron mayores resistencias a compresión para el mismo módulo de elasticidad, o lo que es lo mismo, las probetas con MDI se mostraron más rígidas para un mismo nivel de resistencia.

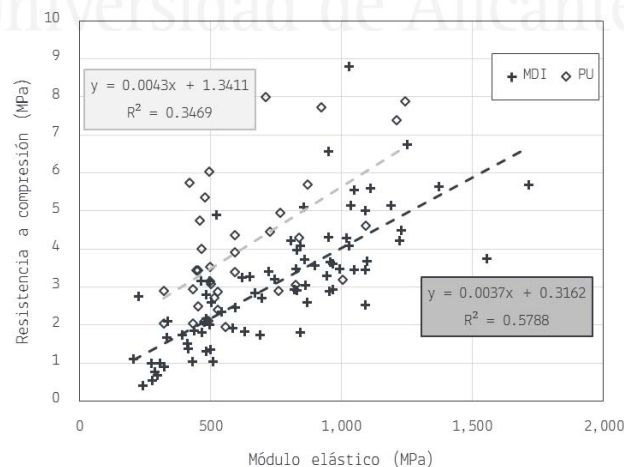


Figura 8.2.11. Correlación entre la resistencia y el módulo elástico en compresión para cada tipo de matriz empleada, MDI o PU.

La siguiente comparación se ha realizado con los datos de resistencia a compresión y densidad para todas las probetas ensayadas y fabricadas con MDI o PU respectivamente. Las ecuaciones y coeficientes de correlación incluidos se corresponden con ajustes de mínimos cuadrados realizados. Una vez más se confirman las hipótesis presentadas anteriormente, y un material con mayor densidad presenta, obviamente, una mayor resistencia a compresión. Aunque en probetas más densas la dispersión de resultados aumentó considerablemente, lo que se refleja en los bajos coeficientes de correlación calculados, de 0.25 como máximo.

Asimismo, también resulta destacable cómo se han conseguido probetas de menor densidad al emplear MDI, mientras que aquéllas con matriz de PU alcanzaron densidades mucho mayores. Aunque este aumento de compacidad no se vio reflejado en una mejora de resistencia. Por último, y de forma general, es reseñable el hecho de que, para una misma densidad en el intervalo $[0.7, 1.0]$ g/cm^3 , las muestras con PU mostraron una mayor resistencia a compresión, sin detrimento que de forma puntual la mayor resistencia observada fuese en una probetas con matriz de MDI.

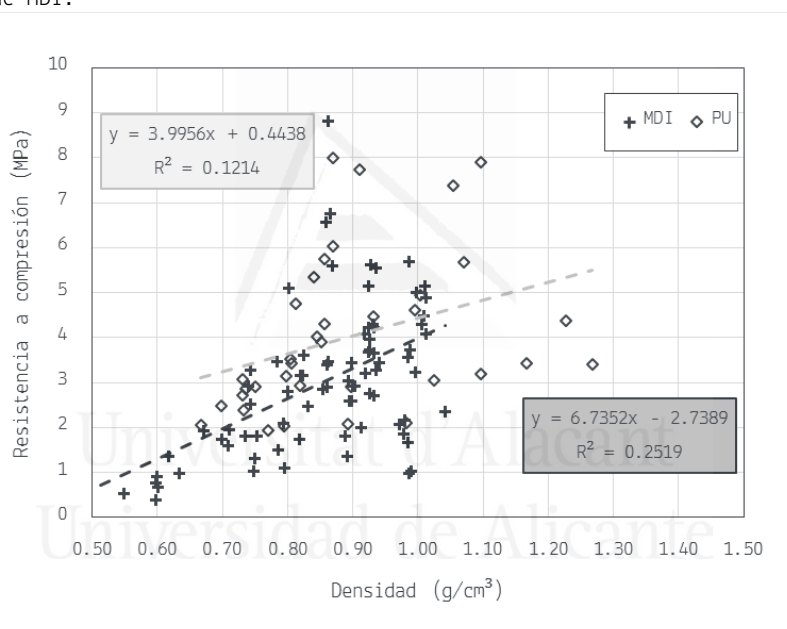


Figura 8.2.12. Correlación entre la resistencia a compresión y la densidad para cada tipo de matriz empleada, MDI o PU

Ya por último, en lo que este estudio general de la influencia del tipo de resina se refiere, la figura 8.2.13 incluye los valores de módulo de elasticidad frente a sus correspondientes densidades de cada una de las muestras ensayadas con matriz de PU o MDI. A la vista de las ecuaciones y coeficientes de correlación de los ajustes de mínimos cuadrados se ha reafirmado lo apuntado previamente para cada resina, siendo las probetas más densas las que mostraron una mayor rigidez. A pesar de que la dispersión de resultados se ve incrementada en gran medida para densidades elevadas (> 0.75 g/cm^3).

Comparando los resultados en el intervalo de densidades $[0.7, 1.0]$ g/cm^3 , la tendencia vista para la resistencia a compresión se invierte, siendo en este caso las muestras con MDI las que para una misma densidad mostraron una mayor rigidez que sus equivalentes en PU. Ya no sólo de forma puntual, llegando a

superar los 1500 MPa con una densidad próxima a la del agua, sino de forma generalizada durante todo el intervalo con valores sistemáticamente superiores a 1 GPa. Un último apunte destacable para el caso del PU, es que un exceso de densidad no garantiza una mayor rigidez, como muestran los resultados de las muestras con densidades por encima de 1.15 g/cm³ que no superaron los 600 MPa de módulo elástico, y resistencias ligeramente por encima de los 4 MPa.

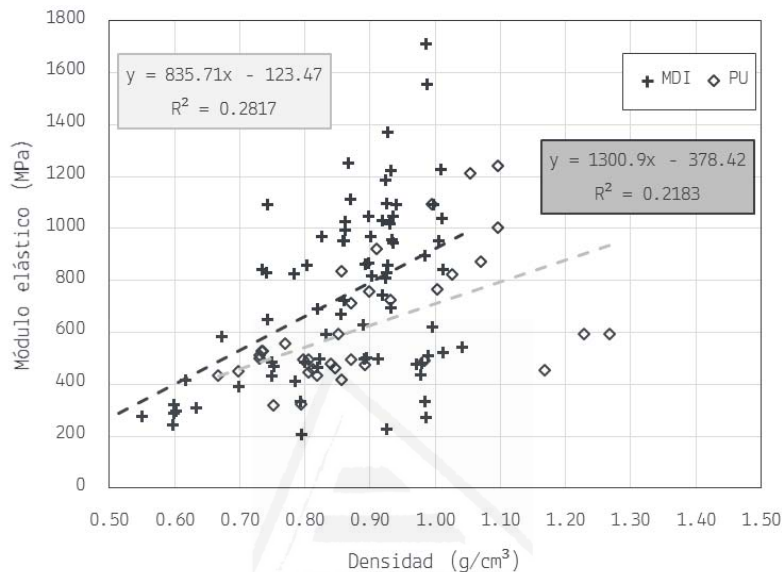


Figura 8.2.13. Correlación entre el módulo elástico en compresión y la densidad para cada tipo de matriz empleada, MDI o PU

A modo de resumen de este acercamiento a las propiedades de tableros compuestos por fibras vegetales, de madera y posidonia oceánica, y en lo relacionado con el tipo de resina empleada, PU o MDI, podemos afirmar que:

- De forma general, una mayor dosificación de cualquiera de las dos matrices se traduce en mayores valores de densidad, resistencia a compresión y módulo de elasticidad.
- En segundo lugar, para el mismo nivel de resistencia, las probetas con MDI presentaron una mayor rigidez, es decir, un módulo de elasticidad mayor.
- Y, por último, para una misma densidad las muestras con PU son más resistentes, mientras que las fabricadas con MDI mostraron un mayor módulo elástico.

8.2.2. Influencia de la dosificación de las partículas naturales

Una vez vistas las diferencias de carácter general entre ambas resinas, el siguiente parámetro a valorar es el efecto de la combinación de fibras de posidonia y madera. Por lo tanto, a continuación se representarán los resultados de propiedades mecánicas organizados por categorías en función de su dosificación posidonia/madera. Lógicamente, resultará necesario diferenciar a su vez la matriz empleada, MDI o PU, para poder realizar el análisis de forma correcta.

Tableros realizados con PU

Los resultados incluidos en este apartado pueden considerarse la continuación de los ensayos vistos durante el estudio preliminar. En la primera fase experimental únicamente se ensayaron probetas con posidonia oceánica, lo que se correspondería con los valores de la serie 100%PO de las siguientes gráficas. En este caso, y a diferencia de en las discusiones anteriores, se utilizarán los valores medios de todos los ensayos realizados sobre probetas con la misma dosificación.

En la figura 8.2.14 se representan los valores medios de densidad del material compuesto en función de la dosificación de resina empleada. Como regla general puede decirse que a mayor cantidad de resina la densidad del compuesto será mayor. Además, la cantidad de posidonia empleada también aumenta la densidad final del material. Ya que las muestras de menor densidad fueron las que sólo contenían fibras de madera, mientras que las más densas fueron las preparadas únicamente con posidonia.

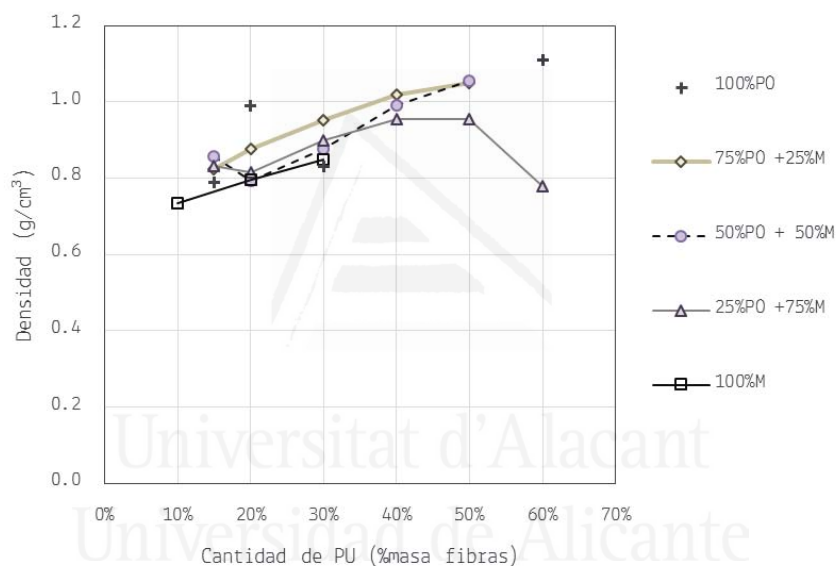


Figura 8.2.14. Densidad de tableros con PU, para diferentes dosificaciones posidonia-madera

En la figura 8.2.15 se muestran las resistencias a compresión medias del material compuesto en función de la dosificación de resina empleada. Al igual que sucedía para la densidad, existe una tendencia ascendente, de forma que mayores dosificaciones de resina son capaces de generar un material de mayor resistencia a compresión. Sin embargo, en este caso parece que existe una dosificación óptima, es decir, un exceso de PU no es capaz de mejorar la resistencia presentando incluso un ligero descenso de ésta. Este hecho sucede, para todas las series que combinan posidonia y madera, entre el 40 y 50% de resina (respecto de la masa de fibras totales).

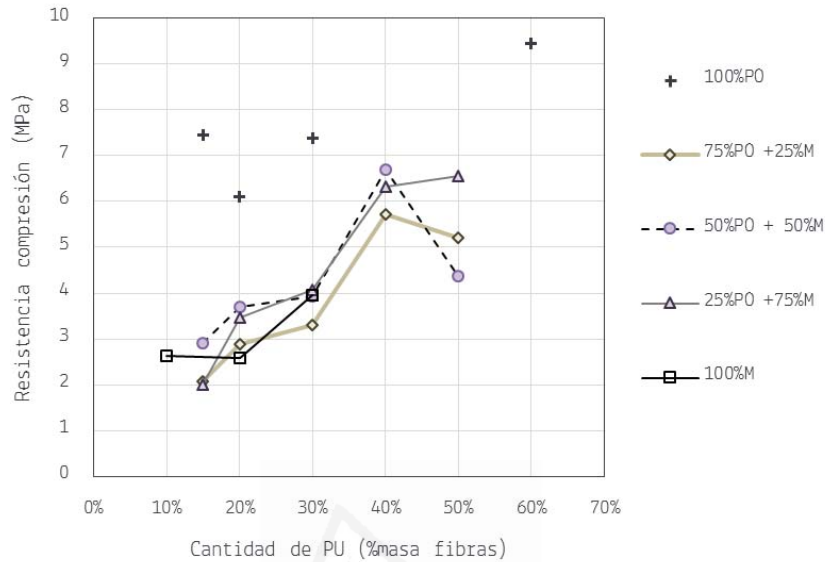


Figura 8.2.15. Resistencia a compresión en el plano del tablero con matriz PU, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

En la figura 8.2.16 se muestran los valores de módulo de elasticidad calculados a partir de las medidas de tensión y deformación durante los ensayos de rotura a compresión. En este caso, si bien sí parece existir una tendencia general a rigidizar el material conforme se aumenta la dosificación de poliuretano empleada, sin embargo existe mucha variabilidad en la evolución del módulo en cada cantidad de fibras.

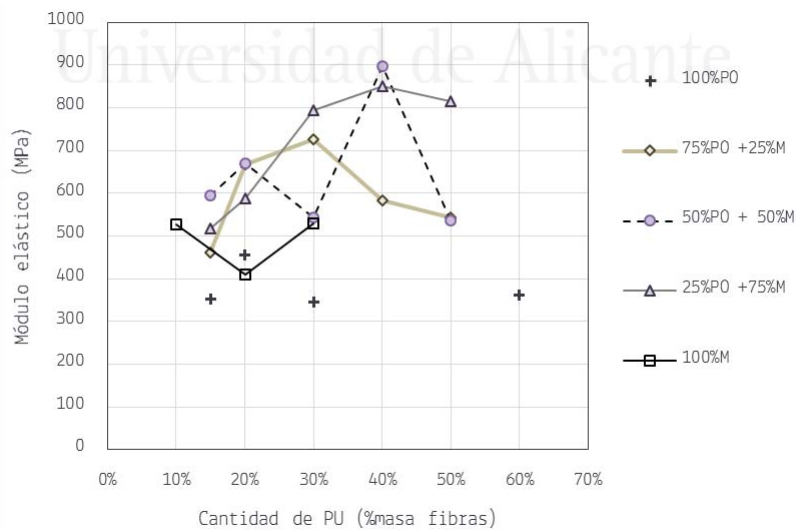


Figura 8.2.16 Módulo elástico en compresión de tableros con matriz PU, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

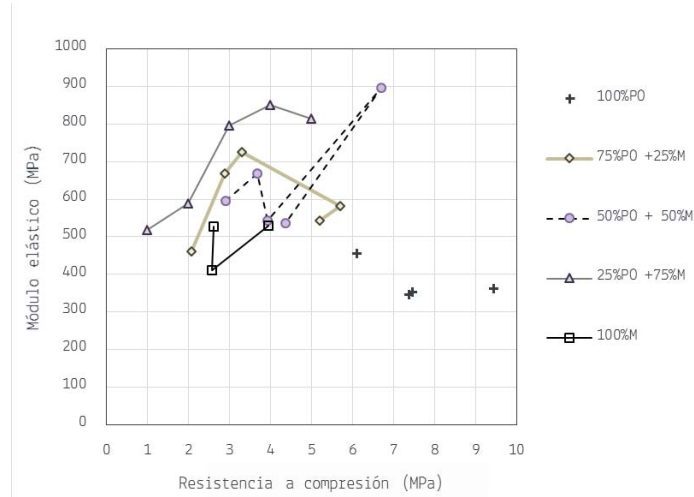


Figura 8.2.17. Relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión en tableros con matriz PU, para diferentes dosificaciones posidonia-madera

Análogamente a lo realizado en la discusión sobre la influencia del tipo de resina, a continuación se incluyen tres gráficas que tratarán de determinar las posibles correlaciones observadas entre las tres propiedades mecánicas medidas.

En primer lugar, en la figura 8.2.17 se representan, para las probetas con matriz de PU, los valores de módulo de elasticidad frente a la correspondiente resistencia a compresión para cada dosificación de fibras utilizada. Los valores de la serie con 100% posidonia reafirman lo observado anteriormente, donde las probetas con PU presentaban menor rigidez al aumentar la resistencia, que sus análogas con matriz de MDI. La serie que mostró un mejor comportamiento fue la que combinaba un 25% de fibras de posidonia con un 75% de fibras de pino. Con dicha dosificación la relación entre rigidez y resistencia fue prácticamente lineal, mostrando un módulo elástico máximo en torno a los 850 MPa.

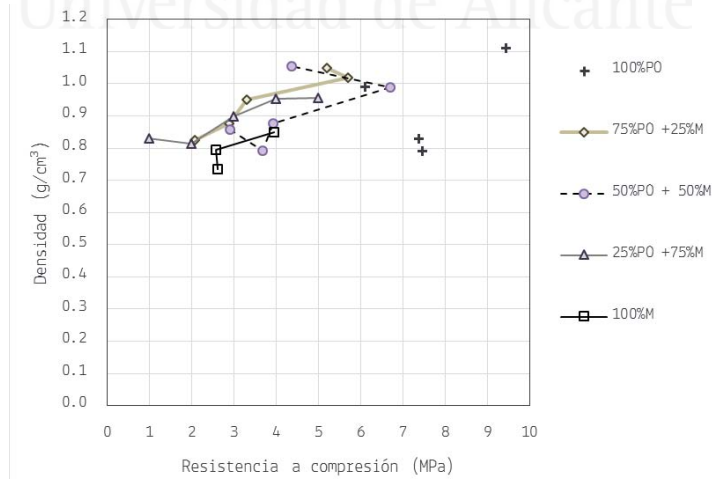


Figura 8.2.18. Relación entre la densidad y la resistencia a compresión en tableros con matriz PU, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

La figura 8.2.18 relaciona los resultados de resistencia a compresión con las densidades del material compuesto para cada dosificación de fibras en matriz de PU. De forma general, puede afirmarse que una mayor densidad resultará en una mejor resistencia a compresión, para una misma proporción posidonia/pino. Sin embargo, un exceso de resina, puede conllevar un aumento excesivo de densidad pero con un descenso de resistencia, como puede observarse en las series con relación posidonia/madera 1/1 y 3/1.

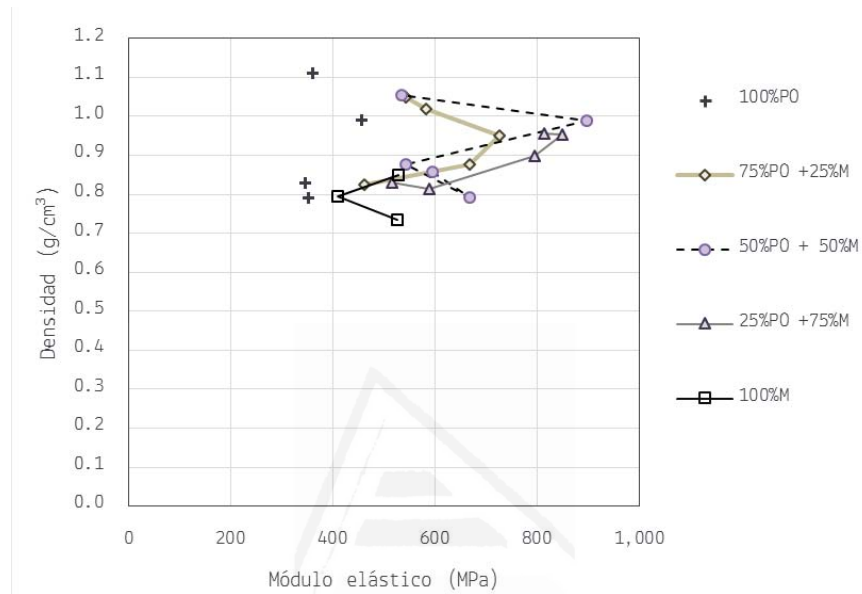


Figura 8.2.19. Relación entre la densidad y el módulo de elasticidad a compresión en tableros con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

Por último, en la figura 8.2.18 se representan los valores de densidad frente a los módulos elásticos de las probetas con matriz de PU, y para cada dosificación relativa de fibras. En este caso las series que combinan madera de pino y posidonia reciclada presentaron el mejor comportamiento, con una mejora del módulo de elasticidad conforme se incrementaba la densidad del material. Sin embargo aquí vuelve a ser perjudicial un exceso de resina, que termina provocando un aumento de densidad, pero con pérdida de prestaciones mecánicas, tanto rigidez como resistencia.

Tableros realizados con MDI.

Una vez vistos los resultados para las probetas anteriores, que completaban el estudio preliminar con resina de poliuretano, a continuación se verá la influencia de la sustitución relativa de madera por posidonia oceánica al emplear como matriz una resina con isocianatos. Al igual que en las gráficas anteriores, los valores representados se corresponden con la media aritmética de todos los ensayos realizados en diferentes probetas con la misma dosificación. Para más detalles sobre algún ensayo en particular pueden consultarse las fichas individuales incluidas en el anejo 2.

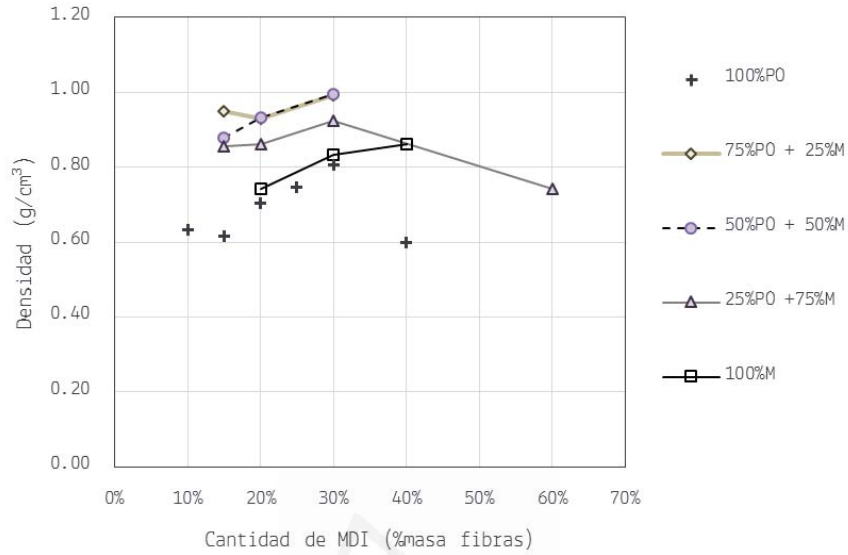


Figura 8.2.20. Densidad media de tableros con MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

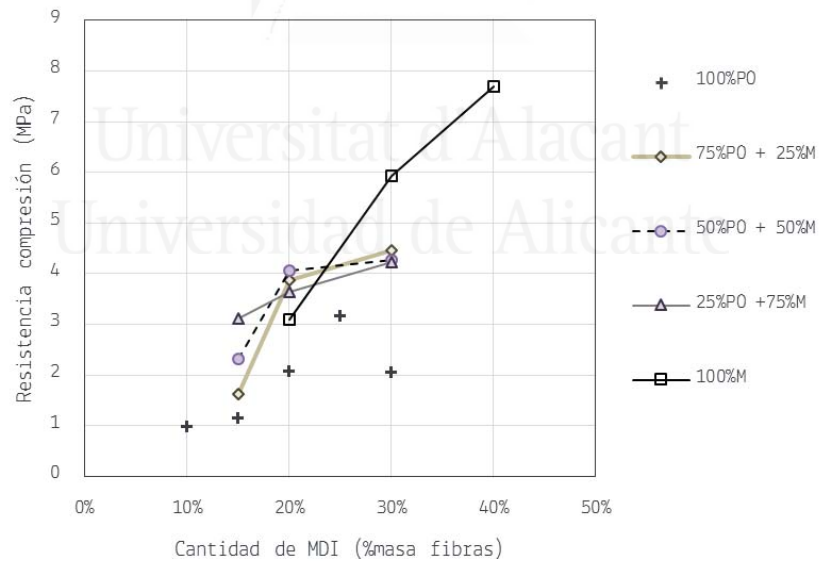


Figura 8.2.21. Resistencia a compresión en el plano del tablero con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera

La figura 8.2.20 incluye los valores medios de densidad en función de la cantidad de MDI y para las diferentes proporciones relativas de fibras en la muestra. Como regla general, al igual que sucede en las probetas con PU, una mayor dosificación de MDI resulta en una mayor densidad. Sin embargo, la variación de densidad es menor al utilizar MDI. Además, una cantidad excesiva de resina puede disminuir la densidad final del material. Exceptuando la serie con 100% de posidonia, a mayor sustitución de posidonia por madera, menor será la densidad obtenida en el compuesto. Es decir, las probetas con menor densidad llevaban toda la fibra de madera de pino, mientras que las más densas fueron las que el 75% de las fibras vegetales eran de posidonia y sólo el 25% de pino.

La figura 8.2.21 representa las resistencias a compresión medias en función de la dosificación de MDI, para cada relación posidonia/madera empleada. Si existe una tendencia general, en la que una mayor dosificación de MDI se traduce en una resistencia a compresión mayor. En este caso hay que destacar el comportamiento de los compuestos con 100% fibras de madera, que obtuvieron las mayores resistencias, con valores medios próximos a 8 MPa. En el lado opuesto, las dosificaciones con sólo posidonia obtuvieron las menores resistencias. En los casos intermedios, que combinan ambos tipos de fibra, prácticamente no hay diferencia en la resistencia si la cantidad de resina supera el 20% de la masa de fibras.

En tercer lugar, la figura 8.2.22 incluye los resultados medios de módulo de elasticidad en función de la cantidad de MDI y para las diferentes relaciones posidonia/madera en la muestra. De nuevo una mayor dosificación de resina en la muestra generalmente se traduce en un módulo elástico mayor, aunque en algunos casos un exceso de resina reduce la rigidez del material. Los valores menores de módulo de elasticidad se midieron sobre probetas únicamente con posidonia, mientras que las muestras más rígidas se consiguieron con una sustitución de sólo el 25% de la posidonia por pino.

A continuación se representarán las posibles correlaciones entre las anteriores propiedades mecánicas. En la primera de ellas, figura 8.2.23, se cruzan los datos de resistencia a compresión y módulo de elasticidad. Se puede apreciar una relación prácticamente lineal en todas las proporciones relativas de fibra. De forma que, al emplear una matriz de MDI, las muestras con mayor resistencia se realizaron completamente con madera, mientras que las de menor resistencia y rigidez eran sólo de posidonia. Sin embargo las probetas que combinaban un 50 o 75% de posidonia con madera alcanzaron al menos 4 MPa, con un módulo de elasticidad por encima de 1 GPa.

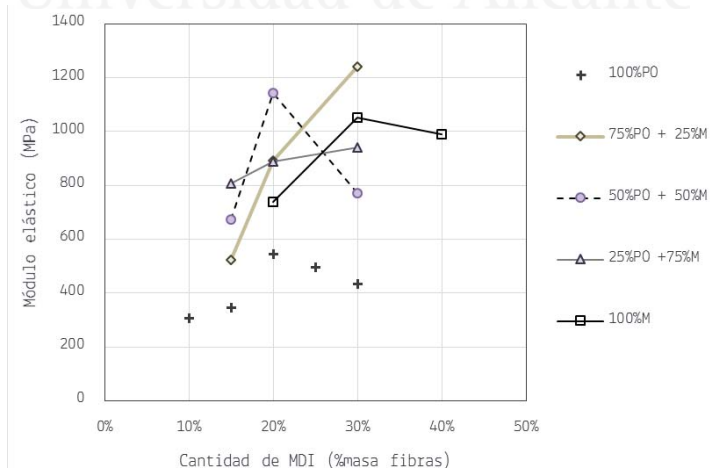


Figura 8.2.22. Módulo elástico en compresión de tableros con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

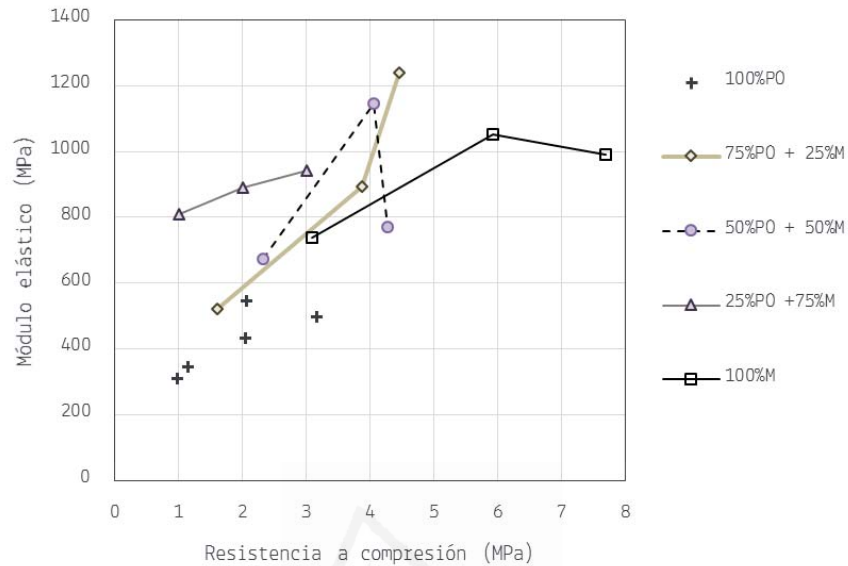


Figura 8.2.23. Relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión en tableros con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera

En la figura 8.2.24 se comparan los valores medios de densidad con las resistencias medias de dichas muestras de matriz MDI y diferentes proporciones entre fibras de posidonia y fibras de madera. Como ya se comentó anteriormente en varias ocasiones, a pesar de que de forma general para alcanzar una mayor resistencia es necesario fabricar un material más denso, en algunos casos esta condición no resulta suficiente. Este hecho se puede ver en todas las series con al menos el 50% de las fibras vegetales eran de posidonia, mientras que desaparece al poner una cantidad mínima de fibras de pino del 75%.

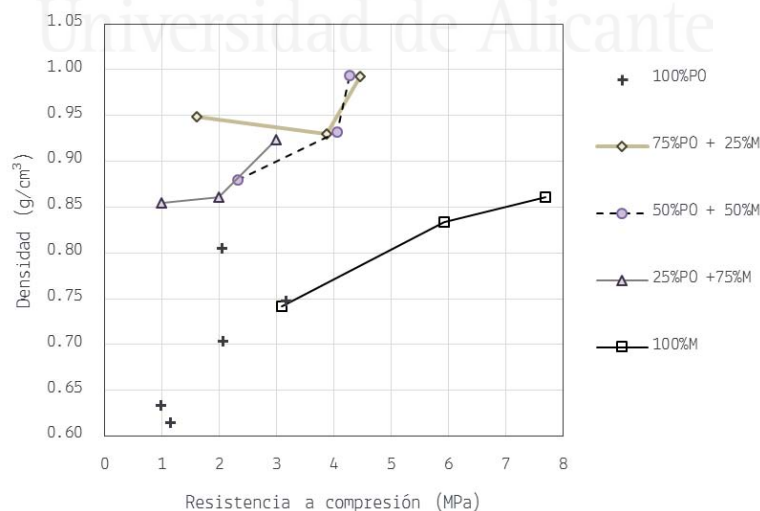


Figura 8.2.24. Relación entre la densidad y la resistencia a compresión en tableros con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera.

Por último, la figura 8.2.25 representa los valores medios de densidad en función del módulo elástico que presentaron las probetas de matriz MDI y diferentes dosificaciones de fibras. En este caso no puede establecerse ninguna correlación de manera clara entre ambos parámetros, salvo que en probetas con un solo tipo de fibra para una misma densidad las muestras de pino presentaron mayor rigidez que la posidonia. Sin embargo, al combinar ambas fibras la densidad del conjunto resultó mayor, aunque no necesariamente con un mayor módulo elástico, que sí se aproximó más a los niveles mostrados por las muestras de madera.

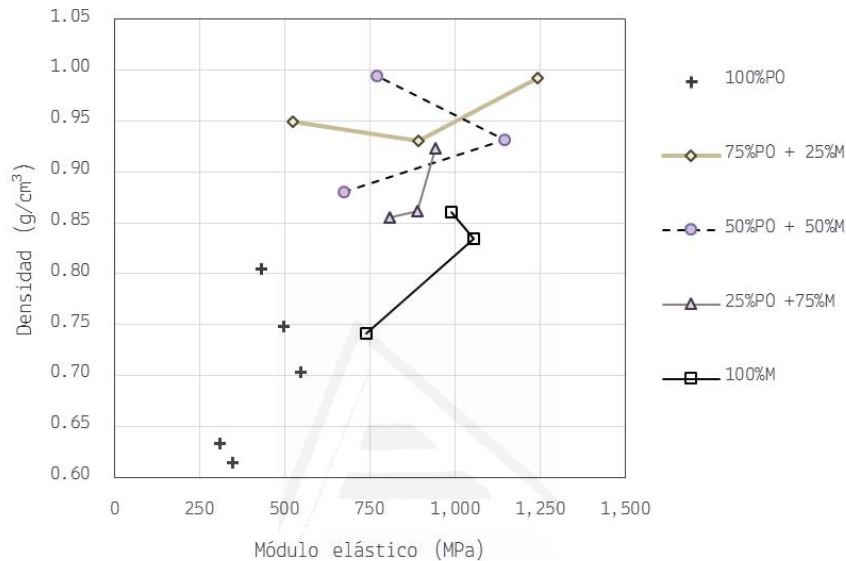


Figura 8.2.25. Relación entre la densidad y el módulo de elasticidad a compresión en tableros con matriz MDI, para diferentes dosificaciones posidonia-madera

8.2.3. Influencia de la dosificación relativa de partículas de madera en las prestaciones mecánicas

Una vez analizado de forma general el efecto de la proporción de fibras de posidonia frente a fibras de madera en el apartado anterior, a continuación se incluye una discusión más detallada del efecto de esta dosificación de fibras naturales en las prestaciones mecánicas de paneles conglomerados con distintas resinas actuando como matriz.

En primer lugar, las figuras 8.2.26 a 8.2.30 incluyen los valores individuales de densidad en función de las correspondientes dosificaciones de resina diferenciando el uso del PU o MDI como conglomerante, y para diferentes fracciones máxicas de fibras de posidonia-fibras de madera: 100%/0%; 75%/25%; 50%/50%; 25%/75% y 0%/100% respectivamente. Adicionalmente, se han realizado ajustes lineales por mínimos cuadrados de cada serie de probetas por separado, incluyéndose en las correspondientes gráficas tanto sus ecuaciones como coeficientes de correlación r^2 . Como comportamiento general, se observa en todas las gráficas la tendencia ya comentada que a mayor dosificación de resina mayor densidad del compuesto. En las dosificaciones que combinan ambos tipos de fibra la densidad de las muestras con MDI fue superior a las de sus equivalentes en PU. Esta tendencia se invierte en las muestras con sólo un tipo de fibra, bien sea 100% posidonia o 100% madera, siendo las muestras más densas las fabricadas con PU.

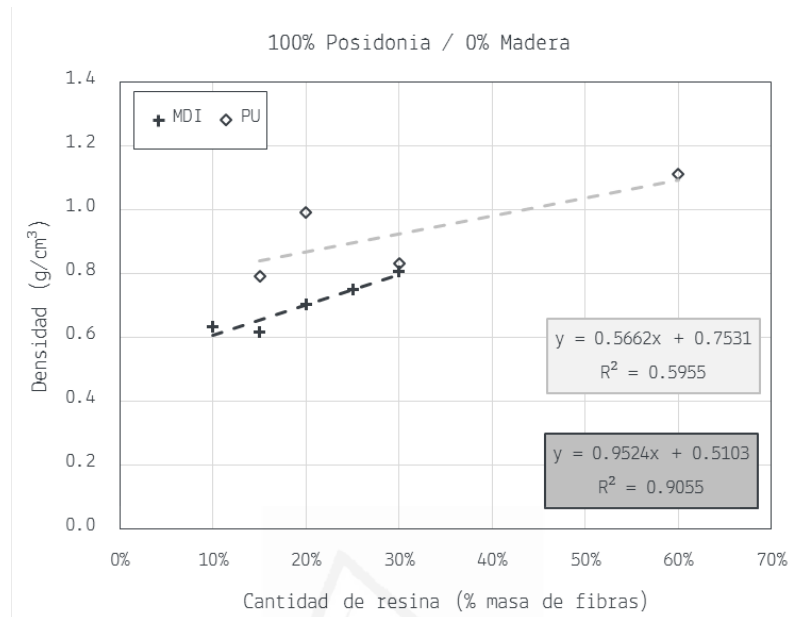


Figura 8.2.26. Densidad en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 100% PO - 0% M.

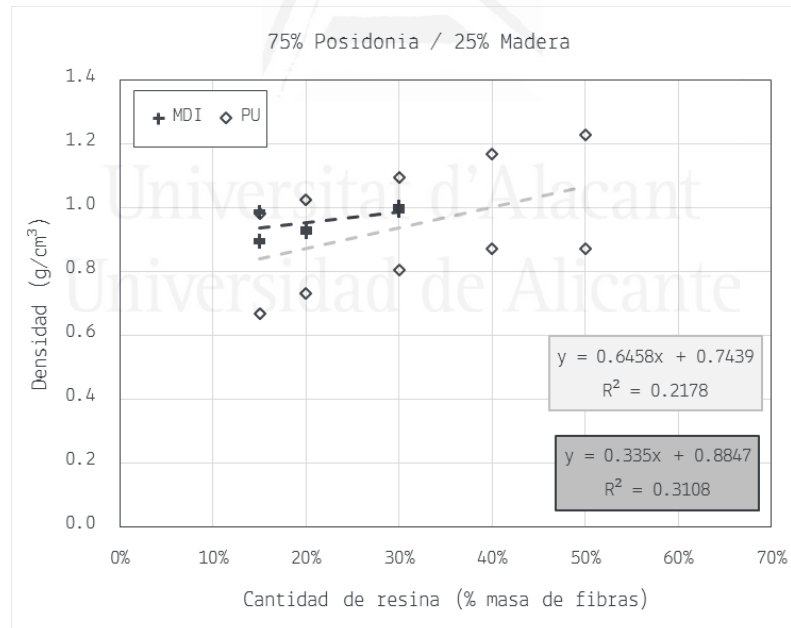


Figura 8.2.27. Densidad en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 75% PO - 25% M.

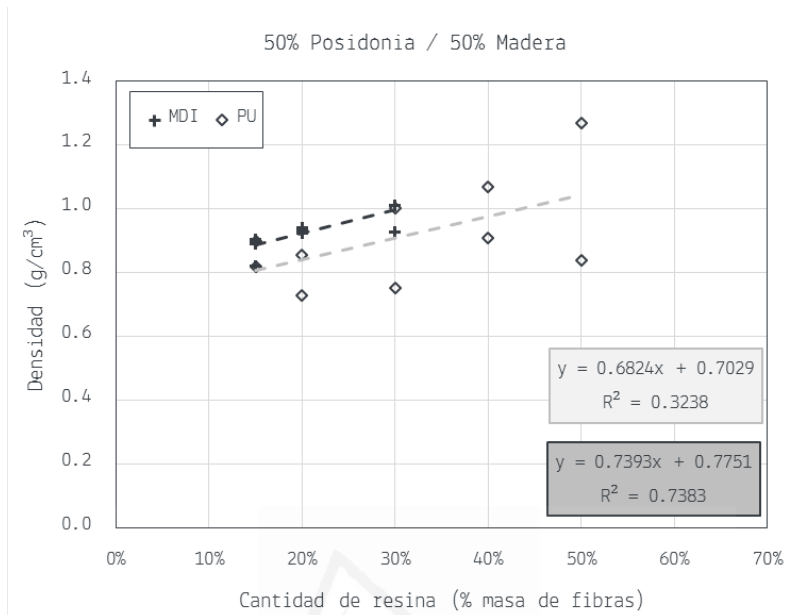


Figura 8.2.28. Densidad en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 50% PO - 50% M.

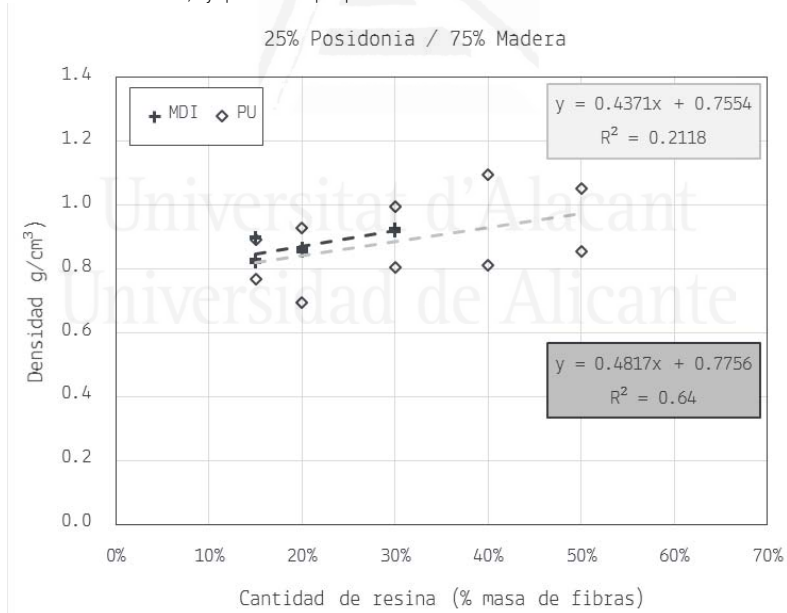


Figura 8.2.29. Densidad en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 25% PO - 75% M.

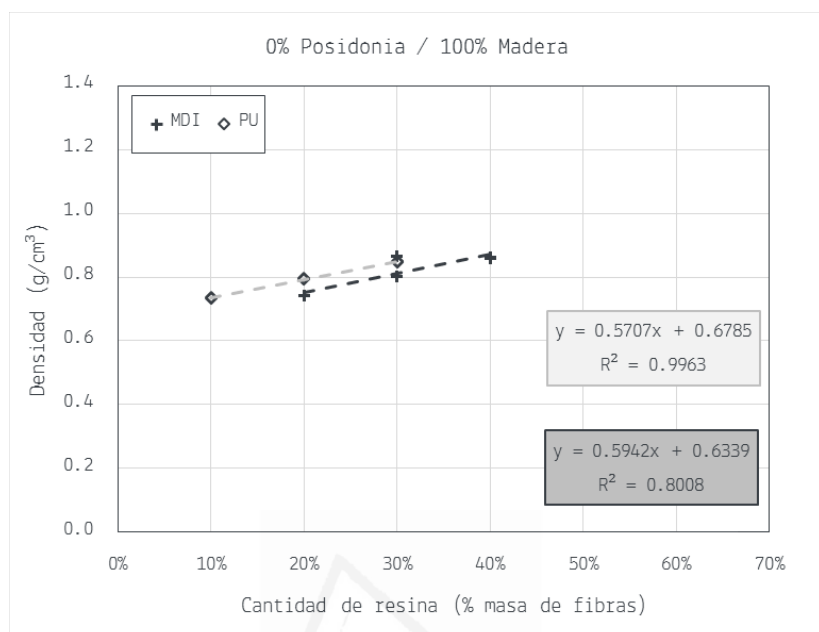


Figura 8.2.30. Densidad en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 0% PO - 100% M

En cualquier caso, las diferencias de densidad entre probetas de similar dosificación apenas varía por el tipo de resina empleada. Si bien, como ya se apuntó anteriormente, la cantidad máxima de resina admisible que pudo fabricarse con garantías fue mayor en el caso del PU.

La siguiente serie de gráficas representa de la misma forma la resistencia a compresión de cada muestra ensayada respecto de su dosificación de resina, MDI o PU, y diferencia cinco proporciones de fibras de posidonia-madera: 100%/0%; 75%/25%; 50%/50%; 25%/75% y 0%/100% que se incluyen en las figuras 8.2.31 a 8.2.35 respectivamente. Cada figura incluye dos funciones lineales y coeficientes de correlación obtenidos tras un ajuste por mínimos cuadrados. De nuevo el primer aspecto a diferenciar es si las probetas contienen un único tipo de fibra o por el contrario combina ambos materiales. En las probetas fabricadas totalmente en posidonia o madera, el tipo de resina tiene una mayor influencia en el resultado.

Por ejemplo, para el caso de 100% posidonia (Figura 8.2.31), las probetas con PU mostraron resistencias a compresión mucho mayores que las fabricadas con la misma cantidad de MDI. En ambos casos un aumento de resina mejoró la resistencia, y además en el caso del PU las muestras admitieron mayor dosificación de resina sin presentar problemas de curado.

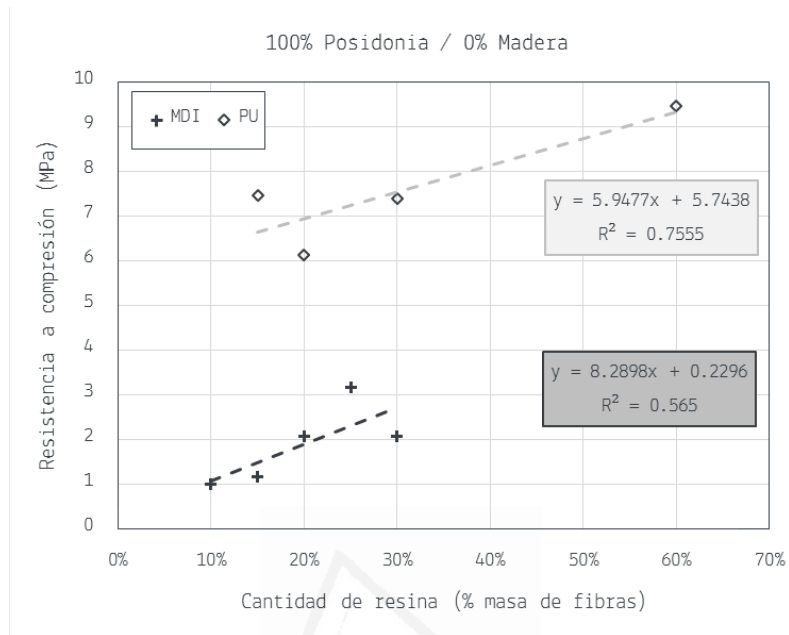


Figura 8.2.31. Resistencia a compresión en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 100% PO - 0% M

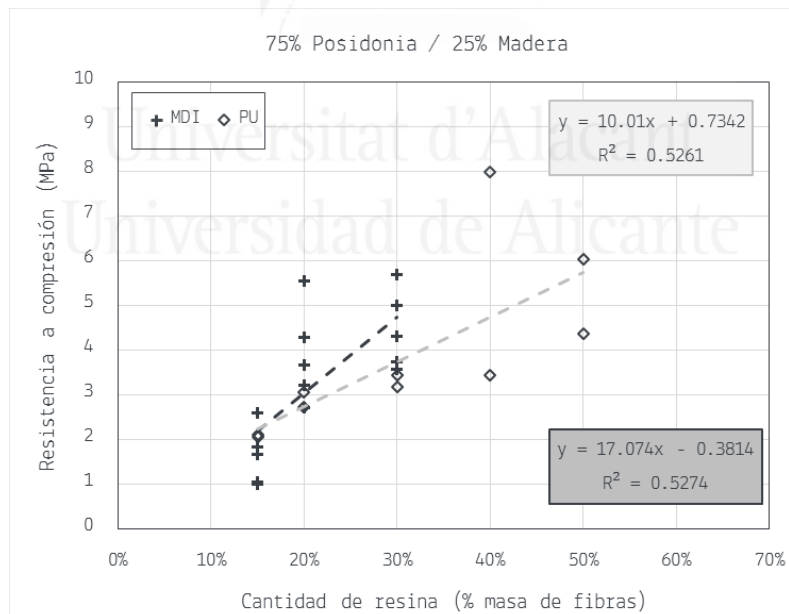


Figura 8.2.32. Resistencia a compresión en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 75% PO - 25% M.

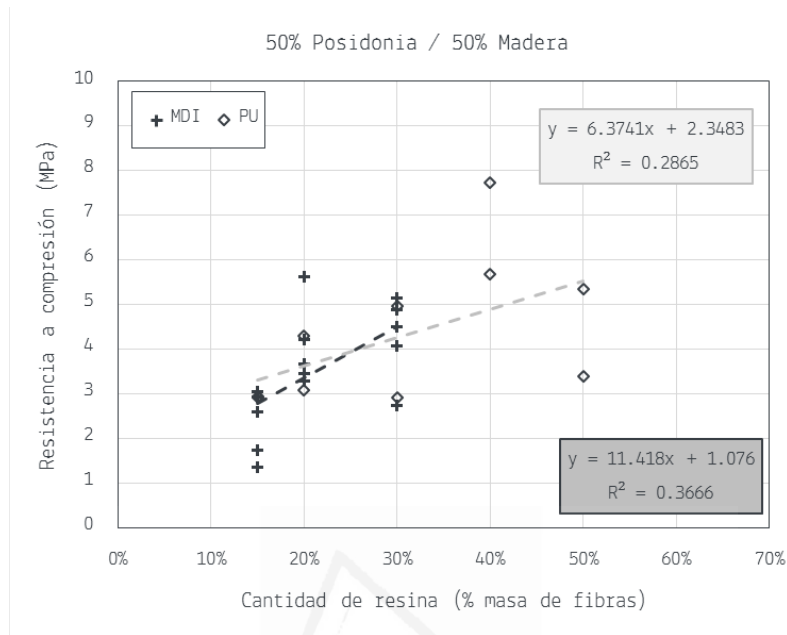


Figura 8.2.33. Resistencia a compresión en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 50% PO - 50% M

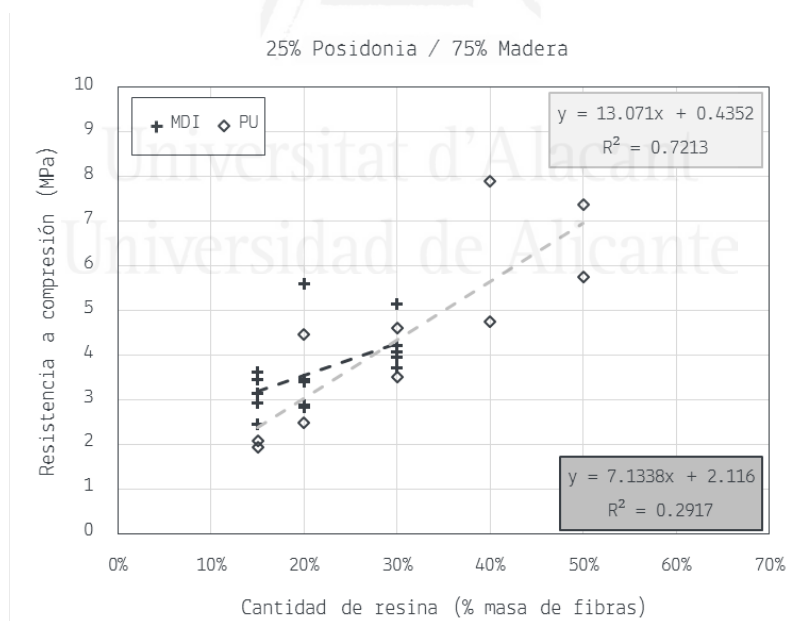


Figura 8.2.34. Resistencia a compresión en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 25% PO - 75% M.

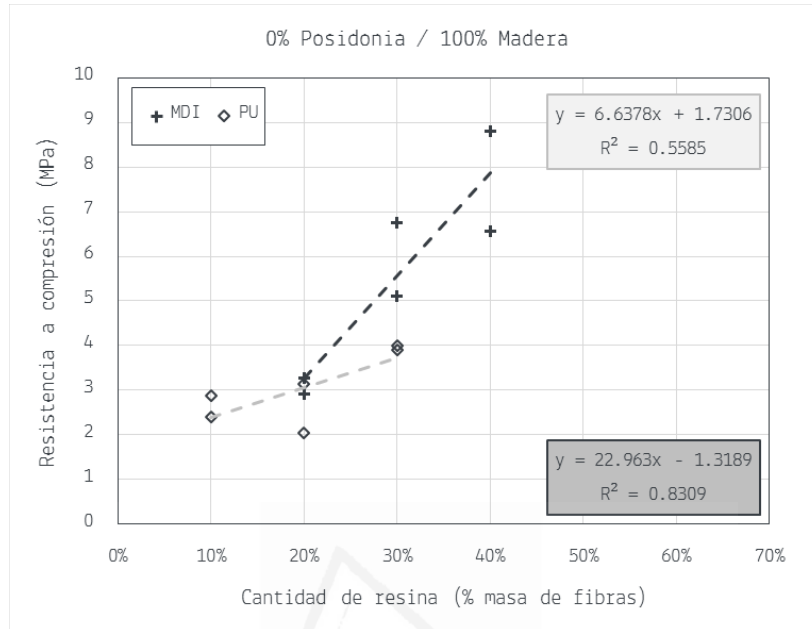


Figura 8.2.35. Resistencia a compresión en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 0% PO - 100% M

Por el contrario, en el caso de las probetas con 100% madera (Figura 8.2.35) las resistencias mayores se alcanzaron con MDI. Por tanto parece que la resina de PU funciona mejor con la posidonia mientras que el MDI lo hace con las fibras de madera de pino.

Por otra parte, en los casos que se combinan ambas fibras (Figuras 8.2.32-33 y 34) prácticamente no hay diferencia en la resistencia medida para una misma cantidad de resina, independientemente de que fuese PU o MDI. Siendo los valores ligeramente menores que en los casos con sólo un tipo de fibra, que como ya se vio anteriormente presentan las resistencias máximas registradas, y dónde sí influye el tipo de resina.

El último parámetro de estudio es el módulo elástico, cuyos valores en función de la cantidad de MDI o PU, y diferencia cinco dosificaciones de fibras de posidonia-madera: 100%/0%; 75%/25%; 50%/50%; 25%/75% y 0%/100% que se incluyen en las figuras 8.2.36 a 8.2.40 respectivamente. Los correspondientes ajustes de funciones lineales con su coeficiente de correlación se incluyeron para cada serie estudiada. A la vista de los resultados, no parece posible presentar una regla de comportamiento general como en los casos anteriores, ya que la dispersión de resultados es excesivamente alta, como se ve reflejado en los bajísimos coeficientes de correlación, llegando en algún caso a estar muy próximos a cero.

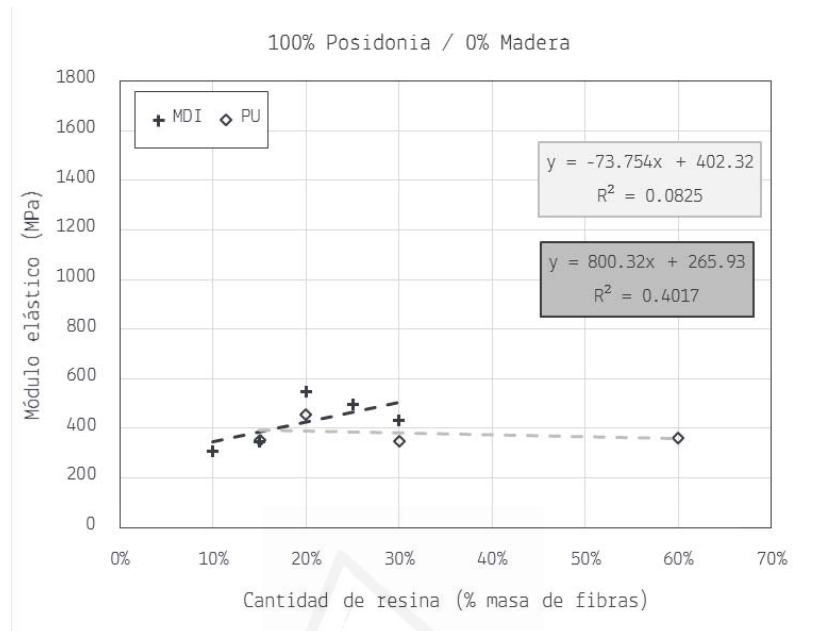


Figura 8.2.36. Módulo de elasticidad en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 100% PO - 0% M

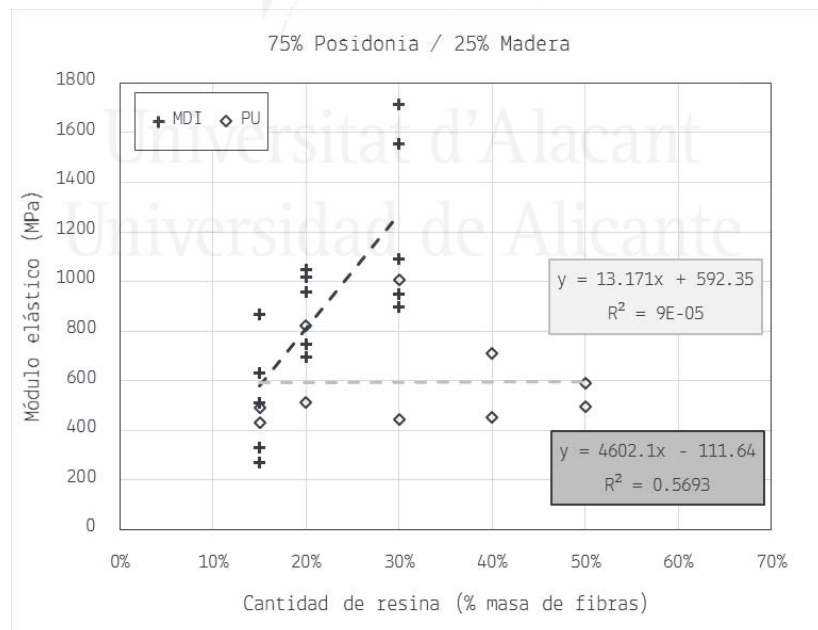


Figura 8.2.37. Módulo de elasticidad en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 75% PO - 25% M.

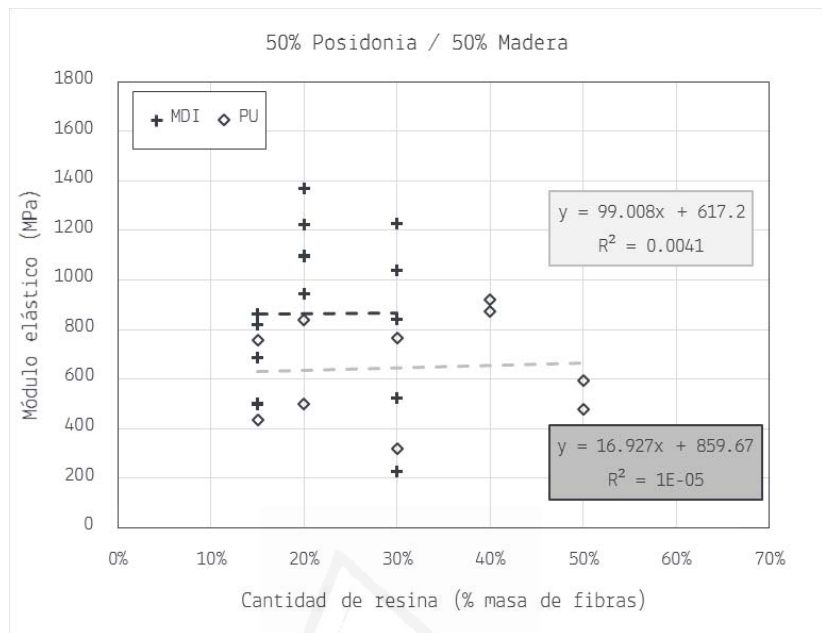


Figura 8.2.38. Módulo de elasticidad en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 50% PO - 50% M

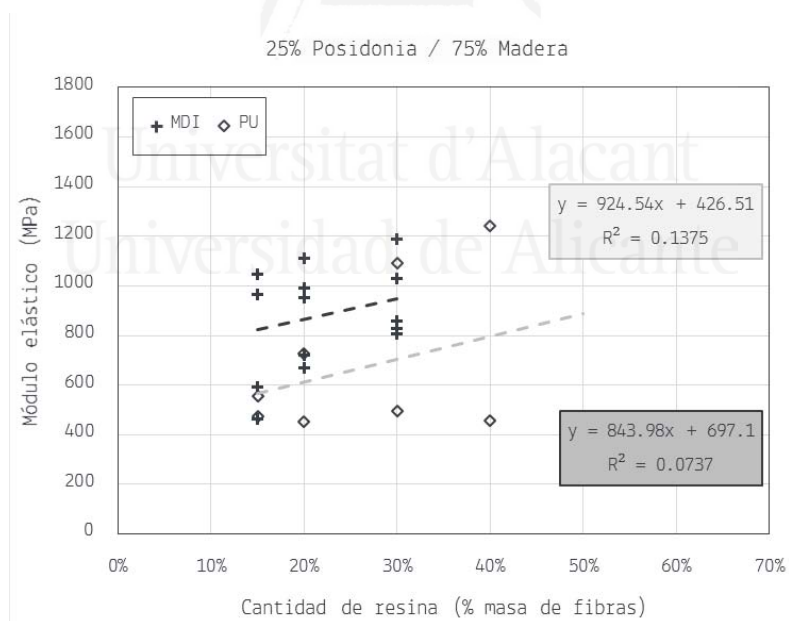


Figura 8.2.39. Módulo de elasticidad en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 25% PO - 75% M.

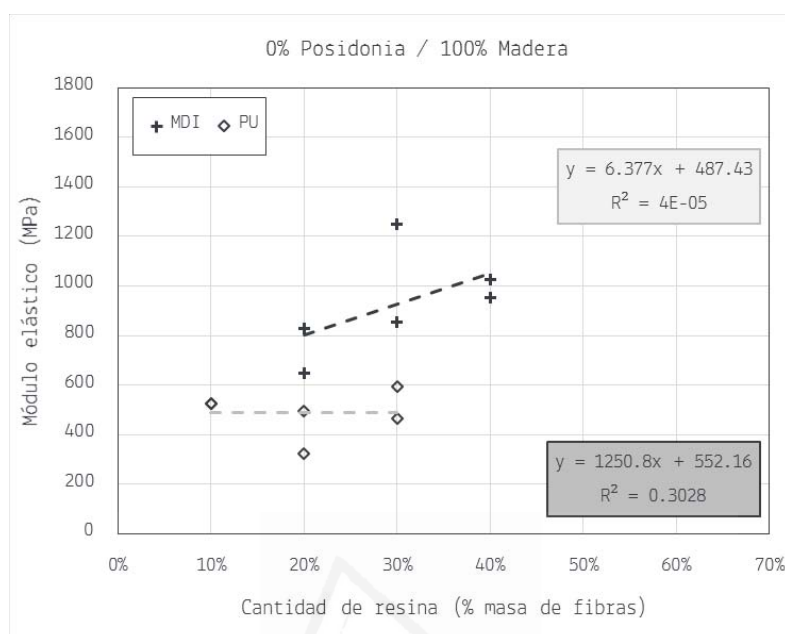


Figura 8.2.40. Módulo de elasticidad en el plano del tablero en función de la dosificación de resina, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 0% PO - 100% M

Sin embargo, sí hay dos aspectos que pueden apuntarse en relación a las rigideces medidas. Primero, los mayores módulos elásticos se obtuvieron al combinar ambos tipos de fibras en la misma probeta, y los más bajos al emplear sólo posidonia reciclada. Y segundo, de forma sistemática las muestras realizadas con una matriz de MDI mostraron módulos mayores que sus equivalentes en PU.

Para concluir este análisis, las figuras 8.2.41 a 8.2.45 incluyen los valores individuales de densidad en función de las correspondientes resistencias a compresión diferenciando el uso del PU o MDI como conglomerante, y para diferentes relaciones posidonia/madera: 100%/0%; 75%/25%; 50%/50%; 25%/75% y 0%/100% respectivamente. Adicionalmente, se han realizado ajustes por mínimos cuadrados de cada serie, incluyéndose tanto sus funciones lineales como los coeficientes r^2 . La dispersión de los resultados fue mucho menor al emplear el MDI como resina.

En algunos casos sí se obtuvieron buenos ajustes lineales entre ambas propiedades, como por ejemplo las probetas con sólo posidonia (Figura 8.2.41) o sólo madera (Figura 8.2.45) en matriz de MDI. Además, en dichas figuras se ve claramente cómo el PU vuelve a funcionar mejor con la posidonia, mientras el MDI lo hace con la madera.

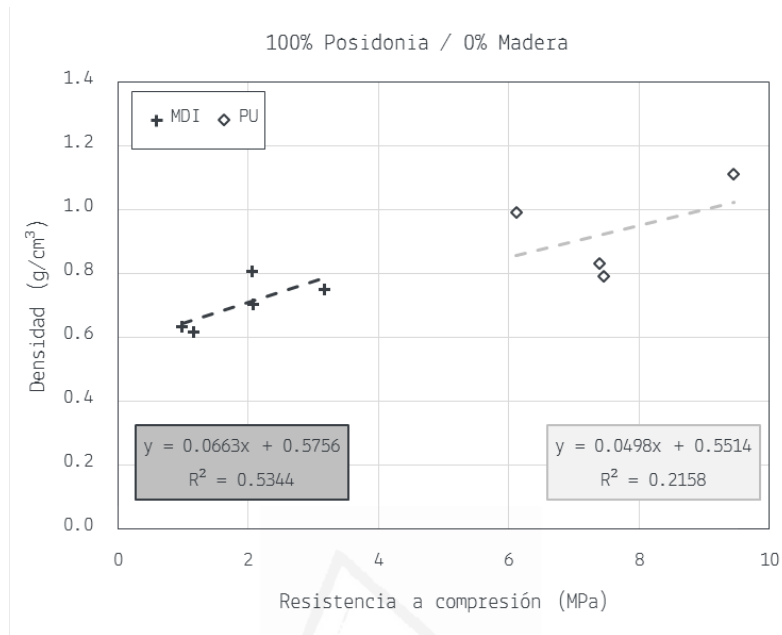


Figura 8.2.41. Correlación entre resistencia a compresión y densidad del material, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 100% PO - 0% M

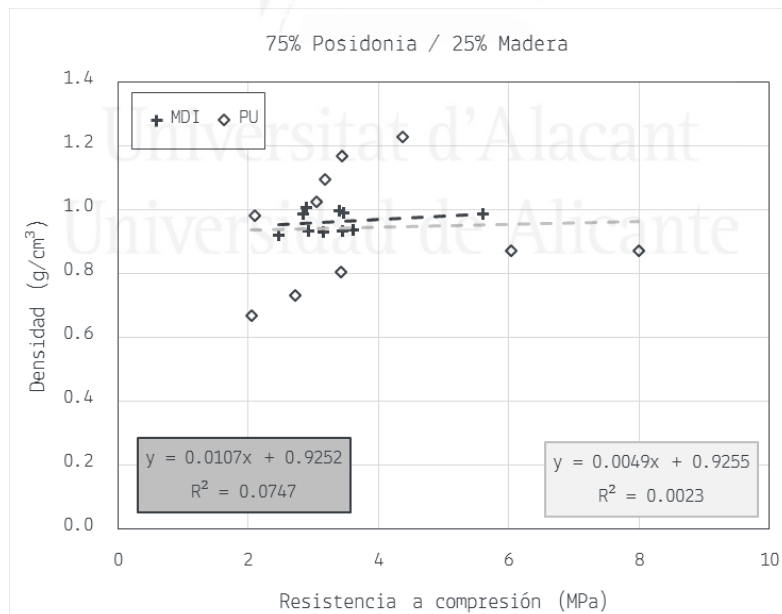


Figura 8.2.42. Correlación entre resistencia a compresión y densidad del material, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 75% PO - 25% M.

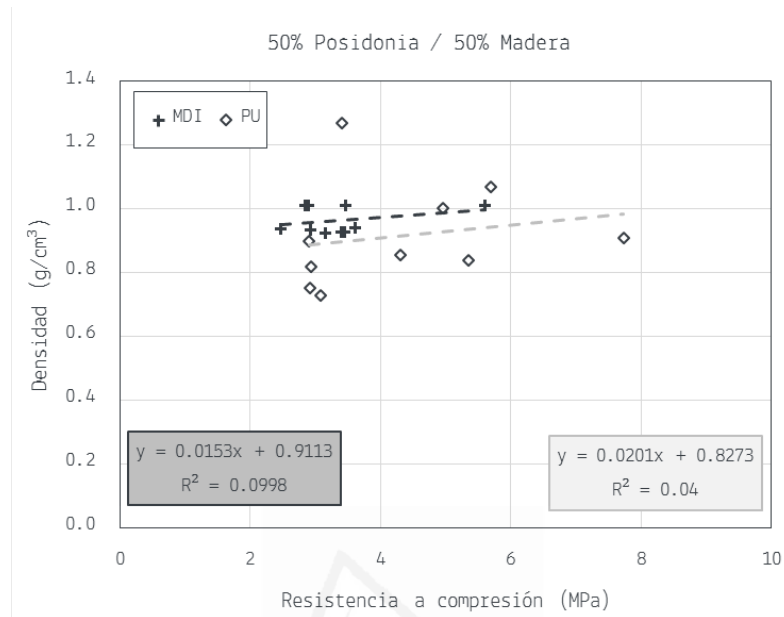


Figura 8.2.43. Correlación entre resistencia a compresión y densidad del material, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 50% PO - 50% M

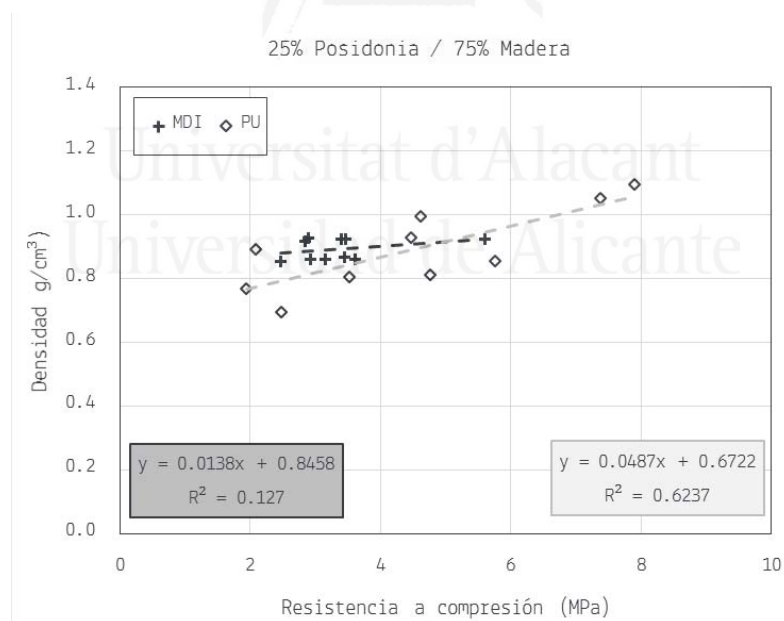


Figura 8.2.44. Correlación entre resistencia a compresión y densidad del material, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 25% PO - 75% M.

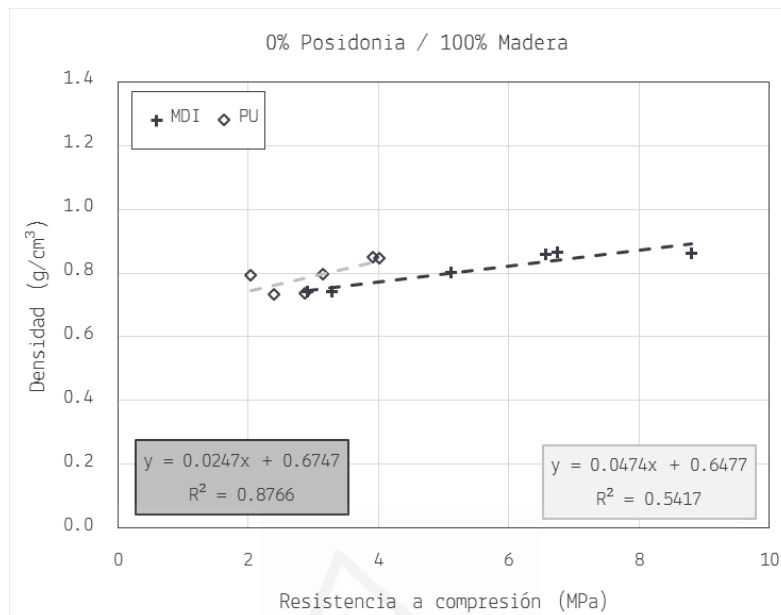


Figura 8.2.45. Correlación entre resistencia a compresión y densidad del material, para diferentes matrices PU o MDI, y para una proporción de fibras 0% PO - 100% M

A modo de resumen de este análisis del comportamiento mecánico de tableros compuestos por fibras vegetales mixtas, de madera y posidonia oceánica, y en lo relacionado con la proporción entre ambos materiales, podemos afirmar que:

- Las dosificaciones con sólo un tipo de fibra, madera o posidonia, fueron más densas al usar PU, mientras que si se combinan ambas fibras la densidad es mayor en una matriz de MDI.
- En segundo lugar, la resistencia a compresión de paneles con sólo posidonia fue mayor al emplear PU, sin embargo, al utilizar sólo madera los mejores resultados se obtienen con MDI. Por el contrario al combinar fibras no se diferencia el comportamiento de ambas resinas para la misma dosificación.
- Los tableros con MDI resultan más rígidos a igualdad de dosificación de fibra y resina. Los mayores módulos elásticos se registraron para muestras preparadas con una combinación de ambas fibras, mientras que los valores mínimos se obtuvieron sólo con posidonia.
- Y, por último, para una misma densidad las muestras con PU son más resistentes si se preparan sólo con posidonia, mientras que si sólo llevan fibras de madera la resistencia se optimiza con MDI.

8.2.4. Influencia del espesor de fabricación de los tableros

En general, como se indicó en la introducción teórica del trabajo, una de las variables que determinan la categoría resistente de los paneles y su modo de funcionamiento es el espesor de los mismos. Por ello, a continuación se discutirá la posible influencia sobre la resistencia y rigidez del espesor conseguido en cada panel (en función de la cantidad de material utilizado y la presión aplicada durante el curado). Como ya se ha visto anteriormente que, en algunos casos, el tipo de resina sí tiene importancia en los resultados, a continuación se presentará el análisis por separado para las muestras con PU y

MDI.

Las figuras 8.2.46 y 47 muestran, respectivamente, los valores individuales de resistencia a compresión y módulo elástico en función del espesor concreto de cada muestra analizada, y además diferenciando la dosificación relativa de fibras de posidonia respecto de fibras de madera y en matriz de PU. En general se aprecia una alta dispersión de los resultados sin ninguna tendencia clara, ya que no se ha diferenciado la dosificación de resina empleada. Sin embargo, para este caso de probetas con PU sí parece haber una disminución del módulo de elasticidad al aumentar el espesor de las muestras.

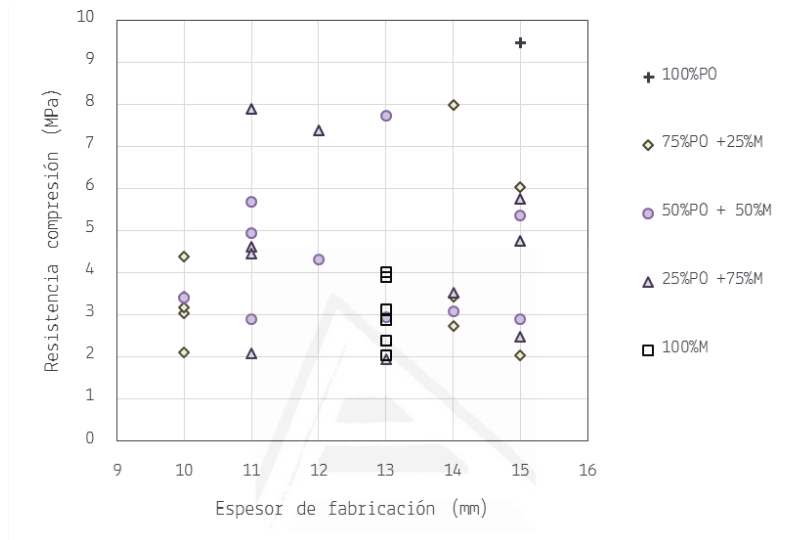


Figura 8.2.46. Resistencia a compresión en función del espesor de fabricación de las muestras fabricadas con PU, y para diferentes proporciones de fibras vegetales.

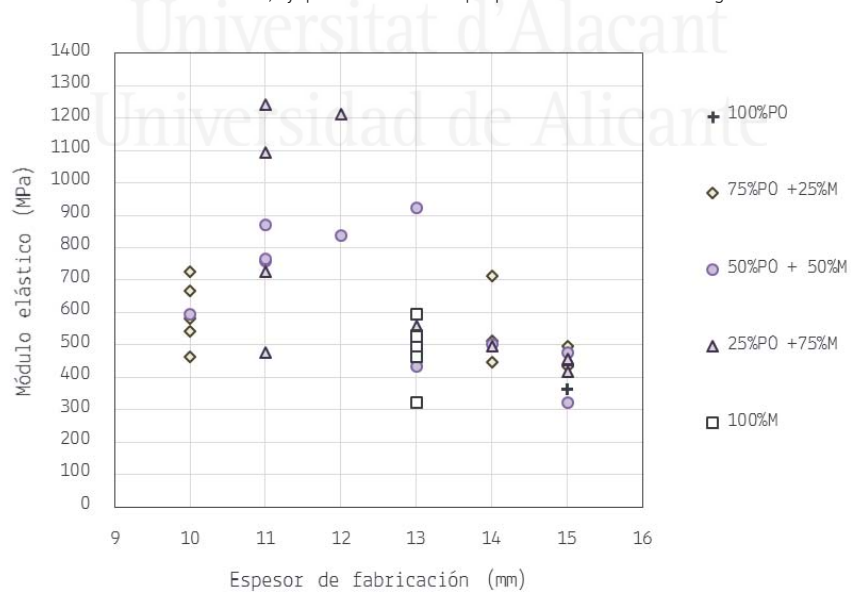


Figura 8.2.47. Módulo de elasticidad en función del espesor de fabricación de las muestras fabricadas con PU, y para diferentes proporciones de fibras vegetales.

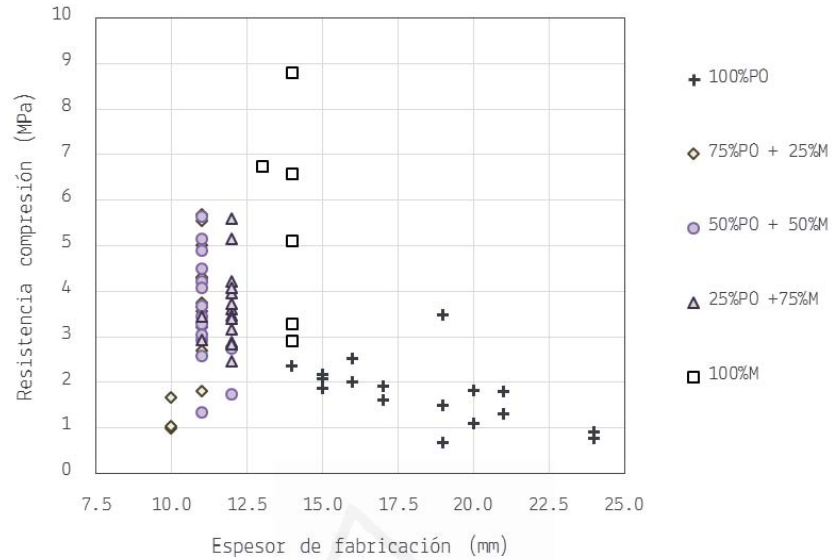


Figura 8.2.48. Resistencia a compresión en función del espesor de fabricación de las muestras fabricadas con MDI, y para diferentes proporciones de fibras vegetales.

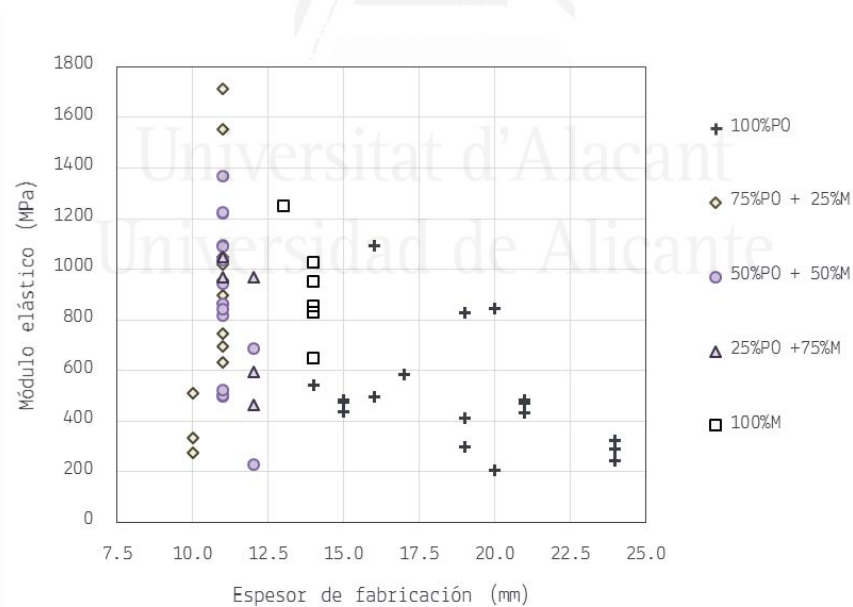


Figura 8.2.49. Módulo de elasticidad en función del espesor de fabricación de las muestras fabricadas con MDI, y para diferentes proporciones de fibras vegetales.

Los resultados equivalentes para las muestras con MDI, como material conglomerante, se han representado en las figuras 8.2.48 y 49. En ellas se muestran los valores individuales de resistencia a compresión y módulo elástico respectivamente en función del espesor de cada probeta ensayada, y diferenciando la dosificación relativa de fibras vegetales. Para este caso de probetas con MDI sí parece observarse más claramente una disminución sistemática tanto de resistencia como de rigidez al aumentar el espesor, principalmente en la serie con sólo posidonia oceánica.

Para ver más claro este efecto, se hizo una variación mayor de los espesores de dos de las dosificaciones de resina en las muestras con sólo fibras de posidonia. De esta forma, las figuras 8.2.50 y 51 incluyen respectivamente las resistencias y módulos elásticos al variar el espesor de dos series de probetas, una con un 15% de MDI respecto de la masa de fibra, y otra con un 25% de MDI. Al realizar ambas representaciones, alguna de las tendencias anteriores se ve modificada. En este caso, sí se observa una disminución de la resistencia de ambas dosificaciones al aumentar el espesor. Sin embargo, el módulo de elasticidad también disminuye con el espesor para probetas con sólo 15% de resina, mientras que si se sube dicha cantidad al 25% el módulo aumenta con el espesor. Estos datos, junto con los modos de rotura que se discutirán en el próximo apartado, parecen indicar la existencia de algún problema durante el amasado y la fabricación de las muestras de posidonia y MDI.

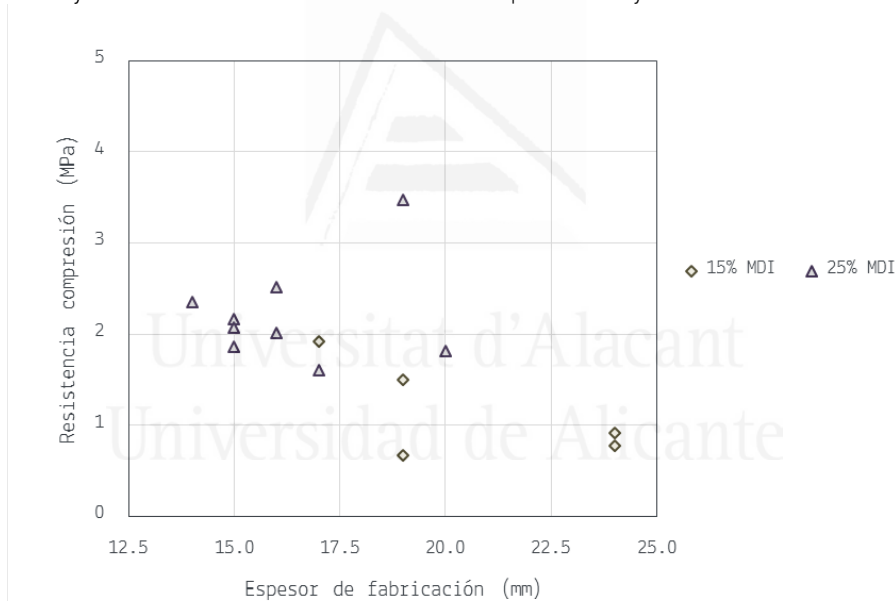


Figura 8.2.50. Variación de la resistencia a compresión en función del espesor de fabricación de muestras fabricadas sólo con posidonia y un 15% o 25% de MDI.

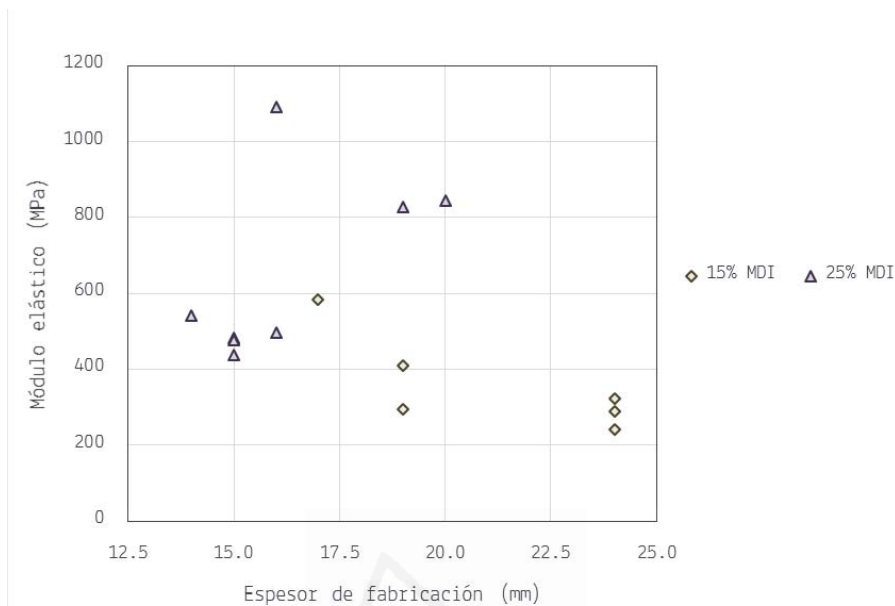


Figura 8.2.51. Variación del módulo de elasticidad en función del espesor de fabricación de muestras fabricadas sólo con posidonia y un 15% o 25% de MDI

8.2.5. Influencia del tipo de material en el modo de rotura del compuesto

Ya como último elemento de análisis, en este estudio de propiedades mecánicas en paneles compuestos por fibras vegetales en matrices poliméricas, sólo falta por explicar detalladamente los tipos de rotura observados en los ensayos de compresión, y cómo la dosificación relativa de fibras y el tipo de resina influyen en él. En primer lugar se explicarán de forma breve los tipos de rotura observados, que se han agrupado en tres categorías diferentes, de forma similar a lo planteado en el estudio preliminar. Para posteriormente presentar un estudio estadístico de frecuencias de cada una de dichas tipologías de fallo.

Rotura tipo 1: fallo en apoyos

El primer tipo de rotura a definir es el fallo por tensiones tangenciales en los apoyos, tal y como se ilustra en las imágenes de las fotos 8.2.1 y 2. En el apartado anterior, correspondiente al estudio preliminar, ya se detectó esta tipología, detallándose la justificación del mismo a partir de su estado tensional. En alguno de los ensayos previos se relacionaba este fallo con un problema de falta de resina en el contorno de las probetas, en la zona en contacto con los moldes. En este segundo estudio las probetas son de menor tamaño al recortarse la parte próxima a los bordes para evitar dicho efecto.

La foto 8.2.1 incluye dos ejemplos en los que fallan simultáneamente las dos láminas, que componen cada probeta de ensayo. La rotura se produce únicamente en uno de los apoyos, siendo de forma indistinta el inferior, Foto 8.2.1(izq.), o el superior, Foto 8.2.1(dcha.). Una vez generada la cuña de rotura, ésta produce la separación progresiva entre las láminas.

Otra variante de esta rotura se ilustra en la foto 8.2.2, y en ese caso no fallan las dos capas a la vez. Por el contrario en cada apoyo falla una lámina diferente, Foto 8.2.2(izq.). O incluso puede producirse el fallo sólo de una capa, manteniéndose intacta la otra, Foto 8.2.2(dcha.)

Todos estos tipos de rotura por fallo en el apoyo pueden verse favorecidos en el caso de defectos en el acabado lateral de los paneles. Bien sea por una heterogeneidad en la distribución de resina, como se apuntaba anteriormente, bien por un deterioro en el panel con el tiempo. Este último fallo de durabilidad podría ser reducido con un adecuado tratamiento de los bordes de cada pieza.



Foto 8.2.1. Tipo de rotura 1: fallo completo de un apoyo.

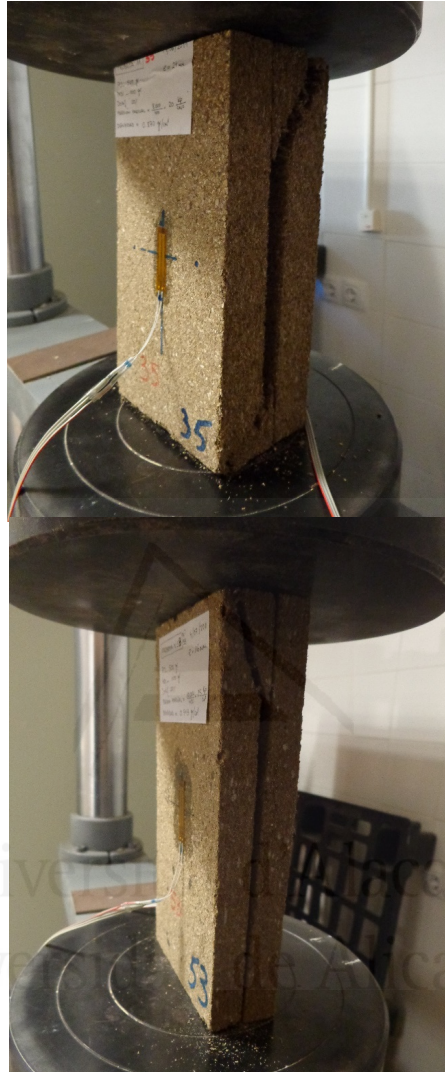


Foto 8.2.2. Tipo de rotura 1: fallo parcial en los apoyos.

Rotura tipo 2: rotura de láminas

En el segundo tipo de rotura se incluyen los fallos por rotura de láminas en una zona intermedia, suficientemente alejada de los apoyos de la probeta. Varios ejemplos de este tipo de rotura se han incluido en las fotos 8.2.3 y 4. Al igual que en el caso anterior, en el estudio preliminar se detalló una justificación de esta rotura debida a tensiones tangenciales.

Cuando la resistencia de la unión entre cada lámina es suficiente, puede llegar a producirse el fallo conjunto de la pieza completa, Foto 8.2.3(izq.). En el

caso de producirse la separación entre láminas, el fallo específico de cada una de ellas no tiene porqué producirse a la misma altura, Foto 8.2.4(izq.)

Se ha incluido un último tipo de rotura dentro de este grupo correspondiente a un fallo por delaminación del material, Foto 8.2.4(dcha.). Es decir, por el proceso de fabricación del material, especialmente por la geometría de las fibras y por el curado bajo presión, las fibras pueden tener una orientación preferente, y llegado el caso se produce una falta de cosido entre capas del material. Y, si además puede existir una carencia puntual de resina se termina produciendo la separación entre fibras, y por ende la delaminación ilustrada en la fotografía.



Foto 8.2.3. Tipo de rotura 2: fallo total de láminas.



Foto 8.2.4. Tipo de rotura 2: fallo en láminas: (izq.) fallos a distinta altura en cada lámina; (dcha.) fallo por delaminación en zona próxima al apoyo

Rotura tipo 3: inestabilidad por pandeo

El último tipo de rotura es el fallo por inestabilidad geométrica por pandeo, y en este caso la rotura se produce horizontalmente, en vez de con una inclinación a 45° como en los dos casos anteriores. Las imágenes incluidas en las fotos 8.2.5 y 6 ilustran varios ejemplos de fallo por pandeo. Lógicamente esta rotura se produjo en los paneles de menor espesor de fabricación. Debido al pegado entre láminas, en muchos casos cada una de ellas trabaja por separado durante el ensayo, y por tanto al reducir el espesor la esbeltez incrementa produciéndose el pandeo.

Si bien la norma EN-789, seguida en los ensayos, prescribe que para espesores pequeños la probeta se compondrá de cuatro capas, Foto 8.2.5(izq.), si el pegado entre ellas no es adecuado no se garantiza el correcto funcionamiento del conjunto, y cada lámina trabaja individualmente, reduciendo en gran medida la resistencia a pandeo de la probeta.



Foto 8.2.5. Tipo de rotura 3: inestabilidad global, pandeo.



Foto 8.2.6. Tipo de rotura 3: inestabilidad, pandeo y rotura de una lámina del panel.

Análisis de frecuencias

Por último se incluye un análisis estadístico para determinar qué condiciones son más propensas a generar cada tipo de rotura, y si el tipo de resina o fibra tiene influencia en el fallo del panel. Para consultar los resultados específicos de cada uno de los ensayos, en el Anejo 2 se han incluido fichas individuales en las que se indican los datos de fabricación de las muestras junto con los resultados de los ensayos, el tipo de rotura observado y con una imagen de ésta.

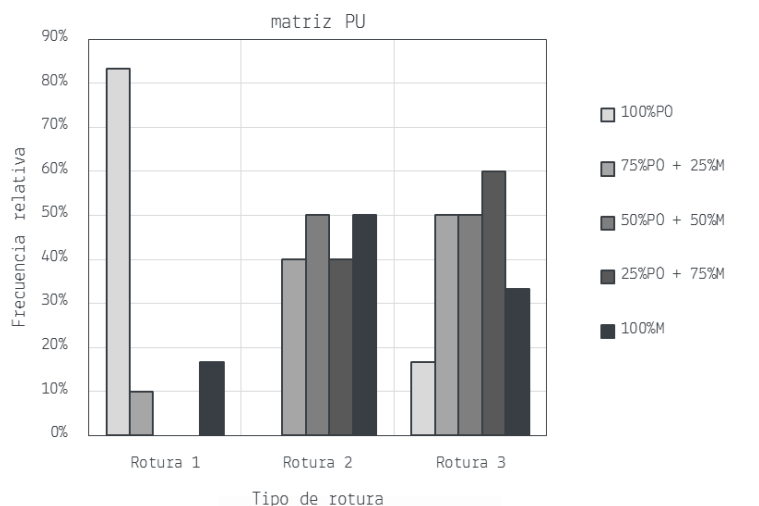


Figura 8.2.52. Tipo de rotura para cada dosificación relativa de fibras con PU: Rotura tipo 1, fallo en apoyos; tipo 2, rotura por tensión tangencial en láminas; tipo 3, fallo por pandeo

La Figura 8.2.52 muestra las frecuencias relativas de cada tipo de rotura en probetas con PU, y para cada una de las dosificaciones de fibra ensayadas. En primer lugar, llama la atención que el fallo por rotura del apoyo prácticamente sólo se produjo en probetas con 100% de posidonia. Estos resultados se corresponden con las muestras del estudio preliminar, con los problemas en el contorno de las muestras ya comentados. Por lo tanto, parece claro que estos problemas de fabricación, o de borde en las placas, ya han sido corregidos al añadir un proceso de recorte y desecho de los frentes de cada panel. El resto de dosificaciones con PU producen rotura del panel o pandeo en función del espesor de fabricación. En paneles de sólo 11 mm de espesor la rotura se produjo por pandeo, pasando a ser por rotura tipo 2 al aumentar el espesor al menos a 13 mm.

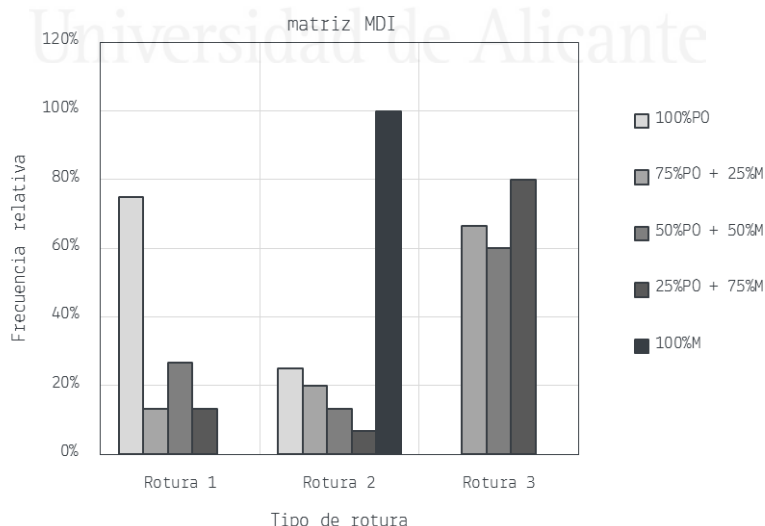


Figura 8.2.53. Tipo de rotura para cada dosificación relativa de fibras con MDI: Rotura tipo 1, fallo en apoyos; tipo 2, rotura por tensión tangencial en láminas; tipo 3, fallo por pandeo

Las frecuencias relativas de cada tipo de rotura, pero esta vez en probetas con MDI, se incluyen en la Figura 8.2.53 para cada una de las dosificaciones relativas de fibras vegetales. En el caso del uso de resina con isocianatos, la rotura por pandeo se observó únicamente en paneles de espesor inferior a 13 mm, exactamente igual que en las muestras con PU. Por tanto, la rotura por pandeo, como podía esperarse, está dominada por el espesor de las muestras en vez de la dosificación específica usada.

Las muestras con todas las fibras de madera de pino rompieron siempre por la zona central, rotura tipo 2, evitando fallos por problemas locales o inestabilidades geométricas. Este cambio de modo de fallo se consiguió al cambiar la forma de pegado de las muestras, pasando de poner seis puntos de adhesivo en el contorno de las láminas, a colocar una fina capa continua de pegamento.

Por último, en el caso contrario, las probetas totalmente fabricadas con MDI y posidonia oceánica rompieron de nuevo por fallos en el apoyo. Por tanto, el problema de fabricación comentado en el PU no se consigue evitar por completo en la fabricación de las probetas con MDI. Como ya se ha apuntado anteriormente en la presente discusión, el comportamiento de la posidonia con el MDI no fue óptimo, pudiendo achacarse a algún problema durante el amasado o curado.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

9.1.- Conclusiones

Tras el desarrollo del trabajo, tanto de estudio del arte, como de desarrollo de la preparación y ensayo de las probetas, cabe destacar los siguientes aspectos:

a.- Relativas al proceso de obtención de las probetas:

a.1.- En la fabricación de las probetas deben eliminarse los bordes para evitar roturas prematuras de las probetas cuando se ensayan, principalmente a compresión en el plano del tablero. De lo contrario las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

a.2.- En el proceso de amasado se debe garantizar el reparto homogéneo de adhesivo entre las partículas u hojas de posidonia. De lo contrario el material tiende a tener un comportamiento heterogéneo fallando, en el momento de los ensayos, por los puntos donde menos adhesivo existe, por lo tanto, las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

a.3.- Se debe eliminar de la mezcla posidonia-adhesivo las partículas más finas, pues incrementan la superficie real de contacto a cubrir por el adhesivo, lo que contribuye a incrementar las dosificaciones y, por consiguiente su coste.

a.4.- Las caras expuestas a los platos de las prensas deben ser totalmente paralelas a ellas, de lo contrario, las distintas piezas que reciben carga no lo hacen de una manera homogénea. Unas quedan más cargadas que otras y por lo tanto no tienen una rotura uniforme, pudiendo hasta llegar a sufrir inestabilidad por pandeo. Este aspecto también contribuye a que las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

a.5.- Las presiones de fabricación deben ser superiores a los 2 N/mm^2 , de lo contrario no es posible llegar a conseguir densidades de material con prestaciones estructurales.

a.6.- El reparto de las partículas de madera de Pino Gallego y de Posidonia Oceánica triturada debe ser homogéneo durante el proceso de amasado.

b.- Relativas a las propiedades mecánicas de resistencia y rigidez.

b.1.- El uso del adhesivo es determinante en el valor final de las propiedades mecánicas. En las probetas ensayadas en este trabajo se ha utilizado un adhesivo de poliuretano con unas características que favorecen la deformabilidad de las probetas fabricadas, aspecto que se confirma con los bajísimos módulos de elasticidad obtenidos y resumidos en la tabla 8.5.2 (del orden de 350 N/mm^2). Durante los trabajos de esta Tesis Doctoral se han utilizado adhesivos bicomponente de poliéster con isocianato. El uso de este adhesivo ha hecho que el módulo de elasticidad aumente respecto a la versión con adhesivo monocomponente aunque no tanto como los conseguidos con la utilización de fenol-formaldehído.

b.2.- Con el adhesivo de poliuretano utilizado, se requieren altas densidades en el material para que adquiera aceptables propiedades mecánicas. Estas densidades han tenido que ser superiores a 850 kg/m^3 . Con densidades del

orden de 600 kg/m^3 , el material ha tenido una respuesta estructural muy baja, sin embargo plantea buenas perspectivas de comportamiento térmico y acústico. Estos últimos datos pueden contribuir a nuevas líneas de investigación tal y como se indicará en el punto 9.2 del presente capítulo.

b.3.- Comparando los resultados obtenidos de las probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica y los de partículas de madera, se observa que aparece una gran diferencia de comportamiento en flexión y compresión en el plano perpendicular al tablero. Los resultados en compresión en el plano del tablero son más parejos. Mientras que en los de madera la resistencia a flexión obtenida se sitúa sobre los 9 N/mm^2 , en los de posidonia es de 1.5 N/mm^2 . En compresión paralela al tablero, los resultados, tanto en un material como en otro, se sitúan en los 6.5 N/mm^2 .

Las mayores diferencias aparecen en los valores de los módulos de elasticidad: en la madera se sitúan en valores de 1500 N/mm^2 y en el tablero de posidonia en 350 N/mm^2 , en valores de compresión en el plano del tablero. Como se ha comentado antes, debido al uso del poliuretano en los tableros de posidonia. Los tableros de partículas utilizados están conformados usando como adhesivo el fenol-formaldehído.

b.4.- El material, resultante del uso de poliuretano monocomponente y solo Posidonia Oceánica, no tiene un comportamiento puramente elástico. Sufre procesos reológicos teniendo un comportamiento más próximo al de un material viscoelástico. Sin embargo con el uso del adhesivo bicomponente y la incorporación de las partículas de madera de Pino Gallego el comportamiento del material si es elástico.

b.5.- Los resultados de los tableros realizados con adhesivo monocomponente y solo Posidonia Oceánica indican que este composite no es apto para su uso estructural. Estos resultados corresponden, principalmente, a los obtenidos en la primera fase experimental.

b.6.- Los resultados de los tableros realizados con adhesivo bicomponente de poliéster con isocianato y mezcla de Posidonia Oceánica con partículas de Pino Gallego indican que este composite si es apto para su uso estructural. Estos resultados corresponden, principalmente, a los obtenidos en la segunda fase experimental.

b.7.- Se optiene como conclusión práctica final: los tableros que mejor comportamiento estructural presentan (tras el análisis de los resultados obtenidos referentes a la resistencia a compresión paralela al tablero y su módulo de elasticidad) son los

TABLEROS COMPUESTOS DE POR UN 25% DE POSIDONIA OCEANICA Y UN 75% DE PARTICULAS DE MADERA DE PINO MEZCLADAS CON ADHESIVO BICOMPONENTE (5:1 parte A/Parte B) DE POLIESTER DE RETICULACION QUIMICA CON ISOCIANATO (MDI) DOSIFICADO ENTRE UN 15% Y UN 20% DEL PESO DE LA SUMA DE LA POSIDONIA OCEANICA Y LAS PARTICULAS DE MADERA DE PINO GALLEGO.

c.- Aspectos estéticos.

c.1.- Los tableros obtenidos con posidonia oceánica son más oscuros que los derivados de la madera. Las posibilidades que presenta el material para ser utilizado en revestimientos vistos es alta.

9.2.- Propuestas futuras de investigación.

En este punto se exponen las líneas de trabajo a desarrollar futuras líneas de investigación asociadas a este nuevo material con formato de tablero estructural. Futuras líneas que pueden ser adoptadas como puntos de partida para la redacción de nuevas Tesis Doctorales o trabajos de investigación.

9.2.1.- Propuesta de fabricación de los tableros derivados de la posidonia oceánica y partículas de madera de Pino Gallego.

Se propone profundizar y ampliar en la propuesta de fabricación de los tableros derivados de la Posidonia Oceánica y partículas de Madera de Pino, así como estudiar la viabilidad de nuevas dosificaciones, nuevos adhesivos y estudiar otras propiedades mecánicas.

Estudiar un sistema de dosificaciones en función de sus usos y de su repercusión sobre los valores del conjunto de propiedades mecánicas, así como su relación con los costes de fabricación.

Estudiar la utilización de mezclas de posidonia con otros materiales considerados residuos naturales como lo son las cáscaras de almendra que abundan en la provincia de Alicante.

Uno de los aspectos relevantes en este punto es el correspondiente a la utilización de adhesivos de origen natural. En este sentido se ha hecho una búsqueda bibliográfica en pos de averiguar cuales son los adhesivos naturales empleados en el estudio o fabricación de los tableros. De entre todos ellos se puede destacar:

- a.- Aceite de palmera. [Adbul, 2010] y [Sreekala, 2002]
- b.- Extracto de corteza de árbol. [Anderson, 1961]
- c.- Tallo de ricino. [Grigoriu, 2001]
- d.- Madera liquada. [Kunaver, 2010], [Lee, 2002] y [El Mansouri, 2006]
- e.- Extracto de corteza de mimosa. [Nemli, 2004]
- f.- Bambu liquado. [Shenyuan, 2006]

1.- En la fabricación de las probetas deben eliminarse los bordes para evitar roturas prematuras de las probetas cuando se ensayan, principalmente a compresión en el plano del tablero. De lo contrario las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

2.- En el proceso de amasado se debe garantizar el reparto homogéneo de adhesivo entre las partículas u hojas de posidonia. De lo contrario el material tiende a tener un comportamiento heterogéneo fallando, en el momento de los ensayos, por los puntos donde menos adhesivo existe, por lo tanto, las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

3.- Se debe eliminar de la mezcla posidonia-adhesivo las partículas más finas, pues incrementan la superficie real de contacto a cubrir por el adhesivo, lo que contribuye a incrementar las dosificaciones y, por consiguiente su coste.

4.- Las caras expuestas a los platos de las prensas deben ser totalmente paralelas a ellas, de lo contrario, las distintas piezas que reciben carga no lo hacen de una manera homogénea. Unas quedan más cargadas que otras y por lo tanto no tienen una rotura uniforme, pudiendo hasta llegar a sufrir inestabilidad por pandeo. Este aspecto también contribuye a que las resistencias obtenidas quedan por debajo de las resistencias reales del material.

5.- Las presiones de fabricación deben ser superiores a los 2 N/mm², de lo contrario no es posible llegar a conseguir densidades de material con prestaciones estructurales.

6.- El reparto de las partículas de madera de Pino Gallego y de Posidonia Oceánica triturada debe ser homogéneo durante el proceso de amasado.

9.2.2.- Caracterización del nuevo material. Estudio propiedades mecánicas de los tableros derivados de la posidonia oceánica y partículas de madera de Pino Gallego.

Se propone profundizar y ampliar el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la Posidonia Oceánica y partículas de Madera de Pino.

Durante este proceso de estudio es necesario realizar los análisis necesarios para poder particularizar los procesos de obtención de datos al nuevo material, tomando como punto de partida los conocimientos actuales sobre relativos a los tableros derivados de la madera y que se recopilan y resumen en este trabajo.

Se propone el estudio de las siguientes propiedades mecánicas de resistencia y rigidez:

a.- Resistencia.

a.1- Flexión	($f_{m,p,k}$)
a.2- Tracción	($f_{t,p,k}$)
a.3- Compresión en el plano del tablero	($f_{c,p,k}$)
a.4- Compresión en el grueso	($f_{c,90,p,k}$)

b.- Rigidez.

b.1- Flexión	($E_{m,p}$)
b.2- Tracción	($E_{t,p}$)
b.3.- Compresión en el plano del tablero	($E_{c,p}$)
b.4.- Compresión en el grueso	($E_{c,90,p}$)

Todo ello tomando como punto de partida lo indicado en las conclusiones de esta Tesis Doctoral, punto 9.1.

1.- El uso del adhesivo es determinante en el valor final de las propiedades mecánicas. En las probetas ensayadas en este trabajo se ha utilizado un adhesivo de poliuretano con unas características que favorecen la deformabilidad de las probetas fabricadas, aspecto que se confirma con los bajísimos módulos de elasticidad obtenidos (del orden de 350 N/mm²).

2.- Con el adhesivo de poliuretano utilizado, se requieren altas densidades en el material para que adquiriera aceptables propiedades mecánicas. Estas densidades han tenido que ser superiores a 850 kg/m³. Con densidades del orden de 600 kg/m³, el material ha tenido una respuesta estructural muy baja, sin embargo plantea buenas perspectivas de comportamiento térmico y acústico. Estos últimos datos pueden contribuir a nuevas líneas de investigación.

3.- Comparando los resultados obtenidos de las probetas de tablero derivado de la posidonia oceánica y los de partículas de madera, se observa que aparece una gran diferencia de comportamiento en flexión y compresión en el plano perpendicular al tablero. Los resultados en compresión en el plano del tablero son más parejos. Mientras que en los de madera la resistencia a flexión

obtenida se sitúa sobre los 9 N/mm², en los de posidonia es de 1.5 N/mm². En compresión paralela al tablero los resultados, tanto en un material como en otro se sitúan en los 6.5 N/mm².

Las mayores diferencias aparecen en los valores de los módulos de elasticidad: en la madera se sitúan en valores de 1500 N/mm² y en el tablero de posidonia en 350 N/mm², en valores de compresión en el plano del tablero. Como se ha comentado antes debido al uso del poliuretano en los tableros de posidonia. Los tableros de partículas utilizados están conformados usando como adhesivo el fenol-formaldehído.

4.- El material, resultante del uso de poliuretano monocomponente y solo Posidonia Oceánica, no tiene un comportamiento puramente elástico. Sufre procesos reológicos teniendo un comportamiento más próximo al de un material viscoelástico. Sin embargo con el uso del adhesivo bicomponente y la incorporación de las partículas de madera de Pino Gallego el comportamiento del material si es elástico.

5.- Los resultados de los traleros realizados con adhesivo monocomponene y solo Posidonia Oceánica indican que este composite no es apto para su uso estructural. Estos resultados corresponden, principalmente, a los obtenidos en la primera fase experimental.

6.- Los resultados de los traleros realizados con adhesivo bicomponente de poliéster con isocianato y mezcla de Posidonia Oceánica con partículas de Pino Gallego indican que este composite si es apto para su uso estructural. Estos resultados corresponden, principalmente, a los obtenidos en la segunda fase experimental.

7.- Se optiene como conclusión práctica final, que los tableros que mejor comportamiento estructural presentan (tras el análisis de los resultados obrenidos referentes a la resistencia a compresión paralela al tablero y su módulo de elásticidad) son los

TABLEROS COMPUESTOS DE POR UN 25% DE POSIDONIA OCEANICA Y UN 75% DE PARTICULAS DE MADERA DE PINO MEZCLADAS CON ADHESIVO BICOMPONENTE (5:1 parte A/Parte B) DE POLIESTER DE RETICULACION QUIMICA CON ISOCIANATO (MDI) DOSIFICADO ENTRE UN 15% Y UN 20% DEL PESO DE LA SUMA DE LA POSIDONIA OCEANICA Y LAS PARTICULAS DE MADERA DE PINO GALLEGO.

9.2.3.- Particularización del método general de cálculo de tableros derivados de la madera a los tableros derivados de la posidonia oceánica.

Durante este proceso de estudio es necesario realizar los análisis necesarios para poder particularizar estos procesos con la antes citada obtención de datos al nuevo material, tomando como punto de partida los conocimientos actuales relativos a los tableros derivados de la madera y que se recopilan y resumen en esta Tesis Doctoral.

En el procedimiento de cálculo de los tableros está establecido, sin embargo, las particularidades de cálculo de un tablero de partículas son distintas a las de un tablero de OSB o de fibra. Los coeficientes que intervienen en el cálculo son diferentes. Se propone obtener estos coeficientes para el nuevo material.

Se propone el estudio de los siguientes aspectos de cálculo:

- a.- Bases de cálculo.
 - a.1.- Capacidad portante.
 - a.2.- Aptitud al servicio.
 - a.3.- Factores que afectan al comportamiento de los tableros de posidonia.
 - a.4.- Valores de cálculo de las propiedades del material.
- b.- Estados límite últimos.
 - b.1.- Agotamiento de secciones sometidas a tensiones orientadas según las direcciones principales.

9.2.4.- Indicación de las futuras líneas de investigación derivadas de este nuevo material. Nuevas tesis o trabajos de investigación.

El desarrollo de la tesis doctoral se centra en la propuesta del nuevo material y su comportamiento mecánico (resistencia a compresión paralela al tablero) y sus repercusiones en el cálculo, sin embargo este material presenta una serie de propiedades que permite trabajar en otras líneas de investigación tanto a nivel de nuevas Tesis Doctorales como trabajos de investigación.

A continuación se enumeran las posibles líneas de investigación:

- a.- Para tableros de baja densidad (inferior a 600 kg/m^3)
 - a.1.- Estudio de las propiedades térmicas de los tableros de baja densidad de posidonia oceánica.
 - a.2.- Estudio de las propiedades acústicas de los tableros de baja densidad de posidonia oceánica.
 - a.3.- Estudio de las propiedades ignífugas de los tableros de posidonia oceánica.
 - a.4.- Estudio los tableros de baja densidad de posidonia oceánica como filtros de control solar.
- b.- Estudio de elaboración de paneles de posidonia como absorbentes de metales con el fin de depurar ambientes contaminados.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

10.- BIBLIOGRAFÍA

10.1.- Libros

- [1] Argüelles R. y Arriega, F. (2003). *Estructuras de madera. Diseño y cálculo*. Madrid: AITIM.
- [2] Baldwin, R.F. (1981). *Plywood. Manufacturing practices*. EE.UU.: Ed. Miller Freeman Publications.
- [3] Engel, H. (2006). *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- [4] Erwin, L.H. (1997). *Strawboard, biocomposites, and fields of dreams*. Evergreen.: Newsletter for news uses council.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations . (1958). *Fiberboard and Particle Board*. Rome: FAO
- [6] Gordon, J.E. (2004). *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. Madrid: Calamar ediciones.
- [7] Götz K., Hoor, D. , Möhler, K. y Natterer, J. (1989). *Timber design and construction*. New York: Mc Graw Hill.
- [8] Graubner, W. (1986). *Holzverbindungen*. Berlín: Verlag.
- [9] Gutdeustch, G. (1996). *Building in wood, construction and details*. Basilea/Boston: Birkhäuser.
- [10] Hartl, H. (1995). *Concrete forming. Timber engineering*. The Netherlands: Centrum Hout.
- [11] Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R. , Volz, M. y Winter, W. (2003). *Timber construction manual*. Munich: Birkhäuser Verlag.
- [12] Horwood, R. (1987). *The woodworker's handbook*. Londres: New Holland Publishers.
- [13] Hough, R. (2002). *The woodbook*. Colonia: Taschen.
- [14] Hugues, T., Steiger, L. y Weber, J. (2009). *Detail praxis. Construcción con madera*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- [15] Kreov, J. (1981). *Worked in wood*. New York: Van Nostrad Reinhold.
- [16] López, J.A. (1975). *Formaldehído en tableros de partículas*. Madrid: AITIM.
- [17] Maloney, T.M. (1977). *Modern particleboard - Dry process fiberboard manufacturing*. EE.UU.: Miller Freeman Publications.
- [18] Mettem, C.J. (1986). *Structural timber design and technology*. England: Trada.
- [19] Nevado, M. (1999). *Diseño estructural en madera*. Madrid: AITIM.
- [20] Peraza, F., Peraza, J.E. y Arriaga, F. (2004). *Tableros de uso estructural*. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- [21] Peraza, C. (1975). *Colas de fabricación nacional. Aplicaciones y características*. Madrid: AITIM.
- [22] Rico, F, Álvarez, H. y Camacho, A. (1971). *Análisis del tablero contrachapado en España*. Madrid: AITIM.
- [23] Roadschilders, J.G. (1995). *Stressed skin panels. Timber engineering*. The Netherlands: Centrum Hout.
- [24] Roffael, E. y Schneider, T. (2003). Investigation on partial substitution of strands in oriented strand boards (OSB) by different lignocellulosic raw materials. Institute for Wood Biology and Wood Technology. Georg August University of Göttingen, Busgenweg. 16 p.
- [25] Schulz, H. (1996). *Holzbau*. Munich: Wäde-Decken-Dächer.
- [26] Simpson, W., TenWolde, A. (1999). *Physical properties and moisture relations of wood. Wood handbook-wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory; 1999 [Chapter 3].

- [27] Suchland, O. y Woodson, G.E. (1991). *Fiberboard Manufacturing Practice in the United States*. EE.UU: Forest Products Research Society.
- [28] Youngquist, J.A., English, B.E., Scharmer, R.C. (1994). *Literature Review on Use of Nonwood Plant Fibers for Building Materials and Panels*. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [29] Youngquist, J.A. (1999). *Wood-based composites and panel products. Wood handbook—wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory, [Chapter 10].
- [30] VV.AA. (2000). *nº: 1/2000 Timber constructions*. Munich: Detail.
- [31] VV.AA. (2008). *nº: 5/2008 Timber constructions*. Munich: Detail.

10.2.- Artículos

- [32] Abdul, H.P., Nurul, A.H., Bhata, M. y Jawaida, N.A. (2010). Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass. *Materials and design*, 31, 417-424.
- [33] Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Ekwuozor, S.C. y Uba, I.C. (1998). A pilot plant for production of ceiling boards from rice husks. *Biores. Technology*, 66, 41-43.
- [34] Akyüz, K.C., Nemli, G., Baharoglu, M. y Zeković, E. (2010). Effects of acidity of the particles and a amount of hardener on the physical and mechanical properties of particleboard composite bonded with urea formaldehyde. *International Journal of Adhesives*, 30, 166-169.
- [35] Anderson, A.B., Brewer, R.J., Nicholls, G.A. (1961). Bonding particleboards with bark extracts. *Forest Prod. J.*, 11, 226-227.
- [36] Ayırlımış, N., Kartal, S.N., Laufenberg, T.L., Winandy, J.E., White, R.H. (2005). Physical and mechanical properties and fire, decay, and termite resistance of treated oriented strandboard. *Forest Prod. J.* 55 (5), 74-81.
- [37] Belzunce, M., Navarro, R. y Rapoport, H. (2005). Seed and early plantlet structure of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 82, 269-283
- [38] Bowyer, J.B. (1995). Wood and other raw materials for the 21st century. *Forest Products Journal*, 45, 17-24.
- [39] Brochman, J., Edwardson, C. y SHMULSKY, R. (2004). Influence of resin type and flake thickness on properties of OSB. *Forest Products Journal*, vol. 54, Nº 3, p. 51-55.
- [40] Chow, P. y Zhao, L. (1992). Medium density fiberboard made from phenolic resin and wood residues of mixed species. *Forest Products Journal*, 42, 65-70.
- [41] Derya, U., Mustafa, U. y Salim, H. (2007). Effect of boron treatment on surface characteristics of medium density fiberboard (MDF). *Journal of materials processing technology*, 123, 78 - 89.
- [42] Dunky, M. (1998). Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18: 95-107.
- [43] Eleotério, J. (2000). Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina. *PIRACICABA Estado de Sao Paulo*, 74 - 80.
- [44] García, C., Saval, J.M. y Chinchon, S. (2008). Análisis de las características físicas y mecánicas de morteros de cemento con adición de cenizas de *posidonia oceanica*. *Ingeniería Civil*, vol. 2, 89-101.
- [45] Gatchell, C., Heebink, B. y Hefty, F. (1966). Influence of components variables on properties of particleboard for exterior use. *Forest Product Journal*, 16, 46-59.
- [46] Gerardi, V., Minelli, F., Viggiano, D. (1998). Steam-treated rice industry residues as an alternative feedstock for the wood-based particleboard industry in Italy. *Biomass Bioenergy*, 14, 295- 299.

- [47] Grigoriou, A.H., Ntalos, G.A. (2001). The potential use of castor stalks as a lignocellulosic resource for particleboards. *Ind. Crops Prod.*, 13, 209-218.
- [48] Gürü, M., Atar, M. y Yildirim, R. (2008). Production of polymer matrix composite particleboard from walnut Shell and improvement of its requirements. *Materials and design*, 29, 284 - 291.
- [49] Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umerra, D., Kawai, S. (1998). Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboard using silane coupling agents. *J. Wood Sci.*, 44, 282-286.
- [50] Han-Seung, Y., Dae-Jun, K. y Hyun-Joong, K. (2003). Rice Straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*, 86, 117-121.
- [51] Hernán, W. y Vargas, R. (2006). Relación entre densidad y propiedades de tableros hdf producidos por un proceso seco. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 8, 169-182.
- [52] Ismail, A., Gursel, C., Semra, C. y Cenk D. (2005). Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood. *Building and environment*, 345, 456-467.
- [53] Ivanov, I.V. y Sadowski, T. (2008). Numerical modelling and investigation of plywood progressive failure in CT tests. *Computational Materials Science*, 45, 729-734.
- [54] Kari, G.S., Cheng, E. y Sun X.S. (2000). Physical properties of strawboard as effected by processing parameters. *Ind. Crops Prod.*, 12, 19-24.
- [55] Kelvin, M.C. (2006). Wood-based panels: particleboard, fibreboards and oriented strand board. Primary wood processing principle sand practice. 34, 427-475.
- [56] Khedari, J., Nankongrab, N., Hirunlabh, J., Teekasap, S. (2004). New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Build. Environ.*, 39, 59-65.
- [57] Kollman, F.F.P. y Cote, W. (1968). Principles of Wood Science and Technology I. *Springer-Verlag*, 149 - 155.
- [58] Khristova, P., Yussifou, N., Gabir, S., Glavche, I., Osman, Z. (1998). Particleboards from sunflower stalks and tannin-modified UF resin. *Cell. Chem. Technol.*, 32, 327-337.
- [59] Kobayashi, M., Hatano, Y. y Tomita, B. (2001). Viscoelastic properties of liquefied Wood/epoxy resin and its bond strength. *Holzforschung*, 55, 667-671.
- [60] Kunaver, M., Medved, S., Čuk, N., Jasiukaitytė, E., Poljanšek, I. y Strnad, T. (2010). Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 4, 1361-1368.
- [61] Lee, W. y Liu, C. (2002). Preparation of liquefied bark based resin and its application to particleboard. *Journal of applied polymer science*, 87, 1837-1841.
- [62] Marbà, N., Duarte, C.M. (1997). Interannual changes in seagrass *Posidonia oceanica* growth and environmental change in the Spanish Mediterranean littoral zone. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 800-810.
- [63] Mehmet, A. y Camlibel. O. (2008). Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from rhododendron (*R. ponticum* L.) biomass. *Building and environment*, 43, 438-443.
- [64] Mo, X., Cheng, E., Wang, D., Sun, X.S. (2003). Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives. *Ind. Crops Prod.*, 18, 47-53.
- [65] Mora L., Hernández J.F., Martirena J.F. y Jiménez S. (2008), El tablero de bambú prensado, una nueva propuesta tecnológica. *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol 23 N° 3.
- [66] Myers, G. (1986). A comparison of hardboards manufactured by semidry, dry, and wet formed processes. *Forest Products Journal*, 36, 49-56.
- [67] Nadir, A., Umit, B. y Nusret, A. (2010). Bending strength and modulus of elasticity of wood-based panels at cold and moderate temperatures. *Cold regions. Science and technology*, 29, 55-61.

- [68] Nemli, G., Kırcı, H., Serdar, B., Ay, N. (2003). Suitability of kiwi (*Actinidia sinensis* Planch.) pruning for particleboards manufacturing. *Ind. Crops Prod.*, 17, 39-46.
- [69] Nemli, G., Kırcı, H., Temiz, A. (2004). Influence of impregnating wood particles with mimosa bark extract on some properties of particleboard. *Ind. Crops Prod.*, 20, 339-344.
- [70] Nemli, G. y Aydin, A. (2007). Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from the needle litter of *Pinus ponaster*. *Ind. Crops Prod.*, 26, 252-260.
- [71] Nienez, P. y Poblete, H. (1996). Estabilidad dimensional y humedad de equilibrio en tableros de fibras (MDF) y de partículas. *Ciencia e Investigación forestal*, 10, 49-62.
- [72] Ntalos, G.A., Grigoriou, A.H. (2002). Characterization and utilization of wine pruning as a wood substitute for particleboard production. *Ind. Crops Prod.*, 16, 59-68.
- [73] Pan, Z., Cathcart, A. y Wang, D. (2006). Properties of particleboard bond with rice bran and polymeric methylene diphenyl diisocyanate adhesives. *Ind. Crops Prod.*, 23, 40-45.
- [74] Pandey, S.N. y Gurjar, R. (1987). Effects of flame retardants on the properties of particle boards prepared from cottonseed hulls. *Biological Wastes, Volume 19, Issue 3*, 197-203
- [75] Papadopoulos, A.N., Hague, J.R.B. (2003). The potential for using flax shiv (*Linum usitatissimum* L.) as a lignocellulosic raw material for particleboard. *Ind. Crops Prod.*, 17, 143-147.
- [76] Papadopoulos, A.N., Hill, C., Traboulay, E. y Hague, J. (2002). Isocyanate resins for particleboard: PMDI vs EMDI. *HolzRoh-Werkstoff*, 60, 81-83.
- [77] Rowell, R.M., Norimoto, M. (1988). Dimensional stability of bamboo particleboards made from acetylated particles. *Mokuzai Gakkaishi*, 34, 627-629.
- [78] Saligna, A., Kızıysık, M., Muehl, J.H., Youngquist, A.J., Franco, F.S. (2001). Medium density fiberboard made from eucalyptus saligna. *Forest Prod. J.* 51, 10-22.
- [79] Sampathrajan, A., Vijayaraghavan, N.C., Swaminathan, K.R. (1992). Mechanical and thermal properties of particleboards made from farm residues. *Bioresour. Technol.*, 40, 249-251.
- [80] Shenyuan, F., Lingfei, M., Wnzhou, L. y Shuna, C. (2006). Liquefaction of bamboo, preparation of liquefied bamboo adhesives and properties of de adhesives. *Frontier forestry in China*, 2, 219-224.
- [81] Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Thomas, S. (2002). Water sorption in oilpalm fiber reinforced phenolformaldehyde composite. *ComposPartA:ApplSciManufact*, 33, 763-777.
- [82] Steidl, C.M., Wang, S., Bennett, R.M., Winistorfer, P.M. (2003). Tensile and compression properties through the thickness of oriented strand board. *ForestProductsJournal* 53, 72-80.
- [83] Suzuki, S. y Saito, F. (1987). Effects of environmental factors on the properties of particleboard. *Mokuzai Gakkaishi*, 33, 298-303.
- [84] Tröger, F., Wegener, G., Seemann, C. (1998). Miscanthus and flax as raw material for reinforced particleboards. *Ind. Crops Prod.*, 8, 113-121.
- [85] Van Voorn B., Smit H.H.G., Sinke R.J., de Klerk B. (2001). Natural fibre reinforced sheet moulding compound. *Composites: Part A*, 32, 1271-1279.
- [86] Vikram, Y., Wolcott, M.P. y Smith, L.V. (2005). Elastic properties of wood-strand composites with undulating strands. *Composites. Part A: applied science and manufacturing*, 98, 237- 247.
- [87] Vital, B., Kehmann, W. y Boone, R. (1974). How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. *Forest Products Journal*, 24, 33-45
- [88] Viswanathan, R. y Gothandapani, L. (1999). Mechanical properties of coir pith particle board. *Bioresistence Thecnology*, 67, 93-95.

- [89] Viswanathan, R., Gothandapani, L. y Kailappan, R. (2000). Water absorption and swelling characteristics of coir pith particle board. *Bioresistence Thecnology*, 71, 93-94.
- [90] Xu, W. y Suchland, O. (1998). Variability of particleboard properties from single-and mixed-species processes. *Forest Products Journal*, 48, 68-74.
- [91] Yalınkılıç., M.K., Imamura, Y., Takahashi, M., Kalaycıoglu, H., Nemli, G., Demirci, Z., Ozdemir, T. (1998). Biological, physical and mechanical properties of particleboard manufactured from waste tea leaves. *Int. Biodeteriorat. Biodegrad.*, 41, 75-84.

10.3.- Tesis doctorales

- [92] El Mansouri, N. (2006). *Despolimerización de lignina para su aprovechamiento en adhesivos para producir tableros de partículas*. Universidad Rovira i Virgili. Tarragona.
- [93] Codina, M. (1998). *Determinación de las propiedades mecánicas, físicas y de unión del tablero estructural Oriented Strand Board (OSB)*. Tesis de licenciatura en Cs. Forestales, Talca, Chile.
- [94] Saval Pérez, J.M. (2003). *Estudio del residuo de Posidonia Oceánica utilizado como adiciones en morteros de cemento*. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante.
- [95] Velásquez Jiménez, J.A. (2002). *Producción de Tableros de fibras a partir de Miscanthus Sinensis*. Universidad Rovira i Virgili. Tarragona.
- [96] Widsten, P. (2002). Oxidative Activation of Wood Fibers for the Manufacture of Medium-Density Fiberboard (MDF). Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Paper Technology.

10.4.- Congresos

- [97] Bekhta, P. A., Niemz, P. y Kucera, L. (2000). *The Study of Sound Propagation in the Wood-Based Composite Materials*. 12th Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Western Hungary - Sopron.
- [98] Gillespie, R.H., (1981). *Wood composites*. In: Oliver, J.F. (Ed.), Adhesion in cellulosic and wood-based composites. Nato Conference Series VI, Materials Science, vol. 3. Plenum Press, New York.
- [99] Morales, E. A. M., Rocco Lahr, F. A., Nascimento, M. F. y Gonçalves, R. (2004). *Estimativa de Propriedades Mecânicas de Painéis OSB (Oriented Strand Board) Através de Uso de Ultra-Som*. 10th Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras, Cuiabá - Brasil, Julio 27-29.
- [100] Sevillano Barja, N. *Absorción acústica para probetas de pasta de cemento con adición de posidonia*. 36ª Congreso Nacional de Acústica (Tecnacústica). Terrasa, 2005

10.5.- Patentes

- [101] Baker, R. (2008). *Fibre polymer composite (FPC) material*. World Intellectual Property Organization. International Bureau. 20-10-2005.
- [102] Bo, N. (2006). *Particle board*. World Intellectual Property Organization. International Bureau. 09-06-2006.
- [103] Fahrni, F. (1956). *Method for the manufacture of artificial wood panels built up from wood particles and bonding material, and panel manufactured by this method*. The office patent. London. 29-08-1956.
- [104] Thompson, D. y Thomas, N. (2007). *Medium density fibreboard*. World Intellectual Property Organization. International Bureau. 01-03-2005.
- [105] Gernot, H. (2002). *Oriented strand board with a shavings core and long chip outer layers, are obtained inexpensively with high bending modulus by*

using specified particle geometrical composition, core shavings content and pressure profile. Deutsches Patent und Makenamt. 25-04-2002.

[106] Ferrazzini, P. (1985). *Matériau aggloméré à haut degré d'inflammabilité.* Institut national de la propiété industrielle. Paris. 21-06-1985.

10.6.- Normativas y publicaciones oficiales

[107] DB-SE. *Documento Básico de Seguridad Estructural. Código Técnico de la Edificación.* Madrid: Boletín Oficial del Estado, Ministerio de la Vivienda, 2006.

[108] DB-SE-AE. *Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la edificación. Código Técnico de la Edificación.* Madrid: Boletín Oficial del Estado, Ministerio de la Vivienda, 2006.

[109] DB-SE-M. *Documento Básico de Seguridad Estructural. Madera. Código Técnico de la Edificación.* Madrid: Boletín Oficial del Estado, Ministerio de la Vivienda, 2007.

[110] ISO 140.3: 1996. *Acoustics -. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.*

[111] ISO 12572: 2001. *Hygrothermal performance of building materials and products -- Determination of water vapour transmission properties.*

[112] UNE EN 120: 1996. *Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido en formaldehído. Método de extracción denominado del perforador.* Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.

[113] UNE EN 300: 1996. *Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.* Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.

[114] UNE EN 312-1: 1997. *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 1. Especificaciones generales para todos los tipos de tableros.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997.

[115] UNE EN 312-4: 1997. *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 4. Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambientes secos.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997.

[116] UNE EN 312-5: 1997. *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 5. Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambientes húmedo.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997.

[117] UNE EN 312-6: 1997. *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 6. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente seco.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997.

[118] UNE 312-7: 1997. *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 7. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente húmedo.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997.

[119] UNE EN 316: 1994. *Tableros de fibras. Definiciones, clasificación y símbolos.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1994.

[120] UNE EN 318: 1996. *Resistencia tracción perpendicular a las caras.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.

[121] UNE EN 322: 1994. *Valor informativo. Contenido de humedad.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1994.

[122] UNE EN 323: 1994. *Resistencia a la flexión y Módulo de elasticidad.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1994.

[123] UNE EN 324-1: 1994. *Tableros derivados de la madera. Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 1: Determinación del espesor, anchura y longitud.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1994.

[124] UNE EN 335-2: 1994. *Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1994.

- [125] UNE EN 351-1: 1996. *Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.
- [126] UNE EN 622-1: 2004. *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004.
- [127] UNE EN 622-2: 2004. *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de fibras duros.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004.
- [128] UNE EN 622-3: 2004. *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones para los tableros de fibras semiduros.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004.
- [129] UNE EN 622-5: 2004. *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones para los tableros de fibras fabricados por proceso seco.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004.
- [130] UNE EN 789: 1996. *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.
- [131] UNE EN 1058: 1996. *Tableros derivados de la madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.
- [132] UNE EN 1084: 1996. *Tableros contrachapados. Clases de emisión de formaldehído determinadas según el método del gas.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.
- [133] UNE EN 12369-1: 2003. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 2: tableros contrachapados.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.
- [134] UNE EN 12369-2: 2003. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 1: OSB, tableros de partículas y fibras.* AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 1996.

10-7.- Fuentes electrónicas

- [135] Bodig, J. "The process of NDE research for wood and wood composites", The e-Journal of Nondestructive testing, ISSN: 1435-4934, 6 (3), 2001 (fecha de consulta Septiembre 22, 2010), acceso libre: <http://www.ndt.net/index.html> .
- [136] CSCAE. Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, (fecha de consulta octubre 8, 2010), acceso libre: [Http:// www.cscae.es](http://www.cscae.es)

10.8.- Catálogos y boletines de empresas del sector

- [137] VV.AA. (2007). *Tableros compactos y productos compuestos.* AITIM. *Boletín de información técnica* n° 246.
- [138] VV.AA. (2007). *Tableros de alma de cacahuete.* AITIM. *Boletín de información técnica* n° 246.
- [139] VV.AA. (2007). *Adhesivos de PMI. Tableros de alma de cacahuete.* AITIM. *Boletín de información técnica* n° 180.
- [140] Sauerländer Spanplatten GmbH. (2009).
- [141] Natruvex. (2010).
- [142] Isocotton GmbH. (2010).
- [143] Adhesivos Kefren. (2010).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Anejo A FICHAS DE FABRICACION DE
PROBETAS

F_p 1

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

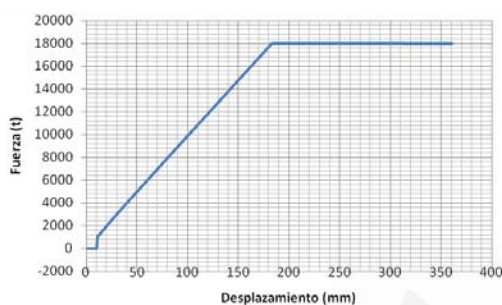
[Probeta n°. : 1]

1.- Dosificación:	0 % [1]
2.- Materiales:	120 g. de posidonia 0 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	En hoja entera
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	90 %
5.- Dimensiones antes del prensado:	155 x 120 x 100 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	155 x 120 x 10 mm ³
7.- Carga de prensado:	18.000 Kp
8.- Tensión de fabricación:	9.3 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	48 h.
10.- Densidad:	645 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Desigual con desprendimientos
12.- Comentarios:	Sin suficiente cohesión. Espesor variable: 7 mm a 15 mm.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respectos al peso de posidonia.

F_p 2

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

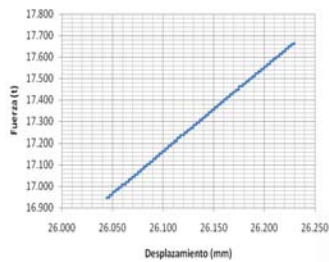
[Probeta n°. : 2]

1.- Dosificación:	258 % [1]
2.- Materiales:	200 g. de posidonia 516 g. de poliuretano PU.832
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 90 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 27.1 mm ³
7.- Carga de prensado:	-- Kp
8.- Tensión de fabricación:	-- N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	40 minutos.
10.- Densidad:	-- kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Color muy oscuro.
12.- Comentarios:	Fabricación fallida por exceso de adhesivo.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respectos al peso de posidonia.

F_p 3

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°. : 3]

- | | |
|--|--|
| 1.- Dosificación: | 0 % [1] |
| 2.- Materiales: | 563 g. de posidonia
0 g. de adhesivo.
En hoja entera. |
| 3.- Tratamiento de la posidonia: | Seca. Estufa 2 h. a 100°C |
| 4.- Contenido de humedad de la posidonia: | |
| 5.- Dimensiones antes del prensado: | 200 x 200 x 49 mm ³ |
| 6.- Dimensiones después del prensado: | 200 x 200 x 49 mm ³ |
| 7.- Carga de prensado: | 18.000 Kp |
| 8.- Tensión de fabricación: | 4.5 N/mm ² |
| 9.- Tiempo de presión: | 48 h. |
| 10.- Densidad: | 287 kg/m ³ |
| 11.- Apariencia superficial: | Irregular |
| 12.- Comentarios: | Probeta fallida, la presión es insuficiente para cohesionar las partículas sin humedad. No suficiente lignina. |

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 4

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

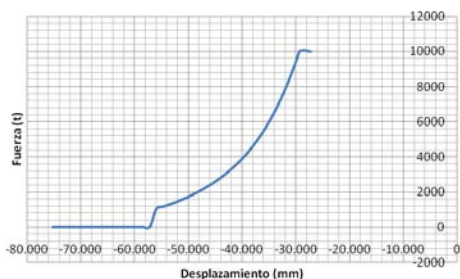
[Probeta n.º.: 4]

1.- Dosificación:	60 % [1]
2.- Materiales:	250 g. de posidonia 150 g. de poliuretano PU.832
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 35 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 10 mm ³
7.- Carga de prensado:	16.000 Kp
8.- Tensión de fabricación:	4 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	6 h.
10.- Densidad:	1110 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color oscuro.
12.- Comentarios:	Incrustaciones de parafina utilizada como desencofrante.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 5

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°. : 5]

- | | |
|--|--|
| 1.- Dosificación: | 30 % [1] |
| 2.- Materiales: | 800 g. de posidonia
240 g. de poliuretano PU.832 |
| 3.- Tratamiento de la posidonia: | Triturada. Tamiz de 3 mm |
| 4.- Contenido de humedad de la posidonia: | Ambiente. 40% |
| 5.- Dimensiones antes del prensado: | 200 x 200 x 70 mm ³ |
| 6.- Dimensiones después del prensado: | 200 x 200 x 31 mm ³ |
| 7.- Carga de prensado: | 10.000 Kp |
| 8.- Tensión de fabricación: | 2,5 N/mm ² |
| 9.- Tiempo de presión: | 12 h. |
| 10.- Densidad: | 830 kg/m ³ |
| 11.- Apariencia superficial: | Homogénea, color medio. |
| 12.- Comentarios: | Incrustaciones de parafina
utilizada como desencofrante. Cambiar tipo de desencofrante. |

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 6

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n.º.: 6]

1.- Dosificación:	15 % [1]
2.- Materiales:	833 g. de posidonia 125 g. de poliuretano PU.832
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 89 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 30 mm ³
7.- Carga de prensado:	10.000 Kp
8.- Tensión de fabricación:	2.5 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	6 h.
10.- Densidad:	790 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color claro.
12.- Comentarios:	Incrustaciones de parafina utilizada como desencofrante. Cambiar tipo de desencofrante.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 7

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

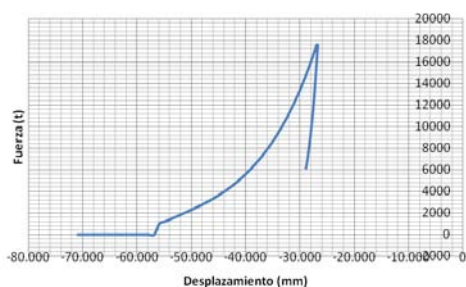
[Probeta nº.: 7

1.- Dosificación:	20% [1]
2.- Materiales:	1000 g. de posidonia 200 g. de poliuretano PU.832
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 88 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 30 mm ³
7.- Carga de prensado:	8.000 Kp
8.- Tensión de fabricación:	2 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	12 h.
10.- Densidad:	990 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color claro.
12.- Comentarios:	Se observan tenues manchas oscuras en superficie.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 8

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°. : 8]

1.- Dosificación:	20 % [1]
2.- Materiales:	1333 g. de posidonia 266 g. de poliuretano PU.832 Triturada. Tamiz de 3 mm
3.- Tratamiento de la posidonia:	Ambiente. 40%
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	200 x 200 x 110 mm ³
5.- Dimensiones antes del pensado:	200 x 200 x 40 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	In. 16.201 Kp, final 5.352 Kp
7.- Carga de prensado:	T ₀ =4.05N/mm ² , T _f =1.338 N/mm ²
8.- Tensión de fabricación:	5 h.
9.- Tiempo de presión:	1000 kg/m ³
10.- Densidad:	Homogénea, color claro.
11.- Apariencia superficial:	Se utiliza plástico
12.- Comentarios:	transparente como desencofrante dando buen resultado.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 9

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n.º.: 9]

1.- Dosificación:	15 % [1]
2.- Materiales:	1404 g. de posidonia 210 g. de poliuretano PU.832 Triturada. Tamiz de 3 mm
3.- Tratamiento de la posidonia:	Ambiente. 40%
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	780 x 300 x 25 mm ³
5.- Dimensiones antes del prensado:	780 x 300 x 10 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	14.200 Kp
7.- Carga de prensado:	N/mm ²
8.- Tensión de fabricación:	12 h.
9.- Tiempo de presión:	600 kg/m ³
10.- Densidad:	Homogénea, color claro.
11.- Apariencia superficial:	Se observan manchas oscuras
12.- Comentarios:	en superficie. El tablero es muy deformable. Falta presión.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respectos al peso de posidonia.

F_p 10

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°.: 10]

1.- Dosificación:	15 % [1]
2.- Materiales:	765 g. de posidonia 135 g. de poliuretano PU.832 Triturada. Tamiz de 3 mm
3.- Tratamiento de la posidonia:	Ambiente. 40%
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	200 x 200 x 35 mm ³
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 27.5 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	-- Kp
7.- Carga de prensado:	-- N/mm ²
8.- Tensión de fabricación:	6 h.
9.- Tiempo de presión:	900 kg/m ³
10.- Densidad:	Homogénea, color claro.
11.- Apariencia superficial:	Se observan manchas oscuras
12.- Comentarios:	en superficie. Se aplican varios ciclos de presión. Espesor variable de 30 mm a 25 mm.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 11

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta nº.: 11]

1.- Dosificación:	15 % [1]
2.- Materiales:	2685 g. de posidonia 474 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	70 %
5.- Dimensiones antes del prensado:	780 x 300 x 45 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	780 x 300 x 22.5 mm ³
7.- Carga de prensado:	variable. 13.500 Kp
8.- Tensión de fabricación:	variable. 0.58 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	12 h.
10.- Densidad:	675 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color medio.
12.- Comentarios:	Se observan manchas oscuras en superficie. Tras varios ciclos de presión la prensa no puede conformar la probeta.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 12

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°. 12]

1.- Dosificación:	15 % [1]
2.- Materiales:	765 g. de posidonia 135 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 40 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 22 mm ³
7.- Carga de prensado:	In 17.000 Kp, final 6.063 Kp
8.- Tensión de fabricación:	T ₀ =4.25N/mm ² , T _F =1.515 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	10 h.
10.- Densidad:	1034 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color claro.
12.- Comentarios:	Se observan manchas oscuras en superficie.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 13

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°.: 13]

1.- Dosificación:	10 % [1]
2.- Materiales:	825 g. de posidonia 82.5 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	Ambiente. 40%
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 45 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 22 mm ³
7.- Carga de prensado:	In 17.000 Kp, final 6.363 Kp
8.- Tensión de fabricación:	T ₀ =4.25N/mm ² , T _F =1.590 N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	6 h.
10.- Densidad:	1034 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color claro.
12.- Comentarios:	Se observan manchas oscuras en superficie.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 14

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n.º.: 14]

1.- Dosificación:	20 % [1]
2.- Materiales:	1.862 g. de posidonia 373 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	70 %
5.- Dimensiones antes del prensado:	780 x 300 x 30 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	780 x 300 x 9 mm ³
7.- Carga de prensado:	29.500 Kp ₂ . Variable
8.- Tensión de fabricación:	1.26 N/mm ² . Variable
9.- Tiempo de presión:	6 h.
10.- Densidad:	1.000 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Homogénea, color medio.
12.- Comentarios:	Se observan manchas oscuras en superficie. Tras varios ciclos de presión la prensa no puede conformar la probeta.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respectos al peso de posidonia.

F_p 15

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta n°.: 15]

1.- Dosificación:	10 % [1]
2.- Materiales:	900 g. de posidonia 90 g. de adhesivo.
3.- Tratamiento de la posidonia:	Triturada. Tamiz de 3 mm
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	70 %
5.- Dimensiones antes del prensado:	200 x 200 x 43 mm ³
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 40 mm ³
7.- Carga de prensado:	Variable.
8.- Tensión de fabricación:	Variable.
9.- Tiempo de presión:	6 h.
10.- Densidad:	619 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	Irregular.
12.- Comentarios:	Probeta fallida. No hay suficiente cohesión. La prensa no puede conformar la probeta.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 16

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta nº.: 16]

1.- Dosificación:	-- % [1]
2.- Materiales:	-- g. de madera de pino. -- g. de adhesivo. Partículas
3.- Tratamiento de la posidonia:	-- %
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	--
5.- Dimensiones antes del prensado:	--
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 25 mm ³
7.- Carga de prensado:	-- Kp
8.- Tensión de fabricación:	-- N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	-- h.
10.- Densidad:	555 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	--
12.- Comentarios:	Aportado por almacén de maderas.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 17

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

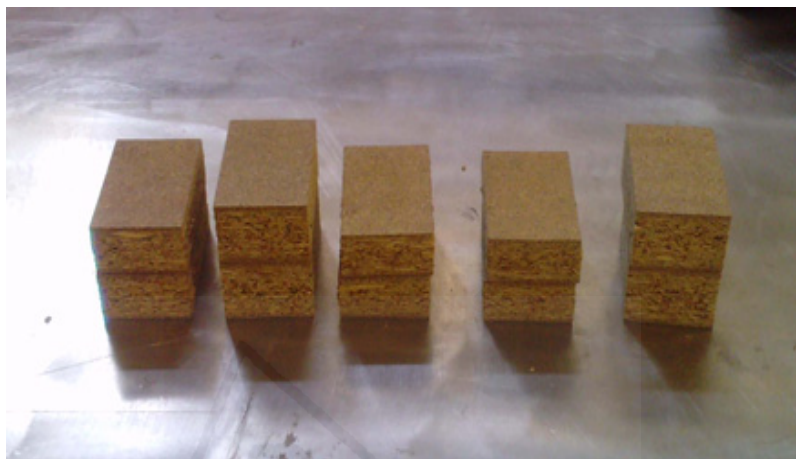
[Probeta n°. : 17]

1.- Dosificación:	-- % [1]
2.- Materiales:	-- g. de madera de pino. -- g. de adhesivo. Partículas.
3.- Tratamiento de la posidonia:	-- %
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	--
5.- Dimensiones antes del prensado:	--
6.- Dimensiones después del prensado:	200 x 200 x 25 mm ³
7.- Carga de prensado:	-- Kp
8.- Tensión de fabricación:	-- N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	-- h.
10.- Densidad:	555 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	--
12.- Comentarios:	Aportado por almacén de maderas.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 18-22

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta nº.: 18-22]

1.- Dosificación:	-- % [1]
2.- Materiales:	-- g. de madera de pino. -- g. de adhesivo. Partículas.
3.- Tratamiento de la posidonia:	-- %
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	-- %
5.- Dimensiones antes del prensado:	--
6.- Dimensiones después del prensado:	70 x 45 x 30 mm ³
7.- Carga de prensado:	-- Kp
8.- Tensión de fabricación:	-- N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	-- h.
10.- Densidad:	656 kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	--
12.- Comentarios:	Aportado por almacén de maderas.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.

F_p 23-24

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Probeta nº.: 23-24]

1.- Dosificación:	-- % [1]
2.- Materiales:	-- g. de madera de pino. -- g. de adhesivo. Partículas.
3.- Tratamiento de la posidonia:	--
4.- Contenido de humedad de la posidonia:	-- %
5.- Dimensiones antes del prensado:	--
6.- Dimensiones después del prensado:	750 x 300 x 10 mm ³
7.- Carga de prensado:	-- Kp
8.- Tensión de fabricación:	-- N/mm ²
9.- Tiempo de presión:	- h.
10.- Densidad:	-- kg/m ³
11.- Apariencia superficial:	--
12.- Comentarios:	Aportado por almacén de maderas.

[1] Porcentaje correspondiente al peso de adhesivo respecto al peso de posidonia.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Anejo B FICHAS DE RESULTADOS DE LOS
ENSAYOS

E_y 1_R

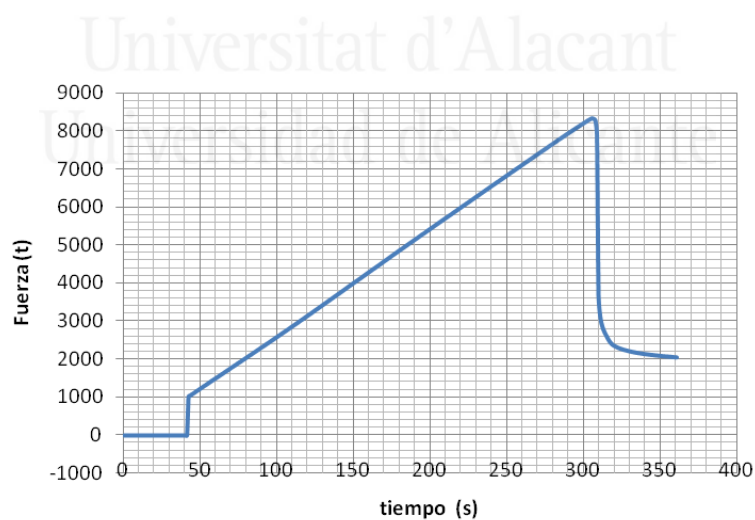
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n.º.: 1_R_07-09-2010]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 8 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 0.266 KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 5472 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 6.84 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |

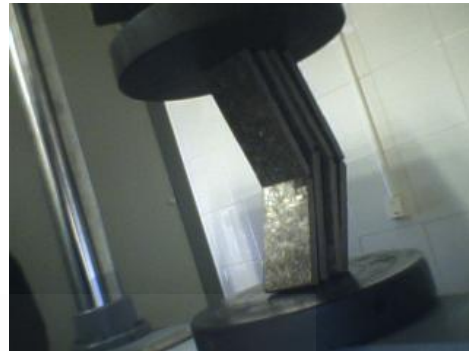


Gráfica carga-tiempo.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 1_

E_y 2_R

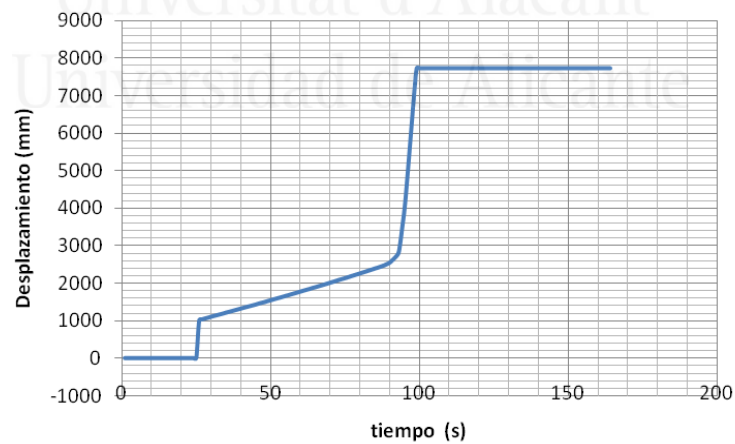
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°.: 2_R_09-09-2010]

1.- Probeta:	4
2.- Propiedad (resistencia):	Compresión paralela plano.
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Velocidad de carga:	0.08 KN/s
5.- Carga de rotura:	1702 Kp
6.- Tensión de rotura:	9.45 N/mm ²
7.- Comentarios:	Rotura por pandeo.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°.: 2_R]

E_y 3_R

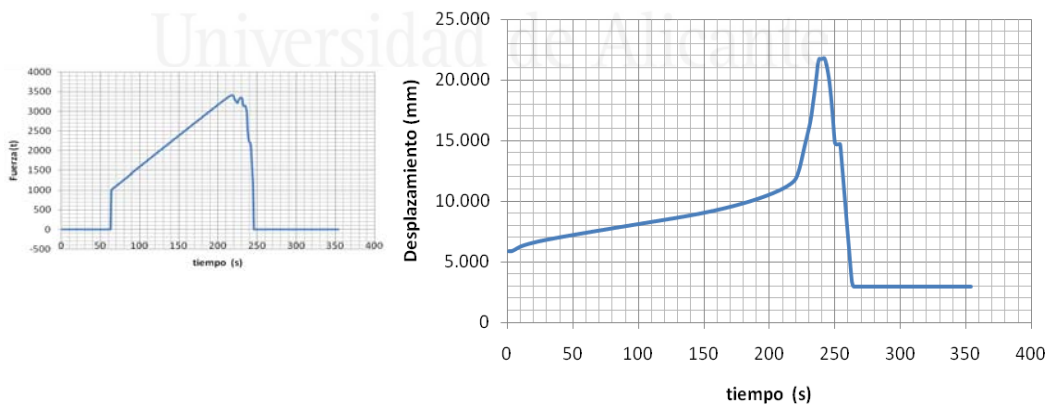
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 3_R_09-09-2010]

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 5 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 0.16 KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 4801 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 7.386 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica carga y movimiento - tiempo.

[Gráfica del Ensayo n°. : 3_R]

E_y 4_R

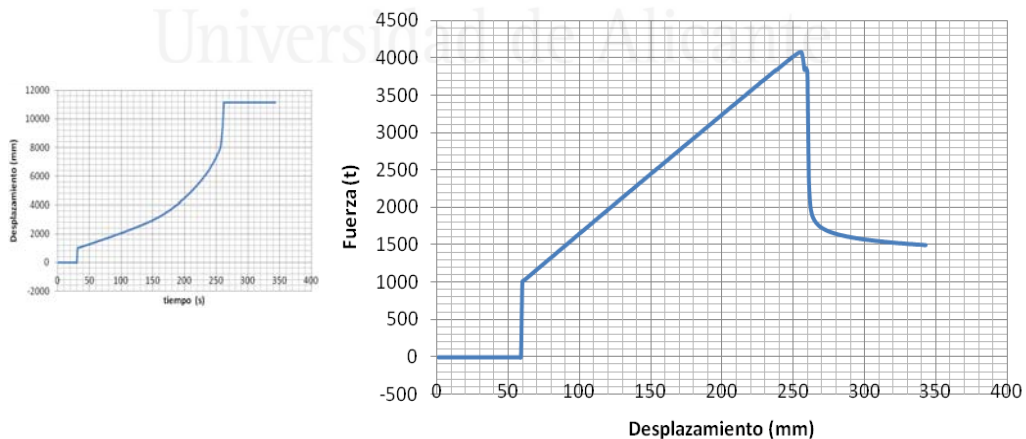
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 4_R_09-09-2010]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 6 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 0.16 KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 4473 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 7.455 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica tiempo y carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 4_R]

E_y 5_R

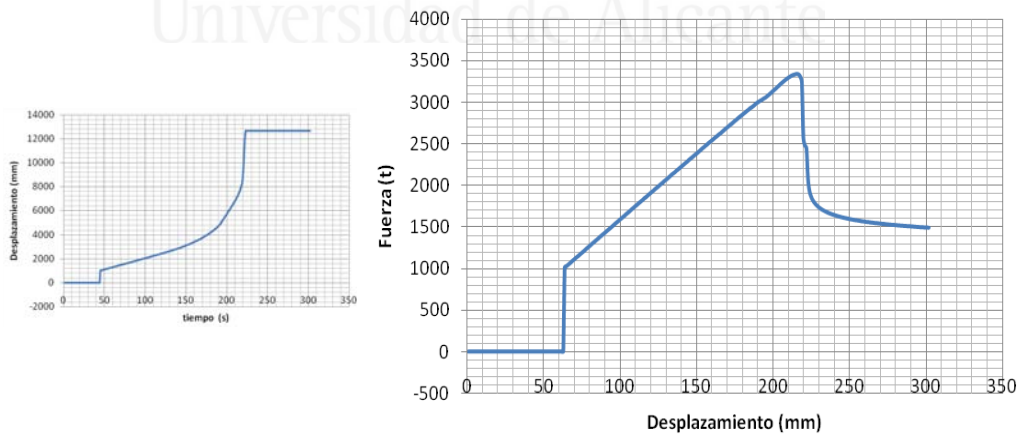
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 5_R_09-09-2010]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 7 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 0.16 KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 3668 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 6.113 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica tiempo-carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 5_R]

E_y 6_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 6_R_11-01-2010]

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1.- Probeta: | 9 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Flexión. |
| 3.- Norma de referencia: | Sin referencias. |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 1943 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 0.7 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por flexión. |



[Foto del Ensayo n°. : 6_R]

E_y 7_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 7_R]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 10 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | -- Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | -- N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Ensayo fallido. |

[Gráfica del Ensayo n°. : 7_R]

E_y 8_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n.º.: 8_R_11-10-2010]

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1.- Probeta: | 11 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Flexión. |
| 3.- Norma de referencia: | Sin referencias. |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 16137 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 1.2 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por flexión. |



[Foto del Ensayo n.º.: 8_R]

E_y 9_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

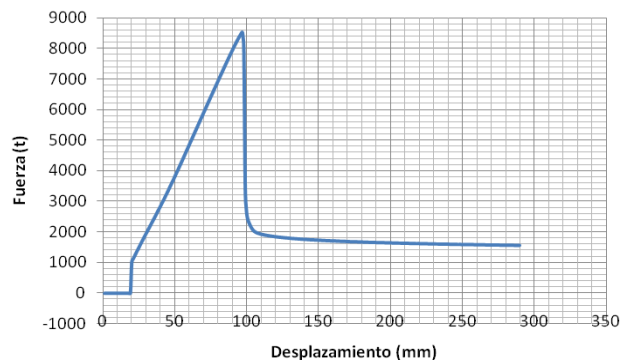
[Ensayo n°. : 9_R_29-09-2010]

1.- Probeta:	12.1
2.- Propiedad (resistencia):	Compresión perpendicular.
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Velocidad de carga:	-- KN/s
5.- Carga de rotura:	8507 Kp
6.- Tensión de rotura:	27 N/mm ²
7.- Comentarios:	Rotura por cortante.

Plastificación.

No se produce un cumplimiento Estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.

Las caras superior e inferior de la probeta no son paralelas en la rotura.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 9_R]

E_y 10_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

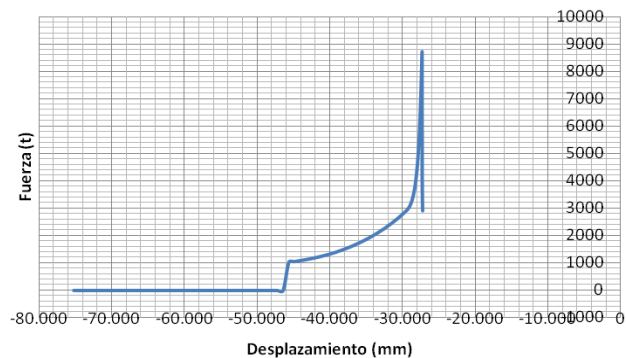
[Ensayo n.º.: 10_R_30-09-2010]

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 12.2 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 8694 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 27.1 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |

Plastificación.

No se produce un cumplimiento Estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.

Las caras superior e inferior de la probeta no son paralelas en la rotura.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 10_R]

E_y 11_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

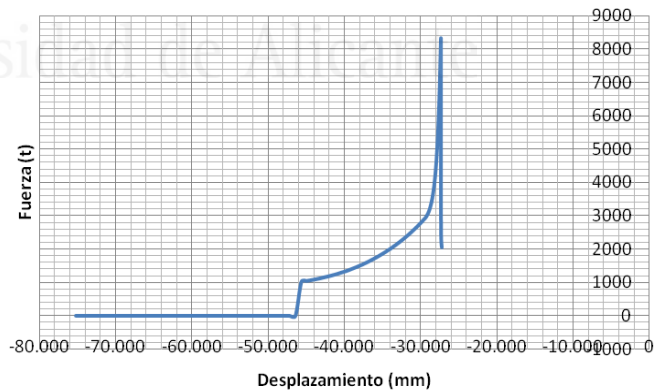
[Ensayo n.º.: 11_R_30-09-2010]

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 12.3 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 8114 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 25.7 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |

Plastificación.

No se produce un cumplimiento Estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.

Las caras superior e inferior de la probeta no son paralelas en la rotura.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 11_R]

E_y 12_R

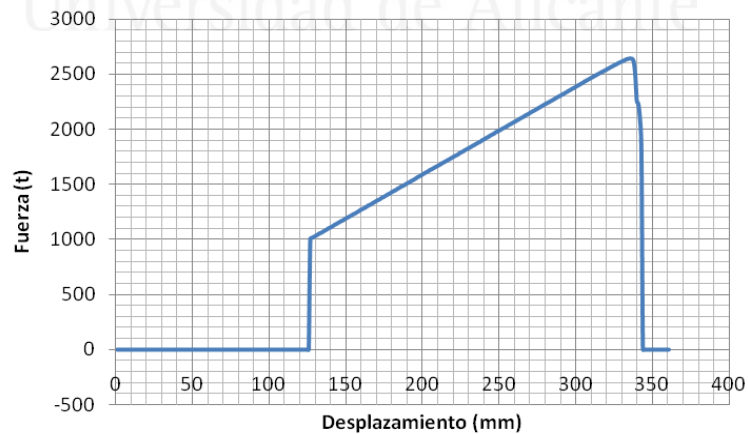
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 12_R]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 13 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 8 KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 2626 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 5.587 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 12_R]

E_y 13_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°.: 13_R_11-10-2010]

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1.- Probeta: | 14 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Flexión. |
| 3.- Norma de referencia: | Sin referencias. |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 7437 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 3.3 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por flexión. Con una flecha total de 8 cm en 70 cm de luz. Antes de la rotura y sin carga queda una deformación remanente de 3,5 cm. |



[Foto del Ensayo n°.: 13_R]

E_y 14_R

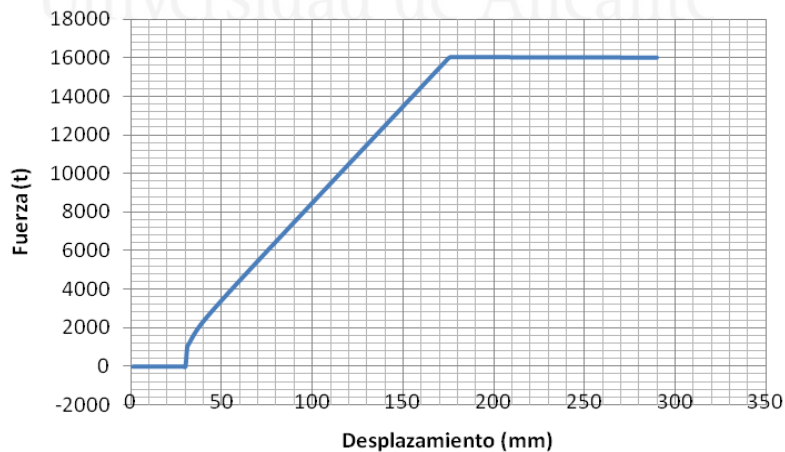
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 14_R_30-09-2010]

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 16 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 3264 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 6.528 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 14_R]

E_y 15_R

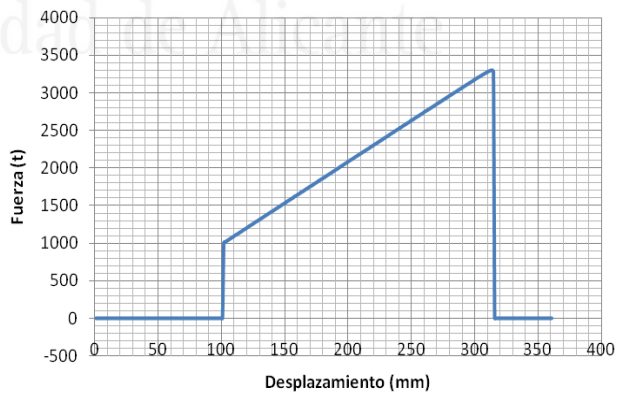
ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n.º.: 15_R_30-09-2010]

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1.- Probeta: | 17 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión paralela plano. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura: | 3283 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 6.566 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por cortante. |



Gráfica carga-movimiento-tiempo.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 15_R]

E_y 16_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

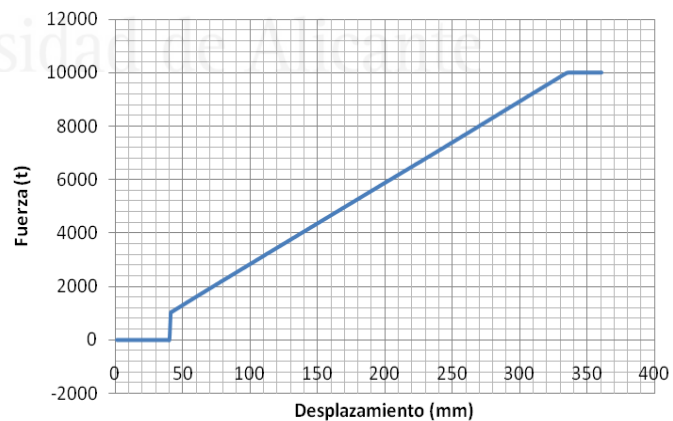


DATOS:

[Ensayo n.º.: 16_R_29-09-2010]

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 18 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 10000 Kp |
| 6.- Tensión de rotura : | 31.7 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | No rotura. |

No se produce un cumplimiento estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.
Se producen acortamientos de 2 cm sobre 6 cm.
No se produce la rotura total.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 16_R]

E_y 17_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

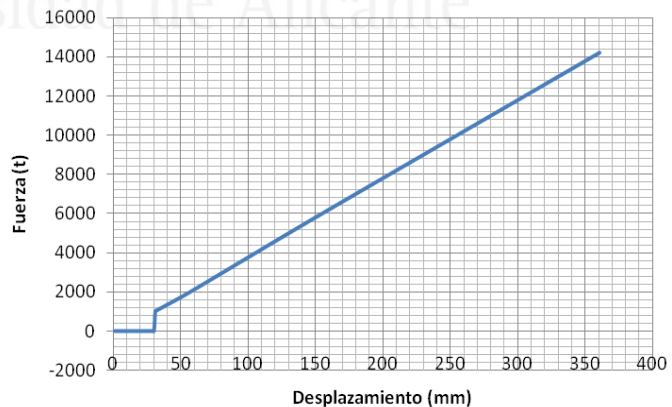


DATOS:

[Ensayo n.º.: 17_R_29-09-2010]

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 19 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 15000 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 47.6 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | No rotura. |

No se produce un cumplimiento estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.
Se producen acortamientos de 2 cm sobre 6 cm.
No se produce la rotura total.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 17_R]

E_y 18_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

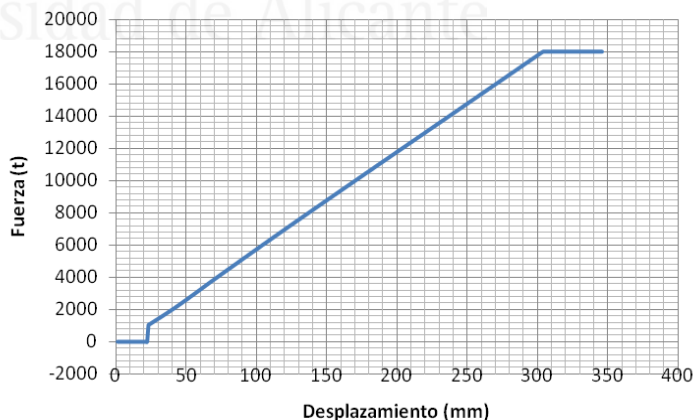


DATOS:

[Ensayo n°.: 18_R_29-09-2010]

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 20 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 18000 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 57.1 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | No rotura. |

No se produce un cumplimiento Estricto de la UNE EN 789 en el cálculo del valor de resistencia pues se lleva hasta la rotura y la norma indica que el valor es el correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.
Se producen acortamientos de 2 cm sobre 6 cm.
No se produce la rotura total.



Gráfica carga-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°.: 18_R]

E_y 19_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



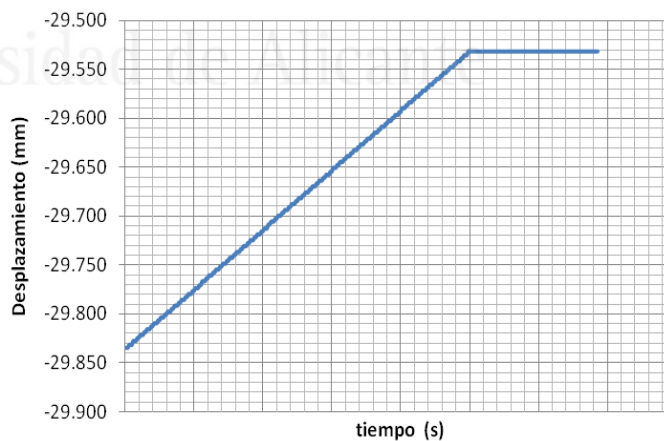
DATOS:

[Ensayo n°.: 19_R_30-09-2010]

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1.- Probeta: | 21 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Compresión perpendicular. |
| 3.- Norma de referencia: | UNE EN 789 |
| 4.- Velocidad de carga: | 0.12 KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 154 Kp (1) |
| 6.- Tensión de rotura: | 0.488 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | No rotura. |

(1) Valor de rotura correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.

No se produce la rotura total.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°.: 19_R]

E_y 20_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



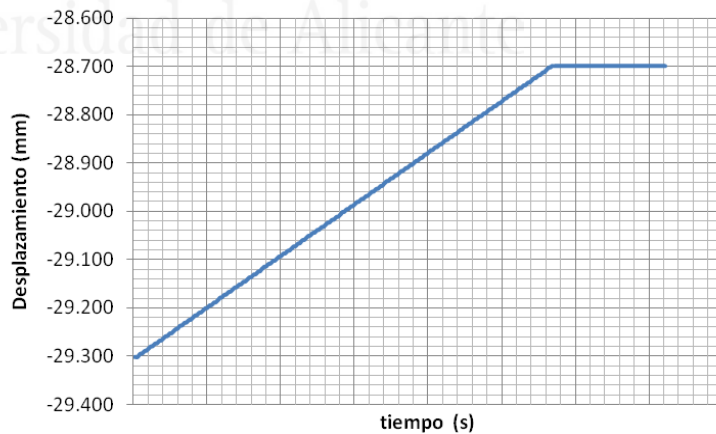
DATOS:

[Ensayo n°. : 20_R_30-09-2010]

1.- Probeta:	22
2.- Propiedad (resistencia):	Compresión perpendicular.
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Velocidad de carga:	0.21 KN/s
5.- Carga de rotura :	392 Kp (1)
6.- Tensión de rotura:	1.24 N/mm ²
7.- Comentarios:	No rotura.

(1) Valor de rotura correspondiente a un acortamiento del 10% del espesor.

No se produce la rotura total.

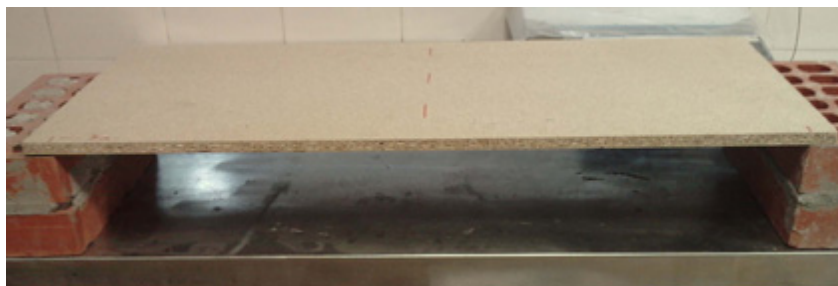


Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 20_R]

E_y 21-22_R

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 21-22_R_11-10-2010]

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1.- Probeta: | 23 y 24 |
| 2.- Propiedad (resistencia): | Flexión. |
| 3.- Norma de referencia: | Sin referencias. |
| 4.- Velocidad de carga: | -- KN/s |
| 5.- Carga de rotura : | 27 Kp |
| 6.- Tensión de rotura: | 9.3 N/mm ² |
| 7.- Comentarios: | Rotura por flexión. |



[Foto del Ensayo n°. : 21-22_R]

E_y 1_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



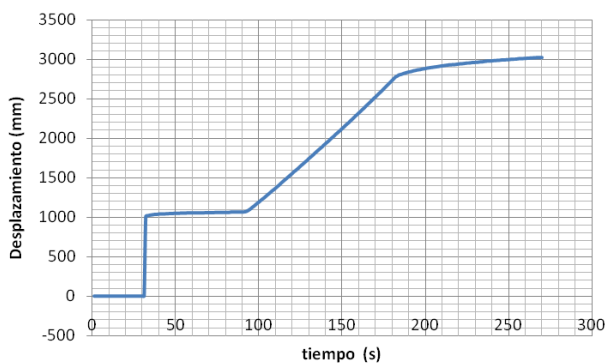
DATOS:

[Ensayo n°. : 1_E__06-09-2010]

1.- Probeta:	8
2.- Valor del módulo de elasticidad:	146.7 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	8000 Kp
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	0.084mm.Reloj compar.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	1.924mm.Reloj compar.
7.- Velocidad de carga:	0.266 KN/s
8.- Longitud L ₁ :	90 mm
9.- Area (A):	80 cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	3 N/mm ²
11.- Comentarios:	

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 1_E]

E_y 2_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

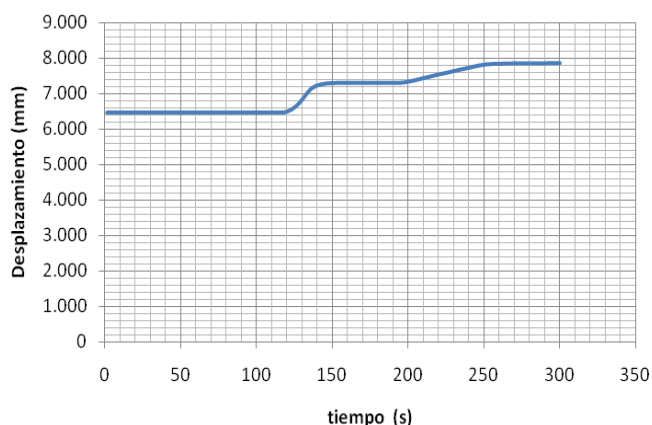


DATOS:

[Ensayo n.º.: 2_E __09-09-2010]

1.- Probeta:	4
2.- Valor del módulo de elasticidad:	361.8 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	540 Kp
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	3.305mm.Reloj compar.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	3.495mm.Reloj compar.
7.- Velocidad de carga:	0.08 KN/s
8.- Longitud L₁ :	75 mm
9.- Area (A):	18 cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	0.9167 N/mm ²
11.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.
Incremento de resistencia Por dosificación al 60%.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 2_E]

E_y 3_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

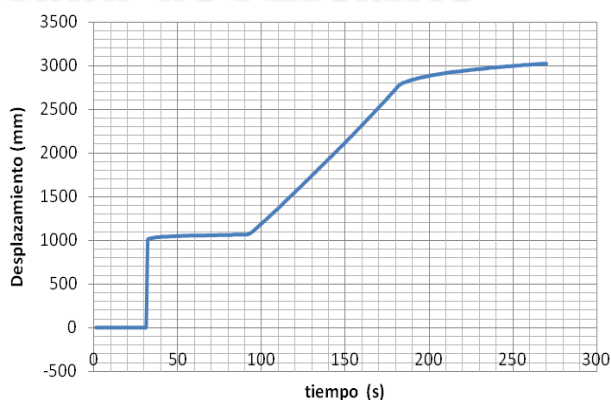


DATOS:

[Ensayo n°.: 3_E__ 09-09-2010]

1.- Probeta:	5
2.- Valor del módulo de elasticidad:	346.1 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	4800 Kp
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	2.695mm.Reloj compar.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	3.175mm.Reloj compar.
7.- Velocidad de carga:	0.16 KN/s
8.- Longitud L₁ :	75 mm
9.- Area (A):	65 cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	2.215 N/mm ²
11.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.
Defectos en la probeta.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°.: 3_E]

E_y 4_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

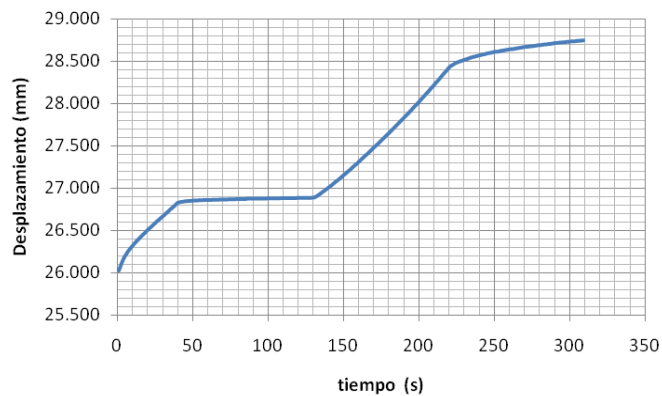


DATOS:

[Ensayo n°. : 4_E_09-09-2010]

1.- Probeta:	6		
2.- Valor del módulo de elasticidad:	352.9 N/mm ²		
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789		
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	4800 Kp		
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	1.650	mm.	Reloj
comparador.			
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	2.160	mm.	Reloj
comparador.			
7.- Velocidad de carga:	0.16	KN/s	
8.- Longitud L₁ :	75	mm	
9.- Area (A):	60	cm ²	
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	2.4	N/mm ²	
11.- Comentarios:			

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 4_E]

E_y 5_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

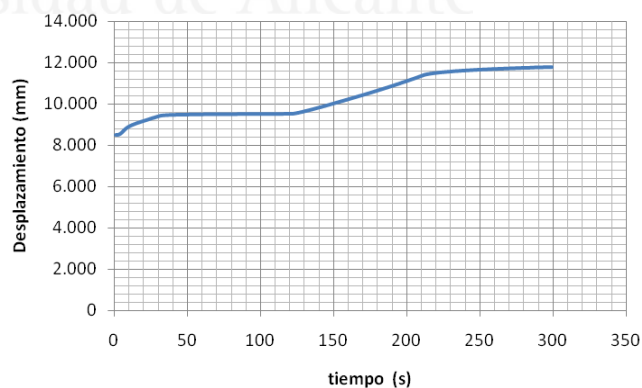


DATOS:

[Ensayo n.º.: 5_E_09-09-2010]

1.- Probeta:	7	
2.- Valor del módulo de elasticidad:	456.3 N/mm ²	
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789	
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	4800 Kp	
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	1.115	mm. Reloj comparador.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	1.510	mm. Reloj comparador.
7.- Velocidad de carga:	0.16	KN/s
8.- Longitud L₁ :	75	mm
9.- Area (A):	60	cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	2.4	N/mm ²
11.- Comentarios:		

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n.º.: 5_E]

E_y 6_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°. : 6_E_11-10-2010]

1.- Probeta:	9
2.- Valor del módulo de elasticidad:	116.7 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	Sin referencias.
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	5.70 Kp (1.943 Kp)
5.- Primera lectura (p.pr.+0.83 Kp):	41 mm. Regla. Flecha max.
6.- Segunda lectura:	-- mm. Regla. Rotura.
7.- Velocidad de carga:	-- KN/s
8.- Inercia (I):	2,50 cm ⁴
9.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo. Influencia del adhesivo. Datos orientativos.



[Foto del Ensayo n°. : 6_E]

E_y 7_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°.: 7_E]

1.- Probeta:	10
2.- Valor del módulo de elasticidad:	-- N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (F _{max}):	-- Kp
5.- Primera lectura (F ₁ = 10% F _{max}):	-- mm. Reloj compar.
6.- Segunda lectura (F ₂ = 40% F _{max}):	-- mm. Reloj compar.
7.- Velocidad de carga:	-- KN/s
8.- Longitud L ₁ :	-- mm
9.- Area (A):	-- cm ²
10.- Tensión (F ₂ -F ₁ / A):	-- N/mm ²
11.- Comentarios:	Ensayo fallido.

Probeta sin suficiente presión.

[Gráfica del Ensayo n°.: 7_E]

E_y 8_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n°.: 8_E_11-10-2010]

1.- Probeta:	11
2.- Valor del módulo de elasticidad:	369.6 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	Sin referencias.
4.- Carga de rotura prevista (F _{max}):	23 Kp (16.137 Kp)
5.- Primera lectura (p.pr. + 3,037 Kp):	13mm.Regla.Flec. max.
6.- Segunda lectura (p.pr. + 5,237 Kp):	16mm.Regla.Flec. max.
7.- Velocidad de carga:	-- KN/s
8.- Inercia(I):	10 cm ⁴
9.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo. Influencia del adhesivo. Datos orientativos.



[Foto del Ensayo n°.: 8_E]

E_y 9_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.

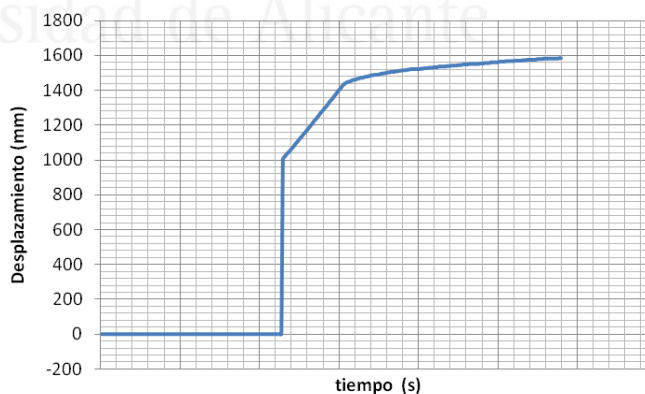


DATOS:

[Ensayo n°. : 9_E_30-09-2010]

1.- Probeta:	13
2.- Valor del módulo de elasticidad:	461.6 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	2.300 Kp
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	570 mm. Extensiometr.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	3750 mm. Extensiometr.
7.- Velocidad de carga:	0.15 KN/s
8.- Longitud L₁ :	75 mm
9.- Area (A):	47 cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	1.468 N/mm ²
11.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo.
Influencia del adhesivo de Poliuretano muy elástico.
Comportamiento plástico.
Las medidas con galga extensométrica son más precisas.



Gráfica tiempo-movimiento.

[Gráfica del Ensayo n°. : 9_E]

E_y 10_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



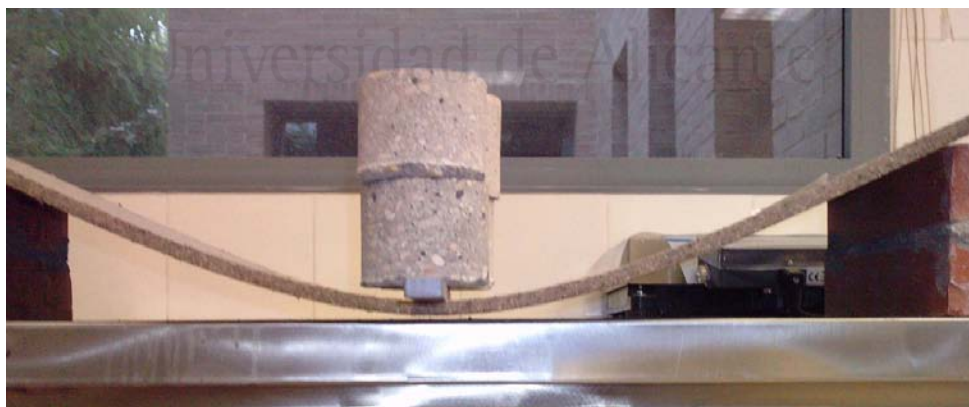
DATOS:

[Ensayo n°.: 10_E_11-10-2010]

1.- Probeta:	14
2.- Valor del módulo de elasticidad:	405.5 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	Sin referencias.
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	4.60 Kp (7.437 Kp)
5.- Primera lectura (p.pr. + 0,837 Kp):	26mm.Regla. Flec max.
6.- Segunda lectura (p.pr. + 4,137 Kp):	80mm.Regla. Flec max.
7.- Velocidad de carga:	-- KN/s
8.- Inercia (I):	1,83 cm ⁴
9.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad muy bajo. Influencia del adhesivo. Datos orientativos.

Universitat d'Alacant



[Foto del Ensayo n°.: 10_E]

E_y 11_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



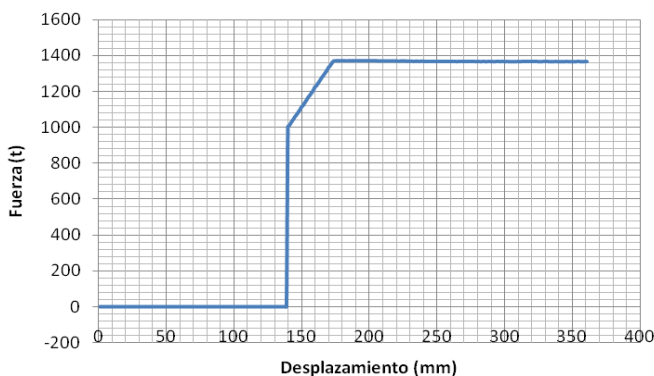
DATOS:

[Ensayo n°. : 11_E]

1.- Probeta:	17
2.- Valor del módulo de elasticidad:	1461.4 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	UNE EN 789
4.- Carga de rotura prevista (Fmax):	3.410 Kp
5.- Primera lectura (F1 = 10% Fmax):	400 mm. Extensimetr.
6.- Segunda lectura (F2 = 40% Fmax):	1.800 mm. Extensio.
7.- Velocidad de carga:	-- Kp/s
8.- Longitud L₁ :	75 mm
9.- Area (A):	50 cm ²
10.- Tensión (F2 -F1 / A):	2.046 N/mm ²
11.- Comentarios:	

Módulo de elasticidad mayor.

Las medidas con galga extensométrica son más precisas.



Gráfica carga-movimiento

[Gráfica del Ensayo n°. : 11_E]

E_y 12-13_E

ENSAYOS: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.



DATOS:

[Ensayo n.º.: 12-13_E_11-10-2010]

1.- Probeta:	23 y 24
2.- Valor del módulo de elasticidad:	5000 N/mm ²
3.- Norma de referencia:	Sin referencias.
4.- Carga de rotura prevista (F _{max}):	28.60 Kp (27 Kp)
5.- Primera lectura (p.pr. + 0,837 Kp):	2mm. Regla. Flec max.
6.- Segunda lectura (p.pr. + 6,987 Kp):	8mm. Regla. Flec max.
7.- Velocidad de carga:	-- KN/s
8.- Inercia (I):	2,50 cm ⁴
9.- Comentarios:	

Tablero partículas madera. Datos orientativos.



[Foto del Ensayo n.º.: 12-13_E]

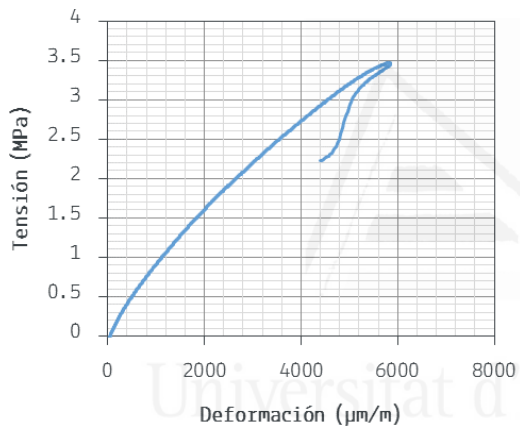
E₂ 25_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

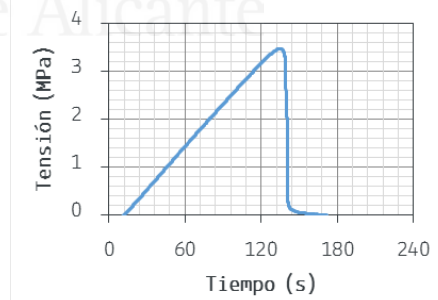
Probeta 25	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	30 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	784.4 N/mm²
Tensión de rotura:	3.47 N/mm²
Deformación de rotura:	0.586%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.25]

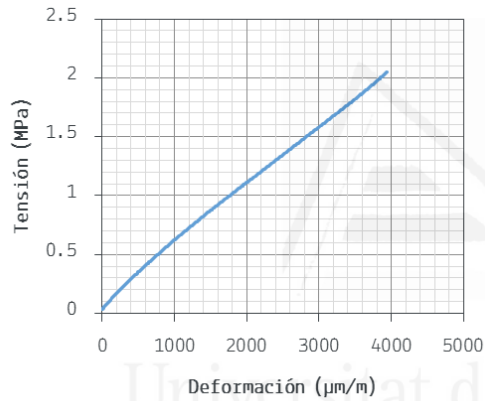
E₂ 26_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

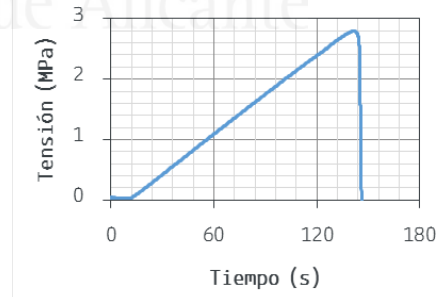
Probeta 26	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	20 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	966.6 N/mm²
Tensión de rotura:	5.59 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.26]

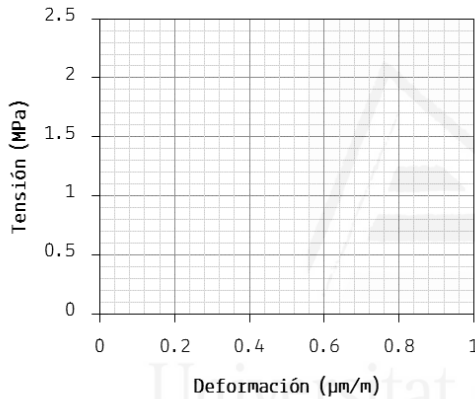
E₂ 27_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

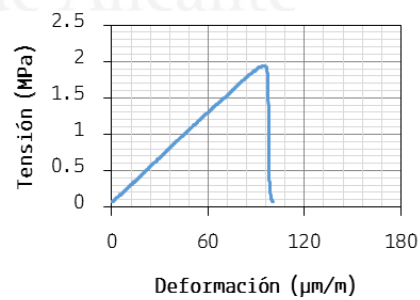
Probeta 27	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	21 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	-
Tensión de rotura:	1.94 N/mm²
Deformación de rotura:	-
Tipo de rotura:	-
Comentarios:	-



[Datos del Ensayo n°.27]

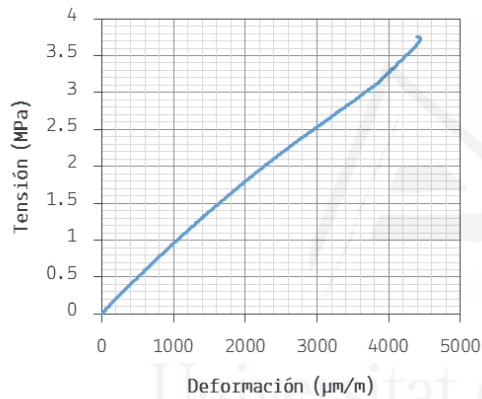
E₂ 28_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

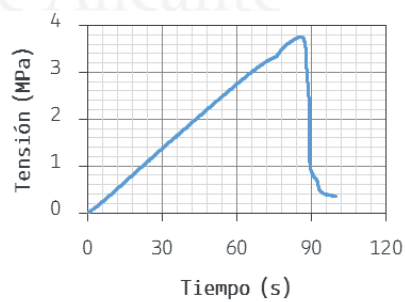
Probeta 28	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	19 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	827.4 N/mm²
Tensión de rotura:	3.47 N/mm²
Deformación de rotura:	0.56%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.28]

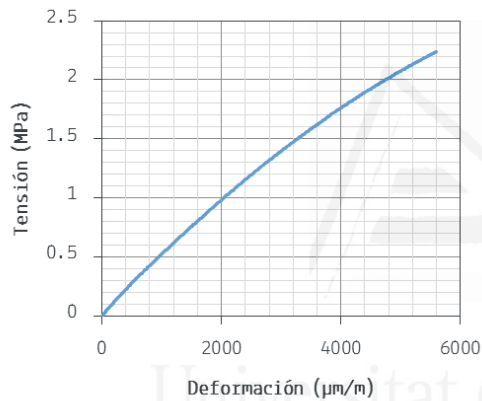
E₂ 29_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

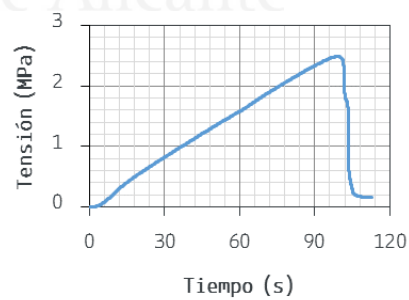
Probeta 29	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	16 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1091.2 N/mm²
Tensión de rotura:	2.52 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.63%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.29]

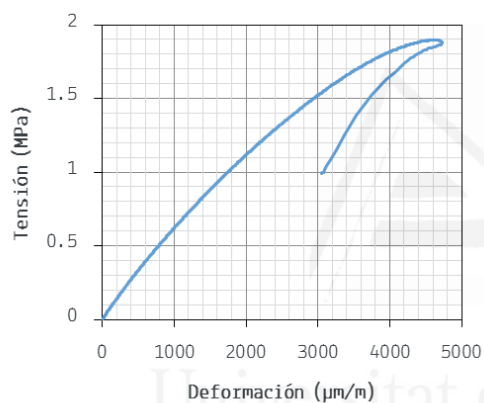
E₂ 30_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

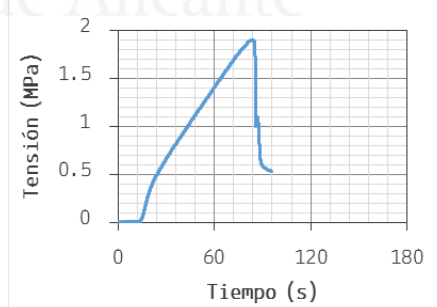
Probeta 30	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	17 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	584.4 N/mm²
Tensión de rotura:	1.92 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.52%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.30]

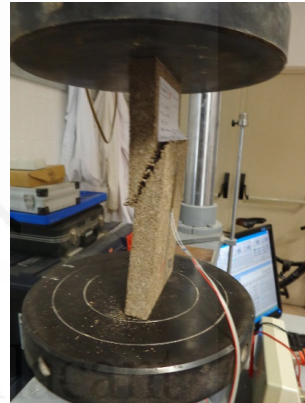
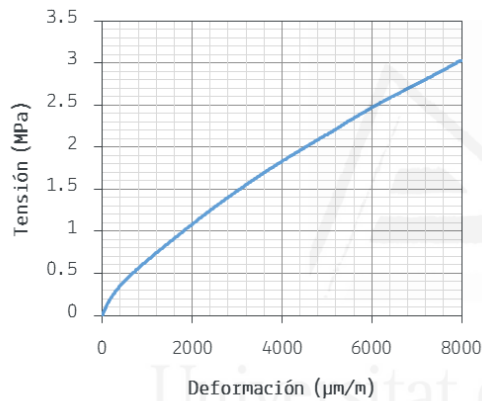
E₂ 31_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

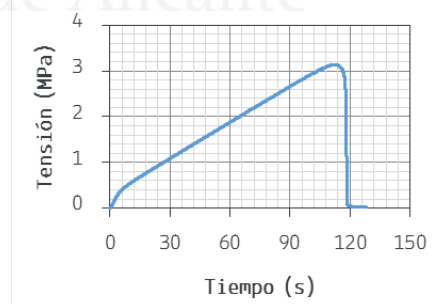
Probeta 31	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	25% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	497.3 N/mm²
Tensión de rotura:	3.16 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.65%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.31]

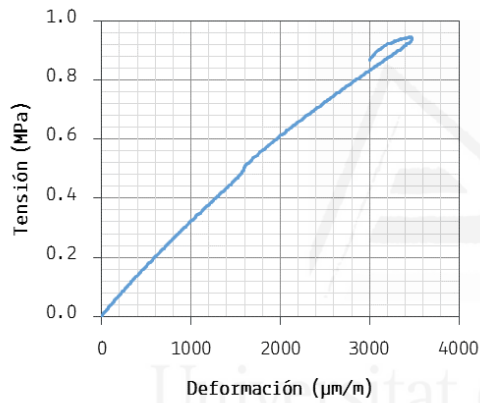
E₂ 32_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

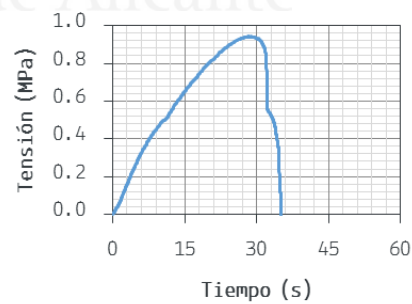
Probeta 32	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	10% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	308.1 N/mm²
Tensión de rotura:	0.99 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.43%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.32]

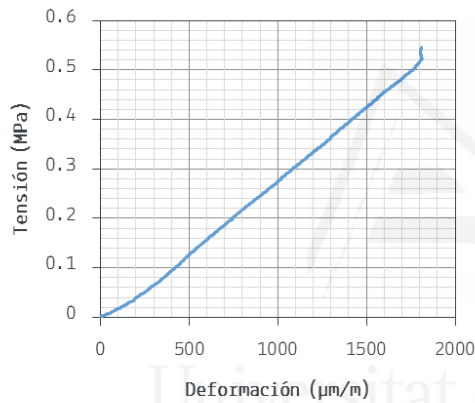
E₂ 33_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

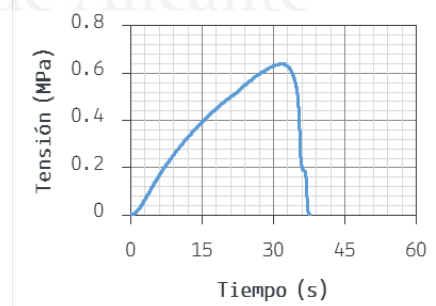
Probeta 33	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	19 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	295.8 N/mm²
Tensión de rotura:	0.67 N/mm²
Deformación de rotura:	0.182%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.33]

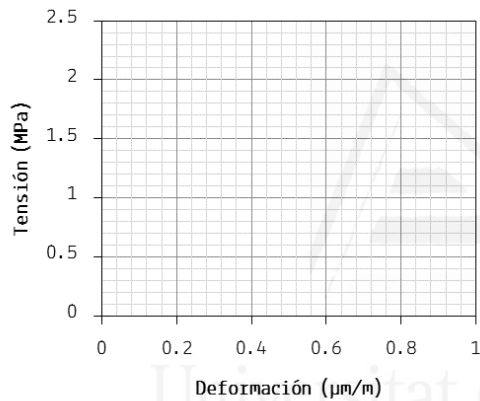
E₂ 34_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

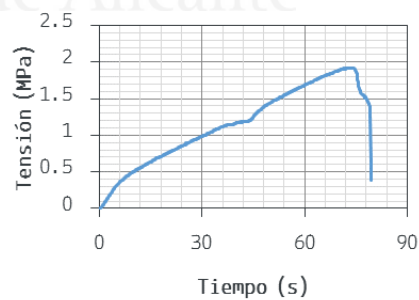
Probeta 34	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	17 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	-
Tensión de rotura:	1.60 N/mm²
Deformación de rotura:	-
Tipo de rotura:	-
Comentarios:	-



[Datos del Ensayo n°.34]

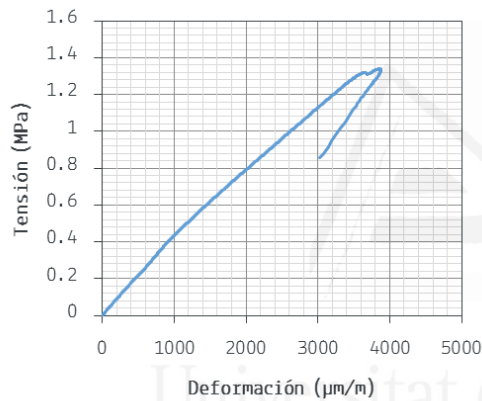
E₂ 35_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

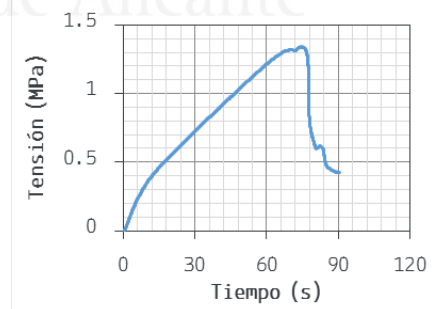
Probeta 35	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	24 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	416.3 N/mm²
Tensión de rotura:	1.37 N/mm²
Deformación de rotura:	0.443%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.35]

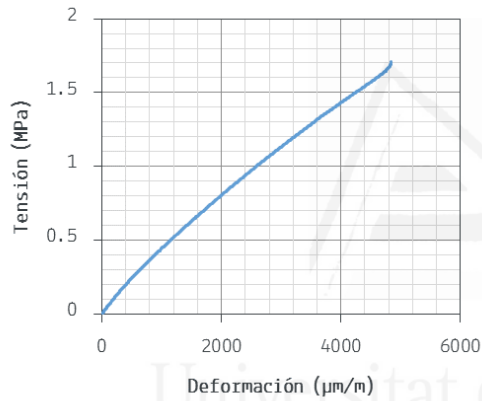
E₂ 36_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

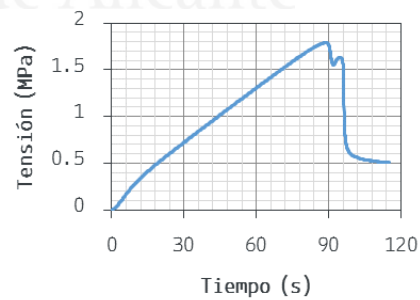
Probeta 36	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	20 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	843.5 N/mm²
Tensión de rotura:	1.81 N/mm²
Deformación de rotura:	0.682%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.36]

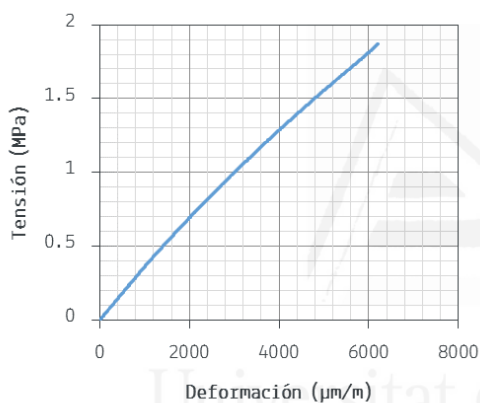
E₂ 37_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

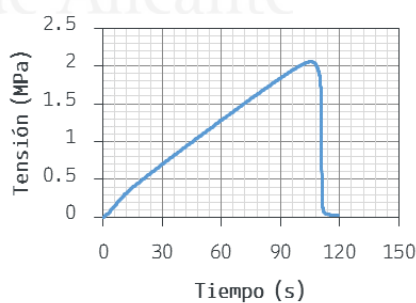
Probeta 37	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	20 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	335.5 N/mm²
Tensión de rotura:	2.09 N/mm²
Deformación de rotura:	0.833%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.37]

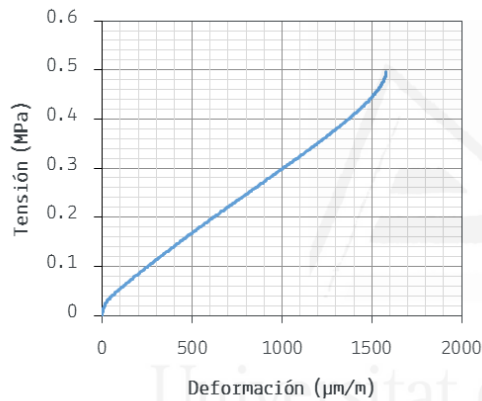
E₂ 41_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

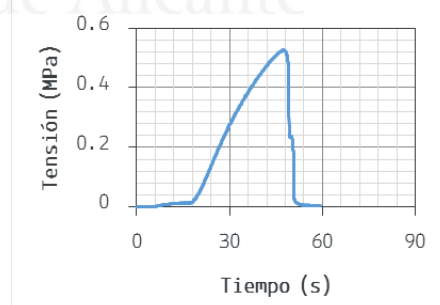
Probeta 41	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	26 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	277.8 N/mm²
Tensión de rotura:	0.53 N/mm²
Deformación de rotura:	0.158%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.41]

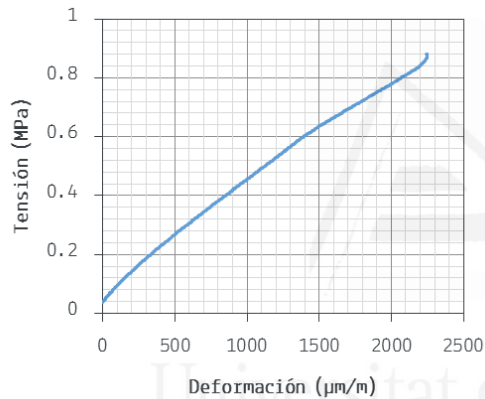
E₂ 42_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

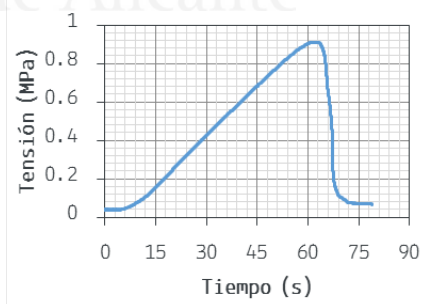
Probeta 42	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	30 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	322.2 N/mm²
Tensión de rotura:	0.91 N/mm²
Deformación de rotura:	0.270%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.42]

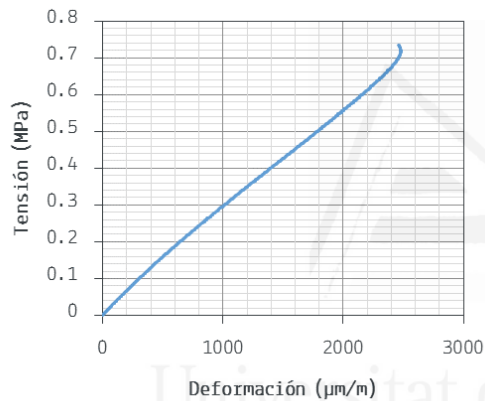
E₂ 44_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

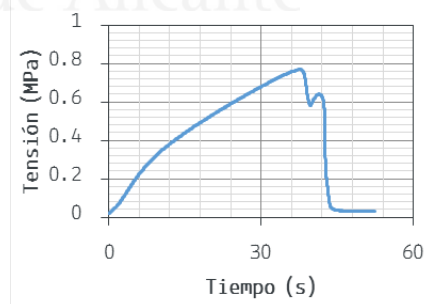
Probeta 44	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	24 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	288.7 N/mm²
Tensión de rotura:	0.77 N/mm²
Deformación de rotura:	0.248%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.44]

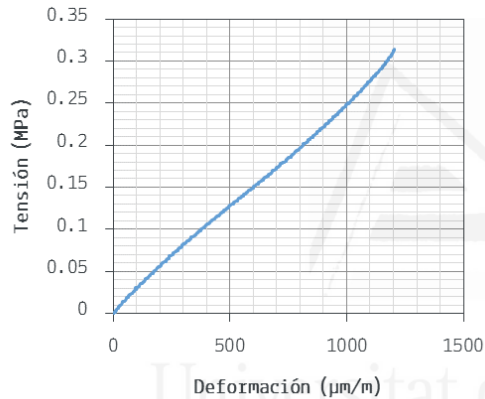
E₂ 45_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

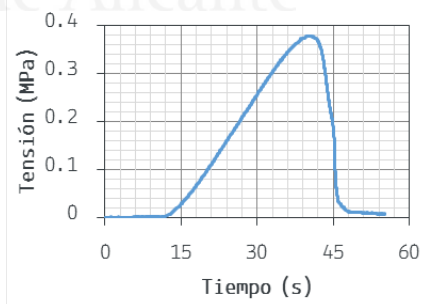
Probeta 45	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	24 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	243.2 N/mm²
Tensión de rotura:	0.40 N/mm²
Deformación de rotura:	0.123%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.45]

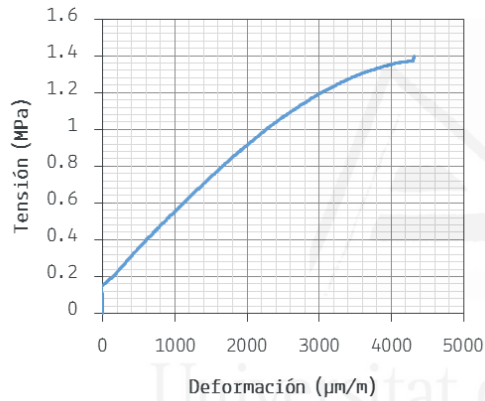
E₂ 47_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

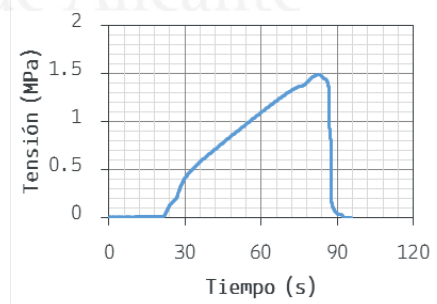
Probeta 47	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	19 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	410.0 N/mm²
Tensión de rotura:	1.50 N/mm²
Deformación de rotura:	0.431%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.47]

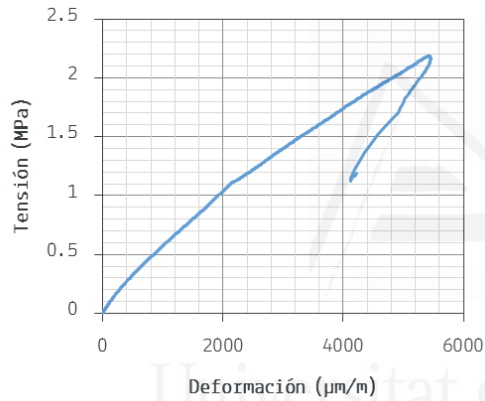
E₂ 48_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

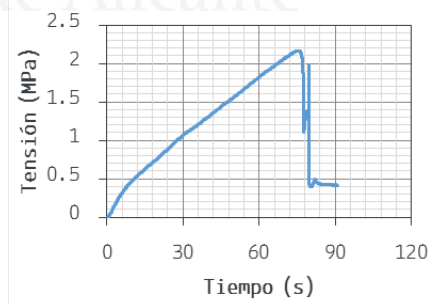
Probeta 48	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	481.8 N/mm²
Tensión de rotura:	2.16 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.48]

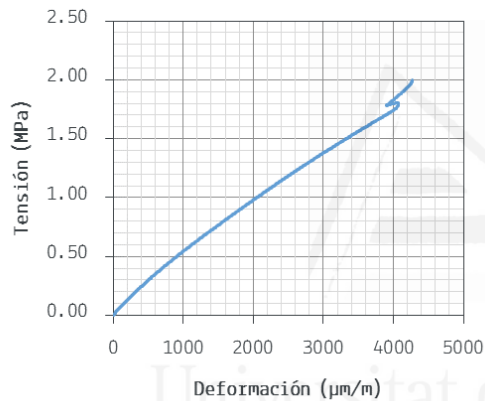
E₂ 50_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

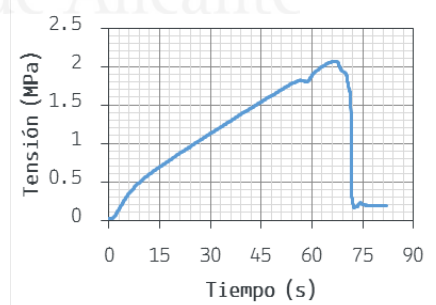
Probeta 50	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	476.1 N/mm²
Tensión de rotura:	2.07 N/mm²
Deformación de rotura:	0.427%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.50]

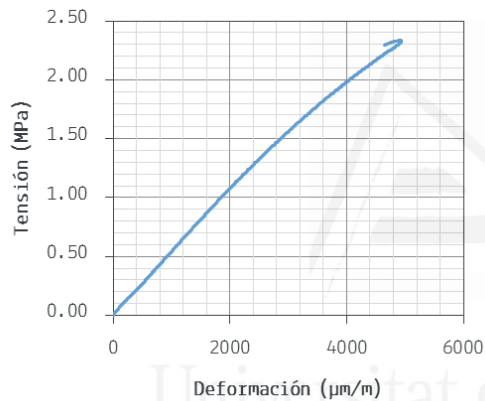
E₂ 51_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

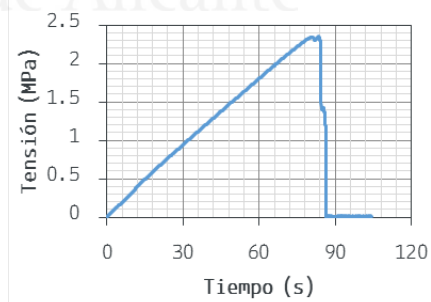
Probeta 51	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	543.2 N/mm²
Tensión de rotura:	2.35 N/mm²
Deformación de rotura:	0.588%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.51]

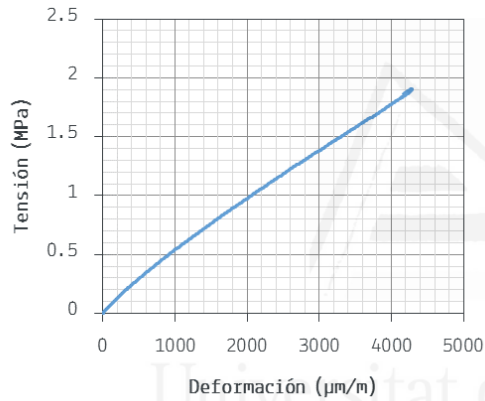
E₂ 53_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

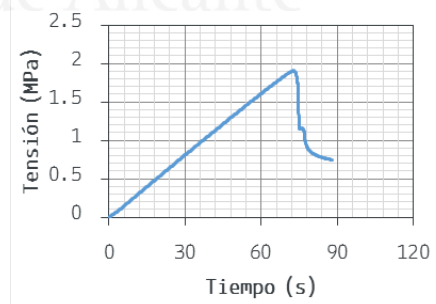
Probeta 53	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	16 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	497.7 N/mm²
Tensión de rotura:	2.01 N/mm²
Deformación de rotura:	0.429%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.53]

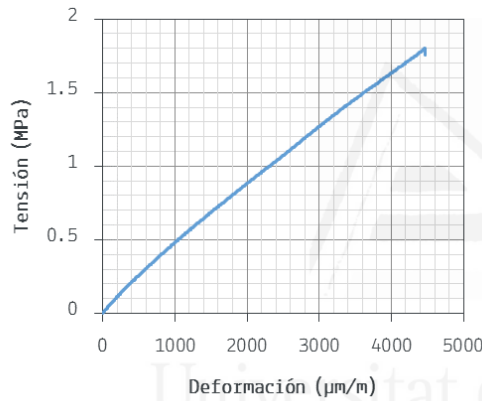
E₂ 54_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

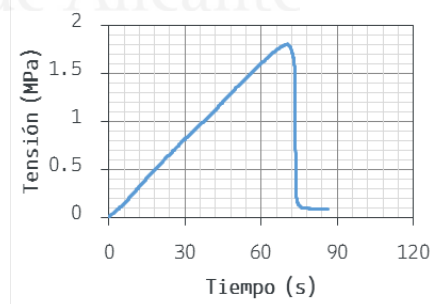
Probeta 54	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	437.9 N/mm²
Tensión de rotura:	1.86 N/mm²
Deformación de rotura:	0.526%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.54]

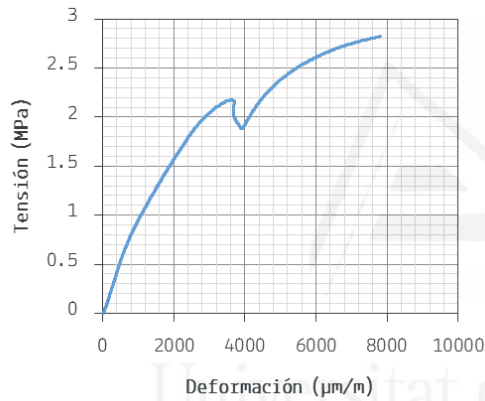
E₂ 55_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

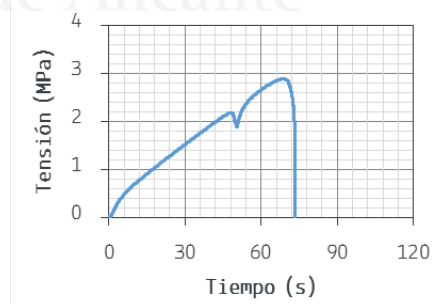
Probeta 55	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	757.8 N/mm²
Tensión de rotura:	2.91 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.55]

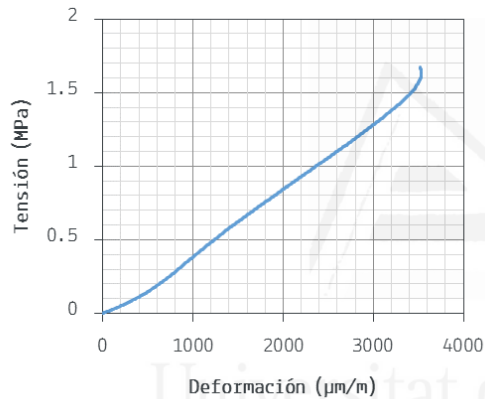
E₂ 56_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

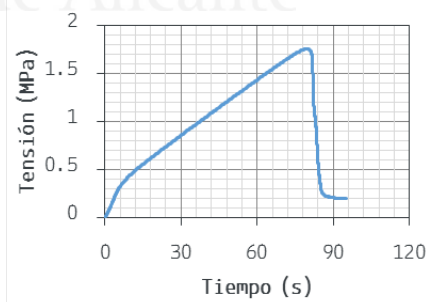
Probeta 56	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	21 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	468.3 N/mm²
Tensión de rotura:	1.80 N/mm²
Deformación de rotura:	0.353%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.56]

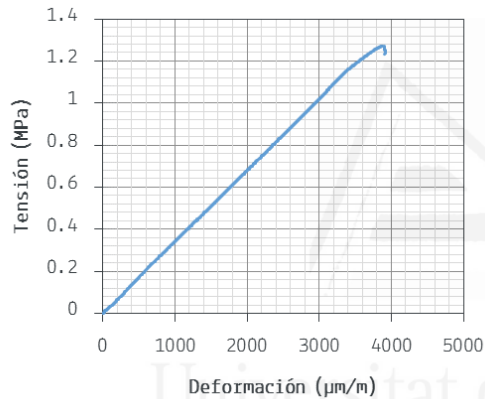
E₂ 57_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

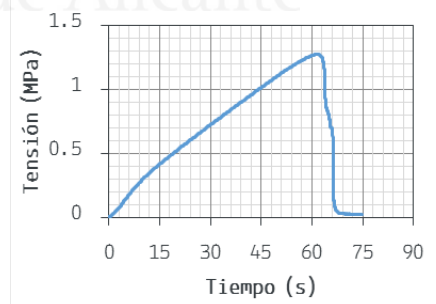
Probeta 57	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	21 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	484.4 N/mm²
Tensión de rotura:	1.30 N/mm²
Deformación de rotura:	0.391%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.57]

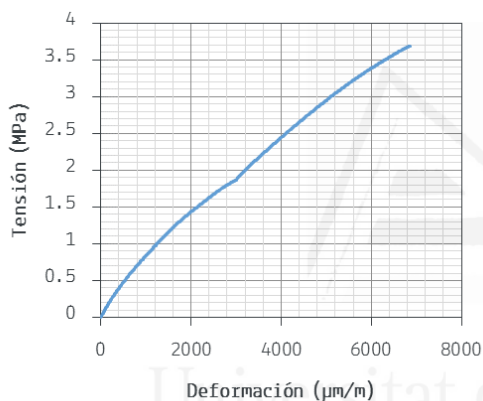
E₂ 58_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

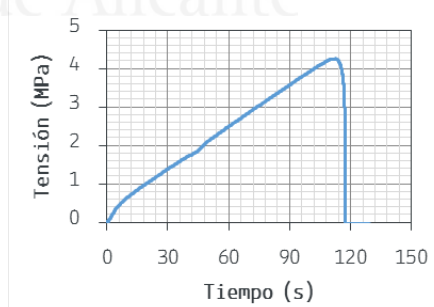
Probeta 58	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	836.7 N/mm²
Tensión de rotura:	4.30 N/mm²
Deformación de rotura:	0.782%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.58]

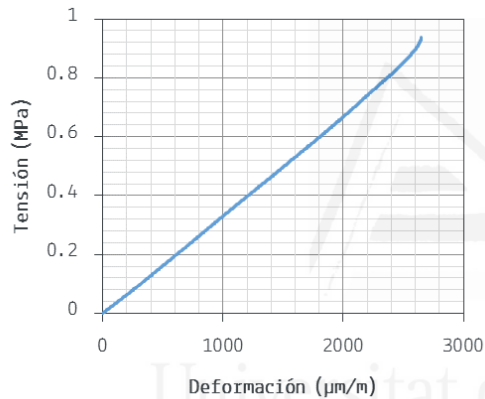
E₂ 59_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

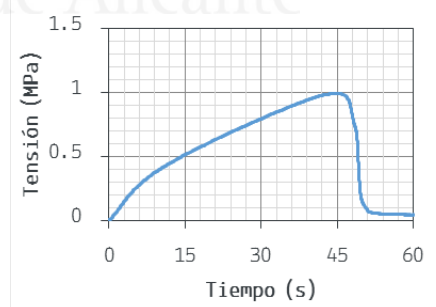
Probeta 59	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	21 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	431.4 N/mm²
Tensión de rotura:	1.03 N/mm²
Deformación de rotura:	0.265%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.59]

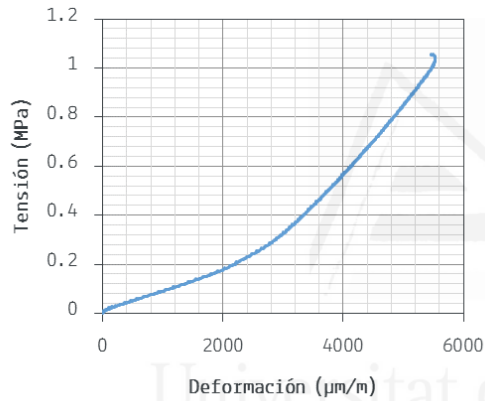
E₂ 60_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

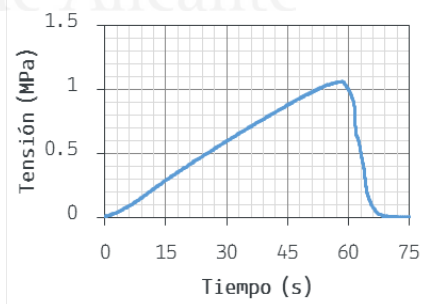
Probeta 60	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	20 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	2.5 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	204.5 N/mm²
Tensión de rotura:	1.10 N/mm²
Deformación de rotura:	0.553%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.60]

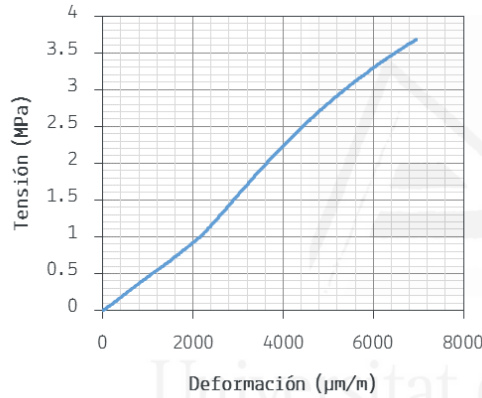
E₂ 61_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

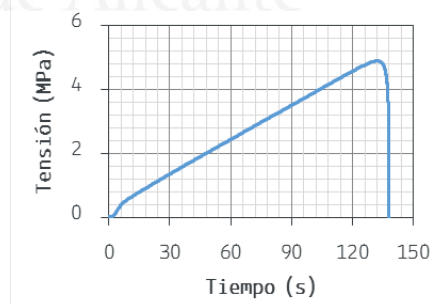
Probeta 61	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	764.9 N/mm²
Tensión de rotura:	4.95 N/mm²
Deformación de rotura:	0.788%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.61]

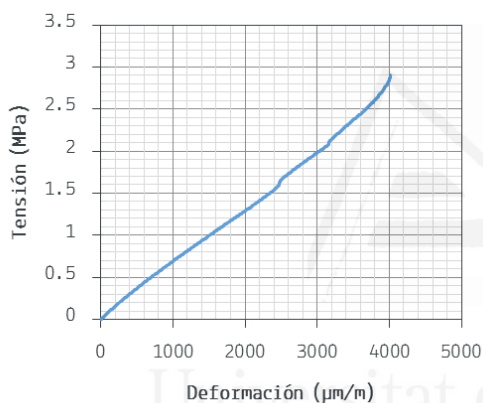
E₂ 62_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

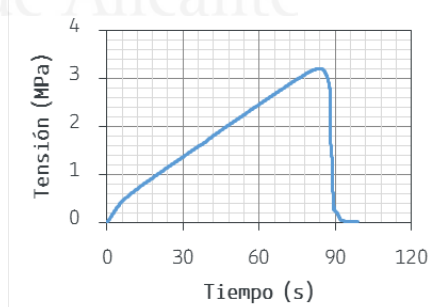
Probeta 62	100% Posidonia 0% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	620.1 N/mm²
Tensión de rotura:	3.24 N/mm²
Deformación de rotura:	0.818%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.62]

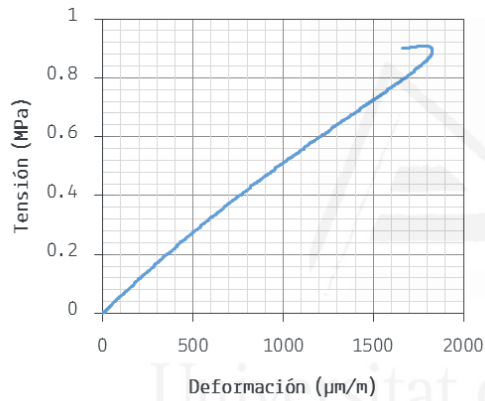
E₂ 63_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

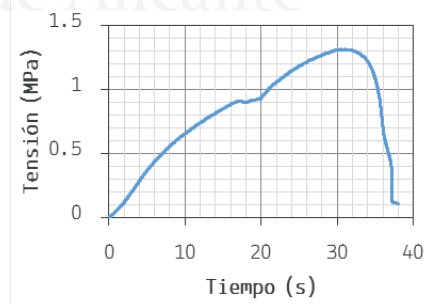
Probeta 63 **50% Posidonia 50% Madera**
 Espesor: **11 mm**
 Número de láminas: **2**
 Resina: **MDI**
 Dosificación: **15%** (masa PO + Pino)
 Presión de curado: **4 N/mm²**
 Curado: **3 horas**

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico: **498.9 N/mm²**
 Tensión de rotura: **1.35 N/mm²**
 Deformación de rotura: **>0.2%**
 Tipo de rotura:
 Comentarios:



[Datos del Ensayo n°.63]

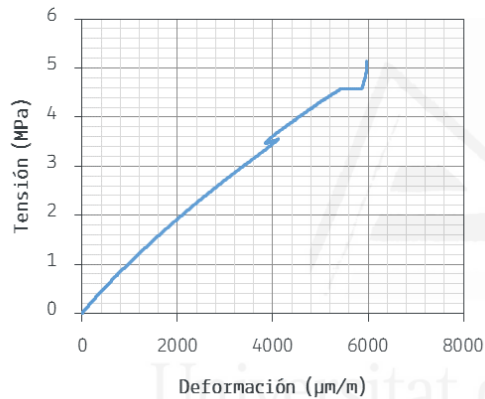
E₂ 64_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

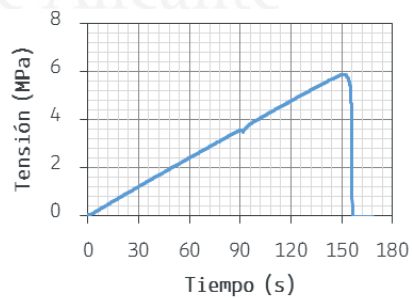
Probeta 64	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	871.2 N/mm²
Tensión de rotura:	5.68 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.64]

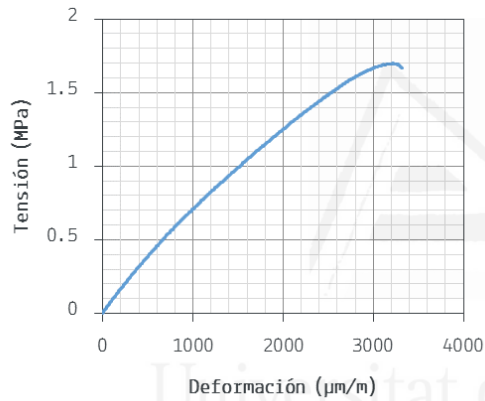
E₂ 65_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

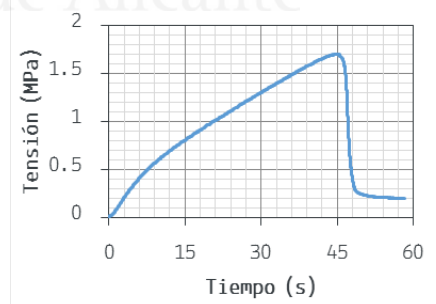
Probeta 65	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	688.1 N/mm²
Tensión de rotura:	1.74 N/mm²
Deformación de rotura:	0.336%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.65]

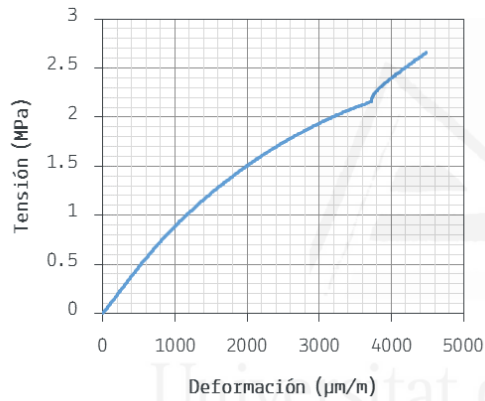
E₂ 66_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

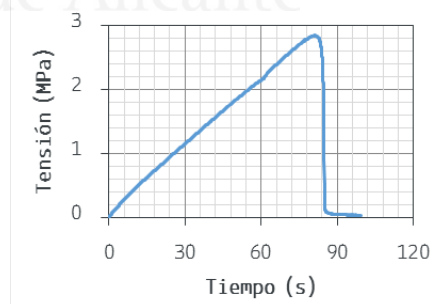
Probeta 66	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	818.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.92 N/mm²
Deformación de rotura:	0.456%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.66]

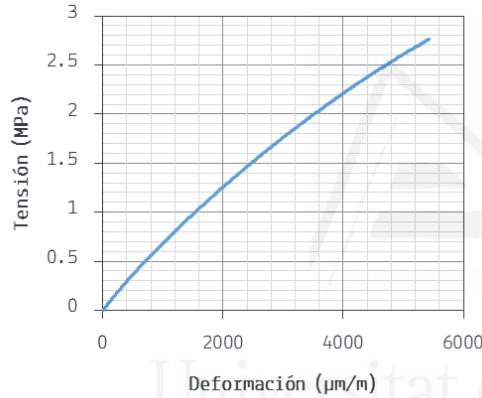
E₂ 67_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

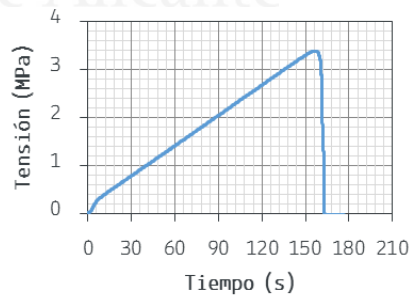
Probeta 67 **50% Posidonia 50% Madera**
 Espesor: **10 mm**
 Número de láminas: **4**
 Resina: **PU**
 Dosificación: **50%** (masa PO + Pino)
 Presión de curado: **3.75 N/mm²**
 Curado: **6 horas**

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico: **593.6 N/mm²**
 Tensión de rotura: **3.40 N/mm²**
 Deformación de rotura: **>0.8%**
 Tipo de rotura:
 Comentarios:



[Datos del Ensayo n°.67]

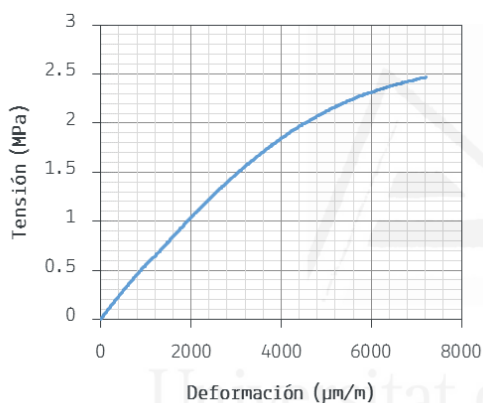
E₂ 68_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

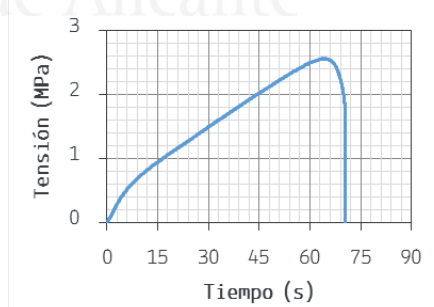
Probeta 68	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	502.8 N/mm²
Tensión de rotura:	2.59 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.68]

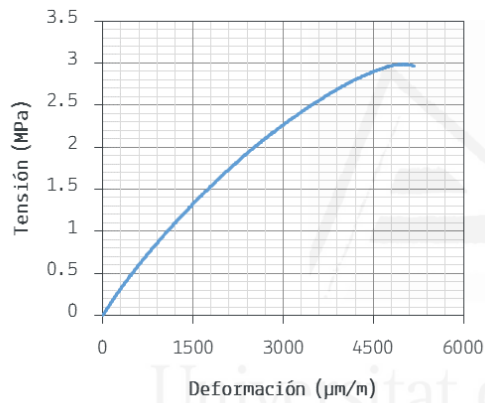
E₂ 69_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

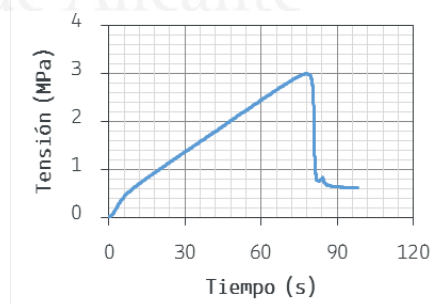
Probeta 63	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	863.1 N/mm²
Tensión de rotura:	3.04 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.5%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.69]

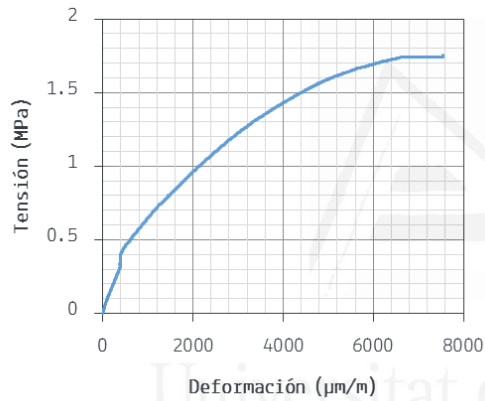
E₂ 70_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

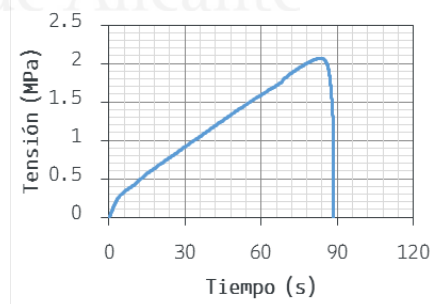
Probeta 70	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	490.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.10 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.75%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.70]

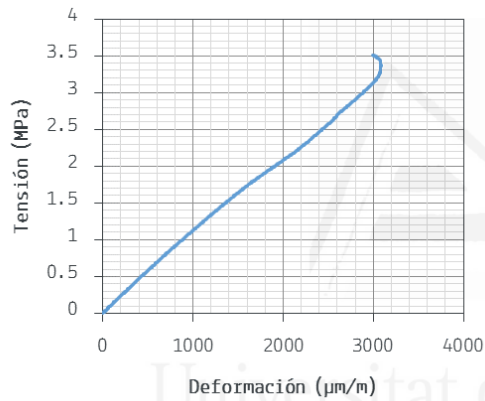
E₂ 71_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

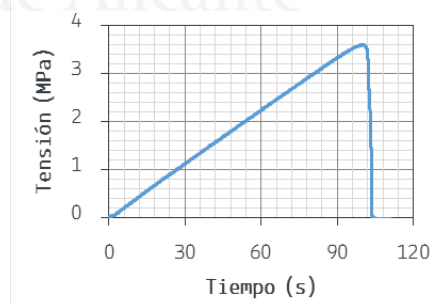
Probeta 71	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1096.4 N/mm²
Tensión de rotura:	3.67 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.3%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.71]

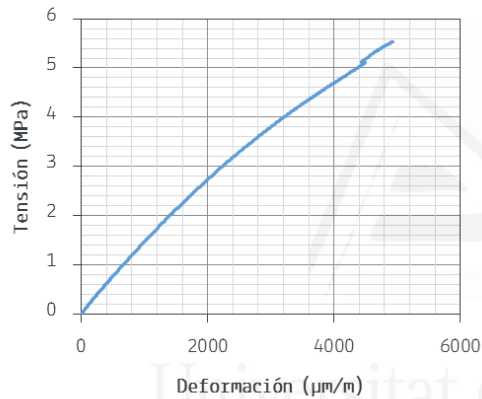
E₂ 72_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

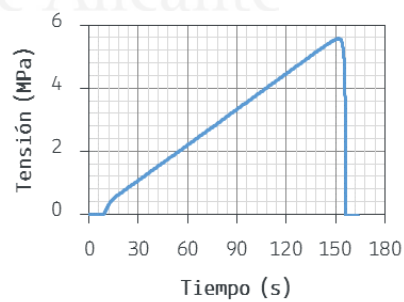
Probeta 72	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1369.9 N/mm²
Tensión de rotura:	5.63 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.72]

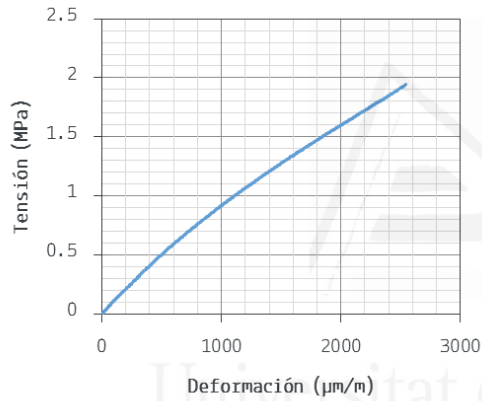
E₂ 73_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

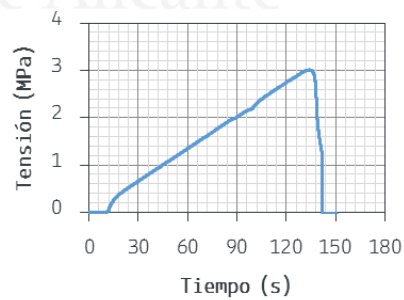
Probeta 73	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	823.7 N/mm²
Tensión de rotura:	3.05 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.73]

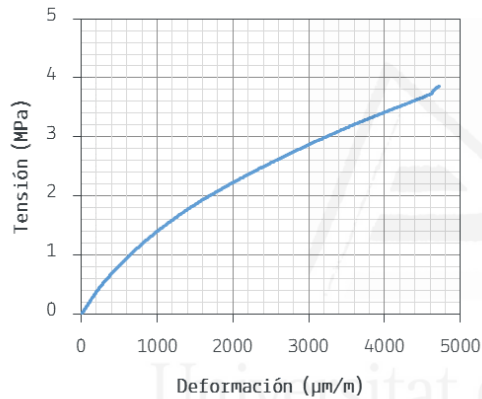
E₂ 74_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

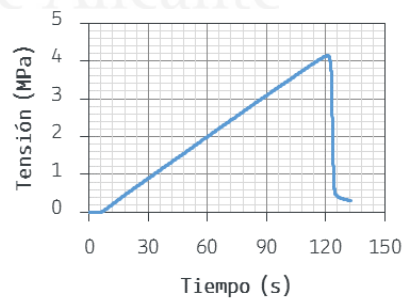
Probeta 74	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1221.5 N/mm²
Tensión de rotura:	4.22 N/mm²
Deformación de rotura:	0.548%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.74]

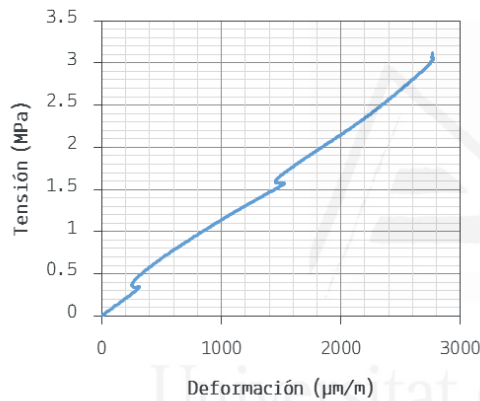
E₂ 75_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

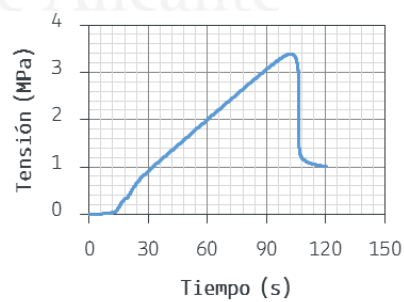
Probeta 75	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1092.2 N/mm²
Tensión de rotura:	3.45 N/mm²
Deformación de rotura:	0.620%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.75]

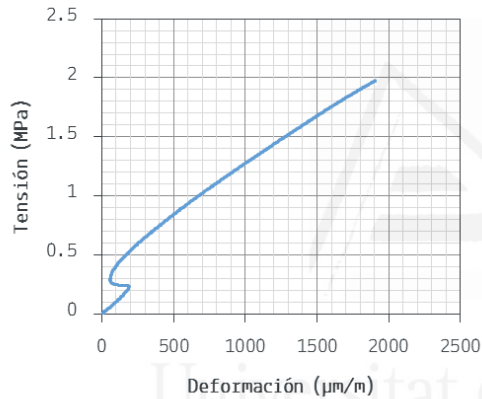
E₂ 76_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

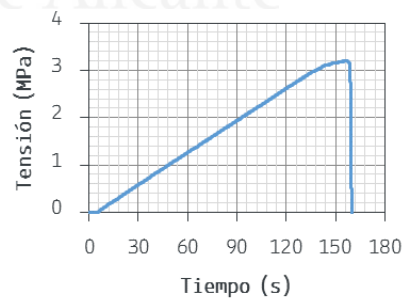
Probeta 76	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1005.6 N/mm²
Tensión de rotura:	3.18 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.2%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.76]

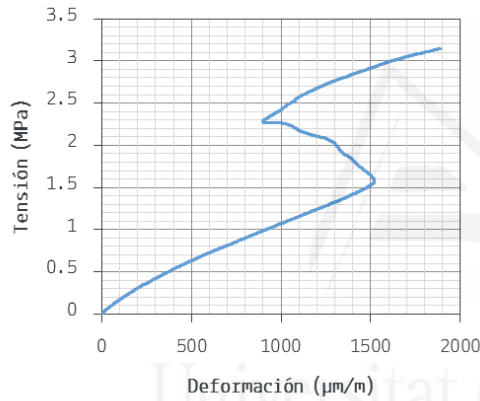
E₂ 77_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

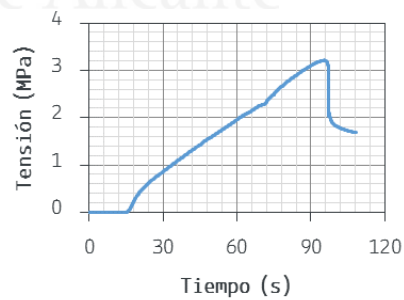
Probeta 77	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	944.2 N/mm²
Tensión de rotura:	3.29 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.2%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.77]

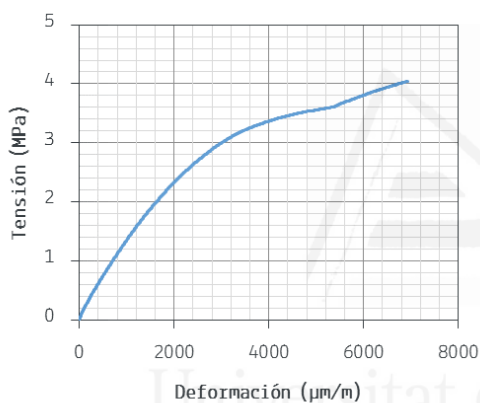
E₂ 78_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

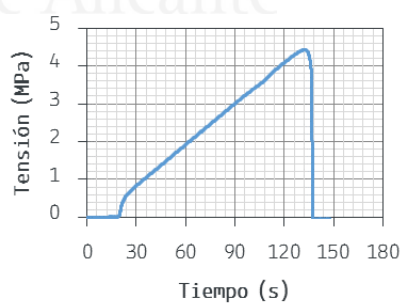
Probeta 78	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1226.6 N/mm²
Tensión de rotura:	4.49 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.78]

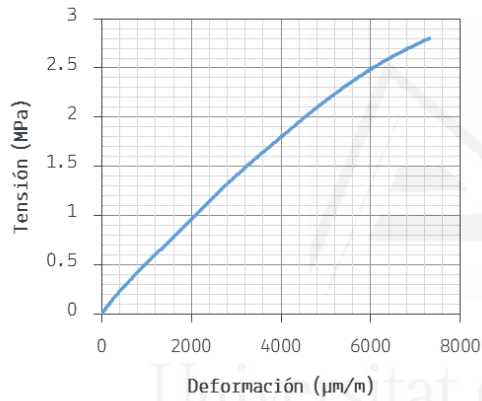
E₂ 79_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

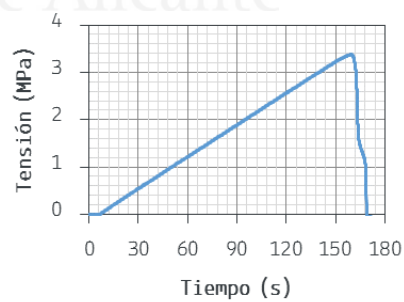
Probeta 79	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	453.5 N/mm²
Tensión de rotura:	3.44 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.79]

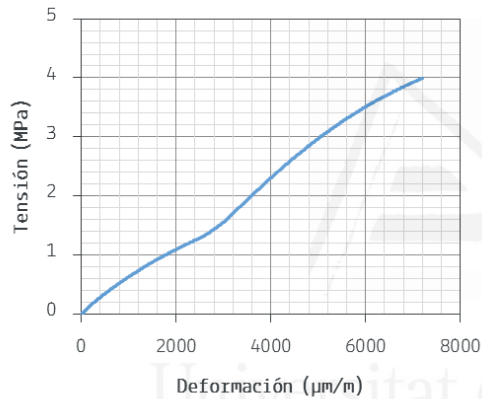
E₂ 80_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

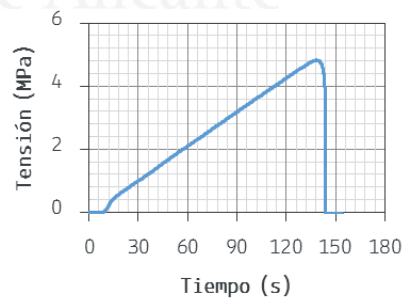
Probeta 80	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	521.4 N/mm²
Tensión de rotura:	4.89 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.80]

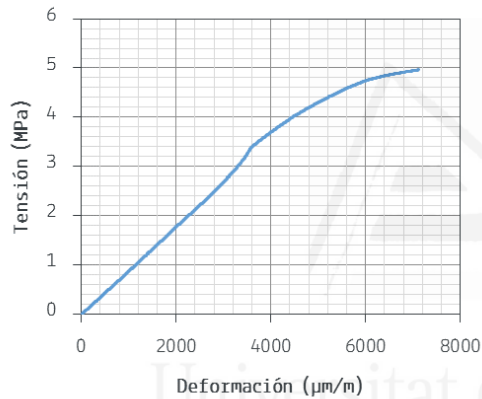
E₂ 81_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

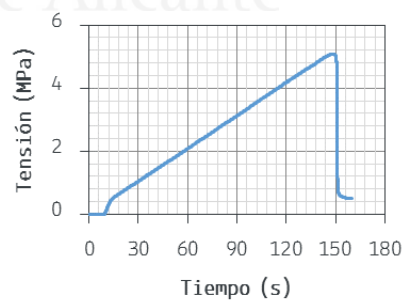
Probeta 81	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1036.7 N/mm²
Tensión de rotura:	5.15 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.72%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.81]

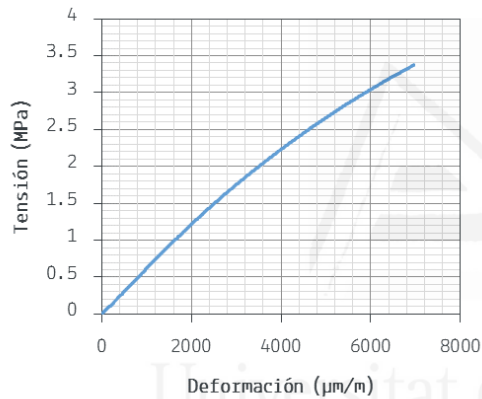
E₂ 82_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

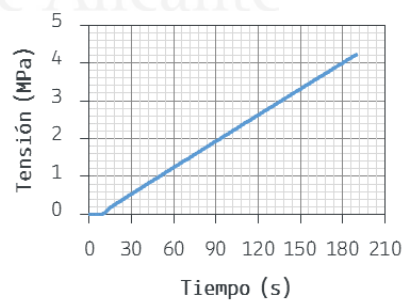
Probeta 82	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	PU
Dosificación:	50% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	592.1 N/mm²
Tensión de rotura:	4.37 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.82]

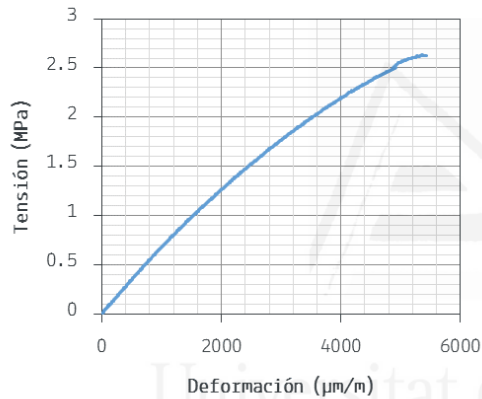
E₂ 83_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

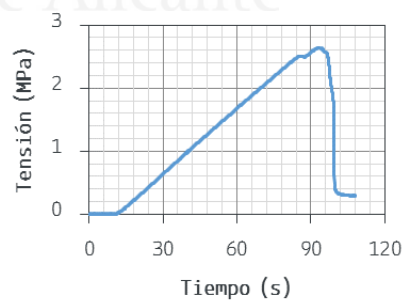
Probeta 83	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	226.5 N/mm²
Tensión de rotura:	2.75 N/mm²
Deformación de rotura:	0.666%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.83]

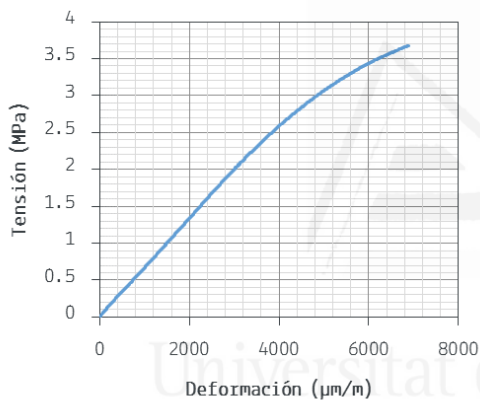
E₂ 84_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

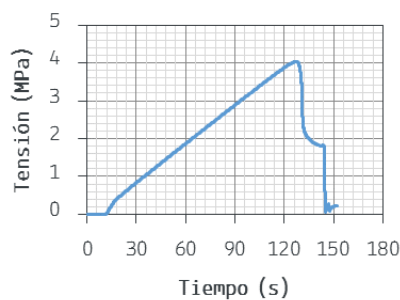
Probeta 84	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	843.0 N/mm²
Tensión de rotura:	4.07 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.84]

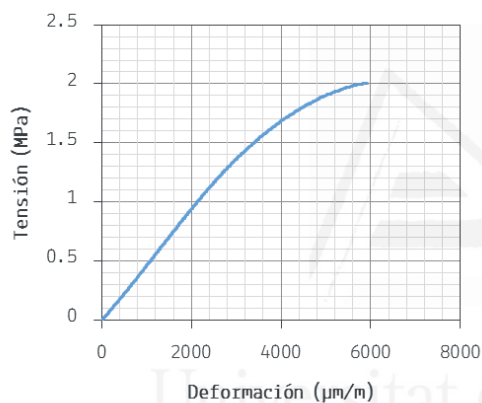
E₂ 85_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

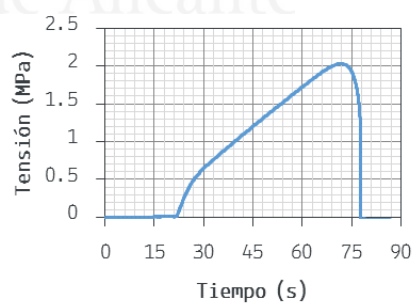
Probeta 85	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	476.3 N/mm²
Tensión de rotura:	2.09 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.85]

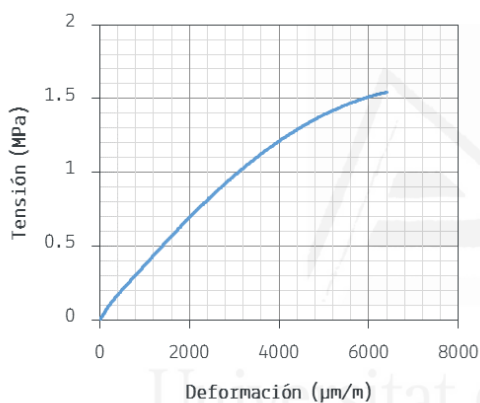
E₂ 86_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

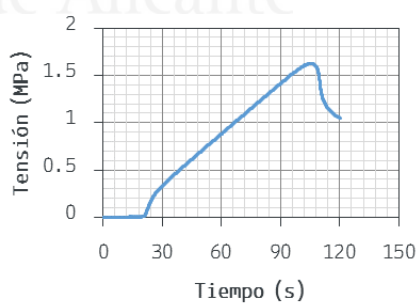
Probeta 86	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	332.2 N/mm²
Tensión de rotura:	1.66 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.86]

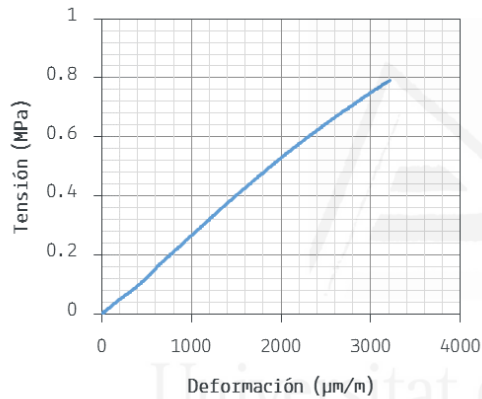
E₂ 87_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

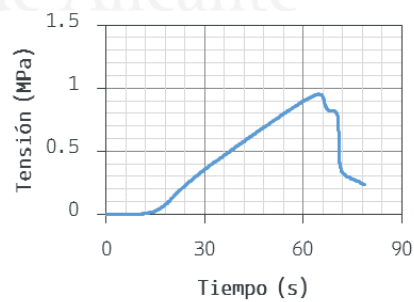
Probeta 84	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	272.9 N/mm²
Tensión de rotura:	0.99 N/mm²
Deformación de rotura:	0.43%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.87]

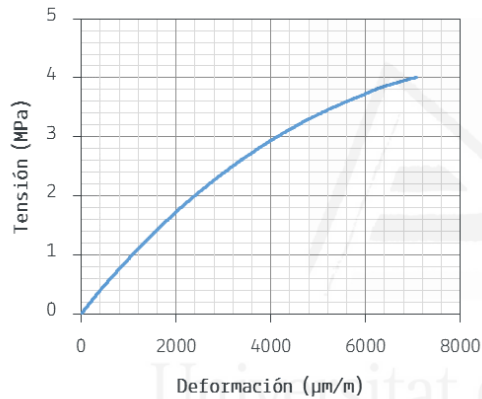
E₂ 88_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

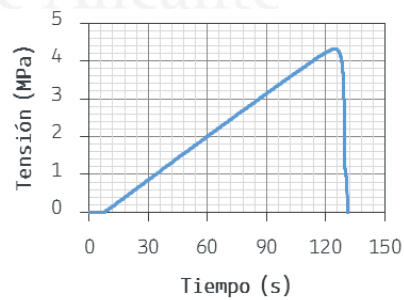
Probeta 88	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	725.9 N/mm²
Tensión de rotura:	4.46 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.88]

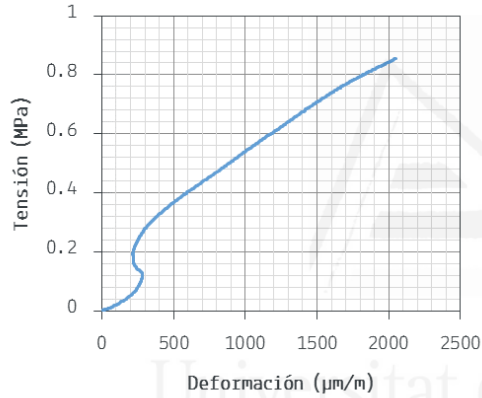
E₂ 89_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

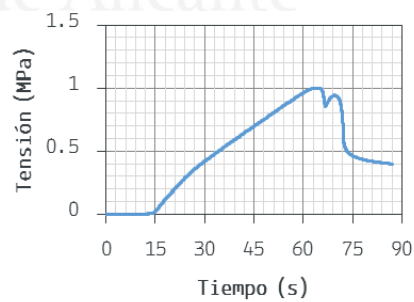
Probeta 89	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	10 mm
Número de láminas:	4
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	509.3 N/mm²
Tensión de rotura:	1.03 N/mm²
Deformación de rotura:	0.300%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.89]

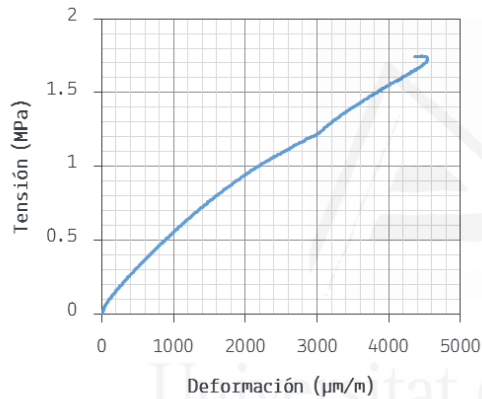
E₂ 90_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

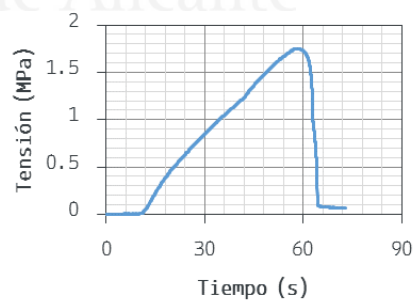
Probeta 90	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	630.4 N/mm²
Tensión de rotura:	1.82 N/mm²
Deformación de rotura:	0.454%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.90]

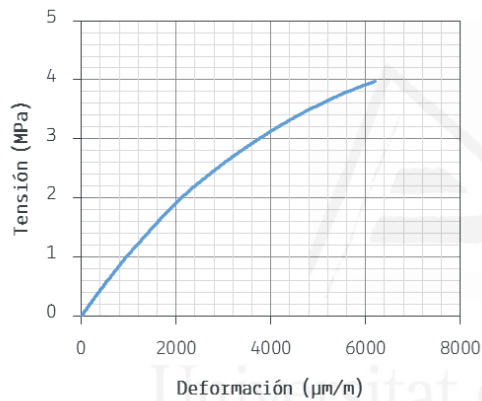
E₂ 91_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

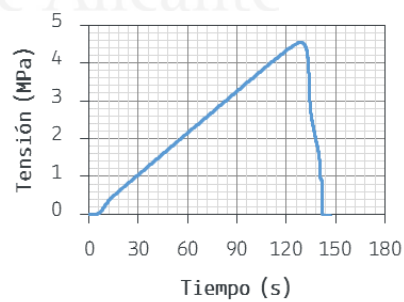
Probeta 91	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1093.5 N/mm²
Tensión de rotura:	4.61 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.91]

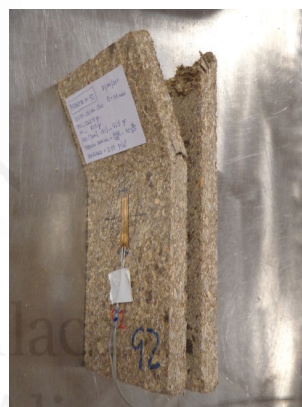
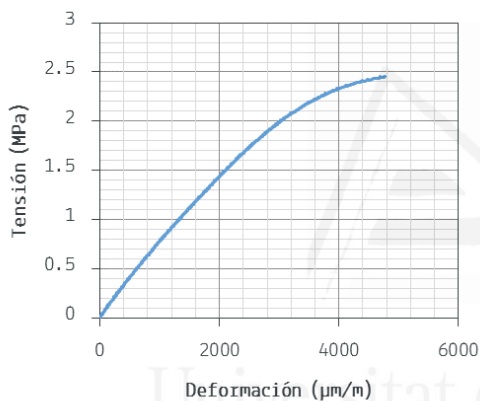
E₂ 92_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

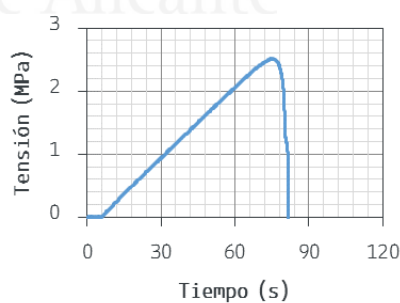
Probeta 92	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	868.0 N/mm²
Tensión de rotura:	2.59 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.92]

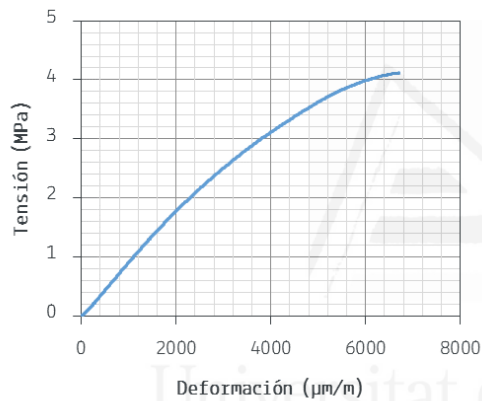
E₂ 93_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

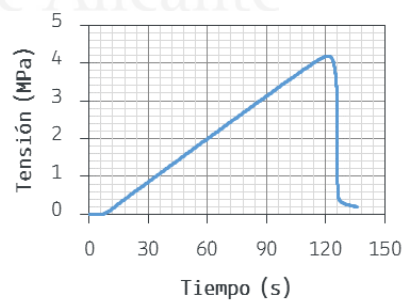
Probeta 93	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1018.2 N/mm²
Tensión de rotura:	4.29 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.93]

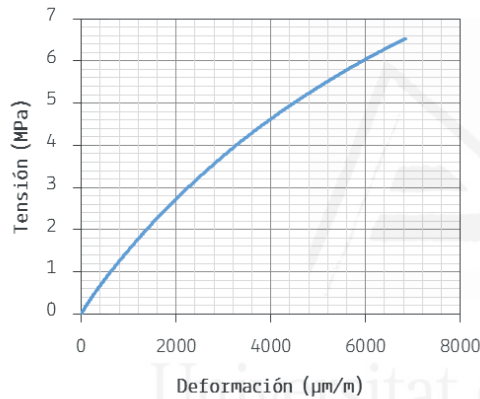
E₂ 94_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

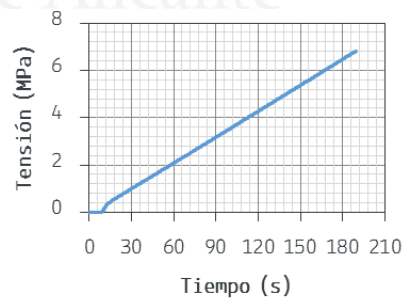
Probeta 94	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1241.9 N/mm²
Tensión de rotura:	7.89 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.69%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.94]

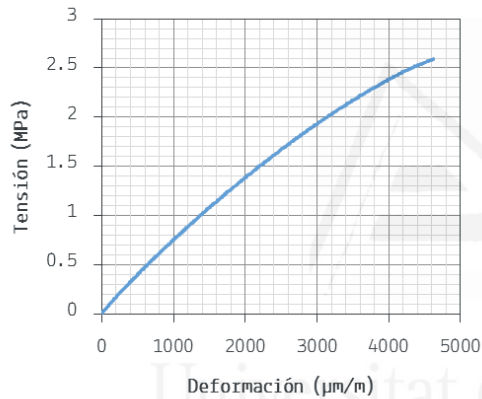
E₂ 95_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

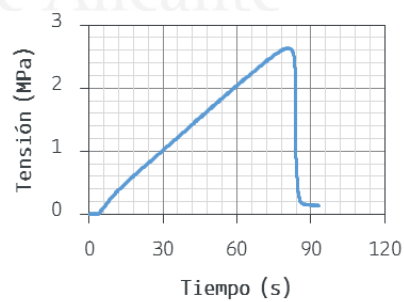
Probeta 95	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	696.1 N/mm²
Tensión de rotura:	2.70 N/mm²
Deformación de rotura:	0.550%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.95]

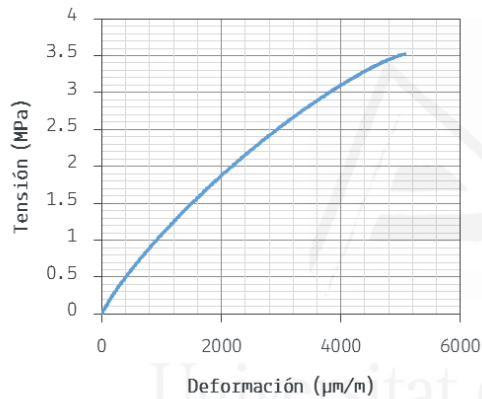
E₂ 96_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

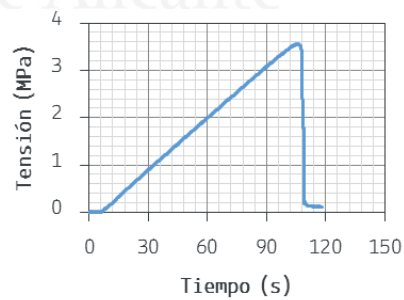
Probeta 96	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	957.8 N/mm²
Tensión de rotura:	3.66 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.96]

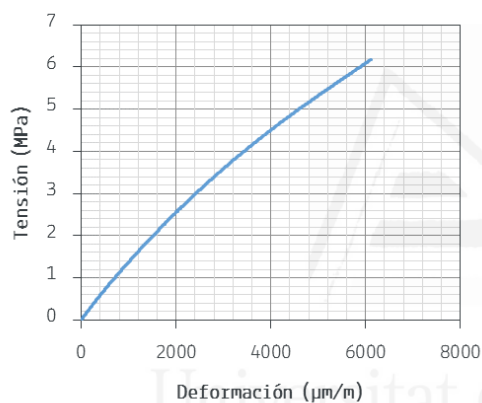
E₂ 97_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

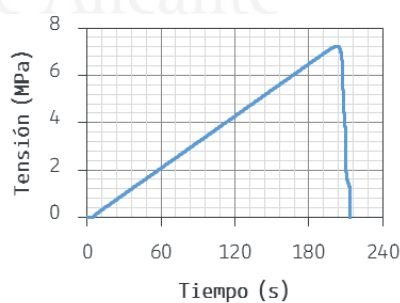
Probeta 97	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	50% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1210.7 N/mm²
Tensión de rotura:	7.38 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.73%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.97]

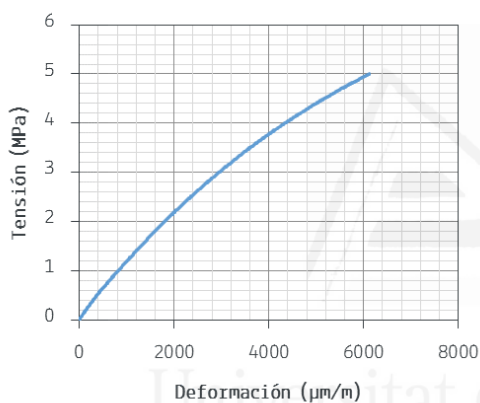
E₂ 98_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

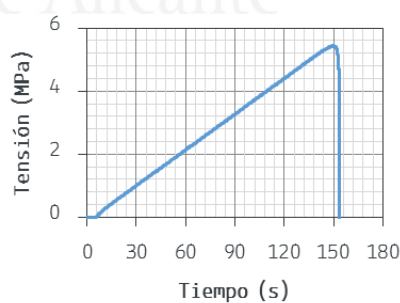
Probeta 98	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1047.6 N/mm²
Tensión de rotura:	5.54 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.98]

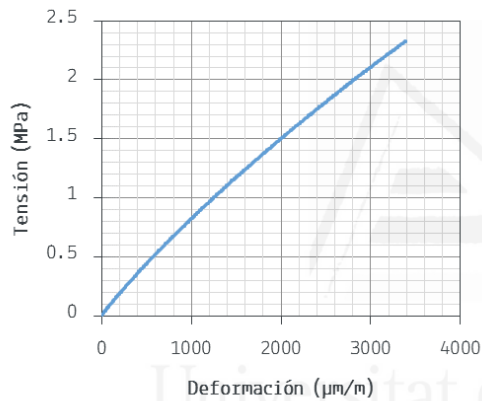
E₂ 99_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

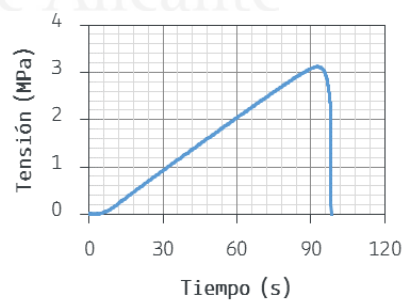
Probeta 99	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	745.4 N/mm²
Tensión de rotura:	3.20 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.4%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.99]

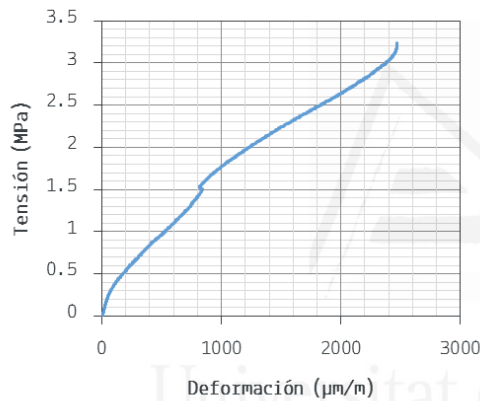
E₂ 100_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

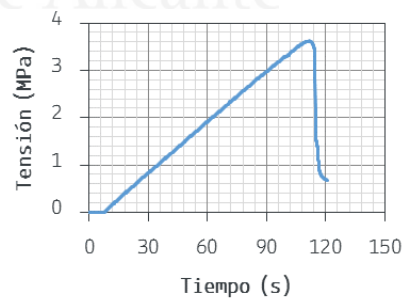
Probeta 100	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1553.4 N/mm²
Tensión de rotura:	3.74 N/mm²
Deformación de rotura:	0.247%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.100]

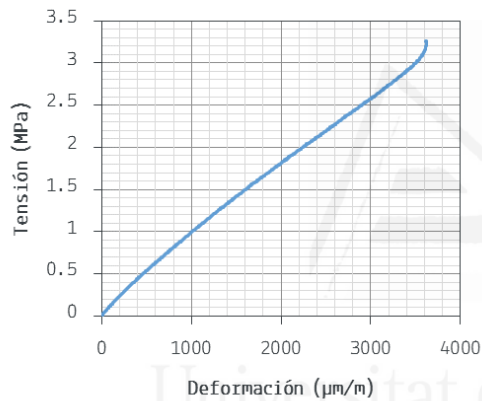
E₂ 101_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

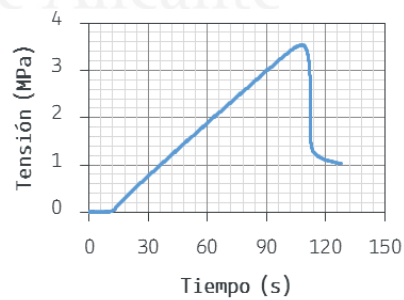
Probeta 101	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	896.7 N/mm²
Tensión de rotura:	3.57 N/mm²
Deformación de rotura:	0.451%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.101]

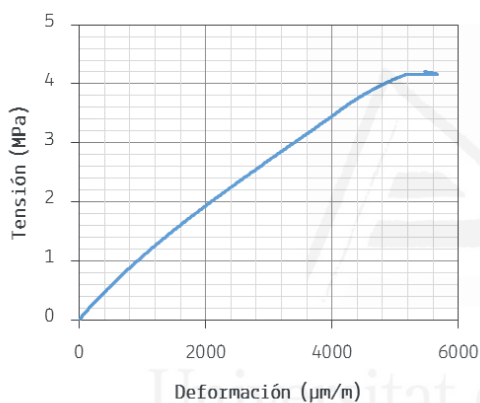
E₂ 102_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

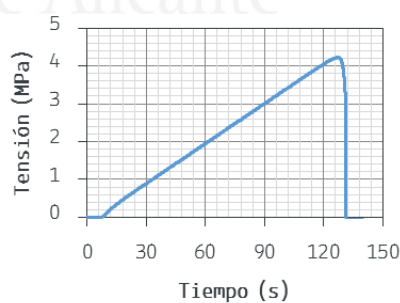
Probeta 102	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	950.9 N/mm²
Tensión de rotura:	4.30 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.102]

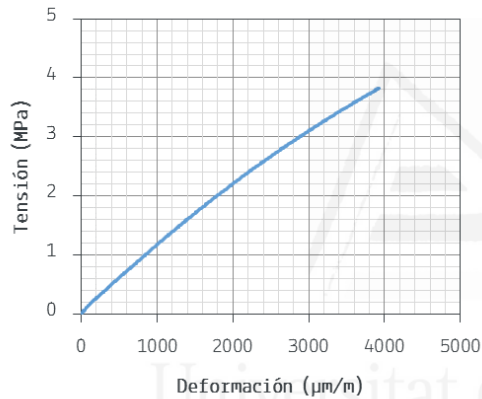
E₂ 103_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

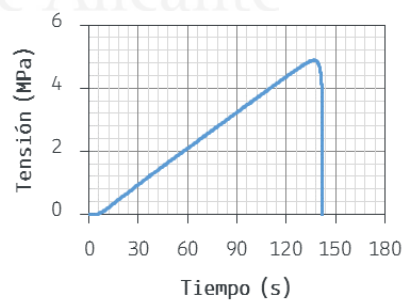
Probeta 103	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1090.9 N/mm²
Tensión de rotura:	5.00 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.65%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.103]

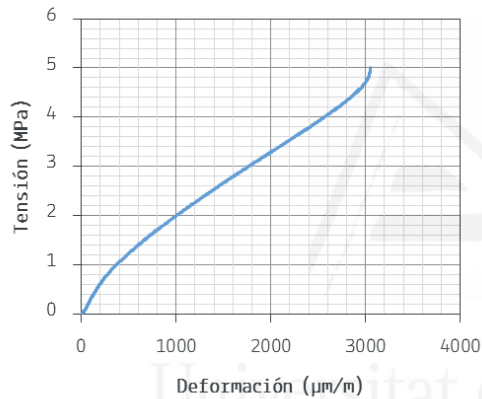
E₂ 104_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

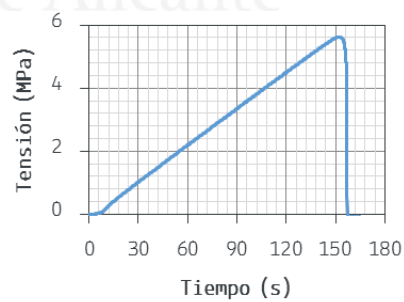
Probeta 104	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1712.7 N/mm²
Tensión de rotura:	5.69 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.5%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.104]

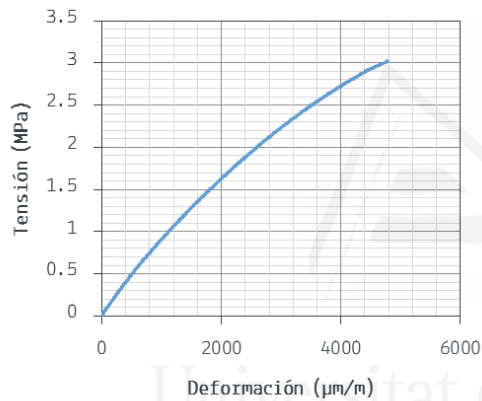
E₂ 105_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

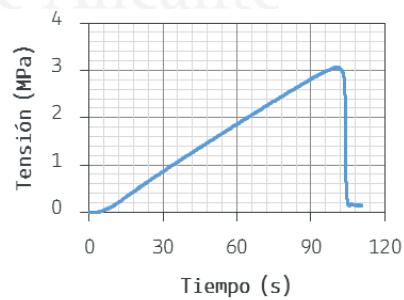
Probeta 105	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	464.8 N/mm²
Tensión de rotura:	3.15 N/mm²
Deformación de rotura:	0.623%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.105]

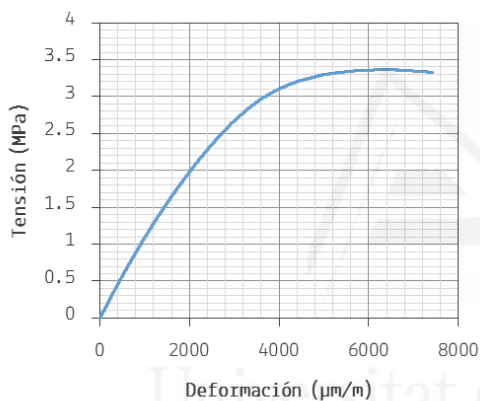
E₂ 106_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

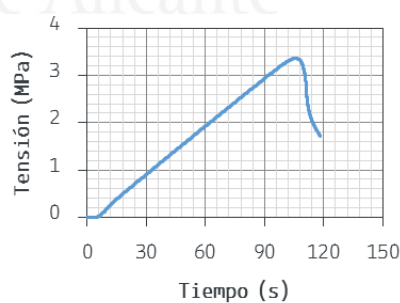
Probeta 106	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1047.7 N/mm²
Tensión de rotura:	3.45 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.106]

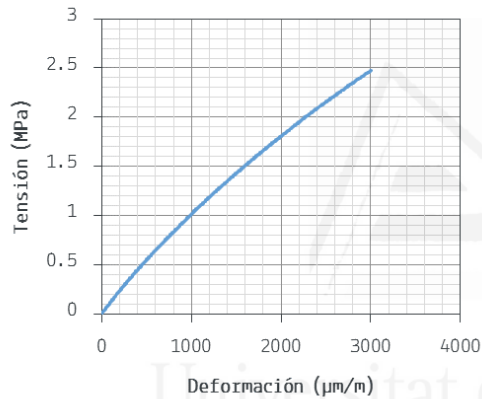
E₂ 107_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

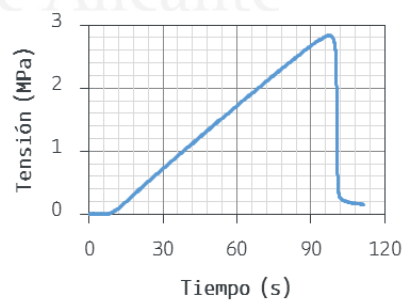
Probeta 107	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	11 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	966.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.92 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.35%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº .107]

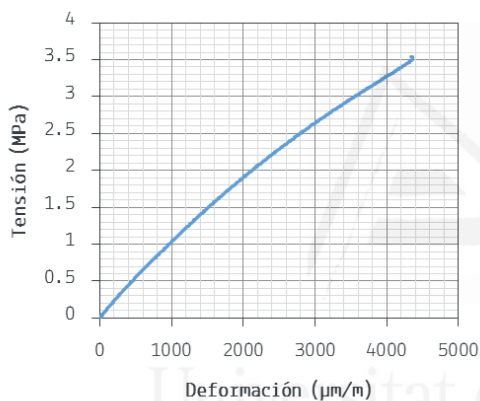
E₂ 108_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

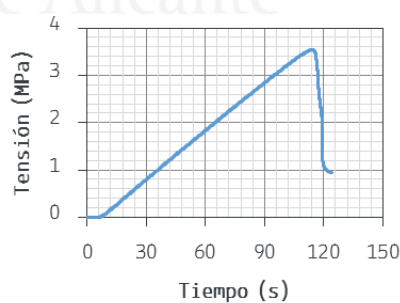
Probeta 108	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	966.8 N/mm²
Tensión de rotura:	3.62 N/mm²
Deformación de rotura:	0.452%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.108]

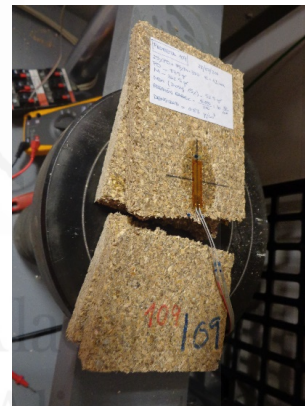
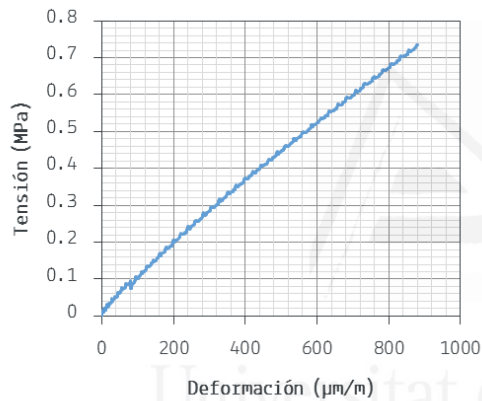
E₂ 109_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

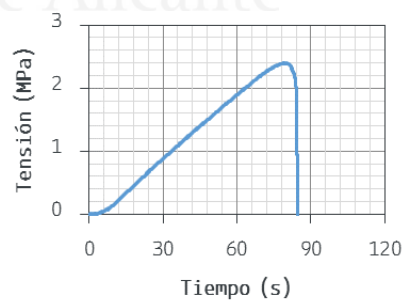
Probeta 109 **25% Posidonia 75% Madera**
 Espesor: **12 mm**
 Número de láminas: **2**
 Resina: **MDI**
 Dosificación: **15%** (masa PO + Pino)
 Presión de curado: **4 N/mm²**
 Curado: **3 horas**

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico: **593.6 N/mm²**
 Tensión de rotura: **2.47 N/mm²**
 Deformación de rotura: **>0.1%**
 Tipo de rotura:
 Comentarios:



[Datos del Ensayo n°.109]

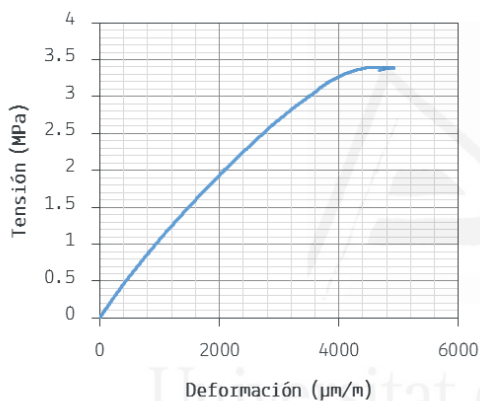
E₂ 110_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

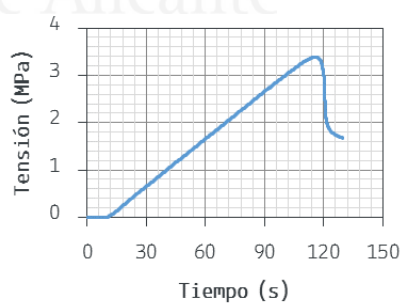
Probeta 110	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	993.2 N/mm²
Tensión de rotura:	3.46 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.110]

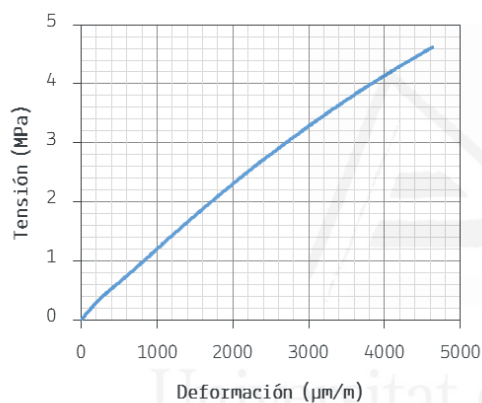
E₂ 111_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

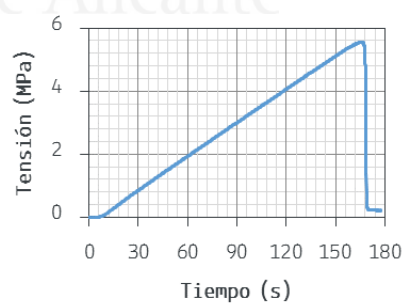
Probeta 111	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1110.9 N/mm²
Tensión de rotura:	5.60 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.5%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº .111]

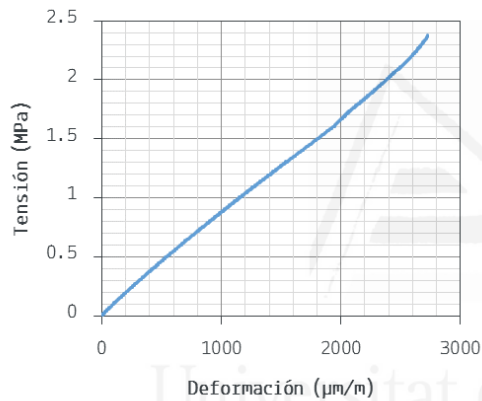
E₂ 112_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

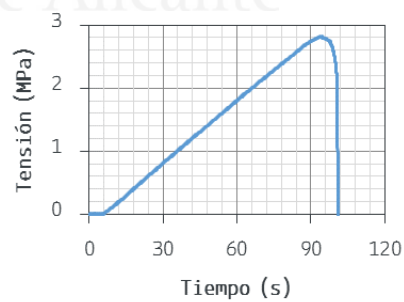
Probeta 112	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	953.0 N/mm²
Tensión de rotura:	2.89 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.27%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.112]

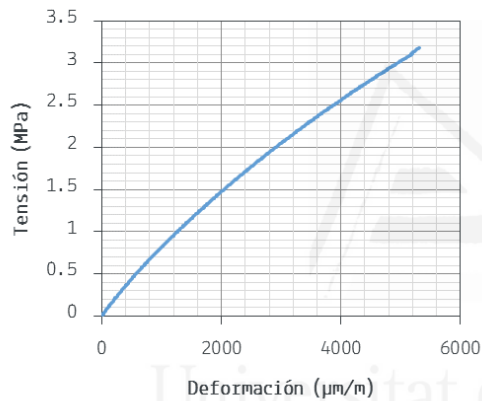
E₂ 113_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

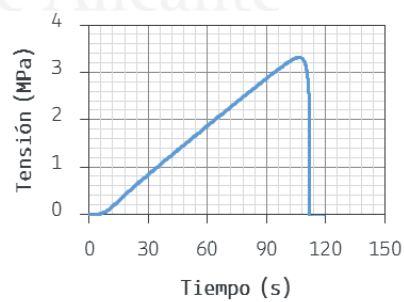
Probeta 113	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	721.9 N/mm²
Tensión de rotura:	3.40 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.58%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.113]

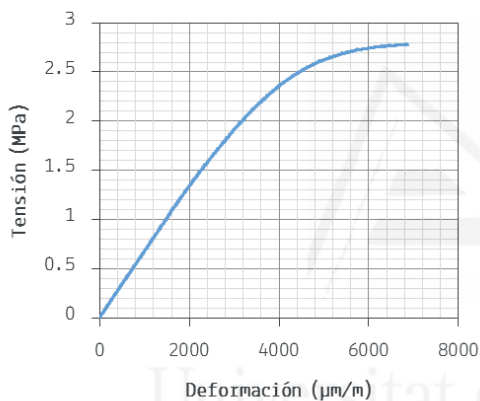
E₂ 114_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

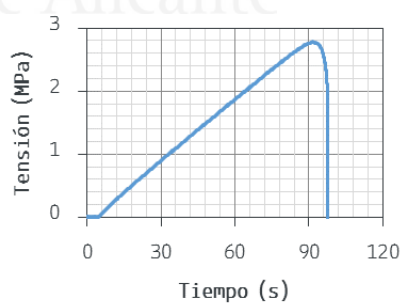
Probeta 114	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	668.4 N/mm²
Tensión de rotura:	2.85 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.114]

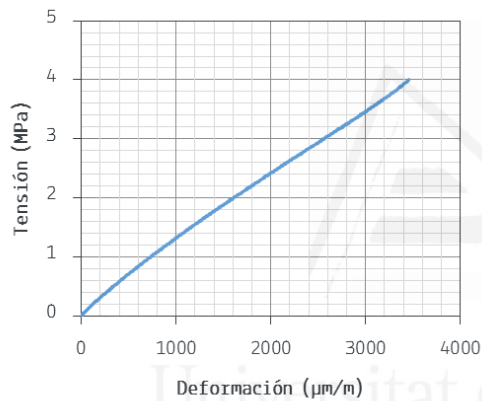
E₂ 115_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

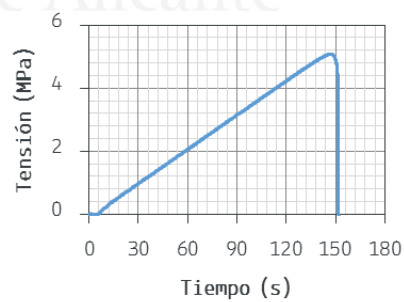
Probeta 115	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1187.9 N/mm²
Tensión de rotura:	5.14 N/mm²
Deformación de rotura:	0.661%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.115]

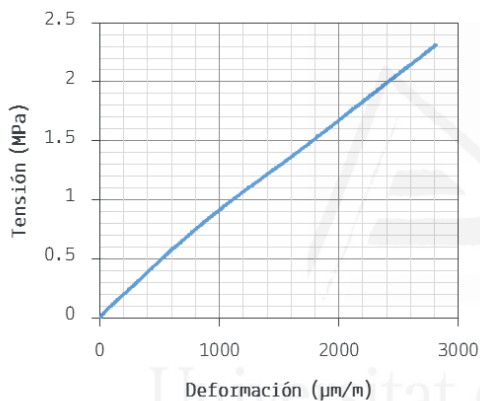
E₂ 116_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

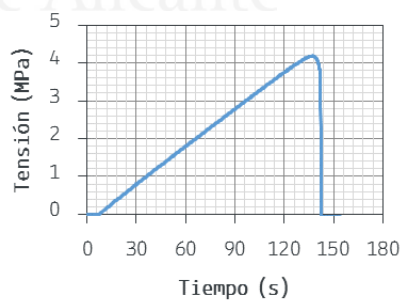
Probeta 116	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	807.9 N/mm²
Tensión de rotura:	4.22 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.3%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.116]

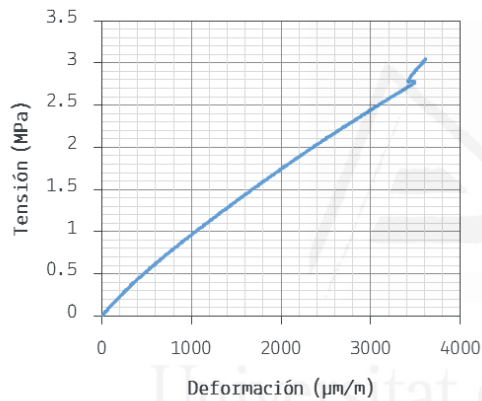
E₂ 117_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

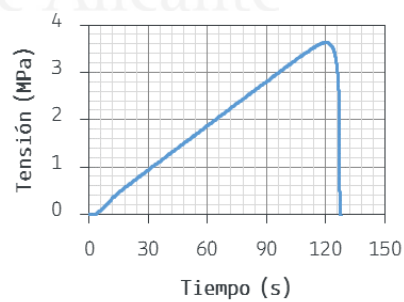
Probeta 117	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	859.0 N/mm²
Tensión de rotura:	3.72 N/mm²
Deformación de rotura:	0.450%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.117]

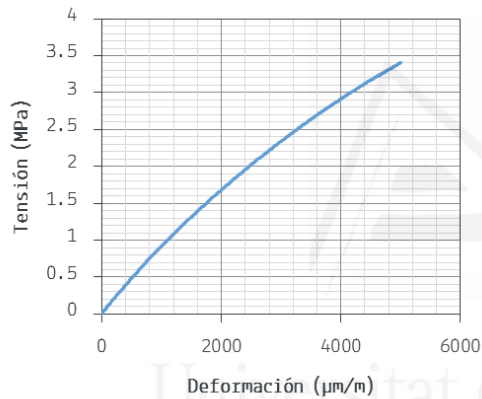
E₂ 118_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

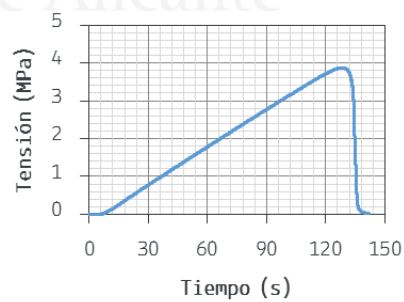
Probeta 118	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	828.8 N/mm²
Tensión de rotura:	3.96 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.118]

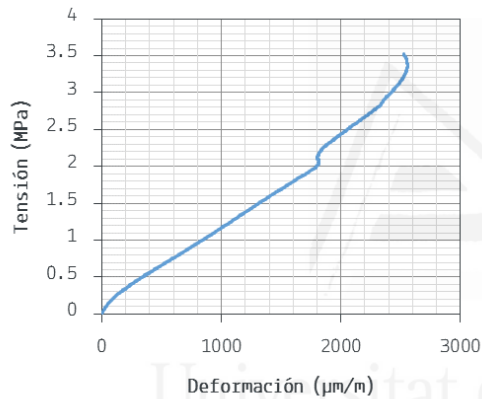
E₂ 119_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

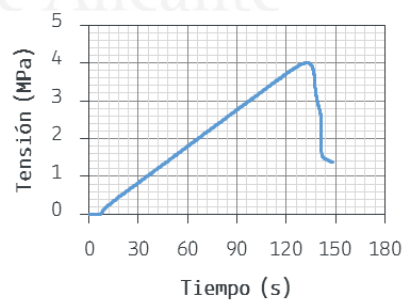
Probeta 119	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	12 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1028.6 N/mm²
Tensión de rotura:	4.08 N/mm²
Deformación de rotura:	0.615%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.119]

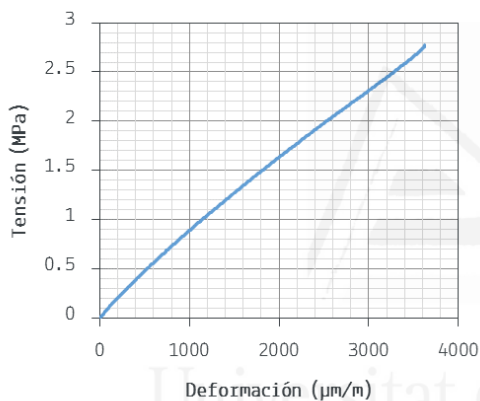
E₂ 122_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

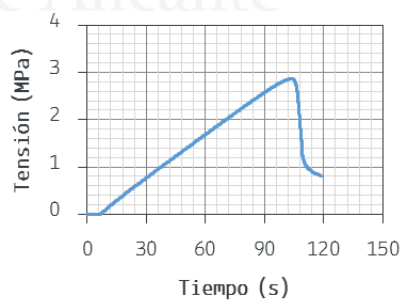
Probeta 122	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	828.7 N/mm²
Tensión de rotura:	2.91 N/mm²
Deformación de rotura:	0.470%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.122]

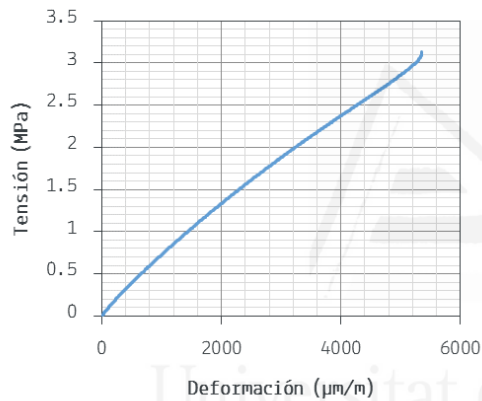
E₂ 123_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

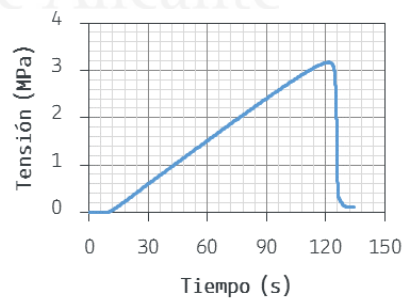
Probeta 123	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	650.0 N/mm²
Tensión de rotura:	3.28 N/mm²
Deformación de rotura:	0.615%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.123]

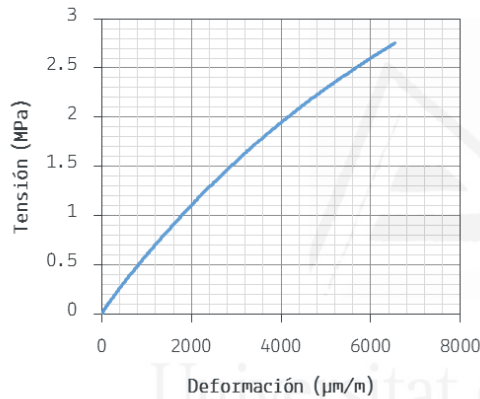
E₂ 124_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

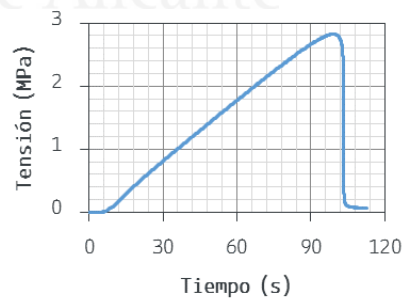
Probeta 124	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	10% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	527.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.87 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.124]

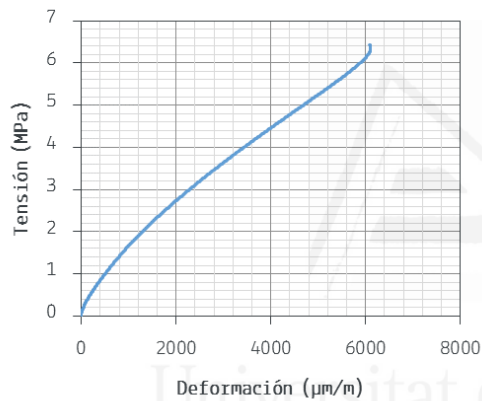
E₂ 125_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

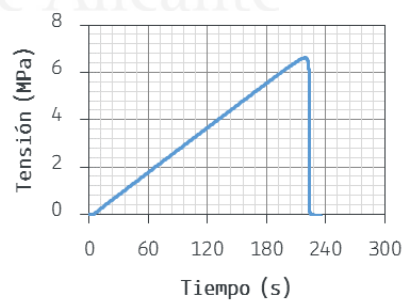
Probeta 125	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1250.4 N/mm²
Tensión de rotura:	6.75 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.125]

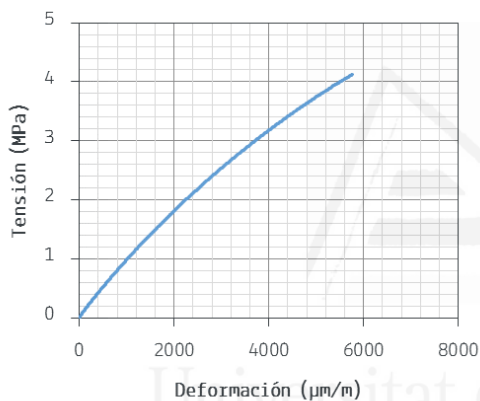
E₂ 126_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

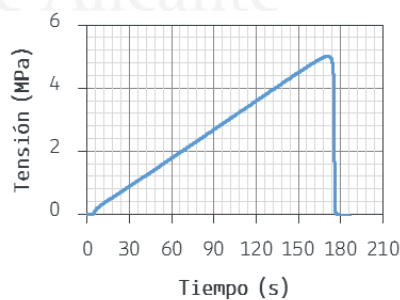
Probeta 126	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	856.3 N/mm²
Tensión de rotura:	5.11 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.126]

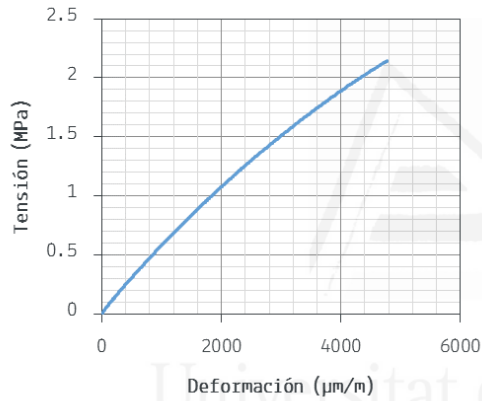
E₂ 127_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

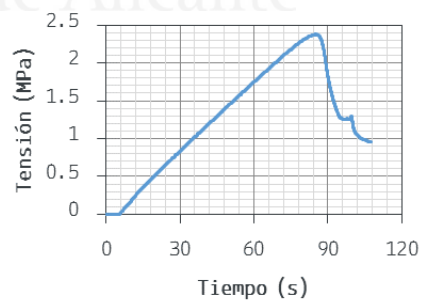
Probeta 127	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	10% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	527.0 N/mm²
Tensión de rotura:	2.39 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.127]

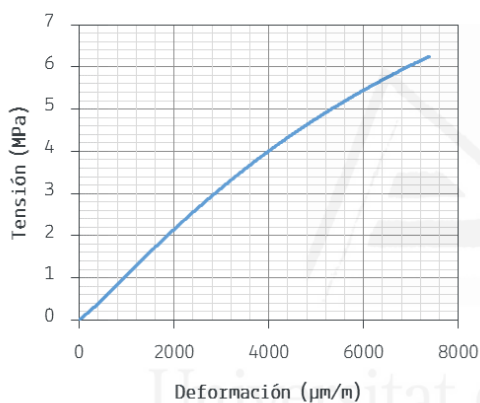
E₂ 128_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

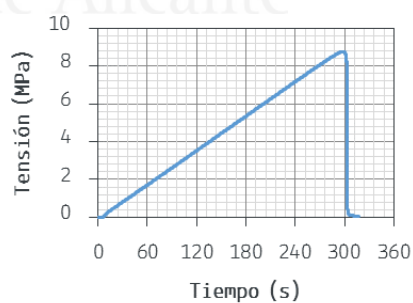
Probeta 128	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	1027.3 N/mm²
Tensión de rotura:	8.80 N/mm²
Deformación de rotura:	0.547%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.128]

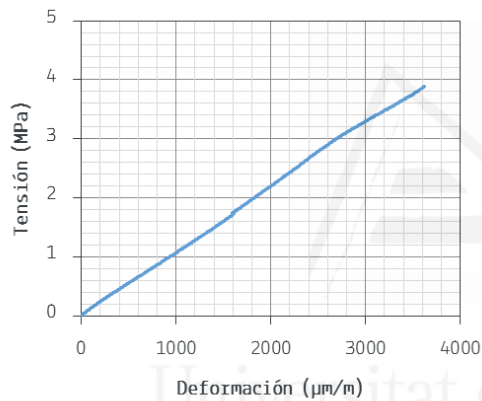
E₂ 129_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

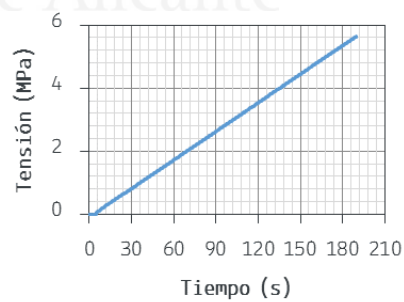
Probeta 129	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	MDI
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	4 N/mm²
Curado:	3 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	951.6 N/mm²
Tensión de rotura:	6.57 N/mm²
Deformación de rotura:	0.363%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.129]

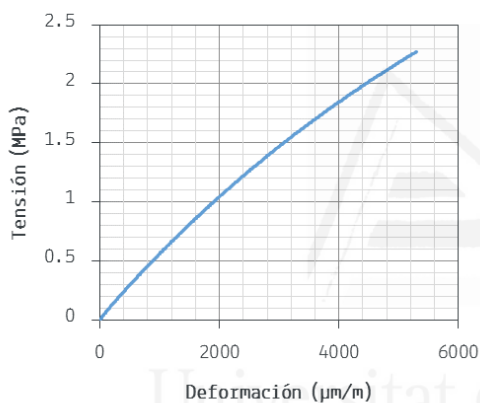
E₂ 131_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

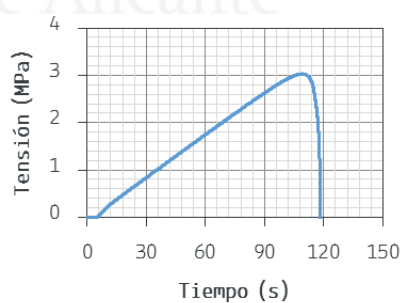
Probeta 131	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	497.2 N/mm²
Tensión de rotura:	3.14 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.131]

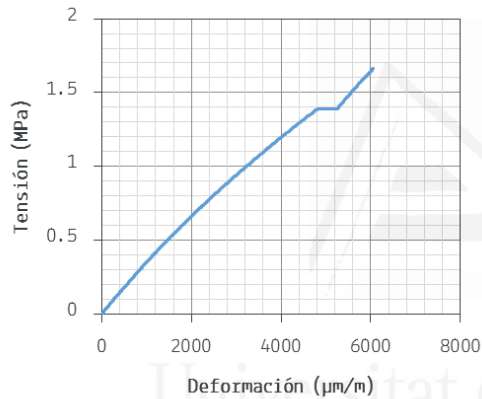
E₂ 132_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

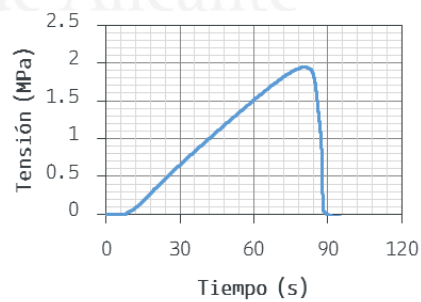
Probeta 132	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	322.6 N/mm²
Tensión de rotura:	2.04 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.132]

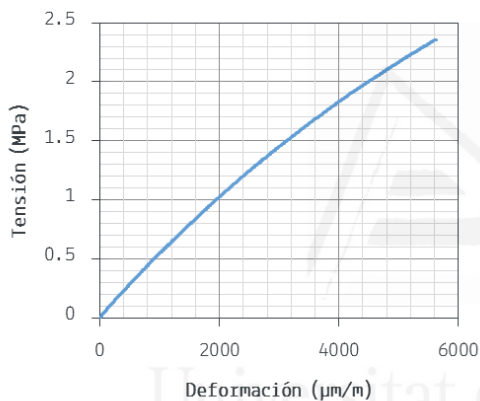
E₂ 133_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

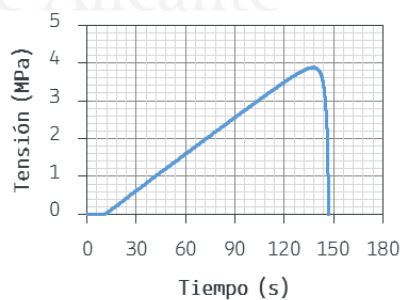
Probeta 133	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	464.0 N/mm²
Tensión de rotura:	4.01 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.76%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.133]

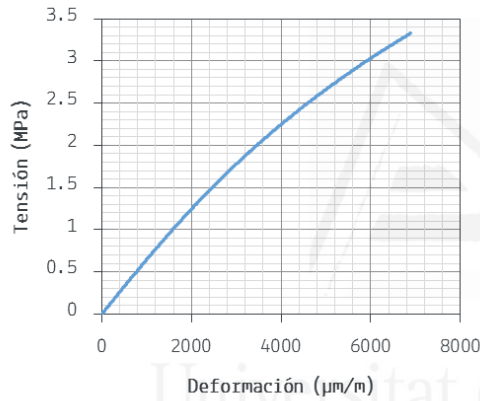
E₂ 134_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

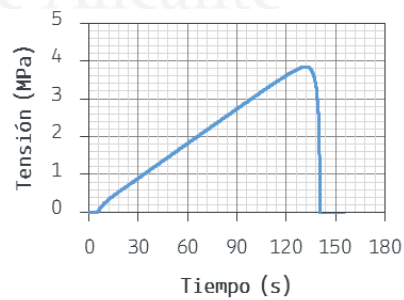
Probeta 134	0% Posidonia 100% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	593.5 N/mm²
Tensión de rotura:	3.90 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.134]

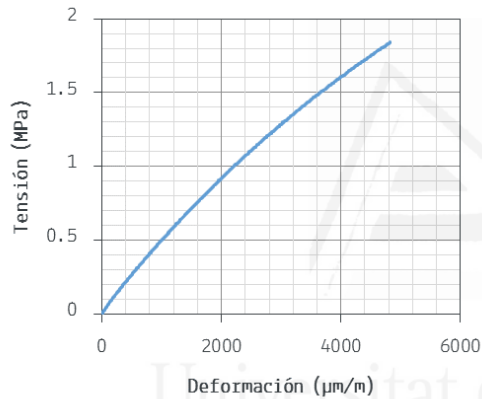
E₂ 135_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

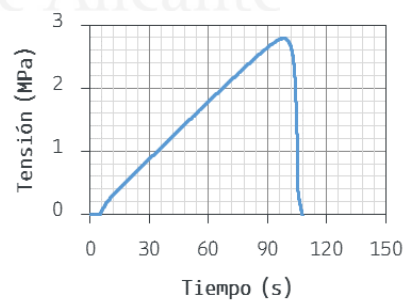
Probeta 135	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	433.3 N/mm²
Tensión de rotura:	2.93 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.68%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.135]

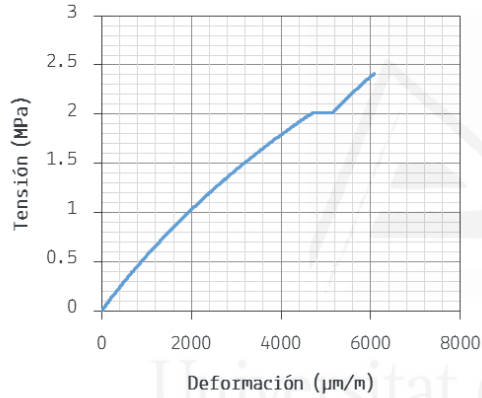
E₂ 137_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

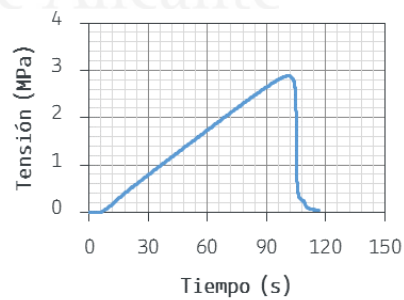
Probeta 137	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	501.5 N/mm²
Tensión de rotura:	3.08 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.66%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.137]

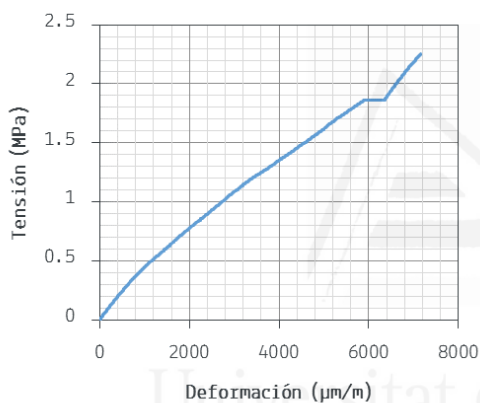
E₂ 138_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

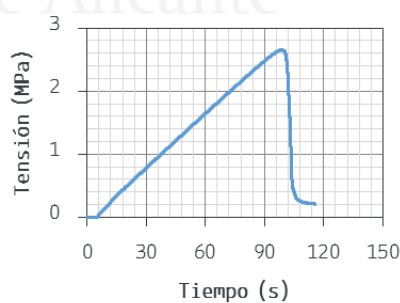
Probeta 138	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	320.5 N/mm²
Tensión de rotura:	2.91 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.138]

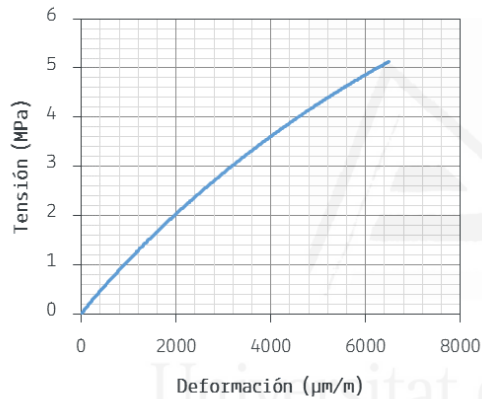
E₂ 139_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

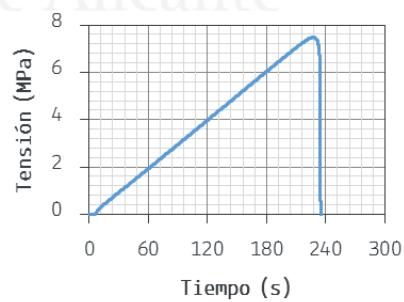
Probeta 139	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	922.2 N/mm²
Tensión de rotura:	7.73 N/mm²
Deformación de rotura:	0.615%
Tipo de rotura:	>0.77%
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.139]

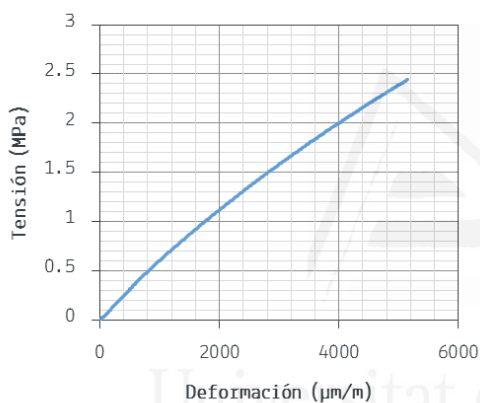
E₂ 141_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

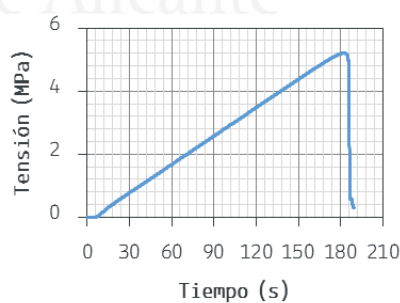
Probeta 135	50% Posidonia 50% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	50% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	477.2 N/mm²
Tensión de rotura:	5.35 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.6%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.141]

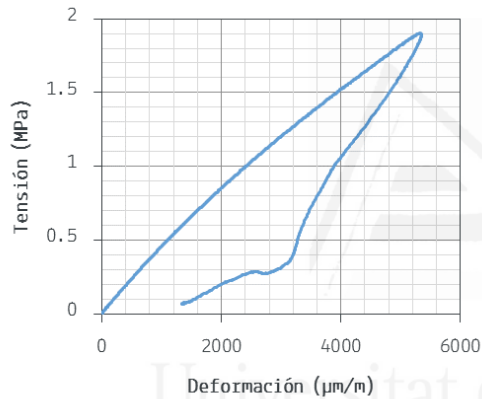
E₂ 142_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

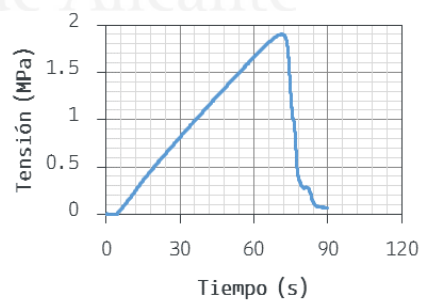
Probeta 142	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	432.3 N/mm²
Tensión de rotura:	2.05 N/mm²
Deformación de rotura:	0.685%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.142]

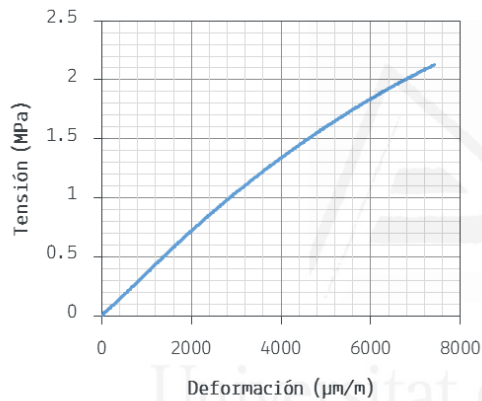
E₂ 143_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

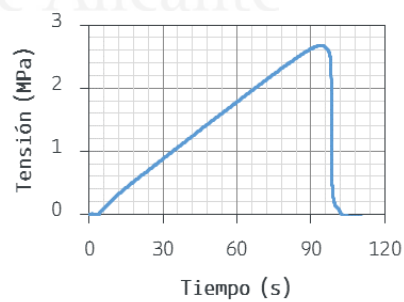
Probeta 143	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	512.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.73 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.143]

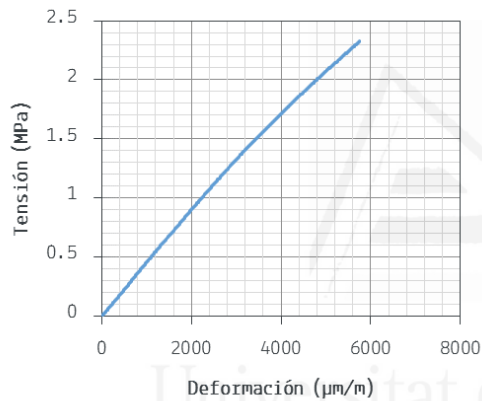
E₂ 144_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

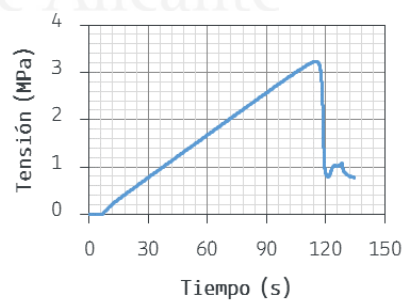
Probeta 144	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	446.7 N/mm²
Tensión de rotura:	3.43 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo nº.144]

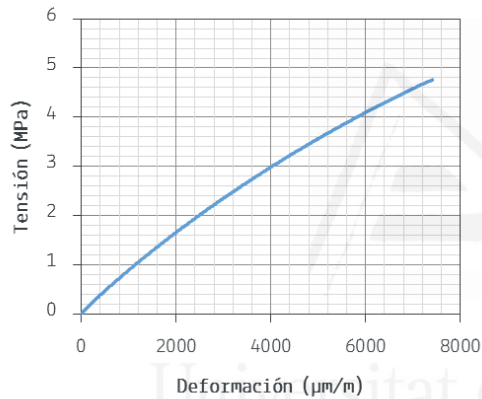
E₂ 145_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

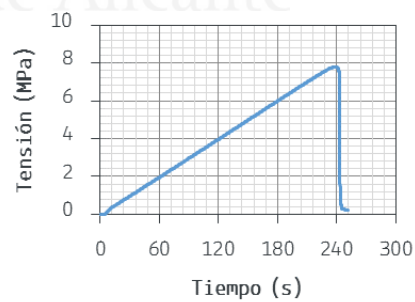
Probeta 145	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	711.5 N/mm²
Tensión de rotura:	7.99 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.145]

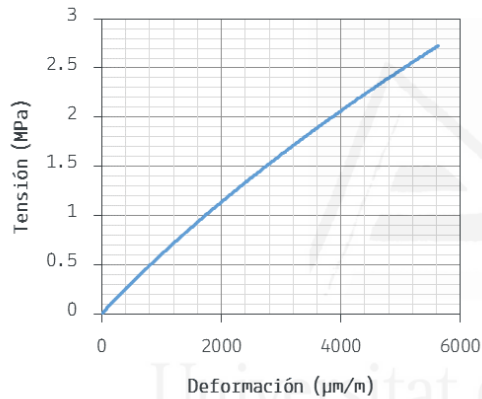
E₂ 147_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

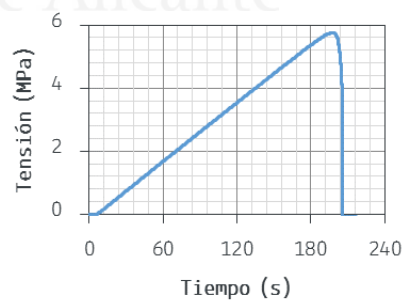
Probeta 147	75% Posidonia 25% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	50% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	495.2 N/mm²
Tensión de rotura:	6.04 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.75%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.147]

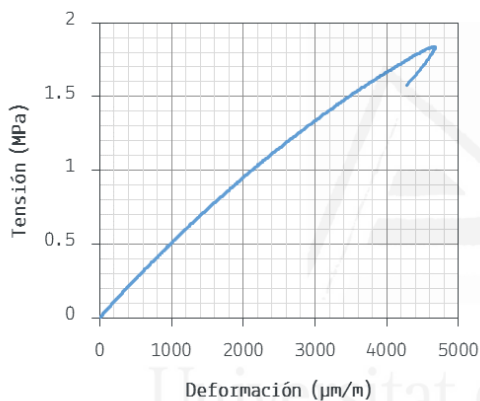
E₂ 148_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

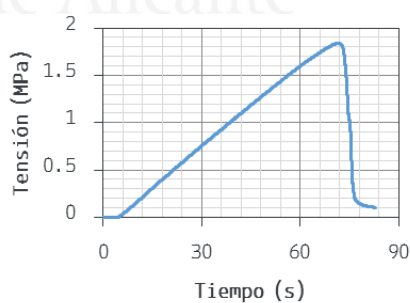
Probeta 148	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	13 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	15% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	557.4 N/mm²
Tensión de rotura:	1.94 N/mm²
Deformación de rotura:	0.467%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.148]

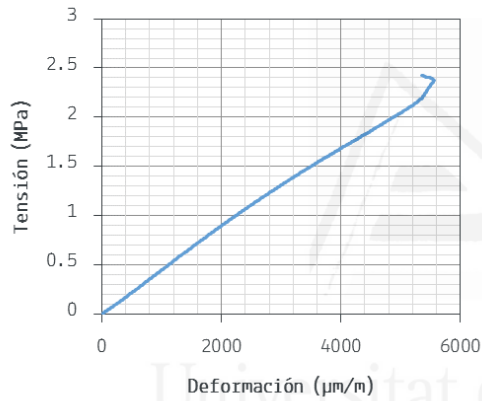
E₂ 149_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

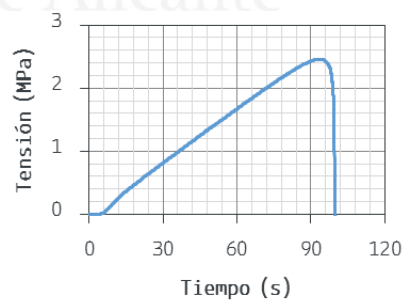
Probeta 149	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	20% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	451.9 N/mm²
Tensión de rotura:	2.48 N/mm²
Deformación de rotura:	0.555%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.149]

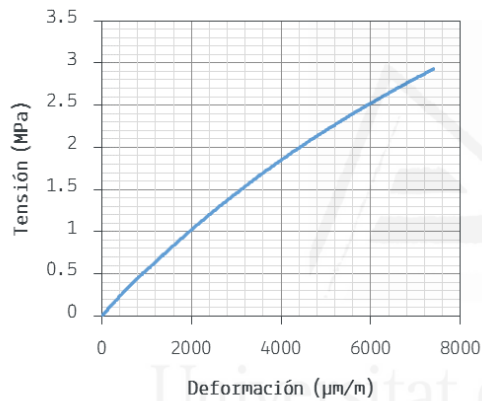
E₂ 151_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

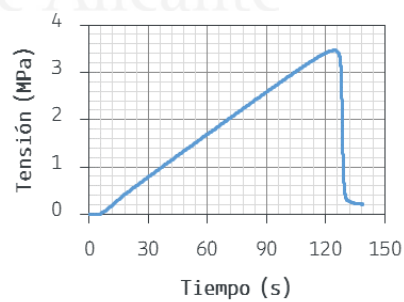
Probeta 151	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	14 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	30% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	497.5 N/mm²
Tensión de rotura:	3.52 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.8%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.151]

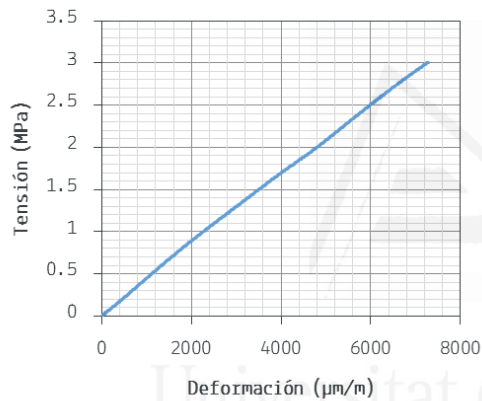
E₂ 152_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

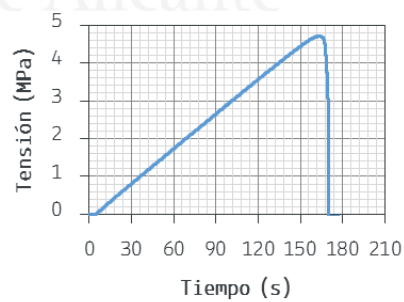
Probeta 152	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	40% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	457.7 N/mm²
Tensión de rotura:	4.76 N/mm²
Deformación de rotura:	>0.7%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.152]

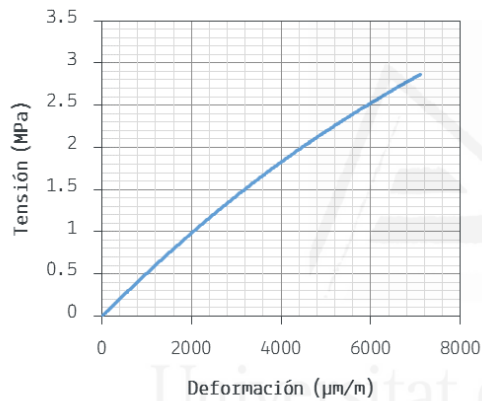
E₂ 153_R

Ensayos: Propiedades Mecánicas de Tableros Estructurales con Mezclas de Posidonia Oceánica y Madera. Módulo Elástico y Resistencia a Compresión.

Identificación y datos sobre preparación de la muestra:

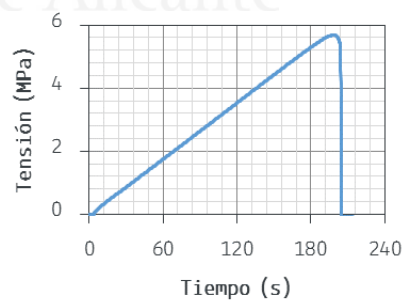
Probeta 153	25% Posidonia 75% Madera
Espesor:	15 mm
Número de láminas:	2
Resina:	PU
Dosificación:	50% (masa PO + Pino)
Presión de curado:	3.75 N/mm²
Curado:	6 horas

Curva tensión-deformación y modo de rotura:



Parámetros característicos del material:

Módulo elástico:	N/mm²
Tensión de rotura:	N/mm²
Deformación de rotura:	0.615%
Tipo de rotura:	
Comentarios:	



[Datos del Ensayo n°.153]



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Anejo C ABSTRACT XXXVII IAHS World
Congress on Housing 2010 Santander

XXXVII IAHS – Posidonia Oceanica structural panels. Mechanical properties

**Antonio Maciá Mateu¹, Carlos Pérez Carramiñana², Mónica Mateo García²,
Beatriz Piedecausa García²**

¹Department of Ingeniería de la Construcción, OO.PP. e Infraestructura Urbana

²Department of Construcciones Arquitectónicas

University of Alicante, Spain

e-mail: antonio.macia@ua.es

Key words: structural panels, Posidonia Oceanica, mechanical properties, tests, dimensioning.

Abstract

The development of new materials of synthesis using adhesives with Posidonia oceanica from recycling processes, and its application to building systems, may allow the design of building facade cladding with better mechanical behavior and greater environmental sustainability.

This communication aims to study and evaluate briefly the main mechanical properties of this material, its application as transventilated cladding in buildings and classification of its features.

The panels are shaped by pressing, at room temperature, the mixture consisting of crushed Posidonia oceanica and urea formaldehyde adhesives (UF), melamine-urea-formaldehyde (MUF) or polyurethane (PU) according to the sort of service of the panel. The new proposed material is analyzed by applying calculation methods and the most suitable construction system to guarantee their quality and durability.

Performing laboratory tests of the pieces used and proposing the most appropriate calculation modeling for the construction system raised for its use in building, mechanical behavior is determined against the main actions to which the building enclosure is subjected: gravitational, thermal and wind actions.

The results show an adequate response from the new material developed versus the solicitations and elevated tensions experienced by facade cladding, and the features to consider when dimensioning, with similar costs compared to other systems such as wood chip boards.

In conclusion, the new material developed is committed to the environmental and sustainable character of building by reusing natural components showing their maximum performances as veneer. The study and diffusion of specific mechanical behavior of this material and the analysis of its key construction features and calculation methods, should contribute to developing and enhancing the use of new synthetic materials with guarantees of durability as facade cladding in architecture.

Topic I: Materials and methods of construction. New materials and composites.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Anejo D FICHAS TÉCNICAS DE LOS
ADHESIVOS UTILIZADOS



FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

Nombre Producto: PU-823

Fecha revisión: 29/05/2012

Página: 1/1

PU-823

DESCRIPCIÓN

El producto PU-823 es un prepolímero de poliuretano de viscosidad media que reticula por humedad. Se emplea como ligante flexible monocomponente sin disolventes para aglomerar casi todo tipo de partículas, tales como caucho, corcho, espumas flexibles, etc

PROPIEDADES GENERALES

Polímero base:	Prepolímero- Poliuretano monocomponente.
Aspecto:	Líquido amarillo claro.
Densidad a 25°C:	1,09 g/cm ³ aprox.
Viscosidad a 25°C	1800-2500 cps.
Dilución/Limpieza:	Utilizar exclusivamente DISOLVENTE HL.

PRINCIPALES APLICACIONES Y MODO DE EMPLEO

El producto se mezcla con el material a aglomerar en un porcentaje que oscilará entre el 10 y 20% en peso. Una vez obtenida una mezcla homogénea se coloca en el molde y se deja curar. El proceso de curado dependerá de las condiciones de trabajo (temperatura, humedad del ambiente y de los materiales,...). Se recomienda efectuar ensayos pilotos previos de reticulación antes de comenzar la producción continuada.

El producto PU-823 es muy sensible a la humedad, por lo que es preciso evitar su contacto con éste elemento. (Evitar la entrada de aire húmedo en envase).

Es recomendable trabajar en espacios bien ventilados, y estar protegidos con gafas de seguridad y guantes protectores. En caso de salpicaduras, lavar de inmediato con agua y jabón.

ALMACENAMIENTO

Según nuestra experiencia y en unas condiciones óptimas de almacenamiento entre 10 y 25°C, este material tiene una estabilidad superior a 9 meses, en envase original sin abrir.

Los consejos que se incluyen en este documento así como la información verbal de nuestro Departamento Técnico son correctos según nuestra experiencia y resultados en diferentes procesos de fabricación, ofreciéndose como colaboración sin compromiso, ya que la aplicación y/o utilización de nuestros productos queda fuera de nuestro control. Las pruebas realizadas por nuestro Departamento Técnico no garantizan la efectividad de los procesos recomendados, ni les eximen de su responsabilidad de comprobarlos en sus instalaciones.

ADHESIVOS KEFRÉN, S.A.

Políg. Ind. Las Atalayas, Parcela 148 · 03114 Alicante (ESPAÑA) · Telf. +34 965 116 961 - Fax: +34 965 116 962
E-mail: kefren@adhesivoskefren.com · www.adhesivoskefren.com





FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

Nombre Producto: **PU-815**

Fecha revisión: **10/03/2014**

Página: 1/1

ADHESIVO PU-815

DESCRIPCIÓN

Adhesivo de poliuretano bicomponente, exento de solventes, indicado para ser empleado en el pegado de numerosos materiales en la industria de la construcción y paneles sandwich: hormigón, geotextiles, láminas de PVC, plásticos, metales, cauchos, madera, fibra de vidrio, etc..

Cumple el ensayo de reacción al fuego según norma UNE 23721-90/1°R con clasificación M1.

PROPIEDADES GENERALES

Base:	Poliéter/Poliéster de reticulación química con isocianato MDI.	
Color:	PU-815 A: Beige.	PU-815 B: Marrón.
Proporciones de mezcla:	En peso: Aprox 5:1 (Parte A / Parte B).	
Consistencia:	Muy buena tixotropía de mezcla.	
Densidades:	PU-815 A: 1,67 g/cm ³ aprox.	PU-815 B: 1,23 g/cm ³ aprox.
Pot – Life:	60 minutos aproximadamente a 20°C.	
Viscosidades:	Resina: 25.000 mPas (Brookfield LVT) aprox. Mezcla: 7.000 mPas (Brookfield LVT) aprox.	
Film de adhesivo:	Cohesivo y duro. Buena resistencia a la humedad y al envejecimiento.	
Rendimiento	Dependiendo de la superficie, 500 ± 200 g/m ² .	
Dureza:	Shore D final: 82 aprox.	
Dilución/Limpieza:	Utilizar exclusivamente DISOLVENTE HL.	

UTILIZACIÓN

Preparación de las superficies: Las superficies a encolar deben estar limpias, secas y exentas de polvo y grasa. Almacenar los materiales y trabajar en locales secos y aclimatados. Consulte con nuestro servicio técnico para recibir asesoramiento en función de los materiales a unir.

Preparación del adhesivo: Mezclar completamente en las proporciones indicadas los dos componentes para obtener una mezcla perfectamente homogénea. No mezclar más de la cantidad necesaria a utilizar durante el límite del pot-life. También puede ser utilizado mediante un mezclador/dosificador automático.

Encolado: La mezcla de adhesivo preparado se deposita sobre la superficie en cantidad suficiente para asegurar un buen relleno en la unión adhesiva. El pegado debe realizarse en un tiempo inferior al pot-life. Mantener el contacto suficiente mediante presión un tiempo 2 ó 3 veces superior al pot-life. La reticulación definitiva se obtiene a las 48 horas. Temperaturas elevadas aumentan la velocidad de reticulación y acortan los tiempos de trabajo.

Almacenamiento: Hasta 12 meses a temperatura entre 10 y 25°C, en lugar seco y en embalaje original sin abrir.

Los consejos que se incluyen en este documento así como la información verbal de nuestro Departamento Técnico son correctos según nuestra experiencia y resultados en diferentes procesos de fabricación, ofreciéndose como colaboración sin compromiso, ya que la aplicación y/o utilización de nuestros productos queda fuera de nuestro control. Las pruebas realizadas por nuestro Departamento Técnico no garantizan la efectividad de los procesos recomendados, ni les eximen de su responsabilidad de comprobarlos en sus instalaciones.

ADHESIVOS KEFRÉN, S.A.

Políg. Ind. Las Atalayas, Parcela 148 · 03114 Alicante (ESPAÑA) · Telf. +34 965 116 961 - Fax: +34 965 116 962
E-mail: kefren@adhesivoskefren.com · www.adhesivoskefren.com





Hoja de datos de seguridad según 91/155/CEE

Edición: Octubre - 2004
Página 1/5

1 Identificación de la sustancia o preparado y de la sociedad o empresa

- Datos el producto

- Nombre comercial: PU-815 – Parte B

- Utilización del producto / de la elaboración Endurecedor de adhesivo de poliuretano.

- Fabricante/distribuidor:

ADHESIVO KEFREN, S.A.

Pol. Ind. Las Atalayas, parcela 148

03114 – ALICANTE

Tel: 965116961 Fax: 965116962

2 Composición/información sobre los componentes

- Caracterización química

- Descripción Isocianato aromático modificado

- Componentes peligrosos:

CAS: 9016-87-9	Diisocianato de difenilmetano, isómeros y homólogos	Xn; R 20-36/37/38-42/43	50-100%
----------------	---	-------------------------	---------

- Avisos adicionales

El texto de los posibles riesgos aquí indicados se puede consultar en el capítulo 16.

3 Identificación de peligros

- Descripción del riesgo:

Xn Nocivo

- Indicaciones adicionales sobre los riesgos para personas y el medio ambiente:

R 20 Nocivo por inhalación.

R 36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

R 42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y por contacto con la piel.

Contiene isocianatos. Véase la información facilitada por el fabricante.

4 Primeros auxilios

- En caso de inhalación del producto:

Suministrar aire fresco. En caso de trastornos, consultar al médico.

Las personas desmayadas deben tenderse y transportarse de lado con la suficiente estabilidad.

- En caso de contacto con la piel:

Secar las partes afectadas de la piel con algodón o celulosa, lavándolas después a fondo con agua y una sustancia suave de limpieza.

- En caso de con los ojos:

Enjuagar durante varios minutos los ojos entornados con agua corriente y consultar el médico.



- **En caso de ingestión:** No provocar el vómito, pedir en seguida asistencia médica.

5 Medidas de lucha contra incendios

- **Sustancias extintoras adecuadas:**

Chorro de agua.

Espuma con contenido alcohólico.

Polvo de extinción.

Dióxido de carbono CO₂.

- **Sustancias extintoras inadecuadas por razones de seguridad:** Agua a pleno chorro.

- **Peligro particular provocado por la sustancia, sus productos de combustión o gases derivados:**

Posible formación de gases tóxicos en caso de calentamiento o incendio.

- **Equipo especial de protección:**

Llevar puesto aparato de protección de respiración independientemente del aire ambiental.

6 Medidas en caso de vertido accidental

- **Medidas de protección relativas a personas:**

Asegurarse de que haya suficiente ventilación.

Ante la presencia de vapores /polvo /aerosoles, utilizar protección respiratoria.

- **Medidas de protección para el medio ambiente:**

Evitar que penetre en la canalización /aguas de superficie /agua subterráneas.

- **Procedimiento de limpieza/recepción:** Recoger mecánicamente.

7 Manipulación y almacenamiento

- **Manejo:**

- **Instrucciones sobre la manipulación segura:**

Asegurar suficiente ventilación /aspiración en el puesto de trabajo.

- **Prevención de incendios y explosiones:** No requiere medidas especiales.

- **Almacenaje:**

- **Exigencias con respecto al almacén y los recipientes:** Evitar la penetración en el suelo.

- **Normas en caso de un almacenamiento conjunto:** No almacenar junto con alimentos.

- **Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento:**

Proteger de las heladas.

Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Protegerlo del calor y de la radiación directa del sol.

El depósito solamente se podrá conservar en lugar bien ventilado.

Almacenar en seco.

8 Controles de la exposición/protección personal

- **Instrucciones adicionales sobre el acondicionamiento de instalaciones técnicas:**

Sin datos adicionales, ver punto 7

Edición: Octubre - 2004
Página 2/5



- **Componentes con valores límite admisibles que deben controlarse en el puesto de trabajo:** 101-68-8 4,4'-diiscocianato de difenilmetano
LEP 0,052 mg/m³, 0,005 ppm

- **Equipo de protección personal**

- **Medidas generales de protección e higiene**

Son de respetar las medidas regulares de seguridad para el manejo de productos químicos.

Mantener alejado de alimentos, bebidas y forraje.

Lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo.

Quitarse inmediatamente ropa ensuciada o impregnada.

- **Protección de respiración:** Protección respiratoria con ventilación insuficiente.

- **Protección de manos:**

Guantes protectores compuestos del siguiente material: Caucho nitrílico

El material mencionado únicamente hace referencia a la resistencia química frente al producto.

Otro factor importante a tener en cuenta al escoger los guantes protectores adecuados es la resistencia que éstos presentan frente a las exigencias mecánicas. No obstante, como éstas pueden ser completamente diferentes según la empresa, recomendamos al usuario que se ponga en contacto con un fabricante de guantes protectores para poder comentar exactamente cuáles son las prioridades de la compañía. Asimismo hay que asegurarse de que el material de los guantes tenga un tiempo de penetración suficientemente elevado (> 240 min / EN374), que se ajuste a la intensidad y la duración de la exposición con el producto.

- **Protección de ojos:** Gafas de protección.

9 Propiedades físicas y químicas

- **Datos generales**

Forma: Líquido

Color: Pardo

Olor: Característico

- **Modificación de estado**

Punto de ebullición /campo de ebullición: no determinado

- **Punto de inflamación:** > 200 °C

- **Temperatura fulminante:** > 400 °C

- **Límites de explosión:**

Inferior: no determinado

Superior: no determinado

- **Presión de vapor a 25 °C:** < 0,0001 mbar

- **Densidad a 20 °C:** 1,23 g/cm³

- **Solubilidad en / mezclabilidad con Agua:** Insoluble

Reacciona con agua

- **Viscosidad Dinámica a 20 °C:** 200 mPas (Brookfield)

10 Estabilidad y reactividad

- **Descomposición térmica / condiciones que deben evitarse:**

No se descompone con uso adecuado.

Edición: Octubre - 2004
Página 3/5



- **Reacciones peligrosas**

Reacciones con alcoholes, aminas, ácidos acuosos y lejías.

Reacciona con agua con formación de dióxido de carbono. Con el recipiente cerrado existe peligro de reventón por formación de presión

- **Productos peligrosos de descomposición:**

En caso de combustión se forman/ pueden formarse los productos siguientes:

Gases nitrosos

- **Datos adicionales:** Abrir y aflojar con precaución el barril bajo presión

11 Información toxicológica

- **Toxicidad aguda:**

- **Efecto estimulante primario:**

- **En la piel:** Irrita la piel y las mucosas.

- **En el ojo:** Produce irritaciones.

- **Sensibilización:** Posibilidad de sensibilización por inhalación y por contacto con la piel.

- **Instrucciones adicionales toxicológicas:** Nocivo

12 Información ecológica

- **Instrucciones generales:**

No dejar que se infiltre en aguas subterráneas, aguas superficiales o en alcantarillados.

13 Consideraciones relativas a la eliminación

- **Producto:**

- **Recomendación:** Evacuación según las prescripciones de las autoridades competentes.

- **EWC-Code(s):**

080411, 080409, 080410;

(según el proceso de formación de los desechos)

- **Embalajes no purificados:**

- **Recomendación:** Eliminación conforme a las disposiciones administrativas.

14 Información relativa al transporte

- **Transporte terrestre ADR/RID (nacional):** ---

- **Clase ADR/RID-GGVS/E** ---

- **Transporte/datos adicionales:**

- **Clase IMDG:** ---

- **Transporte aéreo ICAO-TI y IATA-DGR:**

- **Clase ICAO/IATA:** ---

- **Observaciones:** not restricted

- **Transporte/datos adicionales:** Proteger de la humedad.

15 Información reglamentaria

- **Distinción según las directrices de la CEE:**

Edición: Octubre - 2004
Página 4/5



- Letra distintiva y denominación de peligro del producto:

Xn: Nocivo

- Componentes determinantes del peligro para fines del etiquetaje:

Diisocianato de difenilmetano, isómeros y homólogos,

- Frases-R:

20 Nocivo por inhalación.

36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y por contacto con la piel.

- Frases-S:

23 No respirar vapor/aerosol.

36/37 Úsese indumentaria y guantes de protección adecuados.

45 En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).

- Distintivo especial de determinados preparados:

Contiene isocianatos. Véase la información facilitada por el fabricante.

16 Otra información

Los datos se basan sobre el estado actual de nuestros conocimientos, pero no constituyen garantía alguna de cualidades del producto y no generan ninguna relación jurídica contractual.

Solamente para uso comercial.

- Frases R relevantes

20 Nocivo por inhalación.

36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y por contacto con la piel.



Tesis doctoral

Autor: Antonio Macià Mateu
Tutor: Dr. Salvador Ivorra Chorro

Alicante, diciembre 2015

Imagen de portada: Propuesta para el día mundial de la arquitectura. Mirador de arquitectura para Andalucía. 2004 obra el arquitecto Antonio Jiménez Torrecillas.