



UNSE 40 años
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma

Trabajo Final de Graduación
Ingeniería en Industrias Forestales

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE TABLEROS AGLOMERADOS
ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE *Eucalyptus tereticornis* SMITH.**



Diciembre de 2013

Estudiante: C. Maximiliano Umlandt
Directora: MSc. Ing. Estela M. Pan
Co-Director: Ing. Agustín P. Ruiz



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE TABLEROS AGLOMERADOS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE *Eucalyptus tereticornis* SMITH.

Trabajo Final de Graduación
INGENIERIA EN INDUSTRIAS FORESTALES
Carlos Maximiliano Umlandt
2013

Directora

MSc. Ing. Estela M. Pan



Codirector

Ing. Agustín P. Ruiz



Tribunal Examinador

Ing. Silvia Vélez



Dr. Juan C. Medina



MSc. Estela M. Pan



Directora de la Escuela de
Industrias Forestales



UNSE **40** años
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
"Ing. Néstor René Ledesma"**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE TABLEROS AGLOMERADOS
ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE *Eucalyptus tereticornis* SMITH.**

Trabajo Final de Graduación

Ingeniería en Industrias Forestales
Plan 1996

Fecha de Defensa: _____

Calificación: _____

Tribunal Examinador:

Ing. Silvia Vélez

Dr. Juan Carlos Medina

MSc. Estela M. Pan



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar y llevar a cabo esta carrera. Sin duda esta fascinante etapa de mi vida no hubiese sido posible sin su ayuda.

Alcanzar ésta meta es el resultado del apoyo constante e incondicional de mis padres y hermanos, gracias por todo, son la luz de mi vida.

Un agradecimiento especial a las autoridades, personal docente y no docente de la Facultad de Ciencias Forestales, mi segundo hogar, además de formarme académicamente me hicieron crecer como persona.

Estela, JuanCa, Yani Ruiz, no hay medida de agradecimiento ni forma de agradecerles, de la manera en que se lo merecen, por las contribuciones que han hecho a mi vida, aun así, valga éste sencillo gracias.

Los amigos hermanos por elección, a los que están cerca y a los que no tanto, OBVIO que también se los debo a ustedes ¡!!



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE TABLEROS AGLOMERADOS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE *Eucalyptus tereticornis* SMITH.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.	i
ÍNDICE DE TABLAS.	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.	iv
RESUMEN.	v
ABSTRACT.	vi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág
1.- Introducción	2
1.1.- Hipótesis de trabajo	7
1.2.- Objetivos	7
1.2.1.- Objetivo general.	7
1.2.2.- Objetivos específicos.	7
2.- Revisión bibliográfica	9
2.1.- Descripción de la especie.	9
2.1.1.- Género <i>Eucalyptus</i> .	9
2.1.1.1.- <i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith	9
2.1.1.2.- Características y usos de la especie.	10
2.1.2.- <i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith plantados en Santiago del Estero.	11
2.2.- Tableros	13
2.2.1.- Partículas de madera.	13
2.2.2.- Tableros de partículas.	14
2.2.3.- Usos y aplicaciones de los tableros de partículas	14
2.2.4.- Fabricación de tableros de partículas.	15
2.2.4.1.- Almacenamiento de la madera.	17
2.2.4.2.- Descortezado.	17
2.2.4.3.- Preparación de las partículas.	17
2.2.4.4.- Silos de partículas.	18
2.2.4.5.- Secado.	18
2.2.4.6.- Clasificado.	19
2.2.4.7.- Encolado.	19
2.2.4.8.- Formación del colchón.	20
2.2.4.9.- Pre-prensado.	20
2.2.4.10.- Prensado.	20
2.2.4.11.- Acabado.	21
2.2.4.12.- Almacenamiento.	22
2.2.5.- Clasificación de los tableros.	23
2.2.5.1.- Tablero de partículas de baja densidad.	23
2.2.5.2.- Tablero de partículas de densidad media.	23
2.2.5.3.- Tablero de partículas de gran densidad.	23
2.2.6.- Calidad de los tableros de partículas.	23
2.2.6.1.- Factores que alteran la calidad.	24
2.2.6.1.1.- Especies utilizadas como materia prima.	25
2.2.6.1.2.- Densidad o peso específico aparente.	25
2.2.6.1.3.- Extractivos de la Madera.	26



2.2.6.1.4.- Acidez de la madera.	26
2.2.6.1.5.- Inclusión de corteza.	26
2.2.6.1.6.- Geometría de las partículas.	27
2.2.6.1.7.- Adhesivos y encolado de las partículas.	27
2.2.6.1.8.- Peso específico del tablero.	28
2.2.6.1.9.- Formación del colchón de partículas.	28
2.2.6.1.10.- Orientación de las partículas.	28
2.2.6.1.11.- Prensado del tablero.	29
3.- Materiales y métodos.	31
3.1.- Material.	31
3.1.1.- Virutas.	31
3.1.2.- Adhesivo.	31
3.2.- Métodos.	32
3.2.1.- Producción y preparación de las virutas.	32
3.2.1.1.- Aserrado.	32
3.2.1.2.- Reducción primaria o chipeado.	33
3.2.1.3.- Reducción secundaria o molinado.	34
3.2.1.4.- Secado.	34
3.2.1.5.- Eliminación de polvo.	35
3.2.2.- Elaboración de los tableros aglomerados.	36
3.2.2.1.- Encolado de las virutas.	36
3.2.2.2.- Moldeo del colchón o manta.	36
3.2.2.3.- Preprensado.	37
3.2.2.4.- Prensado.	38
3.2.2.5.- Estabilización.	39
3.2.3.- Determinación de las propiedades físico mecánicas.	39
3.2.3.1.- Obtención de las probetas.	40
3.2.3.2.- Ensayos físico mecánicos.	41
3.2.3.2.1.- Humedad.	41
3.2.3.1.2.- Peso específico.	42
3.2.3.1.3.- Hinchazón.	42
3.2.3.1.4.- Flexión estática.	43
3.2.3.3.- Análisis estadístico.	45
4.- Resultados y discusión.	47
4.1.- Características de la materia prima.	47
4.2.- Ensayos físicos de los paneles de partículas.	48
4.2.1.- Humedad.	49
4.2.2.- Densidad.	49
4.2.3.- Hinchamiento en 2 y 24 horas.	50
4.3.- Ensayos mecánicos de los paneles de partículas.	52
5.- Conclusiones y recomendaciones.	56
5.1.- Conclusiones.	56
5.2.- Recomendaciones.	57
6.- Bibliografía.	59
Anexos.	



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla N° 1: Producción de paneles de madera por región.	4
Tabla N° 2: Producción de paneles de madera en Sud América.	4
Tabla N° 3: Características Generales de la industria de tableros de partículas en Argentina.	5
Tabla N° 4: Materia prima rolliza utilizada en la producción de tableros de partículas.	5
Tabla N° 5: Características organolépticas del <i>Eucalyptus Tereticornis</i> .	10
Tabla N° 6: Propiedades Físicas y Mecánicas del <i>Eucalyptus Tereticornis</i> .	11
Tabla N° 7: Densidad anhidra promedio de 6 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	12
Tabla N° 8: Densidad básica promedio de 6 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	12
Tabla N° 9: Contracciones radial (β_r), tangencial (β_t), longitudinal (β_l) y volumétrica (β_{vol}) promedio de 6 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	12
Tabla N° 10: Coeficiente de retractabilidad volumétrico promedio de 6 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	13
Tabla N° 11: Flexión estática (MOR) promedio de 2 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	13
Tabla N° 12: Presiones y Tiempos del ciclo de prensado.	38
Tabla N° 13: Relación entre propiedades, Normas, número de probetas, y dimensiones de las mismas.	40
Tabla N° 14: Coeficientes de esbeltez (C.E.) de las familias de <i>Eucaliptus tereticornis</i> .	47
Tabla N° 15: Estadígrafos para los ensayos físicos.	48
Tabla N° 16: Resultados del análisis de variancias efectuado para los ensayos físicos.	48
Tabla N° 17: Resultados del Test de Tukey efectuado para los ensayos físicos.	48
Tabla N° 18: Estadígrafos para los ensayos mecánicos.	52
Tabla N° 19: Resultados del análisis de variancias efectuado para los ensayos mecánicos.	52
Tabla N° 20: Resultados del Test de Tukey para Módulo de Ruptura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE).	52



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura N°1: Producción de paneles de madera por región.	4
Figura N°2: Producción de paneles de madera en Sud América.	4
Figura N°3: Flujo de proceso para la fabricación de paneles aglomerados.	16
Figura N°4 – A: Elaboración de paneles a base de madera.	22
Figura N°4 – B: Elaboración de paneles a base de madera.	22
Figura N°5: Imágenes de la plantación de <i>Eucalyptus tereticornis</i> .	31
Figura N°6: Imágenes de los rollos de <i>Eucalyptus tereticornis</i> recibidos en el aserradero del ITM.	32
Figura N°7: Reaserrado de la madera de Eucalipto para obtener muestras compatibles con la boca de alimentación de la chipeadora.	33
Figura N°8: Esquema que representa la obtención de los tacos de madera, de <i>Eucalyptus tereticornis</i> , para la producción de virutas en la chipeadora.	33
Figura N°9: Imágenes del equipo chipeador BENZER, de la calibración del mismo y de los chips obtenidos.	34
Figura N°10: Imágenes del molino CONDUX en operación, de las cuchillas del mismo y de las virutas obtenidas.	34
Figura N°11: Imágenes del Secadero de virutas HEREAUS, de las virutas secadas y de las virutas embolsadas.	35
Figura N°12: Imágenes de la zaranda.	35
Figura N°13: Imágenes de la encoladora de virutas.	36
Figura N°14: Imágenes de la formación del colchón de virutas.	37
Figura N°15: Imagen del contrapeso (C), del molde modular (M), de la manta de virutas (V), de la plancha de aluminio (A); y de la dirección y sentido de la fuerza (P) aplicada manualmente.	37
Figura N°16: Imágenes del pre-prensado y del colchón de virutas compactado.	38
Figura N°17: Gráfico de líneas del ciclo de prensado.	39
Figura N°18: Imágenes de la operación de prensado y del tablero obtenido.	39
Figura N°19: Esquema seguido en la extracción de las probetas. Siendo "a", probeta de Flexión Estática; "b", Peso Específico y humedad; "c", Hinchazón.	40
Figura N°20: Obtención de las probetas en la carpintería para los ensayos de humedad, peso específico, hinchazón y flexión estática.	40
Figura N°21: Imágenes de las probetas en la estufa para la determinación de la humedad.	41
Figura N°22: Imágenes de la determinación del peso específico.	42
Figura N°23: Imágenes de la determinación del hinchamiento para 2 hs y 24 hs.	43
Figura N°24 – A: Esquema de los elementos de trabajo en el ensayo a la flexión (MOR y MOE), donde "a" y "e" son el ancho y el espesor de la probeta respectivamente, "l" es la longitud entre los apoyos de la probeta y "P" señala la dirección y sentido de la carga aplicada sobre la probeta.	43
Figura N°24 – B: Esquema de los elementos de trabajo en el ensayo a la flexión (MOR y MOE), representando la probeta deformada producto de la carga aplicada sobre ella	43
Figura N°25: Imágenes de los ensayos a la flexión para la determinación del MOR y MOE.	44



RESUMEN

En la actualidad se están realizando ensayos de crecimiento en arboles de dos especies de eucaliptos en Santiago del Estero; siendo una de las especies el *Eucalyptus tereticornis* SMITH de la cual se han hecho plantaciones en la Estación Experimental Fernández. El presente trabajo permitirá caracterizar tecnológicamente la madera joven de familias de *Eucalyptus tereticornis*, basándose en las propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados elaborados con partículas de madera de estas familias, con el fin de tener un patrón de referencia al momento de seleccionar o recomendar a futuro plantaciones con mejor performance. Los paneles aglomerados se realizaron en el Laboratorio de Paneles a base de Madera del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM) de la Facultad de Ciencias Forestales de Santiago del Estero, Argentina. El material utilizado, consistió en virutas de madera de *Eucalyptus tereticornis* provenientes de cuatro familias de polinización abierta seleccionados dentro de un ensayo de progenies por sus características de crecimiento y rectitud de fuste en base a su mérito genético para estas características. Para la formación del tablero, el adhesivo empleado fue resina de urea-formaldehído. Las etapas desarrolladas para la elaboración de los tableros consistieron; en la obtención de las trozas de 1m de longitud a partir del DAP; elaboración de las virutas de madera de 0,5 mm de espesor y 20 mm de largo a partir de las trozas, estacionamiento y secado de las virutas. Se realizó la formación del tablero, utilizando la cola a una concentración del 10 %; siendo la composición aplicada de 320 g de adhesivo, 16 g de endurecedor (Cloruro de Amonio) y 160 cm³ de agua. En el prensado se aplicaron de manera decreciente y escalonada las presiones de 240 bares, 160 bares, 100 bares y 50 bares, durante 10 min, 2 min, 2 min y 2 min respectivamente. Se realizaron los Ensayos Físicos y Mecánicos de acuerdo a las Normas DIN para Humedad, Peso Específico, Hinchazón (en 2 y 24hs en agua fría) y Módulo de Rotura y Módulo Elástico. Las familias de *Eucalyptus tereticornis* mostraron diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas ensayadas en éste trabajo. Si bien ninguna de ellas presentó valores dentro de los rangos estipulados por normas, la familia 65 expuso mejores los valores respecto del resto.



ABSTRACT

Growth tests on trees of two species of eucalyptus are being made in Santiago del Estero nowadays; one of the species is the *Eucalyptus tereticornis* SMITH implanted in the Fernandez Experimental Station. This work will let the earlywood of the *Eucalyptus tereticornis* families be characterized on the basis of the physico-mechanic properties of agglomerate boards made out of the wood of these families in order to obtain a reference pattern at the time of selecting or recommending better performing plantations to be. These boards were made at the Wood-based Boards Laboratory in the Wood Technology Institute (WTI) of the Faculty of Forest Sciences in Santiago del Estero, Argentina. The material used was sawdust of *Eucalyptus tereticornis* from two open-pollination families selected out of progenies tests on the basis of their genetic merit for growth characteristics and bole uprightness. The urea-formaldehyde resin was the adhesive used to construct the board. The steps followed in the elaboration of the board were as follows: cutting of 1m long logs on the basis of the DBH; log sawing to obtain 0.5 mm thick and 20 mm long sawdust, seasoning, and drying. The board was made using 10% glue made out of 320 g of adhesive, 16 g hardener (Ammonium Chloride) and 160 cm³ of water. At the pressing stage decreasing and stepped pressures of 240, 160, 100, and 50 bars were applied for 10, 2, 2, and 2 min respectively. Physical and Mechanical Tests were performed according to DIN standard method for Humidity, Density, thickness Swell (at 2 and 24 hours in cold water) and Modulus of Rupture and Elastic Modulus. The families of *Eucalyptus tereticornis* showed significant differences in the physical-mechanical properties tested in this work. While none of them had values within the ranges set by standard method, family values 65 exhibited best from the rest.



1.- INTRODUCCIÓN



1.- INTRODUCCIÓN

El desarrollo forestal industrial de un país se basa en el cultivo en gran escala de árboles de especies de rápido crecimiento para la producción de madera comercial, Marcó (2005).

Las plantaciones forestales por su concentración espacial son adecuadas para generar actividades comerciales e industriales rentables y para dinamizar el sector con la generación de puestos de trabajo, Cabrera Gaillard (2003).

Entre las especies promisorias se encuentran las que pertenecen al género *Eucaliptus*, debido a su amplio rango de adaptación a diferentes sitios y variada gama de usos.

A nivel mundial, el eucalipto se ha plantado inicialmente con objetivos celulósicos y/o energéticos, y en menor medida para tableros. Al año 2000 se contaba con 13,6 millones de ha plantadas de eucaliptos, lo que representa algo menos del 10 % de las forestaciones implantadas totales mundiales, de las cuales más del 50% se encuentran en sólo dos países: Brasil y la India, Sánchez Acosta (2005); Mantero (1995).

En la Argentina el eucalipto habría sido introducido en 1857 por Domingo Faustino Sarmiento. Inicialmente, fue plantado en la región de Buenos Aires para cortinas y monte de reparos de la ganadería, o bien para aprovechar sitios bajos debido a su gran rusticidad. Las condiciones ambientales resultaron tan favorables que prontamente se difundieron en todas las estancias, parques y establecimientos rurales desde Comodoro Rivadavia hasta Jujuy y Misiones. El *Eucalyptus tereticornis* fue introducido simultáneamente con el *Eucalyptus camaldulensis* y ha sido cultivado en menor medida que éste, Salto (2008); INTA - SAGyP (1995); Mangieri y Dimitri (1971).

El *Eucalyptus tereticornis* es una especie potencialmente adecuada para el cultivo de bosques con fines industriales, debido a sus características tecnológicas, silviculturales y a los factores del ambiente en Santiago del Estero. El *Eucalyptus tereticornis* se ha destacado por su rápido crecimiento y aceptables características de trabajabilidad de su madera, no obstante lo anterior, la madera de éste *Eucalyptus* se caracteriza por presentar elevadas tensiones de crecimiento y la liberación de éstas durante las operaciones de volteado, aserrado y secado crea problemas en su utilización y adecuado aprovechamiento industrial (presencia de grietas, alabeos en madera aserrada y secada), Pan (2013).

El Tablero de Partículas Aglomerado nace como consecuencia de la necesidad de lograr el aprovechamiento integral de la madera, de los materiales de menor calidad y de los residuos de madera o de los productos de reciclaje de la propia industria maderera, Nacar (2005); Garay et al. (2003); Argudo (1981).



Por ser la industria del tablero aglomerado una industria de desintegración, es la madera en rollo de pequeñas dimensiones y restos de madera lo que fundamentalmente aprovecha. Este factor, es una limitante para cualquier otra industria de transformación de la madera, mientras que en la de tablero de partículas, al utilizarlos, ha logrado aumentar de forma importante la rentabilidad de los montes, así como el aprovechamiento de residuos de otras industrias de la madera, o maderas que hasta entonces carecían de interés industrial. Este aspecto es importante para destacar, ya que la industria de Tableros Aglomerados logra un rendimiento de la madera por encima del 80%, Ginzler y Perazza (1966).

En América Latina, la fabricación y el empleo de madera reconstituida en forma de tableros, es la tendencia contemporánea en Ingeniería de la madera. Las formas más comunes en el mercado son los tableros aglomerados, los contrachapados y los enlistonados. La madera reconstituida y su combinación con adhesivos adecuados, resuelven por una parte, el problema de la dimensión natural de los árboles de los cuales se extrae la madera. El tronco presenta una geometría asimilable a un cilindro o cono irregular, cuyos diámetros, cada vez son y serán menores. Esta limitación geométrica se soluciona con la recomposición a partir de fibras, partículas, astillas, tabletas y chapas de madera, en tableros con superficies y espesores acordes a usos específicos en Ingeniería de la madera, Sotomayor Castellano (2011); Chan (2004).

La industria del tablero aglomerado ha crecido rápidamente desde comienzo de su producción en el año 1962. Esto es consecuencia del paulatino agotamiento de los bosques autóctonos, y con ello a la escasez de especies con diámetros adecuados para la elaboración de compensados y madera para construcción en general. En este sentido, los tableros de partículas compiten exitosamente con la madera aserrada, compensados y tableros de fibras, especialmente en el mercado de muebles, donde se consume aproximadamente el 15% de la producción, Coronel (2006); Garay et al. (2003).

Según FAO (2012), el comercio global de tableros creció un uno por ciento en 2010-2011, registrando una producción mundial de tableros de 93.390.387 m³, recuperándose levemente el comercio global desde el descenso sufrido durante el periodo 2007- 2009. Las estadísticas publicadas por FAO muestran a Europa, Asia y el Pacífico, como las regiones productoras que dominan el comercio internacional en los tableros de madera y juntos representaron 78% de todas las importaciones y el 85% de las exportaciones en el año 2011.

En Argentina la producción durante 2011 fue de 568.000 m³. Exportó 99.757 m³ e Importó 11.000 m³. A modo de referencia, la producción local se encuentra muy por debajo de la de Brasil que es el primer productor y exportador de tableros de partículas de América Latina y el Caribe. A continuación, en las Tablas N° 1 y N° 2 se exponen los valores de producción de paneles por región en el mundo, y la producción de paneles en Sudamérica.



Tabla N° 1: Producción de paneles de madera por región. Fuente: FAO
<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>
 Disponible el día 23 de noviembre de 2012.

Producción por Región				
Región	Importación (m³)	Exportación (m³)	Producción (m³)	Porcentaje (%)
Europa	12.934.157,00	15.124.746,00	46.498.169,00	49,79
Asia	5.284.829,00	2.902.843,00	22.346.100,00	23,93
África	206.612,00	70.869,00	636.303,00	0,68
América del Norte	3.246.626,00	2.882.993,00	19.306.815,00	20,67
América Latina y el Caribe	426.190,00	404.194,00	4.603.000,00	4,93
Total			93.390.387	100

Tabla N° 2: Producción de paneles de madera en Sud América. Fuente: FAO
<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>
 Disponible el día 23 de noviembre de 2012.

Producción en Sud América				
País	Importación (m³)	Exportación (m³)	Producción (m³)	Porcentaje (%)
Argentina	11.000,00	99.757,00	568.000,00	12,51
Bolivia	15.437,00	98,00	1.000,00	0,02
Brasil	3.934,00	85.523,00	3.069.000,00	67,58
Chile	90.918,00	91.000,00	545.000,00	12,00
Colombia	68.015,00	10.729,00	232.000,00	5,11
Ecuador	19.265,00	98.822,00	94.000,00	2,07
Guyana	349,00	38,00	0,00	0,00
Paraguay	5.887,00	7,00	1.000,00	0,02
Perú	184.970,00	12.668,00	0,00	0,00
Surinam	1.732,00	0,00	0,00	0,00
Uruguay	14.000,00	0,00	0,00	0,00
Venezuela	2.654,00	5.497,00	31.000,00	0,68
Total			4.541.000	100

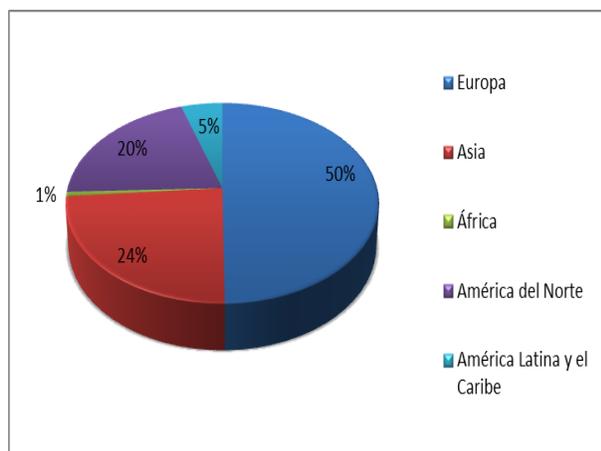


Figura N° 1: Producción de paneles de madera por región. Fuente:
<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>
 Disponible el día 23 de noviembre de 2012.

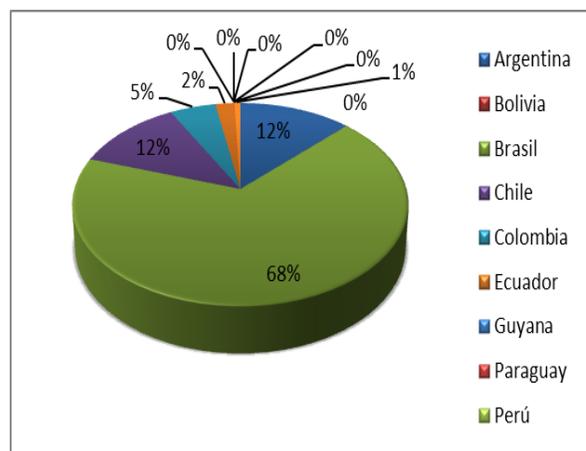


Figura N° 2: Producción de paneles de madera en Sud América. Fuente:
<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>
 Disponible el día 23 de noviembre de 2012.



Actualmente en Argentina se encuentran cinco fábricas con una capacidad instalada de 690.000 m³/año, que se localizan en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe y Mendoza; lográndose una producción 511.901 m³ en el año 2009. En el presente, la mayor producción es de tableros con revestimientos melamínicos, destinados a la industria del mueble, aunque se están incorporando nuevos productos para la industria de la construcción, tales como tableros hidrófugos y resistentes al tránsito, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2010); Coronel (2006). En las Tablas N° 3 y N° 4 se exponen datos generales de las plantas productoras de paneles; y de la materia prima utilizada para la producción de los mismos.

Tabla N° 3: Características Generales de la industria de tableros de partículas en Argentina. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2010).

Industrias de Tableros						
Provincia	Personal Ocupado		Capacidad Instalada (m ³)	Materia Prima		Producción (m ³)
	Permanente	Temporario		Rolliza (tn)	Otra Mat. Prima (tn)	
Buenos Aires	176	0	270.000	204.727	88.233	231.928
Entre Ríos	370	0	290.000	34.443	165.120	207.192
Mendoza	74	0	100.000	43.093	20.486	57.585
Santa Fe	55	0	30.000	18.681		15.196
TOTAL	675	0	690.000	300.944	273.839	511.901

Tabla N° 4: Materia prima rolliza utilizada en la producción de tableros de partícula. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2010).

Materia Prima Rolliza									
Especies Utilizadas	Lugar de Origen de los Rollizos								Total
	Buenos Aires	Córdoba	Corrientes	Delta de Bs As	Entre Ríos	Mendoza	Neuquén	Santa Fe	
Álamo	8.058				163	11.932	1.349		21.502
Eucalipto	44.413		19.611		36.938	854		25.782	127.598
Los Demás						3.293			3.293
Pino	532	21.734	968		17.264	3.777			44.275
Sauce	74.019			23.265	5.937	154		911	104.286
Total	127.022	21.734	20.579	23.265	60.302	20.010	1.349	26.693	300.954



El incremento extraordinario que ha tomado la industria de la madera reconstituida no solo se debe al hecho de poder aprovechar maderas de pequeñas dimensiones, sino que supera los inconvenientes que presentan las tablas de madera debido a su heterogeneidad, es decir, las distintas características tecnológicas en el sentido transversal y longitudinal, incluso, pudiéndose obtener en algunos casos, tableros de partículas con propiedades mejoradas respecto a la madera natural. Teniendo en cuenta también, que de esta forma, la Industria, el Diseñador y el Ingeniero en Tecnología de la Madera pueden incorporar este material en proyectos más creativos, Hernández Maldonado (2010) citado por Sotomayor Castellano et al. (2011); Coronel (2006); Chan (2004).

De las propiedades físicas de la madera, el Peso Específico es una propiedad que se puede asociar indirectamente con las aplicaciones a las que puede ser sometida la madera, pero es conveniente y necesario realizar determinaciones cuantitativas directas en un determinado producto para medir la real viabilidad técnica para ese bien, Poblete (2001) citado por Poblete (2010); Pelen (1998).

Los tableros aglomerados son un tipo de producto donde se puede apreciar precisamente las bondades del peso específico de las maderas sobre la calidad del mismo. Es un producto altamente sensible a las variaciones de esta propiedad y por ello fue seleccionado para medir las diferencias técnicas entre las maderas estudiadas, Kollman et al. (1975); Vital et al. (1974).

A modo de aportar al sector foresto-industrial, un patrón de referencia para seleccionar o recomendar a futuro plantaciones con mejor performance, el presente trabajo tiene por fin, caracterizar tecnológicamente los paneles aglomerados elaborados con partículas provenientes de madera joven de *Eucalyptus tereticornis*, plantados actualmente en Santiago del Estero.



1.1.- Hipótesis de trabajo

El conocimiento de las características tecnológicas de aglomerados de madera procedente de plantaciones de *Eucalyptus tereticornis*, derivadas de material genético de alta calidad, en la provincia de Santiago del Estero, permitirá discriminar tecnológicamente las mismas para este uso y otros.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo general:

Contribuir al desarrollo y promoción de plantaciones forestales, mediante la caracterización tecnológica de paneles aglomerados, obtenidos a partir de madera joven de *Eucalyptus tereticornis*, implantados en Santiago del Estero.

1.2.2.- Objetivos específicos:

- ✓ Determinación de las propiedades físicas de los tableros aglomerados mediante los siguientes parámetros de evaluación: humedad, peso específico e hinchamiento.
- ✓ Determinación de las propiedades mecánicas de los paneles aglomerados mediante los parámetros: Módulo de Rotura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE).
- ✓ Determinar estadísticamente las diferencias de aptitud entre las maderas de las diferentes familias de *Eucalyptus tereticornis* utilizadas para producir los tableros aglomerados, mediante los parámetros de evaluación físicos – mecánicos.



2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.- Descripción de la especie.

2.1.1.- Género *Eucalyptus*.

La palabra "*Eucalyptus*" (perfectamente cubierto), proviene del griego, *eu* que significa bien y denota perfección (*eufonía, euritmia*), y *kalyptos*, que significa cubierto, cerrado u oculto, haciendo referencia a la cobertura que tienen los botones florales por una pestaña u opérculo que cae cuando el pimpollo brota en floración, Bignell y Dunlop (1998) citados por Salto (2008).

Eucalipto o eucaliptus es el nombre común para un género de árboles (y algunos arbustos) de la familia de las mirtáceas. Existen alrededor de 700 especies, la mayoría oriundas de Australia y se extiende desde latitudes templadas (42°S) en Tasmania hasta tropicales (11°S) en Queensland. Los Eucaliptos se encuentran tanto en sitios con alta precipitación como en áreas semiáridas, incluidos cursos de aguas en desiertos áridos donde la precipitación es mínima. Se los halla desde los márgenes de playas costeras hasta altitudes de aproximadamente 3000 m, Carla Salto (2008).

Los eucaliptos pueden ser cultivados en la mayor parte de las regiones tropicales y templadas del mundo, entre las latitudes 45° Sur y 40° Norte. La supervivencia de las especies de éste género, fuera del rango mencionado, depende de que los climas locales resulten aptos para el desarrollo de las mismas, Eldridge et al. (1994).

El género está subdividido en ocho subgéneros informales. El subgénero *Symphymirtus* es el grupo que contiene a la mayor parte de las especies cultivadas en el mundo, abarcando nueve secciones, de las cuales tres contienen prácticamente todas las especies más cultivadas como exóticas: Sección *Transversaria* (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*); Sección *Exsertaria* (*E. calmadulensis*, *E. exserta*, *E. tereticornis*); y Sección *Maidenaria* (*E. globulus*, *E. viminalis*, entre otros), Salto (2008); INTA - SAGyP (1995).

2.1.1.1.- *Eucalyptus tereticornis* Smith

El *Eucalyptus tereticornis* es una especie de bosque abierto que se distribuye naturalmente en una franja que se extiende desde el sur de Papua, Nueva Guinea, hasta Victoria, Australia, en un rango de más de 30° de latitud. El rango altitudinal es aproximadamente de 1000 m desde el nivel del mar, con una variación en la precipitación anual de 500 a 1500 mm. Está estrechamente relacionado con *Eucalyptus camaldulensis* con el que comparte similares características de madera y crecimiento, Salto (2008); Eldridge et al. (1994).

Esta especie contiene ejemplares que pueden alcanzar 45 m de altura y 2 m de diámetro, tiene alto requerimiento de humedad, temperaturas estivales elevadas y baja tolerancia a las heladas. Las áreas más aptas para el desarrollo de ésta especie presentan un relieve ligeramente ondulado, suelos profundos, bien drenados, levemente texturados, ligeramente ácidos a moderadamente alcalinos, y moderada salinidad, Salto (2008); INTA - SAGyP (1995).



2.1.1.2.- Características y usos de la especie

La madera del *Eucalyptus tereticornis* es de coloración rojiza, con una textura uniforme y grano entre cruzado, presenta muy buenas propiedades físicas y mecánicas, y es difícil de trabajar. Por su elevada densidad y dureza, es apta para leña y carbón, para tableros de fibras de alta densidad y también para producto de madera sólida (parquet y muebles). Debido a su resistencia y durabilidad, es muy apta para la fabricación de productos de uso exterior, principalmente, para postes y carpintería rural. La madera es inmune a termitas y resistente a la putrefacción, INTA - SAGyP (1995); Sánchez Acosta (1995).

Alvarado et al. (2003) citado por Salto (2008), menciona que los árboles de *Eucalyptus tereticornis* también son usados en la restauración e inmovilización de dunas, para controlar la erosión por viento, y para cercos. También menciona que de ésta especie se extraen taninos y aceites, y que sus hojas son utilizadas para obtener aceites esenciales, y las flores, para la producción de polen y miel.

Por ser una madera durable también ha sido usada para piezas enterradas que soportan estructuras, madera para minas, bloques para pavimentos, columnas, etc. En área de la construcción sus usos principales son como soportes enterrados, paneles para pisos, vigas, etc. En carpintería naval, se la usa para mástiles, palos de popa y piezas para pequeños botes. Se usa también para marcos exteriores de puertas y ventanas. Su albura debe ser excluida en usos de carpintería y acabado, Sánchez Acosta (1995); Mantero (1995); Tinto (1979).

A continuación se muestra la Tabla N° 5 y N° 6 donde se exponen en detalle las características de la especie.

Tabla N° 5: Características organolépticas del *Eucalyptus Tereticornis*. Fuente: Sánchez Acosta (2005); Tinto (1979).

Características organolépticas	
Color Albura	Blanco Crema
Color Duramen	Rojizo Claro
Textura	Mediana
Grano	Entrelazado
Brillo	Mediano
Veteado	Suave
Peso	Pesado
Dureza	Dura



Tabla Nº 6: Propiedades Físicas y Mecánicas del *Eucalyptus Tereticornis*. Fuente: Sánchez Acosta (2005); Tinto (1979).

Propiedades Físicas y Mecánicas			
Físicas	Densidad (H=15%)	900-950 kg/dm ³	
	Contracción (%)	Radial	6,9
		Tangencial	13,4
		Volumétrica	23
	Relación T/R	1,94	
	Porosidad	35,7	
	Estab. Dimensional	Poco estable	
Penetrabilidad	Albura	Muy penetrable	
	Duramen	Impenetrable	
Durabilidad del Duramen	en tierra	medio durable	
	al aire libre	durable	
Durabilidad del Albura	insectos xilófagos	resistente	
	en tierra	poco durable	
	al aire libre	poco durable	
	insectos xilófagos	Lyctus	
Mecánicas	Flexión Estática (kg/cm ²)	Módulo de Rotura	1.576
		Módulo de Elasticidad	133.200
	Compresión Axial (kg/cm ²)	Módulo de Rotura	698
		Módulo de Elasticidad	163.800
	Dureza Transversal	836	
	Cota de Flexión	Resistente	
	Cota de Compresión	Muy Resistente	
Secado	Difícil		
Aserrado	Verde	Fácil	
	Seco	Dura	
Trabajabilidad	Cepillado	Bueno	
	Torneado	Bueno	
	Machihembrado	Dura	
	Clavado	Regular	
	Pintado	Regular	
	Teñido	Regular	
	Barnizado	Regular	
Encolado	Regular		
Combustibilidad	5.280 kcal/kg		
Colapsado	Mediana		

2.1.2.- *Eucalyptus tereticornis* Smith plantados en Santiago del Estero.

Actualmente se encuentra instalado un ensayo de mejoramiento genético de *Eucalyptus tereticornis* Smith, establecido desde 1996 en la Estación Experimental Fernández de la ciudad de Fernández, departamento Robles, Santiago del Estero, Argentina. Está ubicada a 63° 55' longitud Oeste y 27° 55' latitud Sur, y altitud de 160 metros sobre el nivel del mar, Salto (2008).



La región tiene un régimen monzónico con precipitaciones que van desde 500 a 550 milímetros anuales, entre los meses de noviembre y marzo. La temperatura media del mes más cálido es de 32,5 °C y la temperatura mínima media del mes más frío es 2,9 °C. Las heladas ocurren de junio a agosto y hay más de 300 días libres de ellas. Los vientos predominantes son del sector norte, principalmente en el mes de agosto, Salto (2008).

Pan (2013), utilizando como material de estudio las familias de *Eucalyptus tereticornis* plantadas en Santiago del Estero, seleccionadas a partir de un ranking de productividad, con apariencia sana, de buen porte y sin defecto de forma, determinó alguna de las características físicas y mecánicas de las familias seleccionadas. En las siguientes tablas se presentan los valores de densidad anhidra, densidad básica, contracciones lineales y volumétricas, coeficiente de retractabilidad y flexión estática de diferentes familias de *Eucalyptus tereticornis*:

Tabla N° 7: Densidad anhidra promedio de 6 familias de *Eucalyptus tereticornis*. Fuente: Pan (2013).

Familias	Densidad anhidra promedios (g/cm ³)
15	0,76
23	0,74
30	0,86
41	0,87
65	0,93
86	0,73

Tabla N° 9: Contracciones radial (β_r), tangencial (β_t), longitudinal (β_l) y volumétrica (β_{vol}) promedio de 6 familias de *Eucalyptus tereticornis*. Fuente: Pan (2013).

Familias	Contracciones (%)			
	β_r	β_t	β_l	β_{vol}
15	6,28	14,30	0,36	20,93
23	7,00	13,00	0,70	20,70
30	7,91	19,18	0,50	27,58
41	6,87	16,48	0,75	24,09
65	7,47	14,32	0,35	22,14
86	7,48	13,90	0,33	21,71



Tabla N° 10: Coeficiente de retractabilidad volumétrico promedio de 6 familias de *Eucalyptus tereticornis*. Fuente: Pan (2013 inédito).

Familias	Qvol
15	0,23
23	0,40
30	0,92
41	0,85
65	0,97
86	0,34

Tabla N° 11: Flexión estática (MOR) promedio de 2 familias de *Eucalyptus tereticornis*. Fuente: Pan (2013 inédito).

Módulo de Ruptura de 2 familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i>	
Familias	σ_{flex} (N/mm ²)
86	68,86
23	99,84

Pan (2013) expone que al comparar los valores de densidad anhidra (tabla N° 7) y MOR (tabla N° 11), con los reportados por Tinto (1979) y Coronel (2005) para *Eucalyptus tereticornis*, los valores de las 6 familias resultan bajos, lo cual podría indicar la presencia de madera juvenil en el leño de estos árboles jóvenes muestreados.

2.2.- Tableros.

2.2.1.- Partículas de madera.

Las partículas de madera de origen industrial son fracciones de madera, de tamaño uniforme, obtenidas por cortes semejantes entre sí, mediante máquinas diseñadas para tal fin. Estas fracciones de madera son producidas para usos específicos, tales como para la obtención de pulpa, tableros de fibra, tableros de madera aglomerada, etc., Medina (2012 - A); Tuset y Duran (1986).



2.2.2.- Tableros de partículas.

Según Maloney (1977), los tableros de partículas, son paneles manufacturados de materiales lignocelulósicos (usualmente madera), en forma de piezas discretas o partículas, combinadas con resinas sintéticas - u otros adhesivos - sometidos a presión y calor en una prensa caliente, es un proceso en el cual los enlaces entre partículas son creados por el adhesivo ó aglutinante añadido.

Para Kelly (1977), citado por Sotomayor Castellano et al. (2011), Un tablero aglomerado de partículas de madera, se puede modelar como un material compuesto, formado por un constituyente principal, en este caso partículas de madera, embebidas en una matriz de adhesivo. La interacción y endurecimiento de las partículas de madera y el adhesivo se logran con ayuda de presión y temperatura.

La Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM), (1994), expone una definición genérica del producto de tableros de madera al mencionar que éstos son piezas en las que predominan su longitud y anchura sobre el espesor, y en las que la madera es el elemento constitutivo principal.

Anon (1996), citado por Nemli (2007), define a los tableros de partículas como paneles a base de madera, producto de la manufactura bajo presión y temperatura de partículas de madera u otros elementos lignocelulósicos y aglutinantes.

Para Arcos Sánchez y Allen Merello (2005), se denomina tablero al producto fabricado a partir de la degradación de madera y posterior agregación en piezas estandarizadas, adicionando en forma optativa elementos químicos que mejoran sus propiedades.

De acuerdo a la Norma IRAM 9502 citada por Coronel (2006), y a la FAO (1968), el tablero de partículas aglomeradas es el elemento fabricado por partículas de madera u otros materiales lignocelulósicos, aglomerados con aglutinantes orgánicos y con el concurso de uno o más de los agentes siguientes: calor presión, humedad, catalizadores.

Según FAO (1968), tablero de partículas es sinónimo de tableros aglomerados.

2.2.3.- Usos y aplicaciones de los tableros de partículas.

En virtud de las características del proceso con el que son elaborados los paneles aglomerados (presiones, adhesivos, temperaturas, calidad de virutas, etc.), las propiedades finales obtenidas por éstos paneles (densidad, resistencia, acabado, etc.), le permiten un amplio espectro de usos tales como en mobiliarios, decoración y estructural, Medina (2012 - A); Coronel (2006); Vignote Peña y Martínez Rojas (2006); AITIM (1994); FAO (1968). A continuación se menciona algunas de las aplicaciones de los tableros de partículas:



En carpintería, mobiliario y decoración:

- Fabricación de puertas
- Fabricación de muebles
- Muebles divisorios y mamparas
- Suelos
- Rodapiés, zócalos, etc.
- Divisiones interiores, tabiques
- Doblado de paredes
- Falsos techos

En estructuras:

- Base de cubiertas
- Prefabricados
- Base de suelos
- Encofrados
- Elaboración de vigas cajón o casetones
- Paneles sándwich

2.2.4.- Fabricación de tableros de partículas.

Actualmente son diversos los procedimientos para la manufactura o elaboración de tableros aglomerados, pero de manera general, su fabricación puede indicarse de la siguiente manera: se aplica una fina capa de cola, en forma de emulsión sintética, a las virutas de madera. Se forma una manta, colchón o pastel de partículas encoladas y se somete a un pre-prensado, prensado y calentamiento, para que la resina fragüe y produzca la adhesión entre los distintos elementos constituyentes del tablero. De ésta manera, se transmiten las características tecnológicas de la madera al nuevo elemento, llamado tablero de partículas de madera aglomerada”, Coronel (2006); FAO (1991).

A continuación, en la Figura N° 3, se presenta un flujo de proceso simplificado para la fabricación de tableros de partículas, obtenido de la publicación “Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales”, FAO (1991).

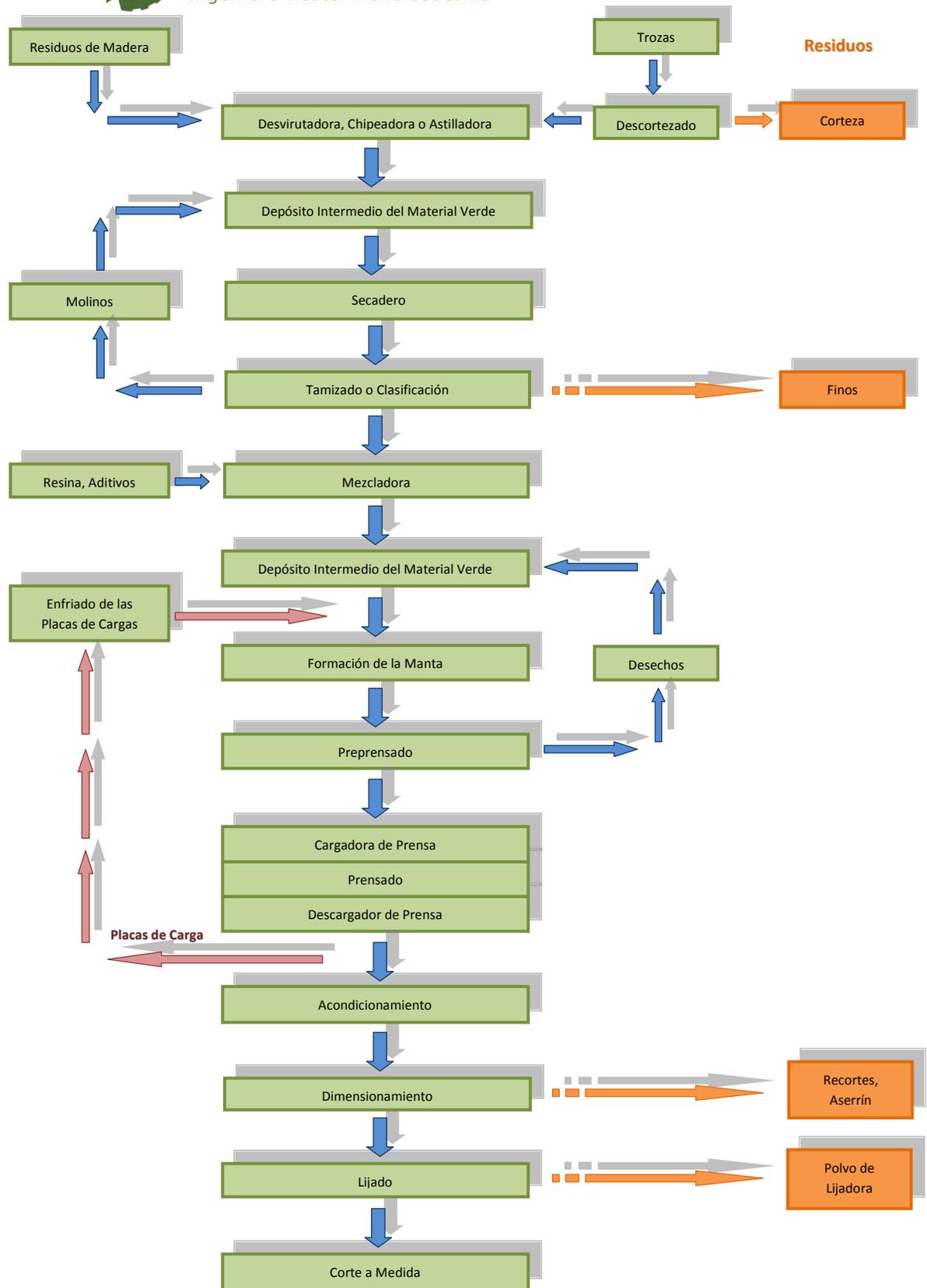


Figura N° 3: Flujo de proceso para la fabricación de paneles aglomerados. Fuente: FAO (1991).



En la mayoría de los casos, la producción de tableros aglomerados lleva consigo un cierto número de operaciones como las que se presentaron en la figura anterior, a continuación se dará una explicación general de la elaboración de los paneles.

2.2.4.1- Almacenamiento de la madera.

Para la fabricación de los paneles aglomerados se puede utilizar una amplia variedad de maderas de diversas dimensiones, tales como fustes rectos o torcidos, recortes y virutas de aserraderos, residuos de otras industrias de la madera, etc., de manera tal que es impracticable mencionar una norma de almacenamiento general. La operación de almacenamiento responderá a las características de la materia prima a procesar, Medina (2012 - A); Coronel (2006); Ginzel y Peraza (1966).

2.2.4.2.- Descortezado.

Según Ginzel y Peraza (1966), debido a las características propias de la corteza, tales como un alto porcentaje de incrustaciones y colorantes, bajas propiedades mecánicas, etc., la corteza debe eliminarse para elevar la calidad de los aglomerados obtenidos a partir de la madera.

Coronel (2006), explica que la operación de descortezado puede realizarse a mano y a máquina. El descortezado más antiguo es el realizado con herramientas manuales, que es efectuado directamente en el monte, resolviendo así el problema de deshacerse de la corteza en fábrica. Para llevar a cabo el descortezado manual se puede utilizar varias herramientas, como cuchillas, machetes, palas rectas o ligeramente curvadas con filo preparado para ésta operación. También se utilizan cuchillos curvos que tienen cabos en sus dos extremos y ganchos de acero con su extremo afilado.

El descortezado mecanizado se puede llevar a cabo, entre otras maneras, por fricción en tambores rotativos, en los que los rollos van golpeándose y rozándose unos con otros, consiguiéndose por medio de la fricción y golpes, el desprendimiento de la corteza. Otro tipo de descortezado es por medio de la descortezadora mecánica portátil de anillo giratorio, que es muy conocida; en esta máquina, el elemento descortezador consiste en un anillo donde se instala un número variable de cuchillas curvas, cuando giran las cuchillas golpean y cortan la corteza, mientras el rollo va pasando a través del anillo, Coronel (2006); Ginzel y Peraza (1966).

2.2.4.3.- Preparación de las partículas.

Dependiendo de la variedad de materiales que puedan llegar a la playa de la fábrica, antes del proceso de reducción habrá que llevar a cabo su separación y clasificación en lo que respecta al tamaño, especie, tiempo en playa, etc., Medina (2012 - B).



Existe una gama de máquinas que permiten producir el tamaño y forma de las partículas necesarias para la formación del tablero; esta maquinaria debe ajustarse a la variedad y tamaño de la madera y residuos de madera que se empleen. El requerimiento principal referido a la forma de las partículas, es que las mismas sean planas, y cortadas en lo posible, en la dirección paralela a las fibras de la madera. Entre los equipos adecuados para cumplir estas exigencias están las astilladoras de cuchillas sobre discos rotativos horizontales, astilladoras de cuchillas sobre disco vertical y el molino triturador, entre otras, Coronel (2006); Chan (2004); Ginzel y Peraza (1966).

2.2.4.4.- Silos de partículas.

En el proceso de fabricación de los tableros aglomerados distinguen dos clases de silos de partículas, una clase tiene por objetivo el almacenamiento y regulación, de las partículas, entre la astilladora y el secadero, almacenando las partículas húmedas, razón por la cual reciben el nombre de silos húmedos. El otro tipo de silo se ubica entre las áreas donde se realiza el secado y el encolado de las virutas, por lo que reciben el nombre de silos secos. Con la presencia de los silos en el proceso de manufactura de los paneles se consigue una homogeneización y dosificación adecuada entre las máquinas anteriormente mencionadas, obteniéndose un flujo continuo del material, Medina (2012 - A); Coronel (2006); Ginzel y Peraza (1966).

El silo de partículas húmedas recibe el material mediante un sistema de transporte mecánico o neumático, los que mediante un juego de cintas internas regulan la cantidad de partículas que salen del silo. A su vez, en el silo seco el conjunto de las partículas que pasan por las cintas se dosifican por volumen y peso, y se descargan sobre la encoladora, Coronel (2006).

2.2.4.5.- Secado.

La mayor parte del material que se entrega a la fábrica se tiene que secar de tal manera que el grado general de humedad de las partículas sea del orden del 3 al 8 % para que la cola aglutinante solidifique adecuadamente, Medina (2012 - A); Coronel (2006).

El secado de las partículas consiste en un proceso continuo en que éstas se desplazan a lo largo de los secadores horizontales rotativos mientras son suspendidas y expuestas a los gases calientes o al calor que emiten haces de tubos que llevan agua caliente, vapor o aceite térmico. El calor se produce por la combustión de líquidos inflamables, gases o residuos sólidos. El secado por radiación térmica se está considerando ahora como alternativa aceptable a los secadores rotativos y requiere temperaturas de secado un tanto inferiores. Otro tipo de secado es mediante cinta transportadora, en la cual las partículas húmedas entran primeramente a una cámara de secado, compuesta por una placa vibratoria y un sistema de cintas de tela metálica, los mismos poseen longitudes variables (de hasta 20 m), el secado se efectúa por medio de



una corriente de aire caliente, Medina (2012 - A); Coronel (2006); Chan (2004); Ginzel y Preraza (1966).

2.2.4.6.- Clasificado.

Chan (2004), explica que la operación de clasificación de las partículas preparadas es necesaria para eliminar aquellas excesivamente finas y polvo que trae el conjunto de partículas de las etapas anteriores, que producen un gasto adicional de cola y fundamentalmente porque disminuyen la resistencia del tablero en su elaboración final. Por otra parte, la operación de clasificación permite obtener una superficie lisa, característica que es de gran importancia en las capas externas de los paneles, Coronel (2006).

Son variados los medios por los cuales se puede realizar el clasificado; uno de ellos es la clasificación por oscilación, en la cual las partículas entran por el centro del clasificador sobre el plato de tela metálica, ya que lleva un fleje metálico en forma espiralada que va guiando el material, alargando al mismo tiempo el recorrido de las partículas sobre el tamiz. Las partículas finas pasan por la tela metálica, mientras que las gruesas salen por la boca lateral; el movimiento del clasificado se efectúa a través de un eje excéntrico, Medina (2012 - A), Ginzel y Peraza (1966).

Otro método de clasificación, es la clasificación por ventilación. Una corriente de aire, producida por un ventilador, lleva el material apto para la fabricación a una cinta transportadora hacia la salida del clasificador. Las partículas gruesas y otros materiales pesados caen en un depósito y se las extrae por medio de otra cinta transportadora o tornillo sin fin, Medina (2012 - A), Ginzel y Peraza (1966).

Otro método es la clasificación por proyección que es un medio por el cual también se puede llevar a cabo el proceso de clasificación de las virutas, y se efectúa con una cinta transportadora a alta velocidad, que proyectando las partículas a distintas distancias, en virtud de su propio peso, se consigue la separación de las virutas por tamaño, Medina (2012 - A), Ginzel y Peraza (1966).

2.2.4.7.- Encolado.

Generalmente para aglutinar la mezcla de partículas, en esta industria, se utilizan adhesivos sintéticos, y dependiendo si el uso de los paneles será para interiores o exteriores, se emplea urea formaldehído melanina para el primer caso, y fenol formaldehído, tanino formaldehído para el segundo. Se mezclan en condiciones controladas y por lotes o de forma continua entre el tres y el diez por ciento según peso de la resina, junto con otros aditivos empleados para conseguir propiedades como resistencia al fuego, etc., Medina (2012 - A); Coronel (2006).

La mayoría de las fábricas operan con encoladoras cuya forma de trabajo es la atomización de la cola; este sistema que se aplica con aire a presión, produce la dispersión de la cola sobre las partículas que están en movimiento, permitiendo que las gotitas se adhieran a la superficie de las partículas. La encoladora consta normalmente de



un tambor, en cuyo interior existe un eje que produce el mezclado uniforme de las partículas; la resina se introduce por varias boquillas que trabajan a presión de aire de hasta 4 atmósferas. El tambor se llena a un 20% – 30% de su volumen total, y se inyecta cola por espacio de 4 a 10 minutos; y así sucesivamente, Coronel (2006); Ginzl y Peraza (1966).

2.2.4.8.- Formación del colchón o manta de partículas.

En la operación de formación del colchón de virutas, los equipos formadores proyectan, mecánicamente o con aire, las partículas impregnadas con el adhesivo sobre unas cintas metálicas sinfín, que las transportarán hasta la prensa. La formación debe llevarse a cabo de manera tal que las partículas finas queden del exterior del colchón, y las gruesas en el interior, Medina (2012 - A); Vignote Peña y Martínez Rojas (2006); Chan (2004).

2.2.4.9.- Pre-prensado.

Las virutas mezcladas con la resina pasan a la etapa de pre-prensado, ésta operación tiene dos objetivos principales, primero, dar a la manta una mayor consistencia, y segundo reducir su volumen. La mayor consistencia es importante para evitar el desmoronamiento de la misma, con la consecuente pérdida de virutas y adhesivo, y para facilitar el transporte de las mantas; la reducción del volumen tiene su importancia en lo que se refiere a las prensas de varios pisos, ya que gracias a la disminución del espesor permite reducir el recorrido de los émbolos de la prensa caliente. Para esta etapa generalmente se ocupa una prensa de un solo piso, sin calefacción y con plato superior móvil e inferior fijo; la presión que se aplica es de 8 a 10 kg/cm², Coronel (2006); Ginzl y Peraza (1966).

2.2.4.10.- Prensado.

En la operación de prensado, es necesario tener en cuenta que existen diversas alternativas para elaborar los tableros de partículas, de acuerdo a los distintos factores o variables que intervienen en su obtención. Por ejemplo:

- En base a su peso específico, se tendrán los tableros livianos, medianos y pesados.
- Debido al proceso de prensado:
 - . Prensado plano: en este tipo de prensado se depositan las partículas preparadas sobre unas chapas metálicas, para que se orienten en sentido paralelo a la superficie de éstas, aplicando presión en forma perpendicular a la manta formada.
 - . Prensado por extrusión: aquí las partículas se orientan en sentido transversal a la superficie del tablero y la presión actúa en sentido paralelo a la superficie de éste.
- De acuerdo a la distribución de las partículas, se tienen:



. Tablero de una sola capa: son los que en todo su espesor se componen de partículas de la misma forma y característica.

. Tableros de capa múltiple: los que están formados por, tres o más capas.

El colchón formado y levemente comprimido mediante el pre-prensado, se transporta a la prensa caliente en la que colocado entre dos platos paralelos que se aproximan por el movimiento de los émbolos, se prensa hasta que se obtenga la densidad deseada del tablero; una regla metálica que se sitúa en el canto, determinan el espesor del tablero, Coronel (2006).

La presión depende del peso específico de la madera a usar, del peso específico del tablero a fabricar, del espesor del mismo, etc. Cuando menor es la cantidad de adhesivo se debe aumentar la presión Medina (2012 - B); Coronel (2006).

2.2.4.11.- Acabado

El proceso de acabado tiene como objetivo dejar los tableros en condiciones apropiadas para su futura aplicación, esto significa: humedad uniforme, dimensiones establecidas, espesor exacto y superficie lisa y pareja, Chan (2004); Ginzel y Peraza (1966).

En las operaciones de canteado y cortado se utilizan habitualmente sierras de dientes endurecidas con carburo de tungsteno. Actualmente se emplean máquinas que trabajan sin necesidad de detener el tablero para llevar a cabo los cortes en ambos sentidos. Para ello se utilizan equipos como la escuadradora, compuesta por dos sierras circulares, paralelas entre si y a la dirección de los rodillos de alimentación de los tableros. Según avanzan los paneles las sierras cortan los cantos o las testas, Coronel (2006); Vignote Peña y Martínez Rojas (2006).

El lijado es una operación que permitirá obtener un espesor uniforme y mejorar la calidad de la superficie del panel producido. El lijado se realiza mediante calibradoras dobles que actúan simultáneamente sobre las dos caras del tablero, Vignote Peña y Martínez Rojas (2006).

Los tableros recién elaborados se los llevan a los almacenes de acondicionamiento, dejándolos estacionados durante 5 a 8 días; lapso de tiempo en el cual se consigue el equilibrio higroscópico del tablero, Medina (2012 - B); Coronel (2006).

2.2.4.12.- Almacenamiento.

El almacenamiento debe realizarse atendiendo a uno de los aspectos más importantes, las características higrotérmicas de la atmósfera del almacén. Después de acondicionado, los paneles deben poseer una humedad media del 10%, razón por la cual, debe procurarse que la humedad del ambiente corresponda a la de equilibrio higroscópico de los tableros; esto se consigue con una temperatura de alrededor de 20°C y 55 ± 5 % de humedad relativa, Coronel (2006); Ginzel y Peraza (1966).



Los tableros deben depositarse de forma horizontal apoyándolos unos encima de otros sin necesidad de separadores; dejándose un espacio entre 25 y 30 cm entre las pilas de tableros y las paredes. Es conveniente tapar el último tablero de la pila para evitar que tome demasiada humedad o que se seque demasiado, para ello pueden utilizarse los tableros que se desecharon por alguna deficiencia, etc., Medina (2012 - A); Coronel (2006).

En la Figura N° 4 se puede apreciar, en dos imágenes (A y B), el proceso de elaboración de paneles de partículas a base de madera.

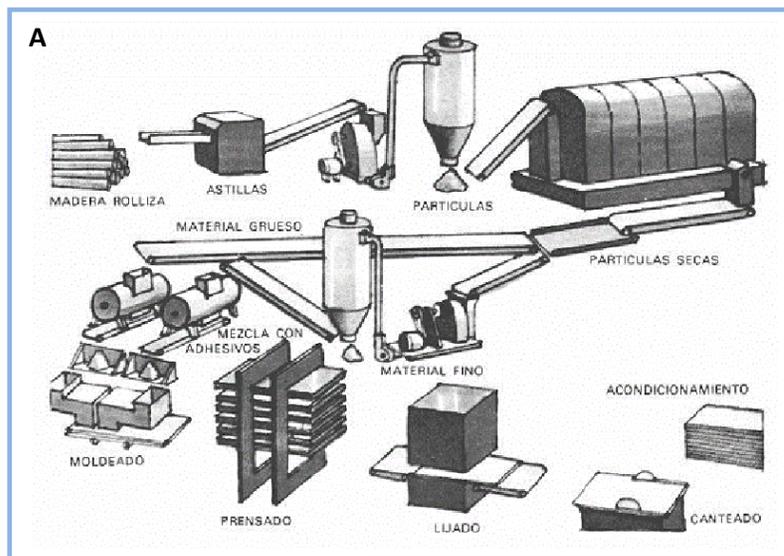


Figura N° 4 - A: Esquema de un proceso de elaboración de paneles a base de madera. Fuente: Chan (2004).

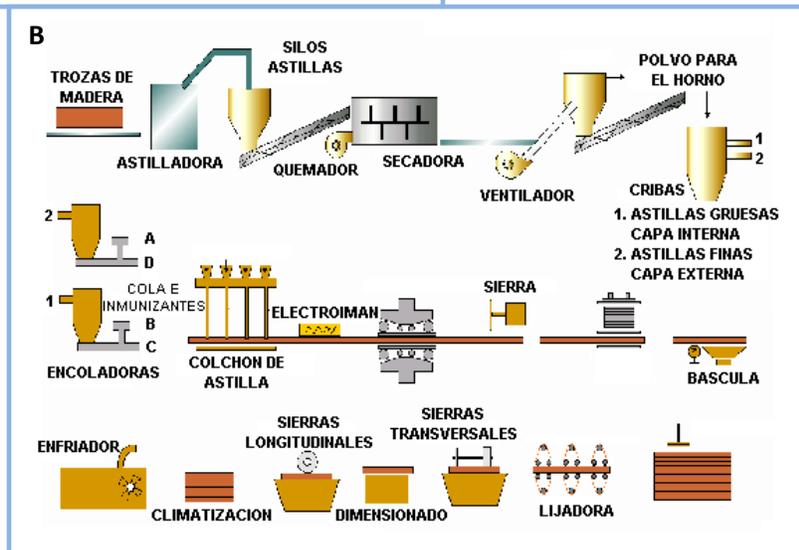


Figura N° 4 - B: Esquema de un proceso de elaboración de paneles a base de madera. Fuente: Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias (2012).



2.2.5.- Clasificación de los tableros

Ginzel y Peraza (1966), citando la Consulta Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, celebrada en Ginebra, en 1957, exponen la clasificación industrial de los paneles en tableros aislantes, tableros de madera aglomerada y en tableros duros.

Coronel (2006), Maloney (1977) y FAO (1968), clasifican a los paneles de acuerdo a su densidad y usos en: tableros de baja densidad, tableros de densidad media y tableros de alta densidad.

2.2.5.1.- Tablero de partícula de baja densidad.

Con densidad que varía de 0,25 a 0,40 g/cm³, y un espesor de hasta 20 mm, se le da el nombre de tableros de partículas de baja densidad a los paneles que se fabrican con el objetivo de que resulten ligeros, para utilizarlos en paredes cuando sea necesario amortiguar ruidos o aislar contra el calor y el frío, o bien para relleno de aquellas piezas o construcciones complejas donde se requiera disminuir el peso.

2.2.5.2.- Tablero de partículas de densidad media.

Son tableros cuya densidad varía de 0,40 a 0,80 g/cm³, y tienen un espesor hasta 12 a 16 mm. La mayoría de los tableros de partículas que se producen en la actualidad son tableros de densidad media. Estos tableros son utilizados principalmente en la fabricación de muebles y revestimiento para interiores.

A su vez, éste tipo de tableros puede diferenciarse en:

- Tableros de partículas convencionales, cuya densidad varía entre 0,40 y 0,80 g/cm³, distinguiéndose entre los de uso interior y los de uso exterior.
- Tableros estructurales, con densidades que se encuentran entre 0,60 y 0,80 g/cm³.

2.2.5.3.- Tableros de partículas de gran densidad.

Estos son los tableros con densidades que van desde 0,80 a 1,20 g/cm³, y su espesor hasta 4 a 8 mm. En este tipo de panel se emplean partículas pequeñas cuyo tamaño se aproxima al de harina de madera. Su aplicación es importante como revestimiento de pisos y otros usos en los que se requiera una alta resistencia al desgaste.

2.2.6.- Calidad de los tableros de partículas.

La palabra calidad tiene múltiples significados. De forma básica, se refiere al conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para



satisfacer necesidades implícitas o explícitas, y que además, permite que éste objeto sea comparado con cualquier otro de su misma especie. Por otro lado, la calidad de un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo, es una fijación mental del consumidor que asume conformidad con dicho producto o servicio y la capacidad del mismo para satisfacer sus necesidades, Pan (2013); Diccionario de la Real Academia Española (2001).

Se puede definir la calidad de la madera como una serie de atributos o características tecnológicas que acusa una madera en su aptitud para determinado proceso o empleo, Tinto (1986). De acuerdo a Bailléres y Durand (2000) la calidad es la serie de atributos que hacen que la madera sea apropiada para determinados usos.

Para establecer los atributos o características (calidad), de los paneles de partículas, que determinan la aptitud de éstos para diversas aplicaciones o usos, se los somete a los ensayos correspondientes, cuyos resultados son aceptados por las instituciones públicas y privadas, como así también por los consumidores, Medina (2012 - B); Coronel (2006); AITIM (1994).

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), presenta las siguientes normas:

- IRAM 9720 - "Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento del espesor después de la inmersión en agua".
- IRAM 9721 - "Tableros de partículas y fibras. Definiciones generales".
- IRAM 9723-1 - "Tableros de partículas. Parte 1: Requisitos generales para todos los tipos de tableros".
- IRAM 9723-2 - "Tableros de partículas. Parte 2: Requisitos de los tableros de tipo 1 para uso en ambiente seco".
- IRAM 9723-3 - "Tableros de partículas. Parte 3: Requisitos de los tableros de tipo 2 para uso en cubierta seca".
- IRAM 9723-4 - "Tableros de partículas. Parte 4: Requisitos de los tableros para uso en ambiente húmedo".
- IRAM 9724-1 - "Tableros de partículas. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Método de cocción".
- IRAM 9725 - "Tableros de partículas. Determinación de la resistencia al arranque de la superficie".
- IRAM 9727 - "Tableros de partículas y fibras. Determinación a la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero".

2.2.6.1.- Factores que afectan la calidad.

Desde un punto de vista técnico, casi todas las especies forestales arbóreas o arbustivas pueden constituir la materia prima para la elaboración de tableros



aglomerados, Medina (2012 - B); Maloney (1977); Kollman et al (1975); Vital et al (1974), FAO (1968); Ginzler y Peraza (1966). Entre los diversos factores que afectan las propiedades del tablero final podemos mencionar los siguientes:

- Especies utilizadas como materia prima.
- Densidad o peso específico aparente.
- Extractivos de la madera.
- Acidez de la madera.
- Inclusión de corteza.
- Geometría de las partículas.
- Adhesivos y encolado de las partículas.
- Densidad del tablero.
- Formación del colchón de partículas.
- Orientación de las partículas.
- Prensado del tablero.

2.2.6.1.1.- Especies utilizadas como materia prima

En muchos países es común el empleo de mezclas proporcionadas de especies, y aparentemente ésta es la tendencia en el futuro, Peredo (1988), Maloney (1977).

En nuestro país la producción de paneles aglomerados se realiza fundamentalmente con eucaliptos y salicáceas en forma aislada. No se practica el uso de mezclas de especies nativas, como en el caso de los tableros de fibra de media densidad, que se fabrican utilizando mezclas de espina corona, quebracho blanco, guayaibí, virapitá, etc, Carranza (2004).

Maloney (1977), explica que cuando se trabaja con varias especies, es conveniente tratar a cada una por separado, debido a la gran variación que hay sobre sus propiedades.

2.2.6.1.2.- Densidad o peso específico aparente.

Ésta propiedad es un factor de suma importancia para la producción de paneles aglomerados, ya que determina la cantidad de madera a utilizar en el proceso, y a su vez está ligada al costo económico que puede generar la utilización de esta materia prima. Además, existe un importante impacto en lo que se refiere a los costos de transporte ya que si se disminuye la densidad de los tableros también se disminuye su peso, Vargas Catalán (2005).

La densidad de los tableros es determinante para decidir que especies son las más aptas para la manufactura de paneles, dentro de los rangos de densidades comerciales, Maloney (1977).



De manera general, se prefieren maderas de densidad más baja que la densidad final del tablero, para poder aplicar coeficientes de compresión más altos en la operación de prensado, provocando un mejor contacto y adherencia entre las partículas, Medina (2012).

La densidad final del panel aglomerado debiera exceder las densidades de las especies utilizadas por un factor igual o mayor a 1,3; para asegurar de ésta manera que habrá suficiente área de contacto entre las partículas durante el prensado, Maloney (1977). En la medida que aumenta el peso específico de la madera se deberá aumentar el pesos específico del tablero para tener resistencias aceptables y comparables a paneles menos densos obtenidos de maderas más livianas, Carranza (2004).

De la densidad de la madera va a depender el volumen de partículas a ser consolidado y el consumo de adhesivo, Medina (2012 - A). Para una densidad de tablero dada, un aumento en la densidad de la materia prima, causa una disminución en las propiedades de resistencia y un incremento en la expansión lineal e hinchamiento, Vital et al (1974); Pelen (1998).

2.2.6.1.3.- Extractivos de la madera.

Los extractivos de la madera, particularmente aquellos que poseen la propiedad de ser hidrófobos (resinas, aceites, etc.) disminuyen la capacidad de la madera para absorber agua y unirse al adhesivo. Además, los extractivos determinan el valor de pH (acidez) y la capacidad de equilibrio de ionización (capacidad buffer) de la madera y a través de éstas propiedades influye sobre el proceso de encolado, Poblete y Zárate, (1986).

2.2.6.1.4.- Acidez de la madera.

Poblete y Zarate (1986), indican que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos, siguen su curso óptimo con un determinado rango de pH, el que es específico para cada adhesivo. La urea-formaldehído requiere de un pH entre 3 y 3.5.

Nemli (2007), utilizando urea formaldehído como aglutinante en la fabricación de paneles aglomerados obtuvo valores de pH que oscilan desde 5,5 hasta 6,0. El pH de la madera de *Eucalyptus globulus* Labill utilizada era 5.57. Determinó que este nivel de pH es apropiado para una buena unión entre la resina y las partículas, que da como resultado propiedades mecánicas mejoradas.

2.2.6.1.5.- Inclusión de corteza.

La inclusión de corteza disminuye la calidad del panel, debido que se transforma en pequeñas partículas, inclusive en polvo, aumentando considerablemente la superficie de absorción de adhesivo, Medina (2012 - B); Ginzel y Peraza (1966).



2.2.6.1.6.- Geometría de las partículas.

Ginzl y Perasa (1966), explican que dependiendo de la geometría de las partículas se pueden producir diferentes tipos de tableros, con propiedades adecuadas para distintos usos. Carranza (2004) menciona la norma D 1554 de la American Society for Testing and Materials (ASTM), en la cual se encuentran definidas distintos tipos de partículas en base a su geometría.

La geometría de las partículas juega un papel fundamental en la elección y operación de los equipos usados en las etapas de producción, Maloney (1977).

El largo, ancho y espesor de las partículas; y la relación entre longitud y espesor, que se conoce como coeficiente de esbeltez, influyen en las características de los tableros tales como: área de contacto entre las partículas de los tableros, propiedades mecánicas y consumo promedio de resina. Para coeficientes de esbeltez menores son necesarias mayores cantidades de adhesivo por unidades de área superficial de las partículas, Brumbaugh (1960) citado por Carranza (2004); Peredo (1988); Molesmi (1974).

Las partículas deben ser planas y cortadas en lo posible paralelamente a la fibra de la madera. También recomiendan que el coeficiente de esbeltez se mantenga dentro de un rango entre 60 y 120, Medina (2012 - A); Ginzl y Peraza (1966).

Geimer y Price (1979), citado por Carranza (2004), explican que las propiedades de flexión aumentan con el largo de la virutas y son inversamente proporcionales con el espesor de las mismas.

Conforme aumenta el coeficiente de esbeltez, se observa un aumento en la resistencia a la flexión y una disminución en la resistencia a la tracción. Con respecto al efecto de la geometría de las partículas sobre el hinchamiento, se concluye que mientras ellas sean más gruesas, mayores serán los valores de dicha propiedad, Maloney (1977).

2.2.6.1.7.- Adhesivos y encolado de las partículas.

Los adhesivos sintéticos más usados industrialmente son las resinas a base de urea formaldehído, fenol formaldehído, isocianatos y melaninas, solos o combinados. Además, se utilizan en menor cantidad, adhesivos a base de taninos, licor negro del proceso al sulfito o base de ligninas, Medina (2012); Carranza (2004).

El tipo de adhesivo, la cantidad de resina y su forma de aplicación, influyen en las propiedades del tablero resultante, y además determina sus aplicaciones para interior o exterior, de acuerdo a la menor o mayor resistencia a la humedad que el adhesivo le otorgue, Medina (2012 - B); Carranza (2004).

El aumento del contenido de la resina incrementa la adherencia interna y mejora las propiedades de flexión y tracción, así como la estabilidad de los tableros, sin embargo, el costo de producción del panel aumenta considerablemente, debido a que el adhesivo es la materia prima más cara para la elaboración de éstos tableros, Kollman et al (1975).



Es muy importante el contenido de humedad inicial de las partículas que debe reducirse a un valor entre el 8 al 10%, en el caso de la urea-formaldehído. La humedad es un factor que ejerce influencia sobre fraguado de la resina, el tiempo de prensado y presión necesarios para la consolidación del colchón hasta el espesor final del tablero, Medina (2012 - A); Coronel (2006); Poblete (1985).

2.2.5.1.8.- Peso específico del tablero.

Una de las propiedades y características de la madera que más afectan la calidad de los tableros es la densidad. Urzúa y Poblete (1980); y Medina (2012 - A), expresan como necesario que la densidad del tablero elaborado sea mayor que la densidad de la madera utilizada.

Un aumento en la densidad de los paneles conlleva a un aumento en sus propiedades mecánicas, mayor dureza, adherencia interna y retención de clavos, pero la absorción de agua y el hinchamiento en espesor son poco afectados, Maloney (1977).

El gradiente de densidad a través del espesor es una característica importante y depende de la temperatura de prensado, del contenido de humedad de la manta y del espesor final del tablero. Las fallas en la adherencia internan generalmente ocurren en la capa central, debido a que ésta es la zona de menos densidad. Cuanto mayor es la diferencia entre densidad de las capas externas y las internas más altos son los valores de resistencia a la flexión y más bajos los de tracción y corte, Medina (2012 - A); Moslemi (1974); Ginzel y Peraza (1966).

2.2.5.1.9.- Formación del colchón de partículas.

Una incorrecta o deficiente formación de la manta, o colchón de virutas, implicará un espesor irregular, diferencias de densidad y propiedades no uniformes sobre toda la extensión de los de los paneles producidos, Medina (2012 - B); Chan (2004).

La altura del colchón es directamente proporcional a la densidad y espesor del tablero, e inversamente proporcional a la densidad de la madera empleada, Carranza (2004); Chan (2004).

2.2.5.1.10.- Orientación de las partículas.

Maloney (1977), explica que las partículas pueden orientarse para proporcionar productos con mayores valores de módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE), en la dirección de la orientación o alineamiento.

El MOR nos indica la resistencia máxima que tiene los tableros, mientras que el MOE, es un parámetro que nos indica la rigidez del material al ser sometido a un determinado esfuerzo (resistencia a la deformación bajo tensión), sus valores se



determinan mediante ensayos de flexión estática y son muy importantes para la aplicabilidad de los tableros, Carranza (2004); Ginzel y Peraza (1966).

2.2.5.1.11.- Prensado del tablero.

Ginzel y Peraza (1966), explican que en la operación de prensado se producen simultáneamente tres procesos, de naturaleza mecánica, térmica y química.

- El proceso mecánico, comprende la deformación de las partículas por flexión y compresión, la disminución del volumen de los poros y el aumento de los puntos de contacto entre las partículas.

- El proceso térmico, que se lleva a cabo por difusión de calor desde la superficie de las platinas al centro del tablero, induce la plastificación de las virutas y acelera el proceso químico de policondensación de la resina, siendo el vapor de agua proveniente de la humedad de las virutas, el vehículo conductor del calor.

- El proceso químico, es decir el fraguado de la resina sintética por policondensación.

Según la resina empleada, la temperatura necesaria para el fraguado del adhesivo es diferente. Ginzel y Peraza (1966), sugieren para las resinas ureicas una temperatura de fraguado alrededor de los 110 °C.

Carranza (2004), expone que el contenido de humedad, en las virutas de madera, actúa directamente sobre la resistencia de la madera a la compresión, y que junto a la temperatura, torna al material más plástico y éste ofrecerá menos resistencia a la compactación. El excesivo contenido de humedad interferirá en las reacciones químicas de polimerización de la resina, principalmente en las capas internas, por lo que requerirá tiempos de prensado más largos, que aseguren que una cantidad suficiente de humedad sea evaporada, y que de ésta manera se pueda obtener una mayor ligazón interna, Medina (2012 - B); Ginzel y Peraza (1966).

La velocidad de cierre de la prensa, o sea, el tiempo que transcurre a partir del contacto de los platos de prensa y de la superficie de la manta hasta alcanzar el espesor final del tablero, es un parámetro directamente relacionado a la presión máxima a aplicar y con la relación de compresión deseada, y en relación inversa a la humedad inicial de la manta. Además, el tiempo de cierre debe ser el menor posible de manera que la compresión termine antes que se inicie la policondensación en el interior del tablero, Maloney (1977); Ginzel y Peraza (1966).

El tiempo de prensado debe ser el suficiente como para asegurar no solo que el centro del tablero alcance la temperatura necesaria para el curado de la resina, sino que además debe ser tal que permita la migración de la humedad al exterior por los bordes del tablero. La velocidad de desplazamiento del vapor aumenta con la presión y temperatura de la prensa y el tiempo disminuye con el espesor del tablero, Medina (2012 - B); Carranza (2004); Moslemi (1974).



3.- MATERIALES Y MÉTODOS



3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Material.

3.1.1.- Virutas

Para la elaboración de los tableros se utilizó virutas de madera de *Eucalyptus tereticornis* proveniente de 4 familias de polinización abierta (15, 30, 41 y 65). Los individuos fueron seleccionados por sus características de crecimiento y rectitud de fuste en base a su mérito genético, dentro de un ensayo de progenies, instalado en la Estación Experimental Fernández, ciudad de Fernández, Departamento Robles, Santiago del Estero, Argentina. Estos materiales provienen de un área productora de semilla en Anhembí, Sao Paulo, adquirido en el Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Brasil.



Figura N° 5: Imágenes de la plantación de *Eucalyptus tereticornis*. Fuente: MSc. Ing. Estela Pan

3.1.2.- Adhesivo

El adhesivo empleado para la elaboración de paneles aglomerados fue resina de urea-formaldehído diluida en agua. La cantidad aplicada fue del 10 % en relación a peso seco de madera. Las especificaciones de la cola utilizada en la fabricación de los paneles de partículas se detallan a continuación:

- . Tipo: urea-formaldehído
- . Color: blanco
- . Sólidos: contenido mínimo de 65% (3hs a 135°C)
- . Viscosidad (25°C): 950 cps
- . Densidad (25°C): 1.26 g/cm³



3.2.- Métodos.

Considerando la metodología recomendada por Moslemi (1974) y Maloney (1977), se fabricaron un total 16 tableros, 4 tableros por cada una de las familias que fueron consideradas como tratamientos (15, 30, 41 y 65). Los tableros se realizaron con un espesor de 16 mm, con aristas de 54 cm y 55,5 cm, y se consideró una densidad teórica de 700 kg/m³.

3.2.1.- Producción y preparación de las virutas.

La obtención de las virutas de maderas y el tamaño de las mismas, se realizó de acuerdo a la metodología y procedimientos de trabajo expuesto por Medina (2012 - B); Medina (1999); Medina y Ambrogi (1995); Medina y Martínez (1992).

3.2.1.1.- Aserrado.

Para la elaboración de las virutas se llevó a cabo la selección de 4 individuos a aprear de *Eucalyptus tereticornis*, en la estación experimental Fernández, cuyas trozas obtenidas fueron transportadas al aserradero del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM). Estas trozas provienen de la parte del fuste comprendida entre 1,30 m y 2,30 m de altura, de acuerdo a lo reportado por Pan et al (2009).

Los rollos de madera de un metro de longitud de las diferentes familias de eucaliptos fueron recibidos en el Instituto de tecnología de la madera e inmediatamente depositadas en el tanque australiano que dispone la Facultad de Ciencias Forestales en el predio del Zanjón, a fin de evitar el agrietamiento de sus cabezales por secado, hecho que afectaría las operaciones posteriores a realizar.



Figura N° 6: Imágenes de los rollos de *Eucalyptus tereticornis* recibidos en el aserradero del ITM. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

Los rollos fueron aserrados con el fin de subdividirlo en dos porciones, una de las cuales se la utiliza para la determinación de propiedades físicas y mecánicas, y la porción restante, para la elaboración de aglomerados.

La parte correspondiente a los ensayos de aglomerados de 0,5 m de longitud fueron a su vez reprocesadas mediante reaserrado, con el fin de obtener piezas de madera de aproximadamente 12 cm de ancho, 10 cm de alto y 18 cm de largo en la



dirección de las fibras, dimensiones adecuadas para ingresar las piezas por la boca de alimentación de la chipera.

El aserrado y reaserrado de las trozas se realizó en una sierra cinta de mesa, de marca JEVO, con motor de 4hp, de 1410 rpm y volante de 70 cm.



Figura N° 7: Reaserrado de la madera de Eucalipto para obtener muestras compatibles con la boca de alimentación de la chipadora. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

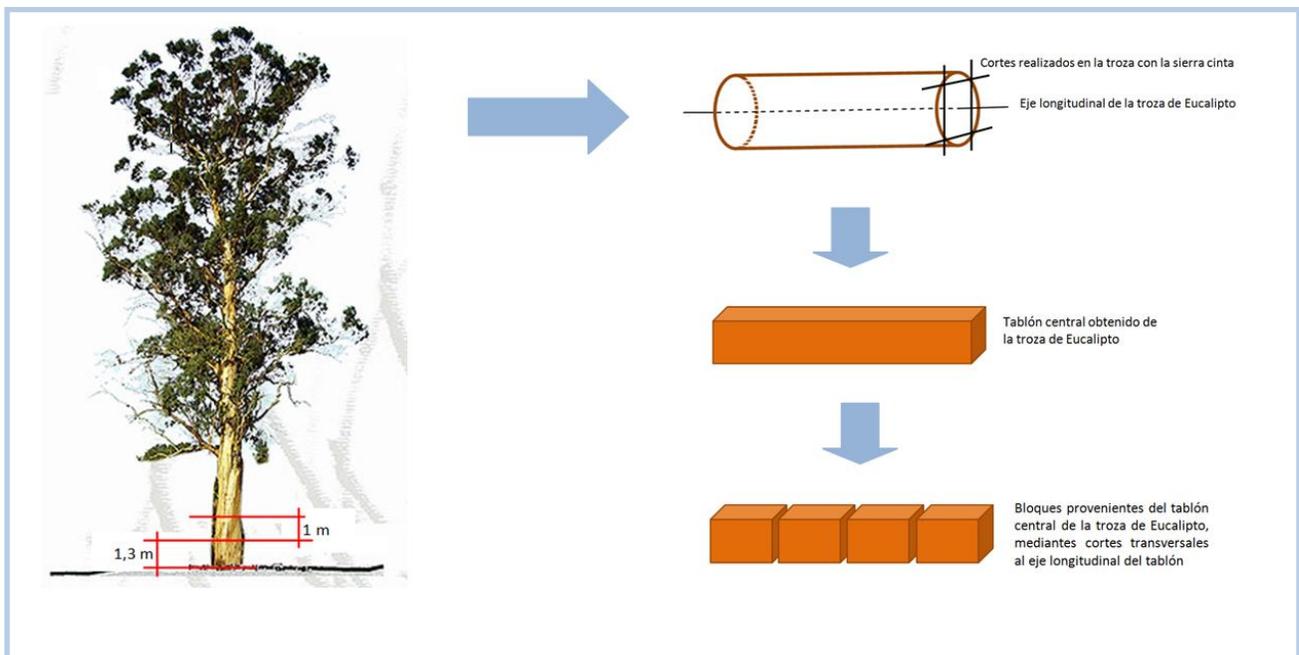


Figura N° 8: Esquema que representa la obtención de los tacos de madera, de *Eucalyptus tereticornis*, para la producción de virutas en la chipadora. Fuente: Pan et al (2009). Dibujo: elaboración propia.

3.2.1.2.- Reducción primaria o chipecado.

Los tacos obtenidos del reaserrado fueron chipecados en una astilladora marca BENZER, modelo Kleinspaner K20, de disco vertical que gira a 1000 rpm y que contiene 8 cuchillas montadas radialmente. Las cuchillas fueron dispuestas de manera tal que permiten obtener espesores de corte de 0,50 mm Chan (2004); Ginzel y Peraza (1966).



Figura N° 9: Imágenes del equipo chipeador BENZER, de la calibración del mismo y de los chips obtenidos. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

3.2.1.3.- Reducción secundaria o molinado.

Las astillas obtenidas de la astilladora fueron procesadas posteriormente en un molino CONDUX de golpe cruz, modelo CSK 350/N1, con la finalidad de definir el largo y el ancho de la viruta. Con esta operación se completó el dimensionado de las partículas con las que se produjeron los tableros aglomerados.



Figura N° 10: Imágenes del molino CONDUX en operación, de las cuchillas del mismo y de las virutas obtenidas. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

3.2.1.4.- Secado.

Para realizar el encolado de las partículas es necesario bajar el tenor de humedad de éstas, a un valor óptimo para el fraguado de la resina ureica líquida. Para ello las virutas fueron secadas en una estufa marca HEREAUS, modelo TU H 100/150, con circulación de aire forzado, a una temperatura de 60°C durante 48 hs, con el fin de alcanzar una humedad final del 10% en las partículas, humedad requerida para el uso de la cola ureica, Medina (2012 - A); Maloney (1977); Ginzel y Peraza (1966).

Se realizaron controles y mediciones sobre muestras extraídas al azar, por el método de secado en estufa a 103°C ± 2°C hasta peso constante, descrito en las Normas IRAM 9532, con el fin constatar el tenor de humedad alcanzado.



Luego, las partículas secadas se embolsaron herméticamente hasta el momento de comenzar la fabricación de los paneles aglomerados.



Figura N° 11: Imágenes del Secadero de virutas HEREAUS, de las virutas secadas y de las virutas embolsadas. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

3.2.1.5.- Eliminación de polvo y partículas gruesas.

Posteriormente al secado, se realizó la eliminación del polvo y partículas gruesas de madera en una zaranda oscilatoria de marca ALLGAIER, modelo AST 600, utilizando 2 tamices con las siguientes luces de malla: 8 x 24 mm y 2 mm. El objetivo de ésta operación es asegurar que el adhesivo utilizado sea aprovechado por las partículas de madera del tamaño elegido para la elaboración de los paneles, y no por el polvo de madera que se origina durante las operaciones de chipeado y molinado.

Luego de retirar el polvo y las virutas excesivamente grandes, se extrajeron muestras de 200 g para determinar el coeficiente de esbeltez. Establecer este coeficiente es importante ya que el tamaño de las partículas afecta la mayoría de las propiedades físico-mecánicas de los tableros, Peredo (1988); Poblete (1985); Ginzel y Peraza (1966).



Figura N° 12: Imágenes de la zaranda. Fuente: elaboración propia.



3.2.2.- Elaboración de los tableros aglomerados

3.2.2.1.- Encolado de las virutas.

Las virutas fueron encoladas en una encoladora de tambor rotativo con una capacidad de aproximadamente $0,4 \text{ m}^3$, fabricada en el Instituto de Tecnología de la Madera (ITM). La cantidad de cola en relación al peso seco de la madera, fue del 10%. Para determinar la composición definitiva de la cola se utilizó una planilla de cálculo que dispone el ITM para realizar sus ensayos. La composición de la cola aplicada fue:

- Adhesivo 320 g.
- Endurecedor Cloruro de Amonio 16 g.
- Agua 160 cm^3 .

El proceso de encolado total llevó unos 6 minutos (para una carga de 3,2 kilogramos de virutas). La aplicación del adhesivo dura 1 minuto y se lleva a cabo utilizando un atomizador, con un movimiento oscilatorio horizontal, que se encuentra en el interior del tambor. Luego de aplicado el adhesivo, se deja girar el tambor por unos cinco minutos más para asegurar por mezclado la mejor distribución de la cola.



Figura N° 13: Imágenes de la encoladora de virutas. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2.- Moldeo del colchón o manta.

Una vez pesada la cantidad de madera encolada necesaria para la formación de un panel, se procedió a la elaboración de éste utilizando un molde de madera con las dimensiones del tablero (54 cm por 55,5 cm). El molde, que reposa sobre una chapa de aluminio, fue rellenado manualmente esparciendo las partículas encoladas en forma de lluvia, realizándose controles periódicos de la uniformidad del colchón en diferentes



puntos a fin de asegurar una correcta distribución espacial de las partículas y con ello evitar una alta variación de densidad en el panel.



Figura N° 14: Imágenes de la formación del colchón de virutas. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3.- Prepresado.

Para realizar el pre-prensado, se utiliza la ayuda de un contrapeso. Este contrapeso es de forma prismática rectangular, similar a la de la cavidad del molde modular, en el cual se colocan debidamente las partículas de madera encoladas. Una vez completada la formación del colchón se introduce el contrapeso, a modo de un pistón en la abertura del molde modular, y a este conjunto se aplica presión.

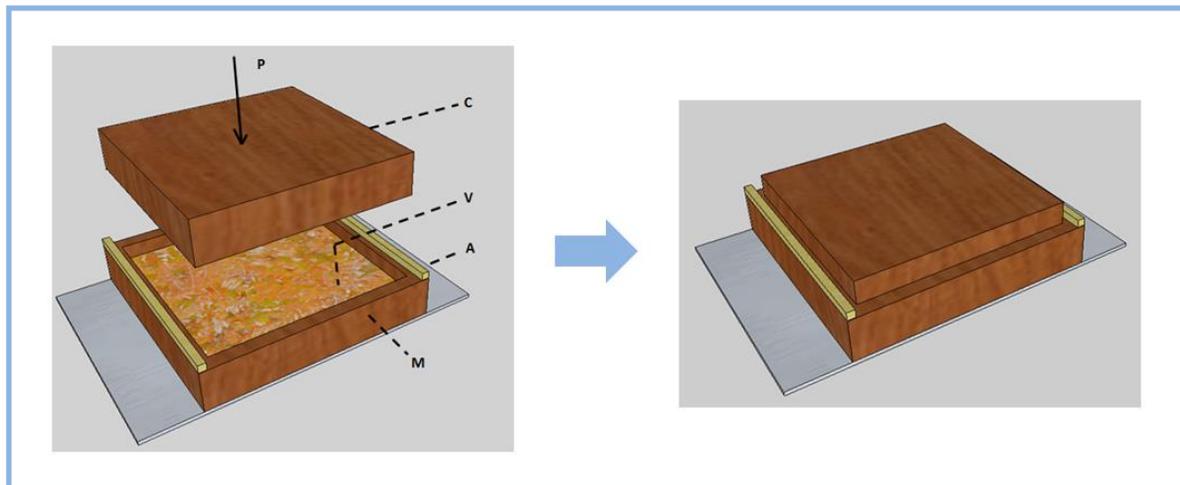


Figura N° 15: Imagen del contrapeso (C), del molde modular (M), de la manta de virutas (V), de la plancha de aluminio (A); y de la dirección y sentido de la fuerza (P) aplicada manualmente. Fuente: Elaboración propia.

El pre-prensado fue conducido a temperatura ambiente, con una presión de 10 kg/cm² durante un tiempo de aproximadamente 10 segundos. Esta operación se realiza



con la finalidad de compactar el colchón para así evitar su desmoronamiento al retirar el molde y durante su posterior conducción a la prensa y para emular el proceso industrial.



Figura N° 16: Imágenes del pre-prensado y del colchón de virutas compactado. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.4.- Prensado.

Posteriormente el colchón de virutas fue prensado en una prensa hidráulica de platos calientes marca BÜRKLE, modelo L 160, a una temperatura de 110°C y a una presión específica de 244,56 kg/cm² (240 bares) durante un tiempo de 10 min. Desde la presión máxima se realizaron 4 escalones de disminución de la misma, para permitir el escape de vapor del tablero de manera gradual, y evitar así poner en riesgo la integridad del panel debido a una salida brusca del vapor.

La temperatura está recomendada por el fabricante del adhesivo y el tiempo de prensado fue establecido en ensayos preliminares en el ITM. En la Fig. N° 17 se presenta el diagrama de prensado.

Además de la chapa de aluminio, sobre la cual se formó el colchón de virutas, y que al momento del prensado se encuentra en íntimo contacto con la platina inferior de la prensa, se ubicó otra chapa de aluminio en contacto con la platina superior. Estas chapas escuadradas encajan perfectamente en las platinas y tienen como objetivo evitar que las partículas de los paneles se peguen a los platos de la prensa, pero permitiendo el paso de calor de ésta hacia el colchón de virutas. Las presiones usadas y sus respectivos tiempos de aplicación durante el prensado se pueden ver en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Presiones y Tiempos del ciclo de prensado. Fuente: elaboración propia.

Ciclo de Prensado	
Tiempo (Minutos)	Presión (kg/cm ²)
10	244,56
2	163,04
2	101,9
2	50,95

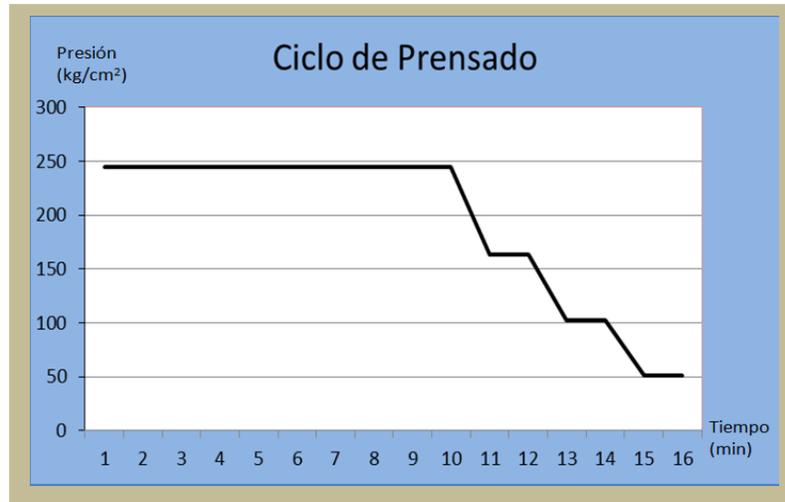


Figura N° 17: Gráfico de líneas del ciclo de prensado. Fuente: elaboración propia.



Figura N° 18: Imágenes de la operación de prensado y del tablero obtenido. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.5.- Estabilización.

Los tableros elaborados fueron estabilizados, para ello, primero debieron ser escuadrados y luego colocados en un depósito acondicionado para tal fin, hasta alcanzar de ésta manera su humedad de equilibrio.

Una vez estabilizados, los paneles fueron cortados para la obtención de las probetas con las que se realizaron los ensayos físico-mecánicos.

3.2.3.- Determinación de las propiedades físico mecánicas.

Para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes tableros se siguieron las Normas DIN (1982). Las propiedades medidas, número de norma, número de probetas, y dimensiones de las mismas, se pueden apreciar en la Tabla N° 11.



Tabla N° 13: Relación entre propiedades, Normas, número de probetas, y dimensiones de las mismas. Fuente: Normas DIN (1982)

Normas DIN para Propiedades Físico Mecánicas			
Propiedad	Norma	Nº de Probetas	Dimensión mm
Humedad	DIN 50014	8	50 x 50
Peso Específico	DIN 52361	8	50 x 50
Hinchazón 2 y 24 hs en agua fría	DIN 52364	20	25 x 25
Flexión Estática (MOR y MOE) Pa	DIN 52362	4	50 x 370

De acuerdo a lo expuesto por la norma de ensayo a la flexión, DIN 52362, el largo de la probeta se calculó multiplicando el valor del espesor de la probeta por 20, y a este valor se le sumó 50 mm. Las demás dimensiones son fijas y vienen establecidas en la norma.

3.2.3.1.- Obtención de las probetas.

Las probetas se obtuvieron en la carpintería del ITM, cortando los tableros de acuerdo al esquema de corte indicado en la Figura N° 19.

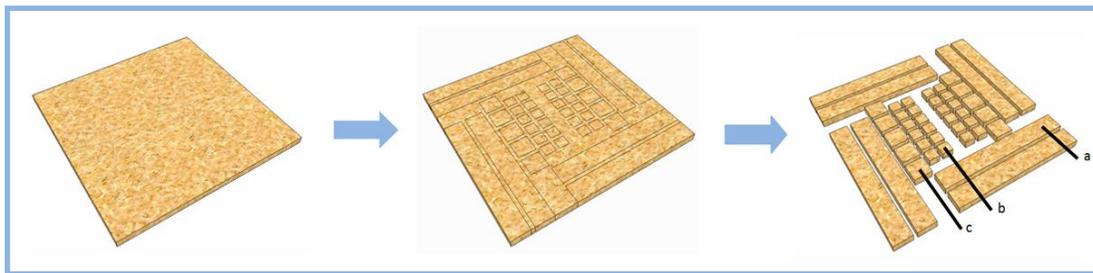


Figura N° 19: Esquema seguido en la extracción de las probetas. Siendo "a", probeta de Flexión Estática; "b", Peso Específico y Humedad; "c", Hinchazón. Fuente: Normas DIN (1982). Dibujo: Elaboración propia.



Figura N° 20: Obtención de las probetas en la carpintería para los ensayos de humedad, peso específico, hinchazón y flexión estática. Fuente: Elaboración propia.



Las probetas obtenidas fueron depositadas en una cámara con ambiente climatizado, a una temperatura de 20 ° C y una humedad relativa del 65 %, para continuar con su estabilización higrométrica, iniciada anteriormente con los tableros, hasta alcanzar las condiciones exigidas para el ensayo.

3.2.3.2.- Ensayos físicos y mecánicos.

Los ensayos físicos y mecánicos se llevaron a cabo en el laboratorio de "Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera" del Instituto de Tecnología de la Madera.

3.2.3.2.1.- Humedad.

Para la determinación de la humedad se procedió según la norma DIN 50014, pesando las muestras en una balanza analítica con precisión de la centésima, y colocándolas luego en una estufa a 100 ± 3 °C. Luego de transcurridas 48 hs se procedió a retirar las muestras de la estufa y colocarlas en un desecador hasta que las mismas alcanzaran temperatura ambiente. Ubicar las probetas en un desecador tuvo como objetivo, evitar que las muestras absorbieran rápidamente humedad del ambiente, debido a su elevada temperatura, pues a mayor temperatura aumenta el potencial higroscópico de la madera, Pan (2009); Coronel (2005). Una vez enfriadas las probetas se llevó a cabo las pesadas de las mismas. El procedimiento completo se repitió hasta que los valores de las pesadas consecutivas fueron constantes.

El cálculo de la humedad se realizó en base seca, conforme a la norma, que especifica la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{P_f - P_o}{P_f} \times 100$$

donde

P_f : peso final [g]

P_o : peso inicial [g]

μ : porcentaje de humedad en base seca [%]



Figura N° 21: Imágenes de las probetas en la estufa para la determinación de la humedad. Fuente: Elaboración propia.



3.2.3.2.2.- Peso específico.

El peso específico se obtuvo siguiendo el procedimiento establecido en la norma DIN 52361. Se determinó las dimensiones de las probetas (ancho, espesor, longitud) con tornillos micrométricos graduados a la centésima, y sus correspondientes pesos, por pesada en balanza analítica con precisión de la centésima.

El cálculo se efectuó con la siguiente fórmula:

$$Pe = \frac{P}{V} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} P: \text{ peso [g]} \\ V: \text{ volumen [cm}^3\text{]} \end{array}$$



Figura N° 22: Imágenes de la determinación del peso específico. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2.3.- Hinchazón.

El hinchamiento se determinó para 2hs y 24hs en agua fría bajo los lineamientos de la norma DIN 52364. Para ello, se colocaron dos grupos de probetas en agua fría de modo tal que quedarán completamente sumergidas, un grupo durante dos horas y el otro durante 24 horas. A ambos grupos se les midió con tornillo micrométrico, graduado a la centésima, el espesor antes y después de sumergirlos.

Por medio de las siguientes fórmulas se obtuvieron los valores de hinchamiento:

$$H_{2hs} = \frac{e_f - e_o}{e_o} \times 100 \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} e_o: \text{ espesor inicial [mm]} \\ e_f: \text{ espesor final a las 2hs [mm]} \\ H_{2hs} = \text{ hinchamiento a las 2 horas [\%]} \end{array}$$

$$H_{24hs} = \frac{e_f - e_o}{e_o} \times 100 \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} e_o: \text{ espesor inicial [mm]} \\ e_f: \text{ espesor final a las 24hs [mm]} \\ H_{24hs} = \text{ hinchamiento a las 24 horas [\%]} \end{array}$$



Figura N° 23: Imágenes de la determinación del hinchamiento para 2 hs y 24 hs.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2.4.- Flexión estática.

Para determinar el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR), se efectuó el ensayo de flexión, el cual se realizó en base a la norma DIN 52352. La misma expone las siguientes consideraciones a tener en cuenta al momento de llevar a cabo los ensayos:

- La velocidad de carga debe ser tal que, sea aplicada de manera constante y que el ensayo dure por lo menos un minuto.
- El diámetro del flexionador debe ser de $30 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.
- La separación entre apoyos debe ser 10 veces el espesor de la muestra, pero como mínimo 200 mm.
- La mitad de las probetas de flexión deben ser cargadas por un lado y la otra mitad cargadas por el otro lado.

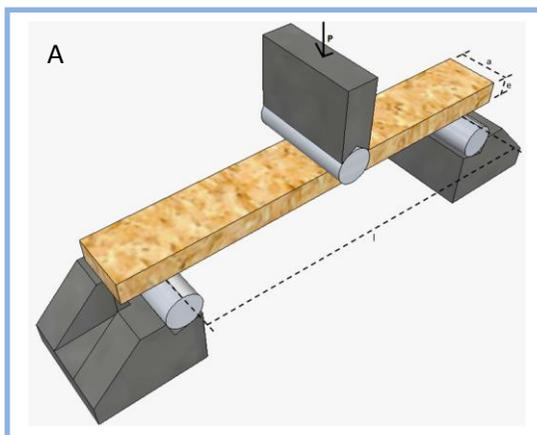
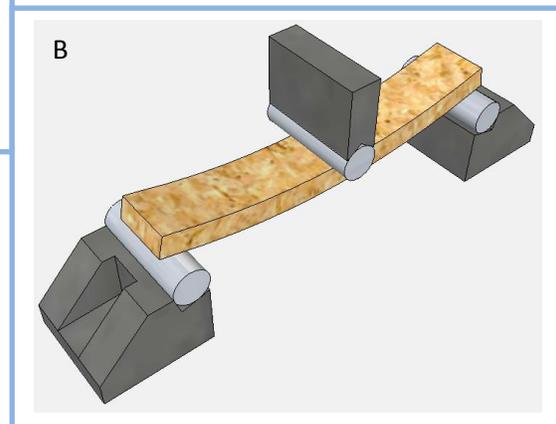


Figura N° 24 - A: Esquema de los elementos de trabajo en el ensayo a la flexión (MOR y MOE), donde "a" y "e" son el ancho y el espesor de la probeta respectivamente, "l" es la longitud entre los apoyos de la probeta y "P" señala la dirección y sentido de la carga aplicada sobre la probeta.
Fuente: Norma DIN (1982). Dibujo: Elaboración propia.

Figura N° 24 - B: Esquema de los elementos de trabajo en el ensayo a la flexión (MOR y MOE), representando la probeta deformada producto de la carga aplicada sobre ella. Fuente: Norma DIN (1982). Dibujo: Elaboración propia.





Las fórmulas con las que se determina el Módulo de Rotura (MOR) y el Módulo de Elasticidad (MOE) son las siguientes:

$$\text{MOR} = \frac{3 \times P_R \times l}{2 \times a \times e^2}$$

donde

MOR = módulo de rotura [kg/cm²]

P_R: carga de rotura [kg]

l: distancia entre los puntos de apoyos [cm]

a: ancho de la probeta donde se aplica la carga [cm]

e: espesor de la probeta donde se aplica la carga [cm]

$$\text{MOE} = \frac{P_{LP} \times l^3}{4 \times d_{LP} \times a \times e^3}$$

donde

MOE = módulo de elasticidad [kg/cm²]

P_{LP}: carga en el límite de proporcionalidad [kg]

l: distancia entre los puntos de apoyos [cm]

a: ancho de la probeta donde se aplica la carga [cm]

e: espesor de la probeta donde se aplica la carga [cm]

d_{LP}: deformación en el límite de proporcionalidad [cm]



Figura N° 25: Imágenes de los ensayos a la flexión para la determinación del MOR y MOE. Fuente: Elaboración propia.



3.2.4.- Análisis estadístico

Los valores que describen las características finales de los paneles son la Media Aritmética, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación, de las propiedades físicas y mecánicas.

Cada familia ensayada (15, 30, 41 y 65) fue considerada como un tratamiento estadístico. Se fabricaron para cada tratamiento cuatro tableros considerados cada uno como una repetición. Para establecer la diferencia estadística entre tratamientos se utilizó un modelo experimental completamente aleatorizado.

Se llevó a cabo un análisis de variancia para este delineamiento experimental que permitió establecer la existencia o no de diferencias estadísticas.

Posteriormente establecida la diferencia estadística se realizó un estudio de comparación de medias a través del Test de Tukey.



4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- Características de la materia prima.

El material utilizado no presentó ningún tipo de problema durante las operaciones de astillado, molienda y encolado, todas ellas realizadas de acuerdo a la metodología utilizada por Medina (2012 - A); Carranza (2004); Medina y Ambrogi (1995); Medina y Martínez (1992). En la Tabla N° 14 se presentan las medidas medias del largo y espesor, así como el Coeficiente de Esbeltez determinados a partir de esas medias.

Tabla N° 14: Coeficientes de esbeltez (C.E.) de las familias de *Eucalyptus tereticornis*.
Fuente: elaboración propia.

Familias	Largo medio (mm)	Espesor medio (mm)	C.E.	C.V.
15	26,06	0,55	49,22	28,49
30	25,45	0,53	49,41	26,96
41	24,52	0,48	54,94	31,70
65	26,01	0,46	61,34	38,39

Del astillado y molienda se obtuvieron virutas con espesores y largos promedios, distintos para cada familia, resultando de ésta manera, también diferentes, los coeficientes de esbeltez promedios calculados para cada familia. La mayoría de las virutas al momento de medirlas parecían estar quebradas. Pan (2013), señala que la madera de *Eucalyptus tereticornis* plantados en Santiago del Estero es quebradiza (o vidriosa), lo que permitiría suponer que las virutas al pasar por la malla del molino se partieron o quebraron, provocando así una alta variabilidad en las dimensiones de las partículas obtenidas. Debido a las diferencias entre los coeficientes de esbeltez de las cuatro familias ensayadas, se realizó un análisis de la variancia y se determinó que estas diferencias son estadísticamente significativas a un 95% de certeza.

Los coeficiente de esbeltez calculados para cada familia, como un promedio de todas las mediciones realizadas sobre las muestras extraídas, resultaron bajos comparados con el rango de 60 a 120 sugerido por Ginzel y Peraza (1966); y Peredo (1988), para que las propiedades físicas y mecánicas de los paneles elaborados, sean aceptables.

Poblete (1985), explica que cuando la esbeltez es más baja que la prescrita (60-120), se nota tendencias dispares en las propiedades físico-mecánicas. Así, la disminución del tamaño de la partícula afecta el comportamiento mecánico, verbigracia la resistencia a la flexión se reduce.

El valor bajo del coeficiente de esbeltez obtenido para las partículas de eucalipto será discutido más adelante al analizar la propiedad de flexión de los tableros.



4.2.- Ensayos físicos de los paneles de partículas.

A continuación, en la Tabla N° 15 se presentan los parámetros estadísticos de las diferentes propiedades físicas determinadas en éste trabajo. Por su lado, la Tabla N° 16 presenta los resultados del análisis de la variancia de las propiedades físicas ensayadas.

Tabla N° 15: Estadígrafos para los ensayos físicos. Fuente: elaboración propia.

Tratamiento	Humedad (%)		Peso Específico (g/cm ³)		Hinchamiento (%)			
	Media	C.V.	Media	C.V.	2 Hs		24 Hs	
					Media	C.V.	Media	C.V.
Familia 15	9,53	3,80	0,749	5,65	12,29	34,38	50,87	16,80
Familia 30	9,67	10,08	0,716	4,52	28,53	11,71	79,73	38,09
Familia 41	9,35	5,05	0,754	7,40	22,26	25,42	60,13	10,19
Familia 65	10,36	5,50	0,745	8,20	14,30	34,73	52,69	12,82
Mínimo establecido por la Norma DIN (1982)	9 ± 3				8,00		16,00	

Tabla N° 16: Resultados del análisis de variancias efectuado para los ensayos físicos. Fuente: elaboración propia.

Tratamiento	Humedad	Peso Específico	Hinchamiento	
			2 Hs	24 Hs
Familia 15				
Familia 30	*	*	*	*
Familia 41				
Familia 65				
* : Significativo con 95% de certeza; ns: no significativo				

Tabla N° 17: Resultados del Test de Tukey efectuado para los ensayos físicos. Fuente: elaboración propia.

Tratamiento	Humedad	Peso Específico	Hinchamiento	
			2 Hs	24 Hs
Familia 15	A	B	A	A
Familia 30	A	A	C	B
Familia 41	A	B	B	A
Familia 65	B	A B	A	A
Letras comunes no son significativamente diferentes (p > 0,5)				



4.2.1.- Humedad.

Al comparar el contenido de humedad de equilibrio, en los paneles aglomerados de las cuatro familias, se observa que los valores medios se encuentran entre 9,53% y 10,36%. Según Deppe y Erns (1966), citados por Moslemi (1974), un indicador del adecuado fraguado de la cola, es un contenido de humedad de los tableros al salir de la prensa de $8 \pm 2\%$.

Debido a que los tableros presentaron diferentes contenidos de humedad, se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas del contenido de humedad entre las familias. El mencionado análisis determinó un $p < \alpha$, por lo tanto existen diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de humedad de los tableros (Tabla N° 16).

Para determinar entre qué familias existe diferencias se realizó la prueba de comparaciones múltiples por medio del Test de Tukey (Tabla N° 17). La media de la familia 65 es significativamente diferente de las demás, presentando una humedad de equilibrio mayor que el resto de las familias, aun así, éste contenido de humedad se encuentra dentro del rango descrito por la Norma DIN 50014, que señala valores de humedad de equilibrio para tableros aglomerados comprendidos en $9 \pm 3\%$. Además, FAO (1968), cita al Centro Técnico de la Madera, en París, el cual especifica un rango para el contenido de humedad de equilibrio comprendido entre el 7% al 12%.

Dado que los paneles de todas las familias tienen contenidos de humedad de equilibrio que se encuentran dentro de los rangos citados anteriormente, es esperable que al momento de ensayar las probetas, éstas se encontraban en condiciones semejantes de climatizado, factor importante a tener en cuenta, debido a que el contenido de humedad de equilibrio es una de las variables que influyen en las propiedades de los tableros de partículas, Medina (2012 - B), Manzano Sosa (2000), Ginzel y Peraza (1966).

4.2.2.- Densidad.

En la Tabla N° 15 se presentan los valores estadísticos de densidad, o peso específico, de los paneles aglomerados para las diferentes familias o tratamientos.

Los valores obtenidos, aunque con pequeñas variaciones, se ajustan a los valores teóricos planificados para la densidad de los tableros; $0,70 \text{ g/cm}^3$, de manera similar a lo ensayado por Mendez (2009); Carranza (2004). Al respecto, Contreras (2008), atribuye la diferencia entre densidades teóricas y reales, en parte, a la manipulación de las partículas de una máquina a otra durante el proceso de elaboración de los paneles.

Medina (2012 - B), y Manzano Sosa (2000), explican que entre las causas de la variación de densidad de los tableros se encuentran, la cantidad de material asignando durante el proceso de fabricación y las variaciones del contenido de humedad, tanto de las partículas que entran en la encoladora como el contenido de humedad de equilibrio del panel elaborado. Por lo tanto, la densidad del tablero va a estar influenciada por el contenido de humedad del mismo.



Debido a que los tableros mostraron pesos específicos con ligeras diferencias entre sí, se realizó un análisis de varianza para probar si estas diferencias son estadísticamente significativas. Los resultados de éste análisis se presentan en la Tabla N° 16.

El análisis de la variancia determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las densidades de los paneles aglomerados de las cuatro familias utilizadas. Para establecer entre cuales de las familias existe diferencia se realizó el test de Tukey, cuyos resultados se muestran en la Tabla N° 17. Existen diferencias significativas entre las densidades de los paneles de la familia 30 con las del resto.

Se puede observar que las maderas de las cuatro familias tienen valores de densidades superiores a las densidades teóricas ($0,700 \text{ g/cm}^3$) de los paneles elaborados, por lo tanto las relaciones de compresión resultan bajas respecto al valor de compresión 1,3 recomendado por Maloney (1977). Tomando los valores de densidades básicas de las cuatro familias (Tabla N° 8) obtenemos relaciones de compresión de 0,92; 0,81; 0,80 y 0,75. Todos los valores se encuentran por debajo de la relación de compresión óptima anteriormente citada.

Urzúa y Poblete (1980); y Medina (2012 - B), explican que es conveniente que la especie utilizada posea una densidad más baja que la densidad final del tablero aglomerado, para obtener paneles de calidad. Moslemi (1974), señala que las materias primas de bajas densidades dan propiedades de resistencia superiores a las materias primas de alta densidad.

En base a la densidad media que presentan los paneles de las cuatro familias, éstos se clasifican en tableros de densidad media, ya que se encuentran dentro de los rangos señalados por Coronel (2006); FAO (1968); Ginzler y Peraza (1966). Además, las normas DIN 68761 establecen, para tableros de densidad media, un rango de densidades comprendido entre 0.450 g/cm^3 a 0.750 g/cm^3 . Los valores alcanzados en éste trabajo se encuentran dentro del rango establecido por la norma DIN mencionada. Contreras (2008), cita en su estudio las Normas Venezolanas COVENIN N° 847-91, las cuales establecen para tableros de densidad media valores que oscilan entre $0,60 \text{ g/cm}^3$ y $0,80 \text{ g/cm}^3$.

4.2.3.- Hinchamiento en 2 y 24 horas.

Dado que los tableros presentaron diferentes grados de hinchamiento entre ellos, se realizó un análisis de varianza, cuyos resultados se presentan en las Tablas N° 15. El análisis de la variancia (Tabla N° 16), realizado para el hinchamiento en 2 hs y en 24 hs, presentó para ambos casos un $p < \alpha$, entendiéndose de ésta manera que existen diferencias estadísticamente significativas entre los paneles de las cuatro familias, para los hinchamientos en 2 y 24 horas. El test de Tukey (Tabla N° 17) realizado para determinar entre que familias existen diferencias, resultaron significativamente diferentes, entre ellas, las familias 30 y 41; y a su vez, éstas dos presentaron diferencias significativas con el resto. En el caso del hinchamiento en 24 hs resultó tener diferencias significativas la familia 30 con el resto.



Según la norma DIN 52364, el hinchamiento máximo aceptado después de 2 y 24 horas es de 8% y 16%, respectivamente, límite no cumplido en ninguno de los dos casos por ninguno de los cuatro tratamientos. Resultados similares obtuvo Mendes (2009), al utilizar *Eucalyptus urophylla* de 7 y 12 años de edad en la elaboración de paneles aglomerados, con urea-formaldehído sin agentes hidrófobos, en ambos casos obtuvo valores por encima de lo exigido por las normas.

Nemli (2007), para paneles ensayados de *Eucalyptus globulus* Labill, con diversos niveles de partículas de acículas de *Pinus pinaster* Ait, obtuvo valores superiores a los especificados por la norma para 2 y 24 horas, excepto para los tableros con el nivel más alto de partículas de acículas (95%). El autor explica que éste nivel cumple con lo exigido en la norma, debido a los extractivos presentes en las acículas.

Contreras (1999), para niveles de 10% y 13% de resinosidad, encontró que solamente el nivel 13% para el hinchamiento en 24 horas cumplió con lo exigido por la norma. Poblete (2010), en su investigación ninguna de las densidades ensayadas cumplió con la norma de hinchamiento; y señala que los tableros confeccionados no contienen productos hidrófobos, que mejoren esta propiedad. Para Pelen (1998), la incorporación de un hidrófobo a la resina cambiaría esta situación.

Estudios con *Eucalyptus nitens*, que incluyen hidrófobos, han determinado un hinchamiento menor que cumple con la norma, Gorrini (2004). Al respecto, Pintos (1992), cita el trabajo de Poblete y Peredo (1990), quienes al incluir una emulsión de parafina obtuvieron tableros de tepa que cumplen con la norma.

Nacar (2005), en su estudio con *Eucalyptus camaldulensis* utilizó un 1% de cloruro de amonio y 0,5% de cera en la resina (urea-formaldehído), para mejorar la estabilidad dimensional de los paneles elaborados. Peredo (1991), encontró en su trabajo que la adición de un agente hidrófobo a los tableros confeccionados, no afectó significativamente la resistencia a la flexión.

En éste trabajo no se utilizaron agentes hidrófobos, razón por la cual todas las familias presentaron valores altos respecto a lo indicado por la norma. De acuerdo a lo expuesto en las citas de los párrafos anteriores, el agregado de parafinas, ceras u otros agentes hidrófobos mejorarían los resultados. Además, si bien las cuatro familias presentaron valores altos, los paneles de la familia 30 presentan valores de hinchamiento en 2 y 24 horas, significativamente mayores al resto de las familias, esto podría ser debido a que, la madera de ésta familia posee el valor de "Contracción Volumétrica" más alto, Pan (2013), provocando que los tableros obtenidos con las partículas de madera de la familia 30 tuvieran los mayores valores de hinchamiento.

En resumen los mejores tableros aglomerados, en relación al hinchamiento 2 hs son los elaborados con partículas de las familias 15 y 65.



4.3.- Ensayos mecánicos de los paneles de partículas.

A continuación, en la Tabla N° 18 se presentan los valores medios y coeficientes de variación que resultaron de los ensayos de resistencia a la flexión estática (MOR y MOE), indicándose también los valores especificados por las Normas DIN como valores mínimos.

Tabla N° 18: Estadígrafos para los ensayos mecánicos. Fuente: elaboración propia.

Familia	Flexión (N/mm ²)			
	MOR		MOE	
	Media	CV	Media	CV
15	4,83	34,46	5741,46	53,07
30	4,38	28,11	6444,76	62,94
41	4,28	35,33	6012,92	50,82
65	6,23	20,59	3512,81	34,61
Mínimo establecido por la Norma DIN (1982)	18		3400	

Tabla N° 19: Resultados del análisis de variancias efectuado para los ensayos mecánicos. Fuente: elaboración propia.

Familia	Flexión	
	MOR	MOE
Familia 15		
Familia 30	*	*
Familia 41		
Familia 65		

* : Significativo con 95% de certeza
ns: no significativo

Tabla N° 20: Resultados del Test de Tukey para Módulo de Ruptura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE). Fuente: elaboración propia.

Familia	Flexión	
	MOR	MOE
Familia 15	A	A
Familia 30	A	A B
Familia 41	A	A B
Familia 65	B	B

Letras comunes no son significativamente diferentes ($p > 0,5$)



En la Tabla N° 18, se presentan los valores obtenidos para el Módulo de Ruptura (MOR) y al Módulo de Elasticidad (MOE). Dado que los tableros de los diferentes tratamientos presentaron diferencias entre si respecto del MOR y del MOE, se llevó a cabo un análisis de varianza, cuyos resultados se presentan en la Tabla N° 19.

El análisis de la variancia, tanto para el MOR como para el MOE, mostró un $p < \alpha$, de manera tal, que existen diferencias estadísticamente significativas entre los paneles de las cuatro familias en el MOR y en el MOE. En la Tabla N° 20, se presentan los resultados del Test de Tukey, realizado para determinar entre que familias existen diferencias.

Con respecto al MOR, para un $p < 0,05$ existen diferencias significativas entre la familia 65 con el resto. En el caso del MOE, para un $p < 0,05$ solo existen diferencias significativas entre las familias 65 y 41.

Los resultados de MOR de las cuatro familias ensayadas en este trabajo son bajos con respecto a los valores mínimos exigidos por la Norma DIN. No así en el caso del MOE, donde todas las familias presentaron valores superiores a los de la norma.

Nacar (2005), evaluó algunas de las características físicas y mecánicas de paneles aglomerados elaborados con *Eucalyptus camaldulensis*, para distintos niveles de resina ureica, densidades de tableros y tiempos de prensado. Obtuvo los mejores resultados de MOR ($17,46 \text{ N/mm}^2$) y MOE ($6172,16 \text{ N/mm}^2$) para el nivel de 8,9% de resina, 750 kg/m^3 de densidad y 7 minutos de prensado. En relación a los valores de MOR obtenidos en éste trabajo para las diferentes familias, ninguno iguala o supera a los obtenidos por Nacar (2005), pero en el caso del MOE, las familias 30 y 41 obtuvieron valores levemente por encima a los del trabajo citado. Mendes (2009), trabajando con *Eucalyptus europhylla* obtuvo valores de MOR de $7,85 \text{ N/mm}^2$, los cuales son comparables a los de la familia 65.

El tamaño de las partículas utilizadas en este trabajo son semejantes con las de Pan (2007), que en su trabajo con *Eucalyptus cinérea*, estableció que entre los tres tamaños de partículas analizadas, las obtenidas de la malla 20-40, entregaron los valores más altos de MOE ($1564,2 \text{ N/mm}^2$) y MOR ($13,6 \text{ N/mm}^2$), valores similares a los reportados por Nemli (2007). Pan (2007) explica que sus resultados pudieron deberse a que las partículas de ese tamaño se cubrieron mejor por la resina y tenía lazos más estrechos. Además, determinó que los tratamientos que incluían corteza obtenían valores menores de MOR y MOE respecto de los tratamientos que no la incluían. Las partículas utilizadas en éste estudio incluían corteza, por lo que podemos atribuirle a este factor la obtención de valores más bajos de MOR, lo que se corresponde con lo expresado por Maloney (1977); y Ginzler y Peraza (1966).

En éste estudio los resultados de los ensayos mecánicos (MOR y MOE) presentaron una variabilidad muy alta, esto puede ser atribuible al bajo coeficiente de esbeltez de las partículas, Poblete (1985). Al respecto, Contreras (2008), explica que la irregularidad y diversidad de tamaños de partículas, especialmente los muy pequeños, pueden ocasionar que no se entrecrucen o traben al momento del prensado, lo que podría



contribuir a ofrecer menor resistencia al momento del ensayo y ocasionar la falla del tipo seca. En relación a que se utilizaron maderas alto peso específico, Moslemi (1974), manifiesta que, de manera general, materias primas de bajas densidades dan propiedades de resistencia superiores a las materias primas de alta densidad, lo que concuerda con los bajos valores de MOR obtenidos en este trabajo.

En la Tabla N° 14 se observa que las partículas de la familia 65 presentan un coeficiente de esbeltez más alto que el resto, y un menor coeficiente de variabilidad, esto podría explicar el valor de MOR superior al resto de las familias, lo cual estaría de acuerdo con lo reportado por Medina (2012 - B); Peredo (1988).

En éste trabajo se puede observar que, de manera general en las familias, a medida que los valores de MOR aumentan, los valores de MOE disminuyen. Al respecto, los ensayos de Jiménez (2013), mostraron la misma tendencia.

En términos de MOR, la familia N° 65 presentó lo mejores resultados. En contraste esta familia presentó el menor MOE.



5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.- Conclusiones

- El coeficiente de esbeltez calculado para las diferentes familias presentó valores bajos comparados con los recomendados por la bibliografía. Este coeficiente estuvo influenciado por el espesor de las partículas relativamente alto, y la característica de ésta madera de ser quebradiza, proporcionó partículas cortas. Esto explica los bajos valores de MOR. La Familia 65 presentó el mejor coeficiente de esbeltez.
- Las densidades de los paneles obtenidos se ubican dentro del rango de clasificación de densidad media. Los coeficientes de compresión resultaron bajos para el tipo de tablero elaborado, por lo cual no se puede asegurar que haya existido un íntimo contacto y adhesión entre las partículas durante el proceso de prensado. Esto explica, en parte, los valores bajo de hinchamiento y MOR.
- Las propiedades de hinchamiento de los tableros en 2 horas y 24 horas, dieron como resultados valores mayores a los exigidos por las normas DIN, pero comparables con otros trabajos en los cuales no se utilizaron agentes hidrófobos. Los mejores (menores) valores de hinchamiento correspondieron a las familias 15 y 65.
- En relación al Módulo de Rotura (MOR) todas las familias presentaron valores inferiores a lo estipulado por normas, mientras que, el Módulo de Elasticidad (MOE) presentó valores superiores a lo reportado por normas y comparables con los de otros estudios. En términos de MOR, la familia N° 65 presentó los mejores resultados. En contraste esta familia presentó el menor MOE.
- Las familias de *Eucalyptus tereticornis* mostraron diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas ensayadas. Si bien ninguna de ellas presentaron valores dentro de los rangos estipulados por normas, la familia 65 expuso mejores los valores de propiedades físicas y mecánicas respecto del resto.



5.2.- Recomendaciones

Con el fin de ahondar en el estudio y mejorar de la calidad de los aglomerados se recomienda:

- Realizar un estudio granulométrico para determinar diferencias de calidad de virutas entre familias de *Eucalyptus tereticornis*.
- Llevar a cabo estudios para analizar el hinchamiento en 2 y 24 horas para diferentes niveles de adición de agentes hidrófobos; y su correlación con la resistencia mecánicas de los paneles.
- Modificar las variables que correspondan, en las distintas etapas de producción de los tableros de partículas, de acuerdo a las características que presenta esta madera proveniente de plantaciones en Santiago del Estero, con el propósito que pueda ser utilizada en la manufactura de tablero de partículas con fines industriales.



6.- BIBLIOGRAFÍA



6.- BIBLIOGRAFÍA

- Arcos Sanchez, P. E. y Allen Merello, J. E. 2005. Memoria para optar al título de grado. Fabricación de OSB y contrachapado a partir de *Eucalyptus nitens*: análisis del comportamiento en proceso. Departamento de Ingeniería en Maderas, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bio Bio. Concepción, Chile. Pp 411.
- Argudo, P. P. 1981. Tableros aglomerados especiales para construcción. XXXI Congreso de IEO – WEI. Madrid, España. Página web:
http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1117_17000.pdf?PHPSESSID=9095915c4a12e381720f0a451420a24b Disponible el día 4 de noviembre de 2012.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM). 1994. Guía de la madera para la construcción el diseño y la decoración. 1ª Edición. Edición Rústica. Madrid, España. Pp 572.
- Baillères, H. y Durand, P. Y. 2000. Non-Destructive techniques for Wood quality assessment of plantation-grown teak. Bois et Forêts des Tropiques 263 (1). Francia. Pp 17-29.
- Cabrera Gaillard, C. 2003. Plantaciones Forestales: Oportunidades para el Desarrollo Sostenible. Serie de Documentos Técnicos N° 6. Instituto de Agricultura, Recursos naturales y Ambiente, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar. Guatemala. Pp 20.
- Carranza, M. 2004. *Geoffroea decorticans* (Gills. X H. et A.). Burk "Chañar". Propiedades y utilización de su madera en la elaboración de tableros aglomerados convencionales de uso exterior y virutas orientadas (OSB). Trabajo final. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp. 143.
- Chan, M. et al. 2004. Tableros de madera de partículas. Artículo de divulgación Ingeniería, volumen 8 (3). Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Pp 39 – 46.
- Contreras, W.; Owen M. E.; Garay D. A. y Contreras Y. 1999. Elaboración de tableros aglomerados de partículas de Caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea–formaldehído. Revista Forestal Venezolana, volumen 43 (2). Mérida, Venezuela. Pp 129-135.
- Contreras, W. et al. 2008. Determinación de las propiedades de resistencia de los tableros aglomerados de partículas, fabricados con vástago de plátano y adhesivo



- fenol formaldehído (R10/R13%). Tecnología y Construcción volumen 24 (3). Caracas, Venezuela. Pp.
- Coronel, E. O. 2005. Propiedades físico-mecánicas de algunas maderas de la región Chaqueña, y su empleo en la construcción. Cartilla técnica 1, ITM – Serie de publicaciones. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp 15.
 - Coronel, E. O. 2006. Productos forestales argentinos. Serie de publicaciones 2006, Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp 83 – 92.
 - Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). 2001. Página web: <http://www.rae.es> Disponible el día 18 de septiembre de 2012.
 - Eldbrige, K.; Davidson, J.; Harwood, C.; Van Wyk, G. 1994. Eucalypt Domestication and Breeding. Oxford University Press Inc. New York, E.E.U.U. Pp 287.
 - FAO .1968. Tableros contrachapados y otros paneles a base de maderas. Informe de una consulta internacional sobre tableros contrachapados y otros paneles a base de madera. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Pp 250.
 - FAO. 1991. Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales. Estudio FAO: Montes 93. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Pp129.
 - FAO. 2012. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Página web: <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#anchor> Disponible el día 23 de noviembre de 2012.
 - Garay, D. A. et al. 2003. Elaboración de tableros aglomerados de partículas orientadas (OSB) con urea formaldehído, a partir de la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Revista Forestal Latinoamericana, volumen 18 (2). Mérida, Venezuela. Pp 1 – 16.
 - Ginzl, W. y Peraza, C. 1966. Tecnología de los tableros de partículas. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, España. Pp 187.



- Gorrini, B. et al. 2004. Tableros de partículas y MDF de *Eucalyptus nitens*: ensayos a escala industrial. Revista Bosque, volumen 25, número 3. Valdivia, Chile. pp. 89 – 97.
- INTA y SAGyP. 1995, Manual para productores de eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Buenos Aires, Argentina. Pp 124 – 128.
- Jiménez, P. V. 2013. Uso de residuos de garlopa y cepilladora de las especies *prosopis alba* y *pinus* sp. en aglomerados. Trabajo final de grado (inédito). Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp 65.
- Kelly, M. W. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. Forest Products Laboratory. U.S. Department of Agriculture. EEUU. Pp 64.
- Kollman, F. et al. 1975. Principles of wood science and technology. Volume 2. Wood based materials springer Verlag. Berlin, Alemania. Pp 703.
- MAGyP. 2010. Publicación: Industrias Forestales. Dirección de Producción Forestal, Subsecretaría de Agricultura, Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Buenos Aires, Argentina. Pp 29.
- Maloney, T. 1977. Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing. Miller Freeman Publications. San Francisco, EEUU. Pp. 672.
- Mangieri, H. R.; Dimitri, M. J. 1971. Los Eucalyptus en la Silvicultura. Editorial ACME, S.A.C.I. Buenos Aires, Argentina. Pp 226.
- Mantero, C. 1995. Aptitud de uso de la madera de los eucaliptos colorados para carpintería de obra. Ayuntamiento granada. Nápoles. Página web http://scholar.google.com.ar/scholar?cluster=70052318224543124&hl=es&as_sdt=2005&scioldt=0,5 Disponible el día 13 de octubre de 2012.
- Manzano Sosa, A. 2000. Tesis de grado. Propiedades físico - mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm de una empresa del estado de Durango. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. Pp 65.
- Marcó, M. A. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de Argentina. Revista Mejores Árboles para más Forestadores. Proyecto Federal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Buenos Aires, Argentina. Pp 9 – 17.



- Medina, J. C. y Martínez, R. 1992. Elaboración de paneles aglomerados con madera de *Prosopis nigra* Hieron. "Algarrobo negro", atacada por *Criodion angustatum* Bouquet. Serie de publicaciones 9202, Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp 8.
- Medina, J. C. y Ambrogi, A. 1995. Cáscara de maní en la elaboración de paneles aglomerados. Revista Quebracho, número 2. Santiago del Estero, Argentina. Pp 47 – 53.
- Medina, J. C. 1999. Tableros aglomerados de virutas orientadas de Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco* Schlecht.). Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Medina, J.C. 2012 - A. Guía de estudio cátedra Industrias Mecánicas de la Madera II. Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- Medina, J.C. 2012 - B. Calidad de los aglomerados. Curso de Postgrado, Programa de Doctorado en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- Mendez, M. 2009. *Eucalyptus urophylla* Stands wood utilization at two different ages for production of particleboard panels. Revista Cerne, Volumen 15 (3). Universidade Federal de Lavras, Brasil. pp. 288 – 294.
- Moslemi, A. A. 1974. Particleboard: materials. Volume 1. Southern Illinois University Press. Carbondale, Illinois, EEUU. Pp 244.
- Nacar, N. et al. 2005. Some of the properties of particleboard panels made from eucalyptus. Página web:
<http://www.thefreelibrary.com/Some+of+the+properties+of+particleboard+panels+made+from+eucalyptus.-a0145780428> Disponible el día 16 de septiembre de 2012.
- Nemli, G. y Aydin, G. 2007. Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from the needle litter of *Pinus pinaster* Ait. Journal Industrial Crops and Products, volume 26. E.E.U.U. Pp 252 – 258.
- Normas DIN. 1982. Normen über Holz. Deutsches Institut für Normung e.v. Beuth – Vertrieb GMBH. Berlin, Köln, Frankfurt, Alemania.



- Pan, Z. et al. 2007. Physical properties of thin particleboard made from *saline eucalyptus*. Journal Industrial Crops and Products, volume 26. E.E.U.U. Pp 185 – 194.
- Pan, E. M. et al. 2009. Propiedades tecnológicas de la madera 1ª parte. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Editorial Lucrecia. Santiago del Estero, Argentina. Pp 184.
- Pan, E. M. et al. 2013. Tensiones de crecimiento en madera de familias y progenies de *Eucalyptus tereticornis* plantados en Santiago del Estero (inédito). Revista Quebracho, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero .Santiago del Estero, Argentina.
- Pelen, P., Poblete, H. e Inzunza, E. 1998. Duramen y albura de *Acacia melanoxylon* como materia prima para tableros de partículas. Revista Bosque, volumen 19, número 2. Valdivia, Chile. Pp 29-36.
- Peredo, M. 1988. Fabricación de tableros de partículas para uso en exteriores. Revista Bosque volumen 9, número 1. Valdivia, Chile. Pp 35 – 42.
- Pintos, A. S. y Poblete, H. 1992. Efecto del catalizador en las propiedades de tableros de partículas con madera de tepa. Revista Ciencia e Investigación Forestal, volumen 6, número 2. Santiago, Chile. Pp 261 – 279.
- Poblete, H. 1985. Influencia del tamaño de la partícula sobre las propiedades mecánicas flexión y tracción en tableros de partículas aglomerados con ureaformaldehído. Simposium *Pinus radiata* Investigación en Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pp. 241 – 256.
- Poblete, H. y Zarate, M. 1986. Influencia de los extraíbles sobre las propiedades de la madera y su utilización como materia prima. Publicación Docente N° 20. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pp 55.
- Poblete, H. 2010. *Eucalyptus nitens* como materia prima para tableros de partículas. Revista Maderas: Ciencia y Tecnología, volumen 12, número 1. Concepción, Chile. Pp 25 – 35.
- Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias. 2012. Página web: http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/331104/331104_ee.htm Disponible el día 14 de octubre de 2012.
- Salto, C. S. 2008. Variación genética en progenies de polinización abierta de *Eucalyptus tereticornis* Smith. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Forestales,

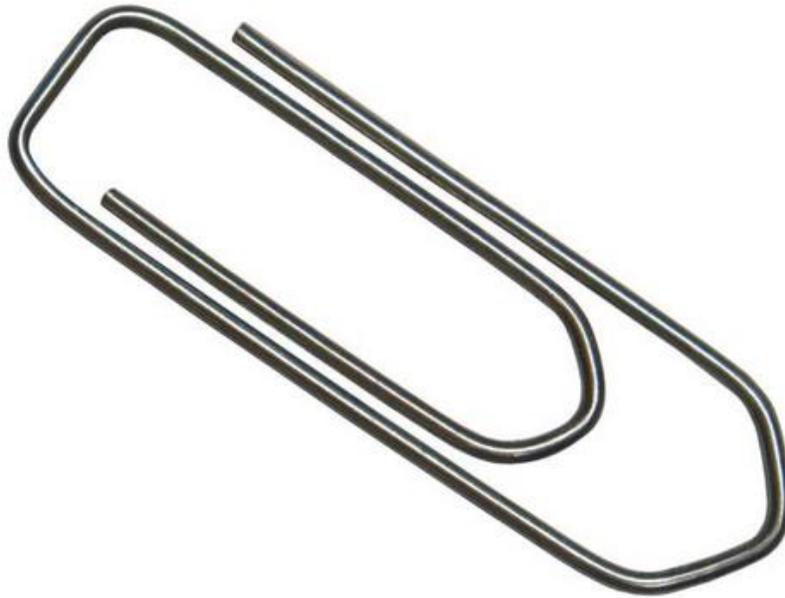


Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp 46.

- Sánchez Acosta, M. 1995. Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. Seminário Internacional de Utilização da Madeira de eucalipto para Serraria. São Paulo, Brasil. Pp 74 – 91.
- Sanchez Acosta, M. y Sepliansky, F. 2005. Tecnología de la madera de eucaliptos colorados: propiedades – usos – posibilidades. I Jornadas Forestales de Santiago del Estero. Pp 21.
- Sotomayor Castellanos, J. R. et al. 2011. Caracterización mecánica de madera reconstituída: tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados de madera evaluados con métodos no destructivos. Publicación Investigación e Ingeniería de la Madera, volumen 7, número 1. Morelia, Michoacán, México. Pp 16 – 35.
- Tinto, J.C. 1979. Utilización de los Recursos Forestales Argentinos. Instituto Forestal Nacional (IFONA), folleto técnico N° 41. Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables y Ecología, Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Economía. Buenos Aires. Argentina. Pp 97.
- Tinto J, C. 1986. Tipificación de la madera de Entre Ríos, soluciones a los defectos. Jornadas Forestales del mes de Entre Ríos. Concordia, Argentina. Pp 5.1 5.13.
- Tuset, R. y Duran, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. Pp 688.
- Urzua, J.D. y Poblete, H. 1980. Utilización silvoagro-pecuaria de los terrenos de Ñadi. Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en terrenos de Ñadi. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Convenio SERPLAC X Región - U. Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pp 140.
- Vargas Catalan, R. F. 2005. Efecto de la densidad sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros de fibra HDF. Trabajo de Titulación. Instituto de Tecnología de Productos Forestales. Valdivia, Chile. Pp. 41.
- Vigonte Peña, S. y Martínez Rojas, I. 2006. Tecnología de la madera, 3ª Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp 275 – 291.
- Vital, B. R. et al. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. Forest Products Journal. Volume 24, number 12. Pp 37 – 45.



Anexos





7. – Anexos

Anexo 1 - Coeficiente de Esbeltez de la Familia 15.

Familia 15			
Partícula N°	Dimensiones (mm)		Coeficiente de esbeltez
	Largo	Espesor	
1	24,00	0,50	48,00
2	20,00	0,80	25,00
3	20,00	0,50	40,00
4	18,00	0,90	20,00
5	17,00	1,00	17,00
6	18,00	0,50	36,00
7	32,00	0,50	64,00
8	17,00	0,50	34,00
9	31,50	0,50	23,00
10	16,50	0,50	33,00
11	20,90	0,50	41,80
12	27,80	0,50	55,60
13	33,60	0,50	67,20
14	28,60	0,50	57,20
15	24,90	0,50	49,80
16	31,60	0,50	63,20
17	25,30	0,50	50,60
18	24,90	0,50	49,80
19	29,00	0,50	58,00
20	23,50	1,00	23,50
21	33,80	0,50	67,60
22	29,60	0,50	59,20
23	31,80	0,50	63,60
24	28,40	0,50	56,80
25	19,50	0,50	39,00
26	25,00	0,50	50,00
27	22,00	0,50	44,00
28	28,90	0,50	57,80
29	31,60	0,50	63,20
30	31,50	0,50	63,00
31	27,50	0,50	55,00
32	32,90	1,00	32,90
33	21,50	0,50	43,00
34	16,50	0,50	33,00
35	29,70	0,50	59,40
36	28,10	0,50	56,20
37	15,50	0,50	31,00
38	32,90	0,50	65,80
39	27,30	0,50	54,60
40	28,90	0,50	57,80
41	19,00	0,50	38,00
42	23,90	0,50	47,80
43	33,10	0,50	66,20
44	28,40	0,50	56,80
45	33,50	0,50	67,00
46	27,80	0,63	44,13
47	35,00	0,50	70,00
48	25,80	0,50	51,60
49	27,00	0,50	54,00
50	27,90	0,50	55,80
Promedio			49,22
S			14,02
C.V.			28,49



Anexo 2 - Coeficiente de Esbeltez de la Familia 30.

Familia 30			
Partícula N°	Dimensiones (mm)		Coeficiente de esbeltez
	Largo	Espesor	
1	33,70	0,50	67,40
2	25,50	0,50	51,00
3	29,50	0,50	59,00
4	23,90	0,50	47,80
5	31,70	0,50	63,40
6	24,00	0,50	48,00
7	14,00	0,50	28,00
8	33,50	0,50	67,00
9	14,50	0,50	29,00
10	29,90	0,50	59,80
11	31,80	0,50	63,60
12	23,70	0,50	47,40
13	20,00	0,50	40,00
14	36,00	0,50	72,00
15	17,50	0,50	35,00
16	20,00	0,50	40,00
17	25,00	0,50	50,00
18	30,80	0,50	61,60
19	26,50	0,50	53,00
20	23,50	0,50	47,00
21	18,00	0,50	36,00
22	28,50	0,43	66,28
23	26,70	0,50	53,40
24	17,50	0,50	35,00
25	17,50	0,50	35,00
26	29,60	0,50	59,20
27	16,50	0,50	33,00
28	23,00	0,50	46,00
29	31,80	0,50	63,60
30	19,00	0,50	38,00
31	32,90	0,50	65,80
32	31,50	0,50	63,00
33	20,50	1,00	20,50
34	30,00	0,80	37,50
35	21,00	0,50	42,00
36	28,90	0,50	57,80
37	29,10	0,50	58,20
38	20,00	0,50	40,00
39	24,70	0,90	27,44
40	16,00	0,50	32,00
41	31,70	0,50	63,40
42	27,70	0,50	55,40
43	16,00	0,50	32,00
44	32,70	0,50	65,40
45	16,50	0,50	33,00
46	28,60	0,50	57,20
47	27,50	0,50	55,00
48	31,90	0,51	62,55
49	33,00	0,68	48,53
50	29,10	0,50	58,20
Promedio			49,41
S			13,32
C.V.			26,96



Anexo 3 - Coeficiente de Esbeltez de la Familia 41.

Familia 41			
Partícula N°	Dimensiones (mm)		Coeficiente de esbeltez
	Largo	Espesor	
1	18,50	0,83	22,29
2	23,00	0,40	57,50
3	22,00	1,04	21,15
4	27,10	0,41	66,10
5	23,00	0,33	69,70
6	22,70	0,39	58,21
7	16,00	0,31	51,61
8	21,00	0,26	80,77
9	33,70	0,55	61,27
10	21,00	0,61	34,43
11	22,50	0,52	43,27
12	28,00	0,65	43,08
13	19,00	0,45	42,22
14	30,00	0,61	49,18
15	29,90	0,41	72,93
16	28,50	0,47	60,64
17	25,50	0,54	47,22
18	26,30	0,39	67,44
19	19,60	0,4	49,00
20	24,00	0,48	50,00
21	31,80	0,35	90,86
22	20,00	0,27	74,07
23	22,00	0,32	68,75
24	28,20	0,61	46,23
25	22,50	0,35	64,29
26	21,00	0,34	61,76
27	32,40	0,65	49,85
28	29,70	0,44	67,50
29	20,50	0,59	34,75
30	26,40	0,28	94,29
31	21,50	0,42	51,19
32	28,00	0,36	77,78
33	23,20	0,49	47,35
34	21,80	0,56	38,93
35	32,10	0,3	107,00
36	25,30	0,74	34,19
37	28,30	0,67	42,24
38	25,70	0,58	44,31
39	16,70	0,45	37,11
40	32,30	0,42	76,90
41	23,00	0,50	46,00
42	15,30	0,29	52,76
43	23,00	0,50	46,00
44	23,70	0,61	38,85
45	23,20	0,50	46,40
46	24,00	0,50	48,00
47	32,10	0,55	58,36
48	21,90	0,50	43,80
49	18,00	0,38	47,37
50	31,10	0,50	62,20
Promedio			54,94
S			17,41
C.V.			31,70



Anexo 4 - Coeficiente de Esbeltez de la Familia 65.

Familia 65			
Partícula N°	Dimensiones (mm)		Coeficiente de esbeltez
	Largo	Espesor	
1	31,50	0,50	63,00
2	25,80	0,50	51,60
3	22,50	0,42	53,57
4	29,30	0,31	94,52
5	29,20	0,50	58,40
6	19,00	0,50	38,00
7	24,50	0,58	42,24
8	33,50	0,50	67,00
9	33,00	0,50	66,00
10	25,80	0,50	51,60
11	31,70	0,59	53,73
12	19,00	0,21	90,48
13	24,00	0,47	51,06
14	31,50	0,58	54,31
15	25,80	0,39	66,15
16	31,90	0,51	62,55
17	29,70	0,61	48,69
18	16,00	0,52	30,77
19	21,60	0,65	33,23
20	24,00	0,45	53,33
21	23,00	0,51	45,10
22	29,00	0,21	138,10
23	24,00	0,47	51,06
24	27,00	0,74	36,49
25	32,80	0,39	84,10
26	23,00	0,4	57,50
27	22,30	0,48	46,46
28	23,00	0,35	65,71
29	29,30	0,27	108,52
30	23,00	0,32	71,88
31	21,50	0,81	26,54
32	23,20	0,35	66,29
33	34,00	0,34	100,00
34	22,00	0,65	33,85
35	31,50	0,44	71,59
36	19,00	0,59	32,20
37	28,50	0,28	101,79
38	23,00	0,42	54,76
39	19,50	0,36	54,17
40	19,00	0,49	38,78
41	29,50	0,31	95,16
42	24,00	0,26	92,31
43	31,90	0,55	58,00
44	20,00	0,61	32,79
45	22,00	0,52	42,31
46	28,40	0,45	63,11
47	26,90	0,45	59,78
48	33,90	0,34	99,71
49	27,70	0,65	42,62
50	29,10	0,44	66,14
Promedio			61,34
S			23,55
C.V.			38,39



Anexo 5 - Propiedades Físicas: humedad y peso específico (Normas DIN 50014 y DIN 52361 respectivamente) de la Familia 15.

Familia 15								
Probeta	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso _o (g)	Peso _f (g)	Humedad (%)	Peso Específico (g/cm ³)
	Largo _o (mm)	Ancho _o (mm)	Espesor _o (mm)					
1	49,18	50,35	15,41	38,16	29,52	26,96	9,50	0,77
2	49,21	50,29	15,70	38,85	28,60	26,18	9,24	0,74
3	49,04	50,32	15,40	38,00	26,61	24,42	8,97	0,70
4	50,35	49,17	15,44	38,22	28,15	25,81	9,07	0,74
5	49,18	50,40	15,51	38,44	28,88	26,40	9,39	0,75
6	50,33	48,82	15,46	37,99	26,25	23,91	9,79	0,69
7	48,88	50,34	15,45	38,02	26,65	24,34	9,49	0,70
8	50,35	49,00	15,45	38,12	27,27	24,93	9,39	0,72
9	49,67	50,40	15,61	39,08	30,70	27,86	10,19	0,79
10	49,12	50,32	15,49	38,29	29,93	27,19	10,08	0,78
11	50,30	49,13	15,51	38,33	27,44	25,07	9,45	0,72
12	50,27	49,17	15,71	38,83	28,88	26,32	9,73	0,74
13	49,50	50,90	15,51	39,08	26,68	24,45	9,12	0,68
14	49,98	48,70	15,48	37,68	23,55	21,57	9,18	0,63
15	49,15	50,36	15,55	38,49	28,00	25,51	9,76	0,73
16	50,26	49,16	15,50	38,30	29,60	27,19	8,86	0,77
17	50,32	49,10	15,45	38,17	27,83	25,50	9,14	0,73
18	49,02	50,36	15,36	37,92	27,61	25,18	9,65	0,73
19	48,95	50,40	15,55	38,36	28,55	26,09	9,43	0,74
20	50,02	49,05	15,43	37,86	24,56	22,52	9,06	0,65
21	49,12	50,32	15,40	38,06	27,24	24,89	9,44	0,72
22	50,28	49,17	15,32	37,88	30,33	27,68	9,57	0,80
23	48,79	50,29	15,38	37,74	28,82	26,27	9,71	0,76
24	49,17	50,32	15,49	38,33	29,06	26,60	9,25	0,76
25	50,17	49,23	15,60	38,53	31,46	28,57	10,12	0,82
26	50,36	49,10	15,50	38,33	30,48	27,90	9,25	0,80
27	50,15	49,02	15,57	38,28	27,46	24,93	10,15	0,72
28	49,23	50,34	15,57	38,59	28,96	26,42	9,61	0,75
29	49,10	50,31	15,60	38,54	30,23	27,55	9,73	0,78
30	49,15	50,31	15,63	38,65	29,56	26,93	9,77	0,76
31	50,31	49,17	15,41	38,12	28,77	26,13	10,10	0,75
32	50,25	49,05	15,50	38,20	28,06	25,60	9,61	0,73
Promedio							9,52	0,74
S							0,36	0,04
C.V.							3,8	5,65



Anexo 6 - Propiedades Físicas: humedad y peso específico (Normas DIN 50014 y DIN 52361 respectivamente) de la Familia 30.

Familia 30								
Probeta	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso _o (g)	Peso _f (g)	Humedad (%)	Peso Especifico (g/cm ³)
	Largo _o (mm)	Ancho _o (mm)	Espesor _o (mm)					
1	50,33	49,05	15,57	38,44	27,18	24,71	10,00	0,71
2	49,06	50,35	15,68	38,73	27,90	25,32	10,19	0,72
3	49,05	50,28	16,29	40,17	27,87	25,52	9,21	0,69
4	50,36	49,16	15,50	38,37	27,26	24,68	10,45	0,71
5	49,18	50,38	15,85	39,27	29,94	27,18	10,15	0,76
6	50,03	49,20	15,83	38,97	30,39	27,71	9,67	0,78
7	49,19	50,29	15,80	39,09	28,80	26,15	10,13	0,74
8	49,04	50,35	15,58	38,47	26,25	23,93	9,69	0,68
9	49,07	50,35	15,66	38,69	27,43	25,12	9,20	0,71
10	48,96	50,21	16,25	39,95	25,86	23,83	8,52	0,65
11	49,11	50,38	16,17	40,01	28,09	25,86	8,62	0,70
12	50,40	49,16	15,65	38,78	27,97	25,53	9,56	0,72
13	50,29	49,09	15,99	39,48	27,27	24,91	9,47	0,69
14	50,34	49,09	15,86	39,19	27,07	24,65	9,82	0,69
15	50,05	48,90	16,55	40,51	26,18	24,13	8,50	0,65
16	50,23	49,22	16,27	40,22	26,77	24,64	8,64	0,67
17	49,21	50,37	15,97	39,58	28,43	25,99	9,39	0,72
18	50,44	49,28	15,69	39,00	27,87	25,61	8,82	0,71
19	49,16	50,42	15,85	39,29	27,68	25,36	9,15	0,70
20	48,94	50,83	15,86	39,45	27,34	25,04	9,19	0,69
21	49,10	50,20	16,11	39,71	26,36	24,43	7,90	0,66
22	48,74	50,29	16,25	39,83	26,85	24,76	8,44	0,67
23	49,20	50,20	16,20	40,01	28,97	26,00	11,42	0,72
24	49,19	50,42	15,64	38,79	28,87	25,50	13,22	0,74
25	49,21	50,34	15,60	38,64	28,80	26,23	9,80	0,75
26	49,11	50,36	15,70	38,83	28,24	25,61	10,27	0,73
27	50,33	49,02	15,60	38,49	25,30	23,00	10,00	0,66
28	49,14	50,35	15,85	39,22	29,05	26,36	10,20	0,74
29	50,40	48,65	16,00	39,23	29,16	26,55	9,83	0,74
30	49,01	50,35	15,66	38,64	26,90	24,44	10,07	0,70
31	49,09	50,21	15,70	38,70	27,32	24,86	9,90	0,71
32	48,99	50,27	15,47	38,10	26,27	23,91	9,87	0,69
Promedio							9,67	0,71
S							0,97	0,03
C.V.							10,08	4,52



Anexo 7 - Propiedades Físicas: humedad y peso específico (Normas DIN 50014 y DIN 52361 respectivamente) de la Familia 41.

Familia 41								
Probeta	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso _o (g)	Peso _f (g)	Humedad (%)	Peso Específico (g/cm ³)
	Largo _o (mm)	Ancho _o (mm)	Espesor _o (mm)					
1	50,15	49,10	15,60	38,41	27,74	25,42	9,13	0,72
2	49,28	50,16	16,40	40,54	31,60	28,83	9,61	0,78
3	49,13	50,12	15,78	38,86	27,85	25,47	9,34	0,72
4	49,26	50,38	15,78	39,16	31,91	29,09	9,69	0,81
5	50,25	49,17	15,60	38,54	30,99	28,24	9,74	0,80
6	50,28	49,20	15,61	38,62	29,12	26,62	9,39	0,75
7	50,37	49,11	15,47	38,27	31,38	28,52	10,03	0,82
8	49,10	50,14	15,49	38,13	28,97	26,46	9,49	0,76
9	50,21	49,01	15,70	38,63	29,45	27,03	8,95	0,76
10	50,15	49,11	15,79	38,89	30,99	28,39	9,16	0,80
11	49,07	50,31	15,77	38,93	29,90	27,36	9,28	0,77
12	49,14	50,18	15,41	38,00	31,22	28,55	9,35	0,82
13	49,21	50,23	15,40	38,07	32,82	29,97	9,51	0,86
14	49,28	50,00	15,35	37,82	29,40	26,83	9,58	0,78
15	49,18	50,35	15,53	38,46	30,89	28,14	9,77	0,80
16	49,03	50,16	15,57	38,29	29,42	26,91	9,33	0,77
17	50,90	49,01	15,35	38,29	27,19	24,90	9,20	0,71
18	49,95	49,06	15,47	37,91	27,66	25,36	9,07	0,73
19	50,20	49,16	15,57	38,42	26,30	24,09	9,17	0,68
20	49,01	50,18	15,53	38,19	25,76	23,53	9,48	0,67
21	50,24	49,03	15,45	38,06	27,24	25,00	8,96	0,72
22	49,52	48,98	15,59	37,81	23,72	21,72	9,21	0,63
23	50,16	49,60	15,56	38,71	26,10	23,94	9,02	0,67
24	50,03	49,11	15,47	38,01	25,49	23,39	8,98	0,67
25	49,16	50,32	15,50	38,34	32,95	29,91	10,16	0,86
26	49,18	50,20	15,56	38,42	29,76	27,71	7,40	0,77
27	50,21	49,01	15,45	38,02	26,13	23,94	9,15	0,69
28	50,26	49,02	15,41	37,97	28,59	26,06	9,71	0,75
29	50,15	49,14	15,47	38,12	28,89	26,44	9,27	0,76
30	49,99	48,98	15,41	37,73	27,75	25,32	9,60	0,74
31	50,11	49,10	15,58	38,33	29,98	27,32	9,74	0,78
32	50,33	49,01	15,59	38,46	29,92	27,26	9,76	0,78
Promedio							9,35	0,75
S							0,47	0,06
C.V.							5,05	7,4



Anexo 8 - Propiedades Físicas: humedad y peso específico (Normas DIN 50014 y DIN 52361 respectivamente) de la Familia 65.

Familia 65								
Probeta	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso _o (g)	Peso _f (g)	Humedad (%)	Peso Especifico (g/cm ³)
	Largo _o (mm)	Ancho _o (mm)	Espesor _o (mm)					
1	49,29	50,54	15,57	38,79	22,92	20,78	10,30	0,59
2	49,34	50,53	15,52	38,69	28,17	25,53	10,34	0,73
3	50,45	49,24	15,55	38,63	27,67	25,10	10,24	0,72
4	49,20	50,48	15,71	39,02	27,66	25,11	10,16	0,71
5	49,35	50,51	15,55	38,76	26,82	24,23	10,69	0,69
6	50,36	49,27	15,51	38,48	28,74	25,99	10,58	0,75
7	49,30	50,47	15,51	38,59	26,41	23,86	10,69	0,68
8	50,56	49,35	15,55	38,80	29,83	27,05	10,28	0,77
9	49,38	50,50	15,51	38,68	27,78	25,13	10,55	0,72
10	50,52	49,34	15,57	38,81	29,40	26,57	10,65	0,76
11	50,48	49,22	15,59	38,74	28,19	25,57	10,25	0,73
12	50,55	49,45	15,59	38,97	28,16	25,54	10,26	0,72
13	50,50	49,49	15,55	38,86	29,31	26,56	10,35	0,75
14	50,42	49,48	15,62	38,97	28,67	26,56	7,94	0,74
15	50,50	49,34	15,65	38,99	29,18	26,48	10,20	0,75
16	49,28	50,48	15,56	38,71	30,60	27,82	9,99	0,79
17	50,50	49,33	15,68	39,06	31,39	28,30	10,92	0,80
18	49,23	50,25	15,66	38,74	30,92	28,05	10,23	0,80
19	49,10	50,45	15,68	38,84	27,98	25,32	10,51	0,72
20	49,16	50,41	15,65	38,78	28,26	25,60	10,39	0,73
21	49,15	50,38	15,55	38,50	28,27	25,50	10,86	0,73
22	50,38	39,06	15,68	30,86	29,45	26,54	10,96	0,95
23	50,36	49,28	15,60	38,72	29,18	26,43	10,40	0,75
24	49,05	50,34	15,69	38,74	25,80	23,27	10,87	0,67
25	50,35	49,21	15,60	38,65	25,19	22,74	10,77	0,65
26	50,42	49,16	15,51	38,44	27,02	24,52	10,20	0,70
27	50,30	49,09	15,64	38,62	25,87	23,38	10,65	0,67
28	50,36	49,22	15,63	38,74	29,23	26,81	9,03	0,75
29	50,30	49,07	15,56	38,41	26,86	24,33	10,40	0,70
30	50,47	49,20	15,69	38,96	30,65	27,68	10,73	0,79
31	49,08	50,31	15,47	38,20	27,83	25,18	10,52	0,73
32	49,10	50,33	15,70	38,80	30,48	27,53	10,72	0,79
Promedio							10,36	0,74
S							0,57	0,06
C.V.							5,5	8,2



Anexo 9 – Propiedades Físicas: Hinchamiento en 2 y 24 horas en agua fría (Norma DIN 52364) de la Familia 15.

Familia 15 – Hinchamiento 2 hs				Familia 15 – Hinchamiento 24 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{2hs} (mm)	Hinchamiento 2 horas (%)	Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{24hs} (mm)	Hinchamiento 24 horas (%)
1	15,58	19,27	23,68	1	15,43	21,35	38,37
2	15,49	17,59	13,56	2	15,65	23,52	50,29
3	15,40	16,87	9,55	3	15,60	24,90	59,62
4	15,54	17,17	10,49	4	15,53	24,25	56,15
5	15,43	17,34	12,38	5	15,53	24,51	57,82
6	15,24	16,78	10,10	6	15,55	24,63	58,39
7	15,40	16,86	9,48	7	15,50	24,00	54,84
8	15,43	17,13	11,02	8	15,40	21,58	40,13
9	15,56	17,02	9,38	9	15,41	21,13	37,12
10	15,53	17,60	13,33	10	15,61	24,35	55,99
11	15,53	19,27	24,08	11	15,43	21,35	38,37
12	15,54	17,59	13,19	12	15,65	23,52	50,29
13	15,43	16,87	9,33	13	15,60	24,90	59,62
14	15,52	17,17	10,63	14	15,53	24,25	56,15
15	15,45	17,34	12,23	15	15,53	24,51	57,82
16	15,38	16,78	9,10	16	15,55	24,63	58,39
17	15,42	16,86	9,34	17	15,50	24,00	54,84
18	15,41	17,13	11,16	18	15,40	21,58	40,13
19	15,53	17,02	9,59	19	15,41	21,13	37,12
20	15,51	17,60	13,48	20	15,61	24,35	55,99
21	15,58	19,27	23,68	21	15,43	21,35	38,37
22	15,49	17,59	13,56	22	15,65	23,52	50,29
23	15,40	16,87	9,55	23	15,60	24,90	59,62
24	15,54	17,17	10,49	24	15,53	24,25	56,15
25	15,43	17,34	12,38	25	15,53	24,51	57,82
26	15,24	16,78	10,10	26	15,55	24,63	58,39
27	15,40	16,86	9,48	27	15,50	24,00	54,84
28	15,43	17,13	11,02	28	15,40	21,58	40,13
29	15,56	17,02	9,38	29	15,41	21,13	37,12
30	15,56	17,60	13,11	30	15,61	24,35	55,99
31	15,53	19,27	24,08	31	15,43	21,35	38,37
32	15,53	17,59	13,26	32	15,65	23,52	50,29
33	15,40	16,87	9,55	33	15,60	24,90	59,62
34	15,54	17,17	10,49	34	15,53	24,25	56,15
35	15,43	17,34	12,38	35	15,53	24,51	57,82
36	15,38	16,78	9,10	36	15,55	24,63	58,39
37	15,42	16,86	9,34	37	15,50	24,00	54,84
38	15,41	17,13	11,16	38	15,40	21,58	40,13
39	15,53	17,02	9,59	39	15,41	21,13	37,12
40	15,33	17,60	14,81	40	15,61	24,35	55,99
Promedio			12,29	Promedio			50,87
S			4,23	S			8,55
C.V.			34,38	C.V.			16,80



Anexo 10 – Propiedades Físicas: Hinchamiento en 2 y 24 horas en agua fría (Norma DIN 52364) de la Familia 30.

Familia 30 – Hinchamiento 2 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{2hs} (mm)	Hinchamiento 2 horas (%)
1	15,64	20,59	31,65
2	15,72	19,73	25,51
3	15,58	19,96	28,11
4	15,82	20,39	28,89
5	15,91	19,76	24,20
6	15,65	20,44	30,61
7	16,55	21,06	27,25
8	15,90	20,47	28,74
9	15,75	21,27	35,05
10	15,55	19,61	26,11
11	15,62	20,59	31,82
12	15,74	19,73	25,35
13	15,58	19,96	28,11
14	15,79	20,39	29,13
15	15,90	19,76	24,28
16	15,69	20,44	30,27
17	16,55	21,13	27,67
18	15,88	20,47	28,90
19	15,77	21,27	34,88
20	15,63	19,61	25,46
21	15,64	20,59	31,65
22	15,72	19,73	25,51
23	15,58	19,96	28,11
24	15,83	20,39	28,81
25	15,89	19,76	24,35
26	15,64	20,44	30,69
27	15,65	19,98	27,67
28	15,90	20,47	28,74
29	15,75	21,27	35,05
30	15,55	19,61	26,11
31	15,54	20,59	32,50
32	15,72	19,73	25,51
33	15,58	19,96	28,11
34	15,82	20,39	28,89
35	15,91	19,76	24,20
36	15,62	20,44	30,86
37	15,74	19,08	21,22
38	15,58	20,47	31,39
39	15,79	21,27	34,71
40	15,65	19,61	25,30
Promedio			28,53
S			3,34
C.V.			11,71

Familia 30 – Hinchamiento 24 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{24hs} (mm)	Hinchamiento 24 horas (%)
1	15,77	22,03	39,70
2	15,69	26,56	69,28
3	16,58	37,00	123,16
4	15,52	25,87	66,69
5	15,58	21,87	40,37
6	16,69	39,98	139,54
7	15,98	27,34	71,09
8	16,04	29,16	81,80
9	16,00	29,14	82,13
10	15,82	29,04	83,57
11	15,77	22,03	39,70
12	15,69	26,56	69,28
13	16,58	37,00	123,16
14	15,52	25,87	66,69
15	15,58	21,87	40,37
16	16,69	39,98	139,54
17	15,98	27,34	71,09
18	16,04	29,16	81,80
19	16,00	29,14	82,13
20	15,82	29,04	83,57
21	15,77	22,03	39,70
22	15,69	26,56	69,28
23	16,58	37,00	123,16
24	15,52	25,87	66,69
25	15,58	21,87	40,37
26	16,69	39,98	139,54
27	15,98	27,34	71,09
28	16,04	29,16	81,80
29	16,00	29,14	82,13
30	15,82	29,04	83,57
31	15,77	22,03	39,70
32	15,69	26,56	69,28
33	16,58	37,00	123,16
34	15,52	25,87	66,69
35	15,58	21,87	40,37
36	16,69	39,98	139,54
37	15,98	27,34	71,09
38	16,04	29,16	81,80
39	16,00	29,14	82,13
40	15,82	29,04	83,57
Promedio			79,73
S			30,37
C.V.			38,09



Anexo 11 – Propiedades Físicas: Hinchamiento en 2 y 24 horas en agua fría (Norma DIN 52364) de la Familia 41.

Familia 41 – Hinchamiento 2 hs				Familia 41 – Hinchamiento 24 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{2hs} (mm)	Hinchamiento 2 horas (%)	Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{24hs} (mm)	Hinchamiento 24 horas (%)
1	15,54	17,78	14,41	1	15,64	25,38	62,28
2	15,62	19,41	24,26	2	15,65	25,11	60,45
3	15,78	19,50	23,57	3	15,75	24,74	57,08
4	15,54	19,79	27,35	4	15,70	26,26	67,26
5	15,64	19,05	21,80	5	15,41	26,03	68,92
6	15,56	19,48	25,19	6	15,75	25,23	60,19
7	15,57	19,96	28,20	7	15,65	24,61	57,25
8	15,67	19,40	23,80	8	15,75	25,54	62,16
9	15,43	16,99	10,11	9	15,48	24,78	60,08
10	15,65	19,43	24,15	10	15,40	22,42	45,58
11	15,64	17,78	13,68	11	15,64	25,38	62,28
12	15,60	19,41	24,42	12	15,65	25,11	60,45
13	15,75	19,50	23,81	13	15,75	24,74	57,08
14	15,57	19,79	27,10	14	15,70	26,26	67,26
15	15,62	19,05	21,96	15	15,41	26,03	68,92
16	15,58	19,48	25,03	16	15,75	25,23	60,19
17	15,55	19,96	28,36	17	15,65	24,61	57,25
18	15,67	19,40	23,80	18	15,75	25,54	62,16
19	15,43	16,99	10,11	19	15,48	24,78	60,08
20	15,65	19,43	24,15	20	15,40	22,42	45,58
21	15,54	17,78	14,41	21	15,64	25,38	62,28
22	15,62	19,41	24,26	22	15,65	25,11	60,45
23	15,78	19,50	23,57	23	15,75	24,74	57,08
24	15,54	19,79	27,35	24	15,70	26,26	67,26
25	15,64	19,05	21,80	25	15,41	26,03	68,92
26	15,56	19,48	25,19	26	15,75	25,23	60,19
27	15,57	19,96	28,20	27	15,65	24,61	57,25
28	15,62	19,40	24,20	28	15,75	25,54	62,16
29	15,58	16,99	9,05	29	15,48	24,78	60,08
30	15,55	19,43	24,95	30	15,40	22,42	45,58
31	15,67	17,78	13,47	31	15,64	25,38	62,28
32	15,65	19,41	24,03	32	15,65	25,11	60,45
33	15,64	19,50	24,68	33	15,75	24,74	57,08
34	15,54	19,79	27,35	34	15,70	26,26	67,26
35	15,64	19,05	21,80	35	15,41	26,03	68,92
36	15,56	19,48	25,19	36	15,75	25,23	60,19
37	15,64	19,96	27,62	37	15,65	24,61	57,25
38	15,56	19,40	24,68	38	15,75	25,54	62,16
39	15,57	16,99	9,12	39	15,48	24,78	60,08
40	15,66	19,43	24,07	40	15,40	22,42	45,58
Promedio			22,26	Promedio			60,12
S			5,66	S			4,97
C.V.			25,42	C.V.			34,73



Anexo 12 – Propiedades Físicas: Hinchamiento en 2 y 24 horas en agua fría (Norma DIN 52364) de la Familia 65.

Familia 65 – Hinchamiento 2 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{2hs} (mm)	Hinchamiento 2 horas (%)
1	15,60	17,78	13,97
2	15,65	17,80	13,74
3	15,61	17,95	14,99
4	15,59	17,80	14,18
5	15,66	17,24	10,09
6	15,47	17,26	11,57
7	15,59	19,40	24,44
8	15,59	19,03	22,07
9	15,70	17,13	9,11
10	15,58	17,16	10,14
11	15,71	17,78	13,18
12	15,62	17,80	13,96
13	15,59	17,95	15,14
14	15,62	17,80	13,96
15	15,63	17,24	10,30
16	15,47	17,26	11,57
17	15,60	19,40	24,36
18	15,59	19,03	22,07
19	15,98	17,13	7,20
20	15,61	17,16	9,93
21	15,60	17,78	13,97
22	15,65	17,80	13,74
23	15,61	17,95	14,99
24	15,59	17,80	14,18
25	15,66	17,24	10,09
26	15,47	17,26	11,57
27	15,59	19,40	24,44
28	15,59	19,03	22,07
29	15,70	17,13	9,11
30	15,60	17,16	10,00
31	15,59	17,78	14,05
32	15,98	17,80	11,39
33	15,61	17,95	14,99
34	15,62	17,80	13,96
35	15,63	17,24	10,30
36	15,46	17,26	11,64
37	15,60	19,40	24,36
38	15,59	19,03	22,07
39	15,67	17,13	9,32
40	15,61	17,16	9,93
Promedio			14,30
S			4,97
C.V.			34,73

Familia 65 – Hinchamiento 24 hs			
Probeta	Espesor ₀ (mm)	Espesor _{24hs} (mm)	Hinchamiento 24 horas (%)
1	15,56	24,00	54,24
2	15,63	23,50	50,35
3	15,41	25,01	62,30
4	15,58	22,94	47,24
5	15,44	22,65	46,70
6	15,48	24,65	59,24
7	15,66	22,31	42,46
8	15,58	24,80	59,18
9	15,64	24,91	59,27
10	15,68	22,88	45,92
11	15,56	24,00	54,24
12	15,63	23,50	50,35
13	15,41	25,01	62,30
14	15,58	22,94	47,24
15	15,44	22,65	46,70
16	15,48	24,65	59,24
17	15,66	22,31	42,46
18	15,58	24,80	59,18
19	15,64	24,91	59,27
20	15,68	22,88	45,92
21	15,56	24,00	54,24
22	15,63	23,50	50,35
23	15,41	25,01	62,30
24	15,58	22,94	47,24
25	15,44	22,65	46,70
26	15,48	24,65	59,24
27	15,66	22,31	42,46
28	15,58	24,80	59,18
29	15,64	24,91	59,27
30	15,68	22,88	45,92
31	15,56	24,00	54,24
32	15,63	23,50	50,35
33	15,41	25,01	62,30
34	15,58	22,94	47,24
35	15,44	22,65	46,70
36	15,48	24,65	59,24
37	15,66	22,31	42,46
38	15,58	24,80	59,18
39	15,64	24,91	59,27
40	15,68	22,88	45,92
Promedio			52,69
S			6,75
C.V.			12,82



Anexo 13 - Propiedades Mecánicas: Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de Ruptura (MOR) (Norma DIN 52362) de la Familia 15.

Familia 15 - Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura							
Muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	Carga _{Max} (kg)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1	15,71	49,19	3,00	0,09	7,00	11.418,46	2,51
2	15,61	49,21	4,00	0,18	12,00	7.756,39	4,36
3	15,81	49,20	4,00	0,12	10,50	11.200,88	3,72
4	15,54	48,75	3,40	0,11	11,50	11.038,06	4,25
5	15,78	49,24	5,40	0,51	16,50	3.575,35	5,86
6	15,35	49,70	3,50	0,30	11,00	4.240,33	4,09
7	15,77	48,80	6,70	0,58	20,50	3.943,36	7,36
8	15,65	49,06	3,00	0,16	6,50	6.514,26	2,36
9	15,71	49,19	3,00	0,18	9,50	5.709,23	3,41
10	15,56	49,16	5,60	0,56	16,50	3.527,72	6,04
11	15,58	48,87	4,00	0,26	12,50	5.438,46	4,59
12	15,53	49,07	6,40	0,53	19,00	4.292,48	6,99
13	15,51	49,02	7,10	1,25	21,50	2.028,96	7,94
14	15,50	49,13	5,50	0,66	15,00	2.975,85	5,54
15	15,90	49,90	3,50	0,25	10,00	4.560,06	3,45
16	15,76	49,08	4,50	0,42	13,50	3.643,55	4,82
Promedio						5.741,46	4,83
S						3.046,80	1,66
C.V.						53,07	34,46

* Valores en el Límite de Proporcionalidad



Anexo 14 - Propiedades Mecánicas: Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de Ruptura (MOR) (Norma DIN 52362) de la Familia 30.

Familia 30 - Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura							
Muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	Carga _{Max} (kg)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1	15,86	49,64	4,00	0,28	12,50	4.712,97	4,36
2	15,75	49,50	3,10	0,30	9,50	3.490,82	3,37
3	15,95	49,64	3,00	0,10	9,50	9.730,65	3,28
4	15,77	49,34	4,00	0,43	13,00	3.140,74	4,61
5	15,70	49,60	2,90	0,09	10,00	10.967,54	3,56
6	15,48	49,67	5,00	0,74	16,00	2.395,88	5,86
7	15,78	49,49	5,40	0,73	17,00	2.485,23	6,01
8	15,96	49,62	4,50	0,32	14,00	4.554,51	4,82
9	15,88	49,62	5,10	0,55	18,00	3.048,83	6,27
10	15,84	49,72	5,10	0,62	15,00	2.719,67	5,24
11	15,79	49,69	2,80	0,07	8,50	13.359,15	2,99
12	16,07	49,61	2,50	0,09	7,50	8.814,85	2,55
13	15,84	49,59	2,50	0,09	7,00	9.208,14	2,45
14	15,73	49,55	4,40	0,27	13,00	5.520,69	4,62
15	15,82	49,60	3,50	0,08	13,00	14.554,97	4,56
16	15,67	49,63	4,90	0,38	15,50	4.411,59	5,54
Promedio						6.444,76	4,38
S						4.056,05	1,23
C.V.						62,94	28,11

* Valores en el Límite de Proporcionalidad



Anexo 15 - Propiedades Mecánicas: Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de Ruptura (MOR) (Norma DIN 52362) de la Familia 41.

Familia 41 - Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura							
Muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	Carga _{Max} (kg)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1,00	15,57	49,86	5,60	0,63	15,50	3.085,77	5,59
2,00	15,39	49,87	3,50	0,22	11,50	5.717,74	4,24
3,00	15,72	49,89	4,10	0,22	12,00	6.282,38	4,24
4,00	15,71	49,86	6,10	0,46	17,00	4.481,52	6,02
5,00	15,79	49,85	4,00	0,17	10,50	7.833,10	3,68
6,00	15,68	49,96	3,90	0,25	12,50	5.291,74	4,43
7,00	15,52	49,83	3,80	0,27	7,00	4.936,15	2,54
8,00	15,44	49,71	3,80	0,28	9,00	4.845,90	3,31
9,00	15,54	49,69	5,00	0,32	8,00	5.474,35	2,90
10,00	15,64	49,73	3,50	0,16	11,50	7.511,97	4,12
11,00	15,56	49,93	4,50	0,28	14,50	5.582,11	5,22
12,00	15,64	49,76	4,50	0,30	15,00	5.147,96	5,37
13,00	15,60	49,73	3,50	0,25	5,00	4.844,74	1,80
14,00	15,65	49,18	4,50	0,15	11,50	10.397,38	4,16
15,00	15,40	49,71	3,10	0,09	8,00	12.395,03	2,96
16,00	15,57	49,86	2,90	0,06	22,00	16.778,88	7,93
Promedio						6.912,92	4,28
S						3513,44	1,51
C.V.						50,82	35,33

* Valores en el Límite de Proporcionalidad



Anexo 16 - Propiedades Mecánicas: Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de Ruptura (MOR) (Norma DIN 52362) de la Familia 65.

Familia 65 - Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura							
Muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	Carga _{Max} (kg)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1	15,71	49,41	6,20	0,46	19,00	4.596,47	6,79
2	15,88	49,43	10,00	1,02	26,00	3.235,88	9,08
3	15,64	49,20	6,40	0,84	17,50	2.644,60	6,33
4	15,80	49,53	5,50	0,63	18,00	2.919,56	6,34
5	15,67	49,22	4,00	0,31	13,00	4.451,27	4,68
6	15,61	49,40	4,50	0,54	15,00	2.897,46	5,43
7	15,75	49,36	5,50	0,51	18,00	3.653,51	6,40
8	15,75	49,19	6,50	0,81	20,50	2.728,00	7,32
9	15,74	49,33	6,00	0,67	20,00	3.041,48	7,13
10	15,76	49,39	9,20	1,84	18,00	1.689,65	6,39
11	15,59	49,53	5,50	0,60	18,00	3.191,09	6,51
12	15,55	49,34	4,50	0,28	12,50	5.659,77	4,56
13	15,86	49,46	6,40	0,83	17,50	2.553,13	6,13
14	15,67	49,40	3,00	0,16	10,00	6.444,68	3,59
15	15,56	49,60	6,00	0,66	20,00	3.178,57	7,25
16	15,71	49,12	6,00	0,62	16,00	3.319,76	5,75
Promedio						3.512,80	6,23
S						1215,91	1,28
C.V.						34,61	20,59

* Valores en el Límite de Proporcionalidad