

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concepción del Uruguay

Departamento de Ingeniería Civil

**“Estudio de la influencia de las uniones dentadas sobre el comportamiento mecánico de la madera laminada encolada estructural de Álamo cultivado en el delta del rio Paraná”**

**Proyecto Final**

Autores: Fernández, Facundo Nicolás

Pereira, Julián Eduardo

Ríos, Jonatan

Tutores: Piter, Juan Carlos Jesús

Ramos, María del Rocío

Sosa Zitto, María Alexandra

Cátedra: Torresán, José Humberto

Mardon, Arturo

Marzo 2013

**INDICE GENERAL****CAPITULO 1**

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Etapas y Avance de la Investigación.....</i>	1
1.2. <i>Impacto.....</i>	2
1.3. <i>Objetivos Particulares de este Proyecto.....</i>	2
1.4. <i>Organización de los contenidos.....</i>	3

**CAPITULO 2**

<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Madera.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. La Madera como Material Estructural.....</b>	<b>6</b>
2.2.1. <i>Estructura Interna de la Madera.....</i>	6
2.2.1.1. <i>Descripción Simplificada de la Microestructura.....</i>	7
2.2.1.2. <i>Descripción simplificada de la macroestructura.....</i>	7
<b>2.3. Propiedades físicas de la madera.....</b>	<b>8</b>
2.3.1. <i>Densidad Aparente.....</i>	9
2.3.2. <i>Contenido de agua en la madera.....</i>	9
2.3.3. <i>Contenido de humedad.....</i>	9
2.3.4. <i>Contracción y expansión.....</i>	11
2.3.5. <i>Durabilidad natural.....</i>	11
2.3.6. <i>Resistencia al fuego.....</i>	12
<b>2.4. Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5. Dureza.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6. Especie Utilizada.....</b>	<b>14</b>
2.6.1. <i>Salicáceas.....</i>	14
2.6.2. <i>Cultivo de Salicáceas en la Argentina.....</i>	15
<b>2.7. Álamo Pópulus Nigra.....</b>	<b>17</b>
2.7.1. <i>Características Generales.....</i>	17
<b>2.8. Unión Dentada.....</b>	<b>18</b>
2.8.1. <i>Proceso de Producción.....</i>	19
2.8.1.1. <i>Requisito de los Materiales.....</i>	20
2.8.1.2. <i>Requisitos de Fabricación.....</i>	20
<b>2.9. Madera Laminada Encolada Estructural.....</b>	<b>22</b>
2.9.1. <i>Reseña Histórica.....</i>	22
2.9.2. <i>Propiedades de la madera laminada encolada.....</i>	23
2.9.3. <i>Aplicaciones.....</i>	23
2.9.4. <i>Proceso Típico de Producción de vigas en la actualidad.....</i>	23
2.9.5. <i>Requisitos que Debe Cumplir la Madera como Material.....</i>	25
<b>2.10. Adhesivos.....</b>	<b>25</b>
2.10.1. <i>Clasificación de Adhesivos para uso Estructural.....</i>	25
<b>2.11. Tipos de Adhesivos Estructurales para Madera Laminada.....</b>	<b>26</b>
2.11.1. <i>Adhesivos de Resorcinol-Formaldehído (RF) y Fenol-Resorcinol-Formaldehído (PRF).....</i>	27
2.11.2. <i>Adhesivos de Fenol-Formaldehído (PF), de curado en caliente.....</i>	27
2.11.3. <i>Adhesivos de Fenol-Formaldehído (PF), de curado en frío.....</i>	27
2.11.4. <i>Adhesivos de Urea-Formaldehído (UF).....</i>	27
2.11.5. <i>Adhesivos Urea Melamina_ formaldehído (MFU).....</i>	28
2.11.6. <i>Adhesivos de Poliuretanos.....</i>	28
2.11.7. <i>Adhesivos Epoxi.....</i>	29
2.11.7.1. <i>Poliuretanos de dos componentes (PU).....</i>	29

2.11.7.2. Poliuretano de un componente (PU).....	29
2.11.7.3. Emulsión de Polímeros Isocianatos (EPI).....	29

## CAPITULO 3

<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Materiales.....</b>	<b>31</b>
3.1.1. Muestras.....	31
<b>3.2. Metodos.....</b>	<b>32</b>
3.2.1. Preparación de las Muestras .....	32
3.2.2. Acondicionamiento.....	34
3.2.3. Ensayo .....	35
<b>3.3. Metodos de Cálculo de Valores Característicos .....</b>	<b>36</b>
3.3.1. Análisis de datos de ensayos de tablas.....	36
3.3.2. Densidad Aparente.....	36
3.3.2.1. Corrección por Humedad.....	36
3.3.3. Resistencia a flexión .....	37
3.3.4. Valor Característico de Resistencia a flexión.....	37
3.3.5. Modulo de Elasticidad a Flexion .....	37
3.3.6. Densidad .....	38
3.3.7. Valor Característico de Resistencia a Flexion del 5º percentil.....	38
3.3.8. Modulo de Elasticidad Medio .....	39
3.3.9. Análisis de datos en tablas con unión dentada.....	39
3.3.10. Resistencia a flexión .....	39
3.3.11. Cálculo del Valor característico de Resistencia a Flexión en Tablas con Uniones.....	40
3.3.12. Análisis de Roturas en Uniones Dentadas .....	40
3.3.13. Proyección de Valores Resistentes de Vigas .....	42

## CAPITULO 4

<b>RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1. Resultados de Ensayos de Tablas etapas 1 y 2.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2. Resultados de Ensayos de Tablas con Unión Dentada.....</b>	<b>48</b>
4.2.1. Análisis de Roturas.....	48
<b>4.3. Comparación de Resistencia de Tablas con y sin Unión Dentada.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4. Propiedades Características de Madera Laminada Encolada de Uso Estructural     Calculadas Según Norma EN 1194(1999) Tabla A.1, pag 12.....</b>	<b>52</b>

## CAPITULO 5

<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
-----------------------------	-----------

<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>56</b>
-----------------------------	-----------

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 -DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTACIONES DE ÁLAMO Y SAUCE EN LA ARGENTINA.....	16
FIGURA 2 –CONSUMO DE MADERA DE ÁLAMOS Y SAUCES POR INDUSTRIA EN LA ARGENTINA.....	17
FIGURA 3 -EJEMPLARES DE ÁLAMOS NEGROS .....	18
FIGURA 4 – UNIÓN DENTADA.....	19
FIGURA 5 –PRESENCIA DE NUDOS EN LA ZONA DE LA UNIÓN.....	21
FIGURA 6 –UNIÓN DENTADA EN CARA Y EN CANTO RESPECTIVAMENTE .....	21
FIGURA 7 – LAMINAS VERTICALES Y HORIZONTALES .....	22
FIGURA 8 – ESQUEMA DE PROBETA RECIBIDA .....	31
FIGURA 9 – MUESTRA JUNTO A ELEMENTOS DE MEDICIÓN.....	32
FIGURA 10 – EJES DE REFERENCIA SOBRE PROBETA .....	33
FIGURA 11 – ESQUEMA DE CARGA.....	34
FIGURA 12 – PROBETA .....	34
FIGURA 13 – ENSAYO A FLEXIÓN.....	35
FIGURA 14 – GRAFICO UTILIZADO HALLAR FACTOR PARA LA CORRECCIÓN EN FUNCIÓN DEL NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS MUESTRAS .....	39
FIGURA 15 – ROTURA TIPO S, MUCHA PRESENCIA DE FIBRA.....	41
FIGURA 16 – ROTURA TIPO S, POCA PRESENCIA DE FIBRA .....	41
FIGURA 17 – ROTURA TIPO G.....	41
FIGURA 18 – ROTURA TIPO M .....	42
FIGURA 19 – ROTURA TIPO A .....	42
FIGURA 20 – FACTOR DE CORRECCIÓN EN FUNCIÓN DEL NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS MUESTRAS.....	46
FIGURA 21 – PORCENTAJES CORRESPONDIENTES A LOS DIFERENTES TIPOS DE ROTURAS .....	48
FIGURA 22 – TENSIONES DE FLEXIÓN SEGÚN TIPO DE ROTURA .....	49
FIGURA 23 – PORCENTAJES CORRESPONDIENTES A LOS DIFERENTES TIPOS DE ROTURAS .....	49
FIGURA 24 – TENSIONES DE FLEXIÓN SEGÚN TIPO DE ROTURA .....	50
FIGURA 25 – COMPARACIÓN DE TENSIONES .....	51

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 - TIPOS DE ADHESIVOS PARA USO EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	26
TABLA 2 - APTITUD DE LOS ADHESIVOS ESTRUCTURALES PARA MADERA LAMINADA .....	26
TABLA 3 - PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS DE POLIURETANOS.....	28
TABLA 4 – COEFICIENTE DE VARIACIÓN $k_s$ .....	40
TABLA 5 – PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÁSTICAS DE VIGAS.....	42
TABLA 6 – VALORES DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A FLEXIÓN SIMPLE Y MODULO DE ELASTICIDAD DE TABLA ETAPA 2.....	45
TABLA 7 – VALORES DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A FLEXIÓN SIMPLE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE ETAPA 1 Y 2.....	45
TABLA 8 – PROPIEDADES FÍSICAS, ELÁSTICAS Y MECÁNICAS DE TABLAS.....	46
TABLA 9 – TENSIÓN CORREGIDA POR TAMAÑO DE MUESTRA.....	47
TABLA 10 – VALORES DE MODULO DE ELASTICIDAD Y DENSIDAD, A UTILIZAR.....	47
TABLA 11 - $f_{t,0,k}$ (TRACCIÓN.....	47
TABLA 12 – FLEXIÓN UNIÓN DENTADA.....	48
TABLA 13 – VERIFICACIÓN DE REQUISITO B EN/1194 .....	50
TALA 14 – VALOR CALCULADO DE TRACCIÓN ( $f_{t,0,1,k}$ ).....	51
TABLA 15 – VALORES CARACTERÍSTICOS UTILIZADOS PARA PROYECCIÓN .....	51
TABLA 16 – PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL.....	52
TABLA 17 – VALORES CARACTERÍSTICOS UTILIZADOS PARA PROYECCIÓN .....	52
TABLA 18 – PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL .....	53

---

<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>57</b>
<i>TABLA A4 - DATOS DE ENSAYO FLEXIÓN UNIÓN DENTADA STONEVILLE CLASE 1 .....</i>	<i>58</i>
<i>TABLA A5 - DATOS DE ENSAYO FLEXIÓN UNIÓN DENTADA STONEVILLE CLASE 2 .....</i>	<i>60</i>
<i>TABLA A6 - DATOS DE ENSAYO FLEXIÓN UNIÓN DENTADA AUSTRALIANO CLASE 1 .....</i>	<i>62</i>
<i>TABLA A4 – DATOS DE ENSAYO FLEXIÓN UNIÓN DENTADA AUSTRALIANO CLASE 2 .....</i>	<i>64</i>
<i>TABLA A5 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – MODULO DE ELASTICIDAD - TABLAS AUSTRALIANO CLASE 1 .....</i>	<i>66</i>
<i>TABLA A6 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – MODULO DE ELASTICIDAD - TABLAS AUSTRALIANO CLASE 2 .....</i>	<i>69</i>
<i>TABLA A7 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – MODULO DE ELASTICIDAD - TABLAS STONEVILLE CLASE 1.....</i>	<i>71</i>
<i>TABLA A8 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – MODULO DE ELASTICIDAD - TABLAS STONEVILLE CLASE 2.....</i>	<i>75</i>
<i>TABLA A9 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – MODULO DE ELASTICIDAD -DENSIDAD - TABLAS CLASE 1 - TABLAS CLASE 2 .....</i>	<i>79</i>
<i>TABLA A10 – TABLA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA TENSIÓN CARACTERÍSTICA DE ROTURA A FLEXIÓN – TABLAS CON UNIÓN DENTADA CLASE 1 – TABLAS CON UNIÓN DENTADA CLASE 2 .....</i>	<i>91</i>

# CAPITULO I

## *Introducción*

Existen aspectos fundamentales para lograr el conocimiento y correcta utilización de la madera como material estructural, dentro de los cuales ocupa un lugar destacado la investigación de sus propiedades físico-mecánicas y la existencia de normas de ensayo para la clasificación y diseño estructural. Es indudable además, que el punto de partida es conocer las propiedades de las maderas de utilización local, pues a diferencia de otros materiales, sus propiedades están influidas por numerosos aspectos, tales como la especie, las condiciones del suelo, el clima, entre otros.

Actualmente se encuentra en revisión el proyecto del “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera” CIRSOC 601 el cual define los métodos, disposiciones generales y requisitos para el cálculo y construcción de estructuras de madera en edificaciones y obras civiles con madera aserrada, madera laminada encolada y productos derivados de la madera. Este reglamento brinda valores de diseño de referencia para algunas especies (Eucalyptus y Pino) cultivadas en distintas zonas del país con una clasificación de las mismas por resistencia conforme los requisitos de la norma IRAM 9662 (“Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia” 2006), que derivan de la aplicación conjunta de las normas 9660 y 9661. En este contexto surge la necesidad de algunas empresas foresto-industriales de incorporar otras especies en dicho reglamento.

El presente trabajo aborda dos etapas de la investigación realizada en el Grupo de Estudio de Madera (GEMA) para la incorporación del Álamo *Populus Nigra* en sus dos variedades Stoneville y Australiano, ambas cultivadas en el delta del río Paraná como especie estructural a las normas IRAM y posteriormente al reglamento CIRSOC.

### **1.1. Etapas y Avance de la Investigación**

La investigación desarrollada en el laboratorio de la Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU), de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por el Grupo de Estudios de Maderas (GEMA), tiene por objetivo incorporar la madera de Álamo *Populus Nigra* a las normas de clasificación IRAM 9660, 9661, 9662, este estudio consta de 4 etapas:

Etapa uno: “*Diseño de Método de Clasificación Visual por Resistencia del Álamo Populus Nigra cultivado en el Delta del río Paraná*” realizada y finalizada en el año 2011.

Etapa dos: “*Verificación del Método de clasificación y determinación de la Resistencia de Flexión simple de maderas de Álamo Populus Nigra por Clases*”. Se ejecuto el 50% durante el año 2011y se completo con el presente trabajo.

Etapa tres: “*Estudio de la influencia de las uniones dentadas sobre el comportamiento mecánico de la madera laminada encolada estructural de Álamo cultivado en el delta del rio Paraná*”. Íntegramente desarrollada durante el presente trabajo.

Etapa cuatro: Esta etapa no se ha iniciado aún y consistirá en el ensayo a flexión de vigas laminadas encoladas elaboradas con tablas de Álamo *Populus Nigra*, clasificadas según el método propuesto en Etapa Uno. Con el fin de poder corroborar los valores proyectados en Etapa tres. Actualmente en desarrollo aun no finalizo.

## 1.2. Impacto

La realización de esta investigación tiene como premisas principales posibilitar el acercamiento de los alumnos (Autores del presente trabajo) a las tareas de investigación e integración con diferentes grupos de trabajo, como también contribuir a los estudios científicos de este material y vincular la actividad científica al campo de aplicación de la ingeniería.

## 1.3. Objetivos Particulares de este Proyecto

El presente informe abarca en su totalidad la etapa tres y finaliza la etapa dos de la investigación desarrollada por el Grupo de Estudios de Maderas (GEMA), en la cual se pretende incorporar la madera de Álamo *Populus Nigra* a las normas IRAM y posteriormente al reglamento CIRSOC.

En primer lugar se obtuvieron las propiedades características de resistencia, elasticidad y densidad con los datos de ensayos provenientes de Etapa Dos, con el fin de verificar el método de clasificación visual desarrollado en la Etapa Uno. Posteriormente, con la totalidad de los resultados provenientes de los ensayos de las dos etapas anteriores, se calcularon nuevamente las propiedades antes mencionadas, considerando la incidencia del tamaño de cada muestra.

En segundo lugar se realizaron ensayos de flexión simple sobre láminas de Álamo provistas con una unión dentada en el centro de la misma, elaboradas con tablas clasificadas según el método desarrollado en Etapa Uno, a fin de obtener los valores característicos de resistencia y elasticidad.

Estos resultados se compararon con los valores de resistencia y elasticidad obtenidos en tablas sin unión dentada, con el propósito de poder determinar si la influencia de dicha unión es determinante en la resistencia de las laminas (vigas de madera laminada encolada con fines estructurales), y así poder proyectar las propiedades características.

Los objetivos de la presente investigación son:

- 1- Determinar las propiedades características de resistencia y elasticidad de tablas de Álamo *Populus Nigra* ensayadas en "Etapa Dos".
- 2- Determinar la resistencia a flexión de tablas de Álamo *Populus Nigra* unidas entre sí por medio de uniones dentadas.
- 3- Evaluar si la unión es determinante en la resistencia de la madera laminada encolada para uso estructural.
- 4- Analizar el tipo de rotura de la unión dentada
- 5- Determinar teóricamente las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada, conformada por tablas de la especie Álamo *Populus Nigra*.

---

## 1.4. Organización de los contenidos

La estructura del presente trabajo se compone de 6 capítulos que a continuación se describen brevemente:

Capítulo 1: Introducción, Etapas y Avance de la Investigación Impacto y Objetivos. Comprende el presente capítulo.

Capítulo 2: Marco Teórico. Se describe el estado actual del conocimiento. Se definen conceptos fundamentales y detalla la especie de madera objeto de estudio y la normativa existente.

Capítulo 3: Materiales y Métodos. Se especifican los materiales y métodos utilizados. Por un lado se describe la muestra y se caracterizan los cuerpos de prueba y por otro se describen en detalle la forma en que se realizaron los ensayos, mencionando la normativa aplicada en cada caso, equipamiento y materiales utilizados.

Capítulo 4: Resultados. Se presentan los resultados de los ensayos y se discuten los valores obtenidos.

Capítulo 5: Conclusiones. Se presentan las conclusiones de la presente investigación en función de los objetivos planteados en el Capítulo 1.

Capítulo 6: Bibliografía. Se cita la bibliografía consultada a lo largo de la realización del trabajo.



## CAPITULO II

### *Marco Teórico*

En el siguiente capítulo se provee información general soporte de la investigación. Se presenta la definición de la madera, sus propiedades, una reducida descripción de las principales características y propiedades del Álamo, sus usos y plantaciones en la República Argentina, definición de madera laminada encolada, una breve reseña histórica, sus ventajas y propiedades, su uso estructural, sus principales aplicaciones, proceso de fabricación, principales características de las uniones dentadas, y por último descripción de adhesivos utilizadas en uniones dentadas y madera laminada encolada.

#### **2.1. Madera**

La madera es un material de origen vegetal, orgánico, que inicialmente fue explotado de bosques naturales pero en la actualidad, en un grado cada vez mayor, se obtiene de plantaciones programadas. Esta condición es importante para que el recurso sea utilizado en un sistema sustentable aprovechando sus evidentes ventajas desde el punto de vista del bajo consumo de energía que requiere y los beneficios que ocasiona al medio ambiente.

Desde el punto de vista estructural la madera se presenta como una alternativa a otros materiales clásicos, como lo son, fundamentalmente, el hormigón y el acero. Respecto de estos ofrece ventajas y desventajas, estando, en nuestro país, poco difundidas aquellas cualidades que la hacen un material muy requerido en otros con gran tradición en sus usos. Por ejemplo, su agradable aspecto, sus nobles propiedades resistentes en relación a su peso, la elevada resistencia al fuego, su durabilidad cuando el diseño es el adecuado, son condiciones favorables, las que si no son tenidas en cuenta adecuadamente afectan sus posibilidades de utilización.

En nuestro país existe una gran riqueza forestal compuesta por especies tanto nativas como forestadas. Entre las primeras encontramos una variedad muy grande, siendo algunas reconocidas por sus excelentes propiedades resistentes y de durabilidad, lo que ha motivado su utilización en obras de distintos tipos desde épocas muy remotas.

No obstante estas especies autóctonas al no ser forestadas están en un proceso de extinción, con las consecuencias ecológicas que implica y a su vez con la influencia negativa que tiene para un uso sistemático de este material.

La utilización racional de la madera con fines estructurales tiene múltiples ventajas sobre las cuales es bueno detenerse brevemente a reflexionar. Por una parte se trata de un material renovable si se obtiene de bosques sostenibles, explotados planificadamente. La madera se forma en un proceso que realizan los arboles vivos a partir del dióxido de carbono y el agua, por medio de la energía solar.

Además, la existencia de bosques racionalmente explotados contribuye el equilibrio ecológico y a la disminución de fenómenos no deseados.

La industria de la madera orientada a la construcción es causa de muy poca contaminación al medioambiente, lo cual puede incluso ser mejorado con la optimización de los procesos.

Todos estos aspectos de índole ambientalista, requieren para su concreción de una planificación y raciocinio en la explotación. La realidad nos muestra muchas veces situaciones opuestas que suceden actualmente y que han sucedido en el pasado. Tomando el ejemplo de Europa en los últimos 1000 años ha experimentado un crecimiento importante en la superficie de bosques, lo que viene a revertir una anterior situación de devastación producida por diversas causas. Si nos remitimos a todo el planeta, la superficie forestada se estima en 5 billones de has. , de las cuales casi 3 billones son bosques cerrados. A su vez más de la mitad se encuentra en climas templados y fríos. Se puede concluir señalando que solo 1/3 de los bosques originales del planeta perduran, que durante la última década el ritmo de deforestación alcanza a 17 millones de has., por año y en los bosques tropicales se produce una reducción de alrededor de 1.8% por año.

## **2.2. La Madera como Material Estructural**

Aunque la madera ha sido un material muy abundante en nuestro país, su uso se ha dedicado principalmente a la carpintería para muebles o acabados arquitectónicos, a la exportación, y como combustible en las regiones rurales y semi-urbanas. La madera como material estructural se usa poco e inadecuadamente en muchas de las regiones del país. No hay en el país una cultura ingenieril bien difundida para el uso de la madera como material estructural con buen conocimiento de los métodos y elementos de unión.

### **2.2.1. Estructura Interna de la Madera**

Es un sólido natural de porosidad fina de naturaleza orgánica, compuesta fundamentalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. De acuerdo a la especie se encuentran presentes resinas, terpenos, taninos, minerales y sustancias incrustantes. Debido a la forma alargada de las paredes de las células y su estructura orientada así como la diferencia que presentan por su función, época y forma de crecimiento, es fuertemente heterogénea y anisótropa.

Su obtención proviene de dos categorías de arboles angeospermas y gimnospermas. El primer grupo contiene las maderas latifoliadas y el segundo las coníferas.

Latifoliadas (Hardwoods): Presentan una anatomía más compleja conteniendo un mayor número de tipos de células que cumplen distintas funciones del tipo fisiológicas. Se pueden diferenciar las fibras que proveen la resistencia mecánica constituyendo el tejido de sostén, con paredes celulares más gruesas que las coníferas y longitudes comprendidas entre 1mm y 1,5mm. Dentro de este tejido se distribuye un segundo tipo, los vasos conductores, con diámetros variables entre 0,2mm y 0,5mm, que se extienden verticalmente en el árbol y aparecen con distintas distribuciones según la especie. En los casos en que se distinguen claramente los vasos más grandes en madera temprana, de los pequeños en la madera tardía se les da el nombre de porosidad anular. Si esa distribución no presenta un cambio brusco se denomina porosidad semianular. Sin embargo en la mayoría de las especies existe una distribución irregular de los vasos, recibiendo el nombre de porosidad difusa. Un tercer grupo es el constituido por el tejido de almacenamiento que aparece tanto en sentido longitudinal como radial y su número es mayor que en todas las coníferas.

Coníferas (Softwoods): Muestran una estructura más simple con mayoría de fibras traqueidas, de longitud variable entre 2mm y 5mm y esbeltez muy grande. Este tejido que constituye un porcentaje variable entre el 90 y 95% del total, cumple la función de dar resistencia y a su vez de transportar alimentos. Se organiza en filas radiales, presentando paredes más gruesas y menores diámetros en la madera tardía que en la temprana, originando diferentes densidades, y su longitud coincide con la del eje del árbol. El otro grupo es el constituido por el tejido de reserva que se ocupa de almacenar los elementos nutritivos y se desarrolla fundamentalmente en sentido radial. Los canales de resina son longitudinales y forman cavidades en el tejido. (Materiales 2, La Madera como Material Estructural)

### 2.2.1.1. Descripción Simplificada de la Microestructura

Las características fundamentales de las paredes celulares son comunes a la mayoría de las especies. La sustancia básica que la compone es la celulosa que se presenta en unidades largas que se llaman fibrillas elementales que, a su vez, se unen para formar las micro fibrillas, donde la celulosa está embebida en una matriz de hemicelulosa y revestida por lignina. Al ser accesibles los espacios entre fibrillas el ingreso de moléculas de agua hace que una micro fibrilla se hinche. La capa existente entre las células individuales se denomina laminilla media (LM), que mantiene la cohesión necesaria para formar el tejido y está compuesta fundamentalmente por lignina y pectina. Entre esta y el espacio interior, denominado lumen (L), se ubica la pared celular, que posee partes denominadas pared primaria, secundaria y terciaria.

La primaria (P), se encuentra en contacto con la laminilla media y en la misma las microfibrillas se orientan al azar, siendo su espesor muy delgado. La secundaria se puede descomponer en tres partes, externa (S1), muy delgada, presenta un promedio de inclinación de microfibrillas de entre 50° y 70°. La media (S2), de mayor espesor, con microfibrillas orientadas mayoritariamente en la dirección longitudinal (de 5° a 20°). La interna (S3) no ofrece un orden estricto en su orientación. La pared terciaria se ubica contra el espacio interior de las células.

La estructura de la pared celular puede analizarse también desde el punto de vista de su comportamiento estructural, considerando que la capa media de la pared secundaria (la más importante) puede absorber los esfuerzos de tracción con su orientación interna (las microfibrillas) predominantemente en el sentido longitudinal. A su vez cuando es sometida a esfuerzos de compresión está contenida contra el pandeo por las capas externas e internas que tienen una mayor inclinación que las fibras.

### 2.2.1.2. Descripción simplificada de la macroestructura.

El crecimiento vertical del árbol ocurre en forma continua, en la parte central aparece la medula, que en general tiene menor calidad que el resto de la madera. El crecimiento de las capas periféricas del tronco, responsables del desarrollo horizontal, da lugar a la formación de los anillos anuales de crecimiento. El tejido celular que produce la nueva madera se denomina cambium y está ubicado en la parte externa recubierto por la cáscara (corteza), y es muy delgado. Si se observa la sección transversal del tronco, se puede apreciar que ese desarrollo se produce con dos tipos diferentes de tejidos, que responden respectivamente a la madera generada en primavera (leño temprano), y a la formada en el otoño (leño tardío). Ambos, sumados, constituyen un anillo anual.

La diferencia entre ambos tejidos es más nítida en algunas especies que en otras, pero en general los formados en primavera poseen células de paredes más delgadas y mayor lumen, para facilitar el transporte de sabia. Por el contrario los de otoño tienen células con mayor espesor de paredes y menores huecos, confiriendo a la madera mayor resistencia.

La madera generada en primavera es en general de color más claro y posee menor densidad que la del otoño, precisamente como consecuencia del menor espesor de sus paredes. Si bien es necesario tener en cuenta variables tales como la especie, el clima y las condiciones del suelo, en general existe una relación entre el espesor de los anillos y la densidad. A modo de ejemplo, en la mayoría de las coníferas, el espesor del leño tardío (otoño) se mantiene casi constante y la diferencia se produce en el espesor del leño temprano, por lo cual a un mayor espesor del anillo corresponde una menor densidad. Si se toma el caso de las maderas latifoliadas con porosidad anular, estas, en general se caracterizan por formar anillos de madera de primavera con marcados poros (vasos conductores) y con espesor casi constante, apareciendo la variación en el leño tardío, y, en consecuencia, a mayor espesor de los anillos corresponde mayor densidad. Esta circunstancia no se da cuando la porosidad es difusa. La relación entre el espesor de los anillos anuales y la densidad, explica la causa por la cual, en la mayoría de las normas de clasificación visual, se considera al mencionado espesor como un parámetro de importancia, y en el caso de las coníferas, a menor espesor mayor calidad de madera.

A su vez, en la medida que transcurre la edad, el árbol aumenta la cantidad de anillos, se generan dos grandes zonas en su sección transversal. La parte más joven, la externa, por la cual asciende la sabia desde las raíces hacia el extremo superior se denomina albura. Con el paso del tiempo las células son modificadas, incrustadas con extractivos orgánicos, dando lugar a la formación del duramen en la zona interior. Este es generalmente más denso, menos permeable y más resistente a los ataques de insectos y hongos.

Puede considerarse otra diferencia entre los anillos de crecimiento que se formaron en la época temprana de árbol (5 a 20 años), con aquellos que ocupan la parte exterior de tronco (la suma de todos los anillos constituye el leño). A la madera formada por los primeros se la denomina madera juvenil, en alusión a la edad del árbol cuando ella se constituyó, y al resto se lo denomina madera adulta. Esta apreciación es más importante en las coníferas, en las cuales la madera juvenil presenta fibras más cortas, con espesores de paredes más delgados y una mediana inclinación de las microfibrillas en la capa media de la pared secundaria. Como consecuencia, la madera juvenil se encuentra en este tipo de árboles comprendida fundamentalmente en el duramen, presenta menor resistencia, rigidez y mayores tenores de contracción y expansión que la madera adulta.

*(Raul L Zerbino, Juan C. Piter – 2001 - Materiales 2, La Madera como Material Estructural – CEILP – La Plata)*

### **2.3. Propiedades Físicas de la Madera**

Las propiedades físicas más destacadas para el uso estructural de la madera son la densidad aparente y el contenido de humedad, las que tienen una correlación muy alta con el comportamiento mecánico de la misma. Asimismo, aunque en general con menor entidad, son de consideración las variaciones de dimensiones (contracción y expansión) en función del contenido de humedad. A continuación se hace un

análisis de las dos primeras, por su gran importancia en el comportamiento resistente y elástico de las piezas estructurales, y una reseña a la restante. Al final del apartado se hará una referencia a los aspectos vinculados a la durabilidad natural y la resistencia al fuego.

### 2.3.1. Densidad aparente

Es la masa de la unidad de volumen de la madera y dependerá en gran medida de la humedad. Convencionalmente la densidad aparente de la madera se toma con humedad menor del 30%. Es común que esta densidad aparente esté acompañada por el grado de humedad a la que fue tomada la medición.

Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

Muy pesadas: Densidad aparente mayor de 1Kg/cm<sup>3</sup>

Pesadas: Si está comprendida entre 0.8 y 1 Kg/dm<sup>3</sup>

Medianamente pesadas: Si está comprendida entre 0.5 y 0.8 Kg/dm<sup>3</sup>

Ligeras: Si es menor de 0.5 Kg/dm<sup>3</sup>

### 2.3.2. Contenido de agua en la madera

De la humedad de la madera dependen casi todas las propiedades físicas y mecánicas, la mayor o menor aptitud para su industrialización, su poder calorífico, el rendimiento y la calidad de la celulosa, y su resistencia al ataque de hongos e insectos. La variación del contenido de humedad da lugar a variaciones de volumen en la madera. También en procesos industriales, tales como el secado, coloración e impregnación, como el troceado y curvado de la madera, tiene una gran influencia el porcentaje de humedad.

La característica fundamental de la humedad en la madera es que su valor o porcentaje varía con la humedad relativa del aire o medio ambiente, y estas variaciones periódicas producen a la vez contracciones e hinchamientos, a lo que se denomina "juego de la madera", que puede llegar a afectar su empleo como elemento de construcción en el caso de la madera maciza.

Es de gran importancia económica su efecto sobre el peso específico aparente de la madera, y consecuentemente, en su transporte y almacenamiento.

La influencia preponderante de la humedad en la madera se pone de manifiesto en la industrialización de la misma; se puede observar que para las operaciones de laminado o rebanado se requieren trozas con un elevado porcentaje de humedad. En la fabricación de paneles de fibras, en el proceso de humedad se exige un porcentaje muy alto (100% aprox.), y en el proceso seco un contenido de humedad bajo (8% a 10% aprox.); mientras que para la fabricación de paneles aglomerados, la humedad deberá situarse entre un 6 y un 10%, para evitar los peligros de explosiones que se pueden presentar en el proceso de prensado.

### 2.3.3. Contenido de humedad

Se define como el cociente de la masa de agua contenida, removible físicamente (por secado en estufa), y la masa de la madera seca. Esta última se obtiene por secado a una temperatura de 103±2°C y se considera que se alcanza esa condición cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas con intervalos de 6hs es igual o menor al 5% de la masa de la pieza (**NORMA EUROPEA EN 408**).

$$W = (m_1 - m_2) \cdot \frac{100}{m_2} [\%]$$

Donde:  $m_1$  = masa de la madera antes de secar

$m_2$  = masa de la madera después del secado en estufa.

Con el fin de enfatizar la influencia que tienen el contenido de agua en la madera, es necesario tener en cuenta que se pueden diferenciar tres fracciones de agua en la madera:

-Agua de constitución, aquella que no se puede remover por medios físicos, que representa desde el 0,5% al 1% del total del contenido y forma parte de la pared celular.

-Agua de impregnación, impregnando las paredes de las células, vasos, fibras.

-Agua libre, esta puede ocupar los espacios celulares e intercelulares del leño.

Al ser la madera un material higroscópico, su contenido de humedad depende de la temperatura y la humedad relativa ambiente, e intercambia permanentemente agua con el aire que la rodea. La humedad de equilibrio interno se alcanza luego de un tiempo, variable con las dimensiones de las piezas.

Cuando la madera verde o con un elevado contenido de humedad se seca natural o artificialmente, el agua que primero pierde es el agua libre. Mientras esto sucede, no se producen variaciones volumétricas ni alteraciones de importancia en las propiedades mecánicas. A partir de la ausencia de agua en los espacios celulares e intercelulares, queda presente en las paredes de las fibras el agua de impregnación. El máximo contenido de humedad en las mismas se denomina punto de saturación y tiene un significado muy importante en el uso ingenieril de la madera.

El punto de saturación de las fibras se encuentra en el rango comprendido entre el 25% y el 35% para la mayoría de las especies, por lo que, simplídicamente, se suele tomar para propósitos prácticos el 30%, o el 28%, sin efectuar cálculos más precisos.

La importancia del punto de saturación de las fibras deriva del hecho que a partir del mismo el agua perdida es extraída de las paredes y por lo tanto las modifica, produciendo alteraciones tanto de las dimensiones como del comportamiento resistente y elástico de las piezas. Es decir, en la medida que disminuye el contenido de humedad por debajo del punto de saturación, se produce una reducción de las dimensiones y un aumento en la resistencia y rigidez de la madera. Es imposible que el tenor de humedad alcance el 0% en forma natural, el que puede ser logrado solo en estufa, pero, en climas secos se pueden alcanzar porcentajes de equilibrio inferiores al 10%. El clima denominado normal es el correspondiente a 20°C de temperatura y 65% de humedad relativa ambiente, que origina una humedad de equilibrio de aproximadamente el 12% en la mayoría de las maderas y es tomado como referencia internacionalmente para la determinación de las propiedades de resistencia y rigidez.

El valor de la correlación negativa que une al incremento de humedad con la resistencia y la rigidez, varía en general para cada tipo de esfuerzo, e incluso se manifiesta en el valor que alcanzan las deformaciones diferidas en piezas sometidas a esfuerzos de larga duración, donde tienen una fundamental importancia no solo el contenido de humedad inicial sino las variaciones que experimenta bajo carga.

### 2.3.4. Contracción y expansión

La contracción de una pieza de madera se produce como consecuencia de la pérdida de agua de impregnación, es decir la que está contenida en las paredes celulares y por lo tanto las modifica. De manera que las variaciones en el contenido de agua libre (por encima del punto de saturación de las fibras, aprox. 30%) no afecta sus dimensiones. En el caso inverso, el aumento del tenor de humedad desde cero hasta el punto de saturación produce la expansión.

Como se vio anteriormente, la madera es anisótropa, y sus propiedades pueden analizarse según los ejes longitudinal, radial y transversal. Las mayores variaciones de dimensión se encuentran en la dirección tangencial, que pueden alcanzar hasta un 10%, siguiéndole en importancia la radial con un 6% y en menor medida la longitudinal con un 0,5%. Debe considerarse que estos valores son estimativos y varían, si se tiene en cuenta la heterogeneidad del material.

Las consecuencias que tiene este comportamiento no solo se limita a producir deformaciones no deseadas en piezas individuales y en estructuras compuestas, sino también a ocasionar rajaduras y torceduras durante el proceso de secado, en atención a las ya mencionadas diferentes variaciones según las tres direcciones de análisis. Su conocimiento es especialmente importante cuando se desean lograr tiempos breves en el secado artificial, que es el que se efectúa en la regulación de humedad y temperatura en secaderos, para reducir el contenido de humedad en la madera aserrada por debajo del 20%.

### 2.3.5. Durabilidad natural

Anteriormente se expuso que el contenido de humedad en la madera afecta su comportamiento físico y mecánico de manera fundamental. Es también un factor decisivo en lo referente a la durabilidad natural de este material, que es susceptible de ser atacado biológicamente por hongos o por insectos.

El ataque de hongos se produce cuando el contenido de humedad de la madera se encuentra en un rango aproximado entre el 20% y el 30%, pues necesitan agua y oxígeno para su desarrollo, en cantidades que varían con la especie de que se trate. Su presencia puede disminuir sensiblemente la capacidad mecánica de la madera, y algunos tipos pueden sobrevivir periodos relativamente prolongados con poca humedad, lo que debe ser tenido en cuenta en el diseño. En este sentido, y teniendo en cuenta que el contacto con el agua se puede dar cuando esta se encuentra en estado líquido o en forma de humedad ambiente, cuando se proyecta la estructura se deben considerar aspectos tales como:

- La madera debe ser colocada con un contenido de humedad cercano al de equilibrio en su condición de servicio, evitando que se produzcan fisuras por contracción originadas por variaciones bruscas de ese contenido, las que facilitan el ataque biológico.
- Se debe evitar el contacto de los elementos estructurales con el agua y con el suelo siempre que sea posible.
- Es conveniente procurar que los ambientes sean ventilados, prestando atención a lugares de potencial condensación, y proveer drenajes adecuados.
- Es necesario estudiar cuidadosamente las juntas con mampostería u otros materiales, incluso en zona de uniones mecánicas o constructivas.

El ataque de insectos ocurre generalmente con mayor peligro en zonas templadas y fundamentalmente cálidas. La durabilidad natural depende de la especie y de la zona del tronco de la cual se extrajo la pieza, siendo en general mas durable el duramen que la albura, y por otra parte, varia con el tipo de insectos de que se trate, siendo de especial agresividad las termitas. Cuando existen riesgos de ataques de este tipo es conveniente estudiar un tratamiento preservativo.

### **2.3.6. Resistencia al fuego**

Las estructuras de madera correctamente dimensionadas ofrecen buena seguridad frente al fuego, siendo incluso superior a la de otros materiales de uso común. Cuando una pieza de madera se expone a las llamas, la misma se torna combustible y propaga el fuego, pero luego de un breve tiempo, queda recubierta por una zona exterior carbonizada que cumple una función aislante y protege a la parte interior de la misma. Entre la capa carbonizada y la sana se encuentra una de transición, que por estar parcialmente afectada no desarrolla íntegramente su capacidad mecánica.

En general el fuego presenta dos etapas, la primera es la de expansión y la segunda es de desarrollo pleno. Las propiedades deseables para un material estructural están ligadas a que continúe resistiendo carga y cumpliendo sus funciones en la segunda etapa o fase, lo cual se denomina habitualmente su resistencia al fuego.

La madera produce fuego a temperaturas de su superficie superiores a los 400°C sin el contacto directo con la llama. Si existe exposición directa esa temperatura debe ser del orden de los 300°C para que la misma se encienda, luego de un tiempo. La velocidad a la cual las llamas se propagan por su superficie es razonable para un material combustible, razón por la cual la mayoría de los países permiten su uso sin tratamientos especiales cuando el riesgo de incendio es bajo.

El tiempo de exposición al calor es un factor muy importante, pues puede ocasionar que la madera se encienda para temperaturas mucho más bajas que las mencionadas anteriormente. Por ejemplo, para temperaturas de 100°C el agua contenida comienza a evaporarse, y recién al culminar ese proceso la temperatura puede aumentar. Si la exposición al calor continúa, entre los 150°C y los 200°C se generan gases compuestos por dióxido y monóxido de carbono, siendo este ultimo combustible, lo cual hace que se encienda y aumente la temperatura, continuando el proceso.

A temperaturas del orden de los 500°C se reduce fuertemente la producción de gases y aumenta la porción carbonizada, que tienen una conductividad térmica muy baja (alrededor de 1/6 la de la madera normal, que a su vez es pequeña), lo cual origina un retardo de la descomposición de las capas sanas, que ocurren la zona intermedia de transición, y explica la razón por la cual el interior de las piezas (sección residual) puede estar en condiciones normales luego de un incendio, resistiendo esfuerzo en mejores condiciones que otros materiales.

## **2.4. Propiedades Mecánicas**

Una clasificación de las propiedades mecánicas se puede hacer dividiéndolas en resistentes, elásticas y de dureza.

Las propiedades resistentes que se utilizan en el diseño son, en general, las siguientes:

- Resistencia a flexión
- Resistencia a tracción paralela a las fibras
- Resistencia a tracción perpendicular a las fibras
- Resistencia a compresión paralela a las fibras
- Resistencia a compresión perpendicular a las fibras
- Resistencia al corte o cizalladura

A las que se agregan las siguientes propiedades elásticas (o de rigidez)

- Modulo de elasticidad paralelo a las fibras
- Modulo de elasticidad perpendicular a las fibras
- Modulo de cizalladura

La madera es fuertemente anisótropa, variando sus propiedades según se considere la dirección longitudinal, radial o tangencial. A su vez, es heterogénea y presenta anomalías que afectan su comportamiento mecánico, sobre todo en las piezas de dimensiones estructurales.

Por ejemplo una viga sometida a flexión simple, recibe cuatro tipos de diferentes de esfuerzos, tracción y compresión paralelas a las fibras, corte y compresión perpendicular a las fibras en la zona de los apoyos.

La dirección principal de trabajo mecánico de la madera es la longitudinal, y según ella desarrolla (en general) su mejor respuesta, pero es necesario realizar ensayos según todas las direcciones para tener un conocimiento acabado de su comportamiento y prever, los esfuerzos que la solicitan en distintas situaciones. No obstante, se distinguen normalmente solo dos direcciones, la longitudinal y la transversal, nucleando en esta última a la radial y la tangencial.

El cálculo de los valores resistentes y de rigidez para el diseño ha evolucionando a la par del sector, e incluye no solo las pruebas en laboratorio, sino también, previo a ello, la definición de la población, el diseño, toma y preparación de las muestras, y, posteriormente, el cálculo de los valores característicos. Los primeros reglamentos de diseño estructural estaban enfocados en la utilización de las tensiones admisibles del material, luego surgieron los que contemplan los estados limites. Un ejemplo de los primeros es la norma DIN 1052 (Alemania) y de los segundos el Eurocodigo 5. Durante años han coexistido ambos enfoques, aunque la tendencia actual está orientada al diseño por estados limites.

## 2.5. Dureza

Estas propiedades son de características empíricas. Hay una gran divergencia entre los investigadores al considerar si ambos términos deben incluirse entre las propiedades mecánicas, dado que sus pruebas no proporcionan ninguna explicación física sino son conceptos relativos, ya que no existe un solo patrón para definir las cuantitativamente si no es por intermedio de un acuerdo preestablecido de antemano. Se considera que ambas no son una resistencia en sentido cabal de la expresión, sino más bien un resultado de las diferentes características anatómicas de las propiedades físicas como así mismo de las propiedades mecánicas de la madera; por lo tanto, las determinaciones experimentales de la dureza y de desgaste no son claras, como se presentan en las determinaciones de las propiedades elásticas y las resistencias propiamente dichas de la madera. Normalmente, los valores de dureza de la madera se realizan a través de los denominados ensayos de penetración, que consisten en determinar la resistencia que ofrece una

muestra a la introducción de un cuerpo duro de forma esférica o cilíndrica. Mientras que el desgaste se lleva a cabo a través de diferentes métodos de lijado o de cepillado y aplastamiento sobre la superficie, y donde se determina posteriormente la pérdida de peso o de volumen que experimenta el cuerpo de la madera.

(Dr. Ing. Ftal. Eduardo O. Coronel – 1994 – Fundamentos de las Propiedades Físicas de las Maderas – El Liberal – Santiago del Estero)

## 2.6. Especie utilizada

El álamo *Populus Nigra* se encuentra dentro del grupo de las salicáceas, junto con la familia de los sauces. Es un árbol de hoja caduca que alcanza de 20 a 30 m, aunque en ocasiones puede superar esta altura

### 2.6.1. Salicáceas

Salicáceas, nombre común de una pequeña familia de plantas con flor, formada por unas 435 especies de sauces y álamos, entre ellos el álamo temblón y el chopo americano. Los miembros de esta familia tienen preferencia por los hábitats húmedos, las llanuras inundadas y las riberas fluviales; son especies de crecimiento rápido. La madera se puede aprovechar de muy distintas maneras y las hojas sirven de alimento a numerosos animales. Algunas especies se usan como ornamentales.

La familia tiene dos géneros: sauces y álamos, ambos muy difundidos en el hemisferio norte, con algunos representantes en el sur. Las casi 35 especies de álamos son árboles, mientras que la mayor parte de las casi 400 de sauces son arbustos. Los sauces abundan de forma especial en la tundra ártica, donde adoptan un biotipo bajo y matoso; también crecen en las montañas por encima de la línea de bosque.

Los sauces y los álamos forman las flores masculinas y femeninas en plantas distintas; son muy sencillas, sin sépalos ni pétalos. Se agrupan en inflorescencias apretadas llamadas amentos, que aparecen antes o al mismo tiempo que las hojas nuevas en primavera. Los amentos de los álamos son péndulos y no producen néctar; el agente polinizador es el viento. Por el contrario, los amentos de los sauces son erguidos y producen abundante néctar aromático que atrae a los insectos, en especial a abejas y mariposas, que se encargan de la polinización.

La polinización entomófila de las flores muy simplificadas del sauce constituye una excepción a una norma del reino vegetal, según la cual sólo los grupos botánicos con flores complejas y vistosas recurren a la polinización por insectos. En los primeros días de la primavera, antes de que aparezca la flor, el néctar de los amentos del sauce es casi la única fuente de alimentación para muchos insectos.

El fruto de sauces y álamos es una pequeña cápsula que encierra numerosas semillas envueltas en filamentos algodonosos que actúan como paracaídas y favorecen la dispersión por el viento. Si caen en suelo húmedo, germinan en uno o dos días.

Casi todos los sauces y álamos crecen muy rápido y alcanzan la edad de la floración en unos pocos años; pero su vida es corta, algunos sólo viven 20 años. La madera se usa en muchos casos para obtener pasta de papel. Algunas especies, como el sauce llorón, se cultivan como ornamentales.

Clasificación científica: el nombre científico de la familia de las Salicáceas es Salicaceae; el género representativo es *Salix*; los álamos son especies del género *Populus*. La salguera blanca es la especie *Salix viminalis*, y el sauce llorón, *Salix*

Los 7 aspectos que caracterizan a las Salicáceas.

- Posibilidad de implantación en suelos no aptos para otro tipo de aprovechamiento agrícola.
- Rapidez de crecimiento.  
4-5 años para la producción de biomasa con fines energéticos.  
8-10 años para triturado.  
15-20 para aserrado y laminado.
- Posibilidad de propagarse vegetativamente por medio de "estacas".
- Posibilidad de reiniciar un ciclo forestal luego de realizado el aprovechamiento utilizando los rebrotes que se producen sobre la cepa luego de cortados los troncos (régimen de tallar).
- Posibilidad de realizar sistemas agroforestales con otras especies vegetales y/o con producciones animales.
- Producción de materia prima apta para diversos usos industriales.
- Finalmente, los álamos presentan una buena aptitud para producir híbridos interespecíficos, tanto en forma natural como por mejoramiento genético.

([www.nuevos-libros.com.ar/Enciclopedia-S/63524/Salicaceas.htm](http://www.nuevos-libros.com.ar/Enciclopedia-S/63524/Salicaceas.htm))

### 2.6.2. Cultivo de Salicáceas en la Argentina

El cultivo de álamos y sauces en la Argentina se remonta, como en el resto de las colonias de España, a la época de la Conquista. Probablemente la primera introducción se haya realizado a Mendoza desde Chile a través de los misioneros que trajeron estacas, muy probablemente de *Populus Nigra* cv itálica hacia fines del siglo XVI.

El cultivo de salicáceas comienza a tener relevancia económica en el país a través de su implantación masiva en la zona del Delta del Paraná, donde gana en importancia hasta convertirse en la principal actividad de la región. Es allí donde se concentra una de las mayores superficies del mundo de salicáceas implantadas, con unas 50.000 has, 11.000 de álamo y 39.000 de sauces (figura 1). La madera de álamo tiene un valor muy superior a la de sauce debido a su mayor aptitud industrial (tanto para aserrío como para debobinado) por lo que, en general, se planta sauce donde las condiciones ecológicas no permiten plantar álamos.

Otras áreas de relevancia en la producción de salicáceas (figura 1) son los oasis irrigados de Cuyo y la zona bajo riego del Comahue, en la Norpatagonia. En el primer caso las estadísticas citan la existencia de unas 23.000 has implantadas (los álamos representan más del 95%), de las cuales el 65% se halla bajo la forma de macizos y el resto en cortinas (30%) o trincheras (5%). Para la zona del Comahue se citan 16.300 has forestadas casi en su totalidad con álamos, de las cuales un 20% son macizos y el resto cortinas rompevientos. Tanto en la zona de Cuyo como en la del Comahue la introducción del álamo responde a la necesidad de morigerar las condiciones climáticas hostiles, por ello las primeras plantaciones fueron bajo la forma de cortinas protectoras a lo largo de las acequias de regadío. Con posterioridad, ante la necesidad de madera para procesar, se fue desarrollando en estas zonas una industria de aserrío poco tecnificada para abastecer al sistema frutihortícola de los envases requeridos. También se cultivaron trincheras, las que consisten de varias filas de álamos agrupadas a distancias de 1,5 a 3m y espacios intermedios de 10 a 20m donde se cultivan hortalizas o pasturas (fundamentalmente alfalfa).

Las plantaciones en macizo se realizaron a partir de la implementación de los mecanismos promocionales a nivel nacional, los que por estar orientados a la producción de materia prima para la industria celulósico-papelera generaron mucha madera rolliza de baja calidad para aserrío y debobinado. Lamentablemente, los bajos precios pagados por esta materia prima derivaron en una imagen de la actividad como un negocio poco atractivo, lo que se está revirtiendo lentamente. Los primeros álamos introducidos fueron clones de *Populus nigra* L. (el cv. itálica o "criollo" y el cv. *thayssiana* o "chileno") los que por su porte fastigiado resultaban ideales para la plantación de cortinas rompevientos a lo largo de las acequias y canales de riego. Con posterioridad se introdujo el *Populus alba* cv *pyramidalis* "bolleana" también de porte fastigiado, pero más tolerante a suelos algo pesados y con mayor salinidad que los anteriores. En la década del 60 se introdujeron los "híbridos" *Populus x euramericana* (*P. deltoides* x *P. nigra*), clones italianos provenientes del Delta del Paraná, entre ellos el I-154, I-214, I-488, Conti 12, I-262, etc. y en los últimos años ingresaron las selecciones italianas más recientes como Guardi y Luisa Avanzo. Los euramericanos resultaron muy competitivos por el agua, la luz y los nutrientes (especialmente N y P) con los cultivos frutícolas protegidos y es por ello que están dejando de plantarse en cortinas y su uso quedaría restringido a las plantaciones en macizo. Para las cortinas se está usando *Populus nigra* cv Jean Pourtet (= Blanc de Garonne) de excelente comportamiento, gran cantidad de ramas delgadas con abundante follaje, porte erecto y muy buena dominancia apical.

(Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos-2008 –SAGPyA-alamosenventa.com.ar)

Región	Álamo		Sauce	Total
	Macizo	Cortina		
Delta del Paraná (Bs. As. Y E. R.)	11.000 ha		39.000 ha	50.000 ha
Cuyo	16.000 ha	7.000 ha		23.000 ha
Valle del Río Negro y Neuquén	2.800 ha	13.500 ha		16.300 ha
Buenos Aires - Santa Fe	5.000 ha			5.000 ha
Resto del país	5.700 ha			5.700 ha
<b>Total</b>	<b>40.500 ha</b>	<b>20.500 ha</b>	<b>39.000 ha</b>	<b>100.000 ha</b>

Fuente: Borodowski, 2008. Informe nacional (período 2004-07) de la Comisión Nacional del Álamo de Argentina. 31 págs.

Figura 1 - Distribución de las plantaciones de álamo y sauce en la Argentina.

En la figura 2 se observan los diferentes consumos de madera proveniente de Álamo y Sauce en industrias como el contrachapado, pasta, papel y cartón, madera aserrada y tableros de madera reconstituida.

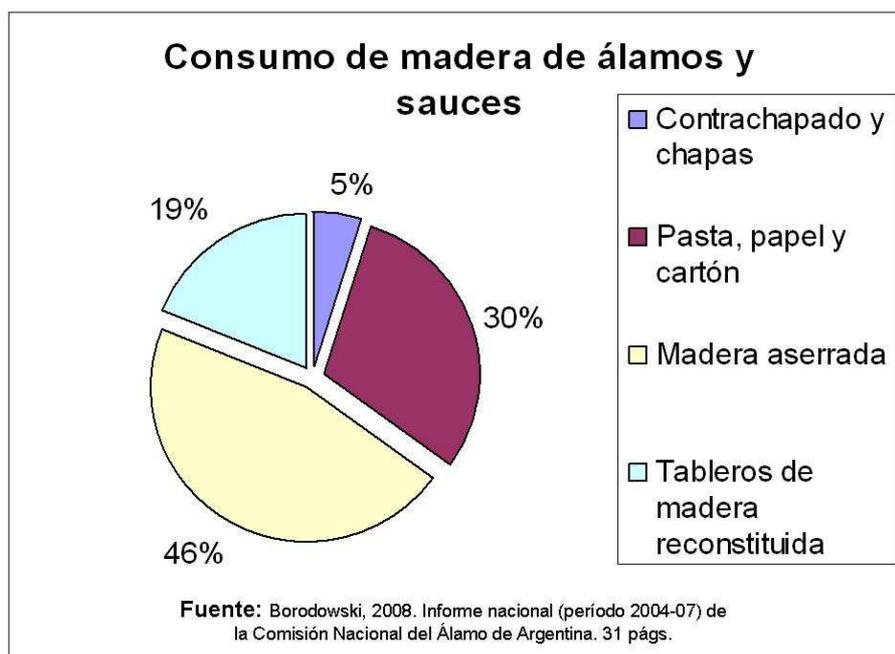


Figura 2 – Consumo de madera de Álamos y Sauces por industria en la Argentina.

## 2.7. Álamo *Populus nigra*

Esta especie junto con las demás salicáceas son las más cultivadas en la región del Delta del Paraná. Es prácticamente indiferente en cuanto a suelos. Requiere humedad en el suelo con renuevo del agua, por lo que suele situarse junto a cursos superficiales o sobre corrientes subterráneas poco profundas.

### 2.7.1. Características Generales

Las especies del género *Populus* son árboles de un solo tronco, deciduos o semiperennes, muchas de ellas se reproducen clonalmente mediante la emisión de brotes de sus raíces gemíferas o el enraizamiento de tallos aéreos. Uno ejemplar de los mismos puede observarse en la figura 3. Las hojas preformadas difieren, a menudo considerablemente de las neoformadas (heterofilia) en forma, textura y lobulado, siendo las primeras de gran importancia taxonómica y tienden a diferenciarse marcadamente entre las secciones.

Los álamos son una especie diclina dioica que, en su mayoría florecen antes de la foliación en primavera, a partir de yemas especializadas que contienen las inflorescencias preformadas.

Las cápsulas y sus semillas maduran más o menos al mismo tiempo que las hojas preformadas coincidiendo con la época de mayor humedad en el suelo. Las semillas son no – durmientes y de escasas reservas por lo que si fracasan en germinar perecen en pocos días. Semillas numerosas, rodeadas de largos pelos algodonosos.

Flores aperiantadas, dispuestas en amentos, protegidas por una bráctea; estambres 2 a numerosos; ovario unilocular, pluriovulado, estigmas 2 a 4. Fruto cápsula 2 a 4 valvar, dehiscente.

Las hojas son simples, alternas, pecioladas con el pecíolo aplanado transversalmente, estipuladas y con pelos glandulosos en los bordes, y a menudo con glándulas en la unión de la lámina; el pecíolo de gran

valor taxonómico. La forma es básicamente oval a triangular con lóbulos de distinta profundidad y nervación palmatopinada.

Hábito de crecimiento rápido y casi ininterrumpido durante la estación favorable; madera clara, liviana, con porosidad difusa lo que hace que los anillos de crecimiento sean difíciles de individualizar con exactitud. La corteza permanece delgada y verde durante varios años.

[www.sinavimo.gov.ar/cultivo/álamo](http://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/álamo)



Figura 3 -Ejemplares de Álamos Negros

## 2.8. Unión Dentada

Se denomina unión dentada a la unión longitudinal de dos maderas macizas, como tablas y tablones, cuyos extremos tienen forma de dientes de igual paso e igual perfil, unidos el uno al otro y adherida entre sí por medio de un adhesivo.

El propósito de esta unión es obtener piezas de madera de mayor longitud a partir de elementos cortos de madera libre de defectos (como nudos, bolsas de resina, cantos muertos, etc.), los cuales pueden provenir de maderas de bajo valor comercial o incluso de material de desecho.

Esta unión nace de la necesidad de mejorar la eficacia de las uniones a tope, usadas en vigas laminadas para unir los tablones extremos.

La unión dentada proporciona un mejor ajuste de las superficies a unir y una mayor área de contacto entre el adhesivo y la madera.

En la figura 4 se pueden observar los principales parámetros de la unión dentada, lo cuales se detallan a continuación:

- Largo de la unión (L): distancia entre la base de la entalladura y la punta del diente, medida a lo largo de su eje.
- Paso del diente (P): distancia entre ejes de dientes.
- bd: Ancho del fondo del diente.
- $\alpha$ : Angulo de flancos.
- hu: Holgura de la unión.

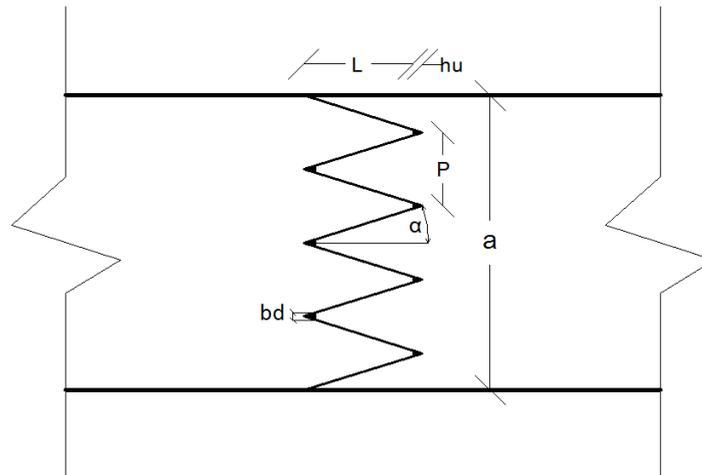
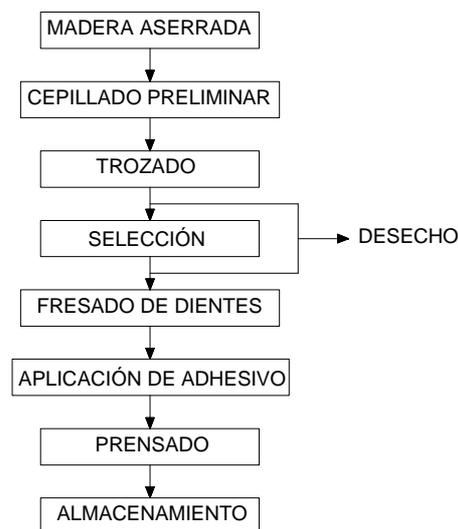


Figura 4 – Unión Dentada

### 2.8.1. Proceso de producción.

En el siguiente flujo-grama se describe el proceso de producción de las maderas con unión dentada



Los requisitos de materiales y fabricación se encuentran en la sección 2.5 Norma Argentina IRAM 9661 descriptos a continuación.

### 2.8.1.1. Requisitos de los materiales

Madera: la madera puede ser una de las siguientes especies → Pino Paraná (*Araucaria Angustifolia*), *Eucalipto grandis* (*Eucalyptusgrandis*) y *Pino Taeda y Elliotti* (*Pinustaedaelliotti*).

Las tablas de *Pino Paraná* deben calificarse de acuerdo con la IRAM 9662-1, las tablas de *Eucalipto grandis* de acuerdo con la IRAM 9662-2y la de *Pino taeda y elliotti* de acuerdo con la IRAM 9662-3.

El contenido de humedad de las tablas debe ser el que se indica en la IRAM 9660-1.

“En el presente trabajo se utilizó, como se mencionó anteriormente, Álamo *Populus Nigra* en sus dos variedades Stoneville y Australiano”, proveniente del Delta del río Paraná.

Adhesivo: se deben utilizar adhesivos que cumplan con los requisitos de la IRAM 450545 para la condición climática correspondiente.

“Para la unión dentada de las tablas utilizadas en este trabajo se utilizó como adhesivo **Urea Melamina-Formaldehido** (MFU)”, ver punto 2.11.5.

### 2.8.1.2. Requisitos de fabricación.

Condiciones generales: los locales de fabricación deben reunir los requisitos de temperatura y humedad relativa ambiente que se indican en la IRAM 9660-1. La cual cita: “la temperatura ambiente en el interior del local de fabricación no debe ser menor que 15 °C, la humedad relativa ambiente debe estar comprendida entre 40% y 75%, pudiendo alcanzarse valores superiores o inferiores solamente en cortos períodos de tiempo, estos factores pueden variar en los casos en que el fabricante del adhesivo lo estipule”. Los equipos deben ser adecuados para dar cumplimiento a los requisitos establecidos en la presente norma.

#### Madera:

-Temperatura: la temperatura de la madera en la zona de la unión, en el momento del ensamble, debe ser igual o mayor que 15° o la que indique el fabricante del adhesivo.

-Humedad: la diferencia en el contenido de humedad entre las dos laminas que se van a unir, determinada según la IRAM 9532, debe ser menor o igual a 5%.

-Presencia de defectos en zona de unión: los nudos de tamaño menor que 6mm pueden despreciarse. El tamaño del nudo se calcula como la distancia entre las tangentes a este (d), que sean paralelas al eje longitudinal de la pieza, la distancia entre la unión dentada y el nudo debe ser igual o mayor que tres veces el tamaño del nudo figura 6.

En la zona de la unión y hasta una distancia de 75mm de ella, la existencia de arista faltante solo es aceptable si no se presenta en más de dos aristas. A su vez, la pérdida de sección transversal debe ser menor o igual al 1% del área de la sección transversal.

No se aceptan fisuras en la zona de la unión, ni desviaciones pronunciadas de las fibras, ni la presencia de defectos que puedan afectar la resistencia y la correcta adhesión del material.

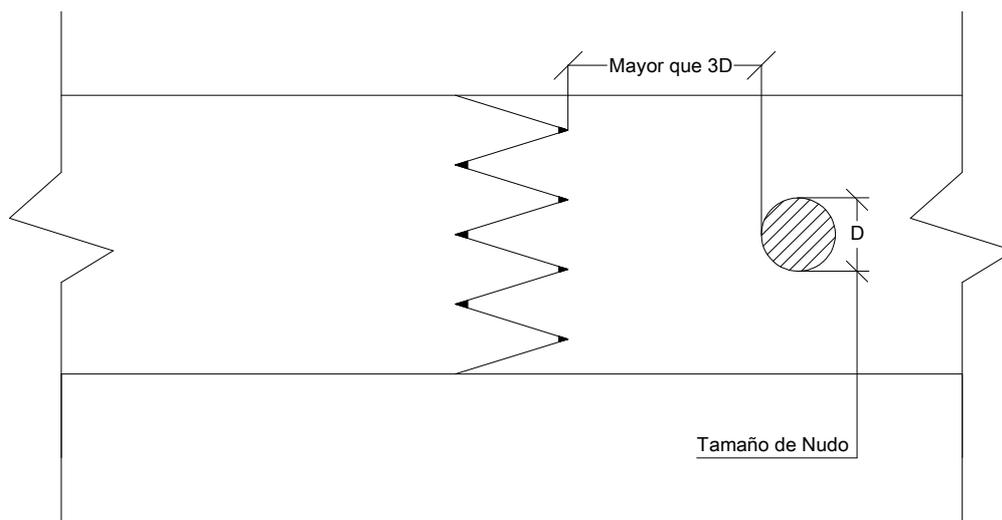


Figura 5 –Presencia de nudos en la zona de la unión.

#### Orientación de la unión dentada

Se contemplan dos tipos de uniones. En un caso los dientes son visibles en las caras de las láminas y en el otro lo son en el canto de estas figura 6.

En el presente trabajo se utilizaron tablas con uniones dentadas en cara.

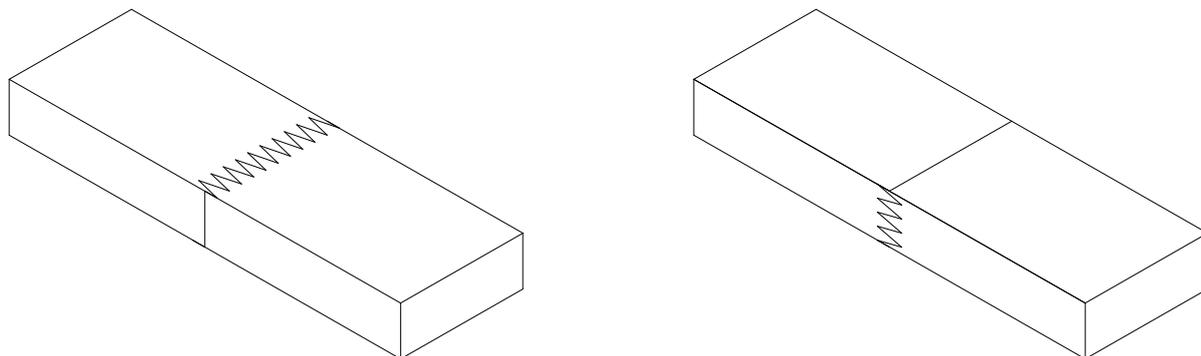


Figura 6 –Unión dentada en cara y en canto respectivamente.

#### Ajuste de la unión

El mecanizado de los dientes debe hacerse con maquinas y herramientas apropiadas, que puedan asegurar un ajuste correcto de la unión dentada.

En todos los casos se deben tomar precauciones para mantener limpias las superficies a encolar.

Para evitar falsos ajustes debidos a un aumento o disminución de la humedad de la madera, se deben realizar las uniones lo antes posible y siempre dentro de las 24h posteriores al mecanizado.

#### Aplicación del adhesivo

El adhesivo se debe aplicar en los dos extremos a unir y en todas las superficies de los dientes. Un indicador de haber cumplido este requisito es la aparición de adhesivo en las cuatro caras de la unión cuando se aplica la presión final.

### Prensado

Para el proceso de unión de la madera con uniones dentadas es suficiente un tiempo de prensado relativamente breve, como mínimo 2 segundos.

La presión adecuada para lograr una óptima resistencia depende fundamentalmente del perfil de los dientes, del tipo de madera, del contenido de humedad y de la sección transversal.

La presión ejercida no debe producir fisuras ni roturas por compresión en la zona de los dientes.

### Endurecimiento

Las uniones dentadas deben mantenerse almacenada, hasta que la madera pueda seguir procesándose sin peligro para la estabilidad de la unión dentada. En caso contrario, se debe esperar el fraguado del adhesivo. Las condiciones ambientales deben ser las mismas que se expresaron en el punto 2.8.3 condiciones generales.

## 2.9. Madera Laminada Encolada Estructural

La Madera Laminada se forma con tablas de madera de dimensiones relativamente pequeñas, comparada con las dimensiones finales del elemento estructural, unidas entre sí, por medio de un adhesivo, formando de esta manera, elementos con las más variadas formas y dimensiones. Cada elemento es obtenido por medio de la unión de piezas de menor longitud.

De acuerdo a la forma de realizar el laminado se distinguen dos tipos: Madera laminada horizontal, en la cual los planos de encolado son perpendiculares a la dimensión mayor de la sección transversal, y la Madera laminada vertical, en la cual los planos de encolado son perpendiculares a la dimensión menor de la sección transversal. Ambas se aprecian en la figura N° 7

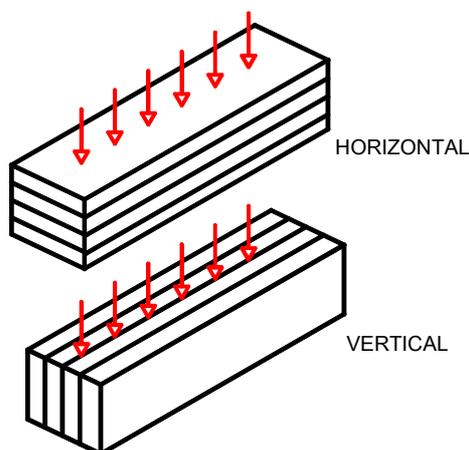


Figura 7 – Laminas verticales y Horizontales

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2002000200007&lng=en&nrm=iso&ignore=.html](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2002000200007&lng=en&nrm=iso&ignore=.html)

### 2.9.1. Reseña Histórica

Hacia principios del siglo XX, y gracias a los progresos de la industria química, Karl Friedrich Otto Hetzer (1846-1911) de Weimar (Alemania) empleando láminas unidas entre sí por colas de tipo caseína logró obtener una sección prácticamente homogénea. En 1906 Hetzer patentó en Alemania la construcción de

piezas curvas de madera laminada, iniciando de esta forma el desarrollo de los arcos en madera. Posteriormente sus patentes se extendieron a varios países europeos. Para 1922 esta técnica se había empleado en: Alemania, Austria, Hungría, Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Inglaterra, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Noruega, Suecia y Suiza. El primer país donde este producto tuvo un espectacular desarrollo fue Suiza. En 1920 existían más de 200 edificios con viga o arcos de tipo Hetzer. ([www.woodsrl.com.ar/nota1.html](http://www.woodsrl.com.ar/nota1.html))

### 2.9.2. Propiedades de la Madera Laminada Encolada

- Gran capacidad de carga: su reducido peso propio y su elevada resistencia (más ligero que el acero para la misma capacidad de carga) permiten superar grandes luces con estructuras esbeltas.
- Elevada estabilidad dimensional: gracias a su proceso de producción, la madera laminada encolada ofrece una gran estabilidad dimensional y un mínimo de grietas.
- Gran variedad de formatos: la madera laminada encolada puede producirse en casi cualquier formato y dimensión. Acabado de alta calidad: aspecto uniforme y excelente.
- Elevada resistencia al fuego: el valor de cálculo de la merma por combustión de la madera es de tan sólo 0,7 mm/min y, en comparación con otros materiales de construcción, el comportamiento de combustión es seguro y previsible (la capacidad de carga es más estable durante la exposición al fuego que en el caso de construcción metálica).
- Seguridad sísmica: la madera laminada encolada permite realizar estructuras con una elevada seguridad sísmica.

([www.revista-mm.com/ediciones/rev70/arquitectura\\_madera.pdf](http://www.revista-mm.com/ediciones/rev70/arquitectura_madera.pdf))

### 2.9.3. Aplicaciones

Dentro de las principales aplicaciones de la madera laminada encolada para uso estructural podemos mencionar su utilización para cubrir grandes luces libres (30 a 70 m) en edificios de uso público, comercial, deportivo, etc. La ejecución de estructuras de cubierta de peso propio reducido. Ideales para cuando se pretende un aspecto estético especial. Son aptas en aquellos casos donde existe la necesidad de proyectar estructuras con elevada estabilidad al fuego y cuando se requiere una estructura con resistencia a los agentes químicos agresivos.

También son una buena solución para estructuras en situaciones de difícil mantenimiento.

### 2.9.4. Proceso Típico de Producción de Vigas en la Actualidad

#### Madera:

Mundialmente se utilizan las coníferas, aunque también se pueden utilizar las frondosas. Las especies más habituales son: Abeto, Pino silvestre, Pino insignis, Pino gallego, Pino Oregón, Alerce), Hem-Fir, Spruce-Pine-Fir.

Adhesivos:

- Adhesivos de resorcina (tienen gran resistencia a la humedad, buen comportamiento al fuego y pueden utilizarse al exterior), adhesivos de urea (pueden utilizarse en interiores y no son adecuados frente al calor seco), adhesivos de acetato (se emplean a veces en las uniones dentadas de empalmes de láminas, siempre que no estén expuestos al exterior).

Preparación de las tablas: Tablas con un espesor máximo de 50mm y longitudes desde 1,5 a 5m son tomadas desde un depósito al aire libre y son horneadas hasta quedar secas. Una de las razones por la cual se hace esto es que el adhesivo utilizado requiere de un contenido máximo de humedad en la madera igual a 15%. Luego de secar las tablas estas son cepilladas y clasificadas por resistencia. El contenido de humedad es controlado, el final de las tablas es cortado para la preparación de la unión dentada y las tablas son apiladas.

Unión dentada: Las tablas son unidas longitudinalmente por las uniones dentadas para producir una laminación continua. El perfil unido es cortado al final de la tabla con la forma establecida y el adhesivo es aplicado. Luego las tablas son presionadas conjuntamente durante 2 segundos. Como resultado de la fricción entre las uniones dentadas las tablas se mantienen juntas durante su manejo y almacenamiento, durante un lapso mínimo de 8 horas para asegurar el curado del adhesivo antes de la posterior laminación.

Pegado de láminas: Las láminas son cepilladas para remover la rugosidad de la superficie y los desniveles en la unión dentada. El adhesivo se aplica generalmente con una cortina de pegamento. Para maderas encoladas horizontales, las laminas se ubican una sobre la otra y presionadas juntas. El pegamento se aplica con una presión que varía entre 0,4 y 1,2N/mm<sup>2</sup>. Se requieren valores mayores para miembros curvos o laminas de mayor dureza. Las guías y aparatos de presión permiten desarrollar vigas rectas y curvas. Las líneas de presión del pegado se mantienen bajo presión en un clima controlado a una temperatura de 20°C y una humedad relativa de 65% durante 6 horas aproximadamente antes de que las abrazaderas sean desatadas y las vigas almacenadas listas para las terminaciones.

Terminado: Las vigas son cepilladas en ambas caras para remover el adhesivo sobrante de la unión y asegurar una superficie lisa. Finalmente las vigas son terminadas, estas operaciones incluyen varios tratamientos y trabajos de preparación que van desde realizar las perforaciones para las conexiones hasta el revestimiento. A veces la madera laminada encolada es envuelta con alguna protección para evitar los daños y la suciedad.

Preparación de los adhesivos: Aunque la resina y el endurecedor son bombeados directamente de los tanques de almacenamiento y mezclados automáticamente durante la aplicación, se quiere de una habitación separada donde realizar el mezclado. También debería existir un lugar apropiado para el acopio de resina y endurecedor así como uno destinado a equipos de limpieza.

(Colin F. 1995 – Glue laminated timber-Production and strength classes – EN: Timber Engineering STEP 1 A8/1; A8/8 – Centrum Hout, The Netherlands)

## 2.9.5. Requisitos que debe cumplir la madera como material

En Argentina se encuentran estudiadas las siguientes especies:

- Pino Paraná (*Araucaria Angustifolia*)
- Eucalipto Grandis (*Eucalyptus Grandis*)
- Pino Taeda o Elliotti (*Pinus Taeda o Elliottii*)

Las tablas de Pino Paraná deben clasificarse de acuerdo a la norma IRAM 9662-1, las de *Eucalipto grandis* de acuerdo a la norma IRAM 9662-2 y las de Pino *Taeda o Elliotti* de acuerdo con la norma IRAM 9662-3.

En el presente estudio se utilizaron tablas de Álamo *Populus Nigra* de variedades Australiano y Stoneville, clase uno y dos, clasificadas de acuerdo al programa experimental realizado por el grupo GEMA de la UTN, FRCU llamado "Diseño de Método de Clasificación Visual por Resistencia del Álamo *Populus Nigra* cultivado en el Delta del río Paraná".

## 2.10. Adhesivos

Se puede definir adhesivo como aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Se denominan sustratos o adherentes a los materiales que se pretenden unir por medio del adhesivo. El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interface adhesivo/adherente recibe el nombre de adhesión.

Las uniones adhesivas presentan las siguientes características con respecto a otros métodos de ensamblaje de materiales:

- Distribución uniforme de tensiones.
- Rigidización de las uniones.
- No se produce distorsión del sustrato.
- Uniones selladas.
- Aislamiento.
- Simplicidad en la unión, ya que se carece de componentes mecánicos y complejos.
- Da una buena estética al producto. En el caso de que se desee ocultar el medio de unión, la unión empleando adhesivos es discreta.
- Se pueden lograr uniones híbridas en algunos casos, para aumentar la resistencia.

Los adhesivos son puentes entre las superficies de los sustratos, tanto si son del mismo, como si son de distinto material. El mecanismo de unión depende de:

- La fuerza de unión del adhesivo al sustrato o adhesión.
- La fuerza interna del adhesivo o cohesión.

### 2.10.1. Clasificación de Adhesivos para uso Estructural

La clasificación de adhesivos para uso estructural está reglamentada por la norma IRAM 45055. Esta norma clasifica y enuncia los requisitos de comportamiento para adhesivos para estructuras de madera bajo

carga. Se pueden aplicar a los adhesivos de policondensación de tipos fenólicos y aminoplásticos solamente. Estos adhesivos se clasifican según su uso estructural en:

Tipo I: adhesivos sometidos a más 50°C, que corresponden a una exposición prolongada a altas temperaturas. También se contemplan adhesivos expuestos a menos de 50°C, que tienen una equivalencia climática de humedad relativa mayor que el 85%, a 20°C, que corresponden a una exposición completa a condiciones climáticas externas.

Tipo II: adhesivos, que pueden ser utilizados en edificios con calefacción y ventilación, y exterior protegido de la intemperie. Con corta exposición a la intemperie, no expuestos prolongadamente a la intemperie ni a temperaturas superiores a 50°C.

Temperatura	Equivalencia climática <sup>1)</sup>	Ejemplos	Tipo de adhesivo
> 50 °C	No especificada	Exposición prolongada a altas temperaturas	I
≤ 50 °C	Una humedad relativa mayor que el 85 %, a 20 °C	Exposición completa a condiciones climáticas externas	I
	Una humedad relativa menor o igual al 85 %, a 20 °C	Edificios con calefacción y ventilación. Protegidos del clima exterior. Periodos cortos de exposición a condiciones climáticas externas	II

<sup>1)</sup> 85 % de humedad relativa a 20 °C provocará un contenido de humedad de aproximadamente 18 %.

Tabla 1 - Tipos de adhesivos para uso en diferentes condiciones climáticas

Fte: Norma IRAM 45055.

## 2.11. Tipos de Adhesivos Estructurales para Madera Laminada

Existe una gran variedad de adhesivos estructurales empleados en la industria de la construcción que son aptos para realizar obras con madera laminada encolada estructural. Los adhesivos empleados para este fin son en general adhesivos reactivos (resinas de fenol, resinas de poliuretano, resinas epoxídicas), los cuales los hay de uno y de dos componentes; los primeros se curan por reaccionar químicamente por acción de: temperatura, humedad o calor; mientras que los de dos componentes al entrar en contacto las dos resinas.

En la

Tabla 2 se describe la aptitud de los distintos adhesivos estructurales para madera laminada más usados.

Medio ambiente	RF/PRF	PF(caliente)	MUF	UF	Caseína
Exterior	+	+	(+)	X	X
> 50°C	+	+	(+)	X	X
> 85 % H.R.	+	+	(+)	X	X
Marino	+	+	X	X	X
< 50 °C, < 85 % H.R.	+	+	+	+	+
Línea de encolado	Oscuro	Oscuro	Claro	Claro	Claro
Norma UNE-EN	301-1	-	301 - I/II	301 - II	-

Tabla 2 - Aptitud de los adhesivos estructurales para madera laminada.

+ Adecuado; X No adecuado; (+) Algunas son adecuadas; - No cubiertas por normas europeas UNE-EN.

RF: Resorcinol - Formaldehído

PRF: Fenol - Resorcinol - Formaldehído

PF (caliente): Adhesivos de Fenol - Formaldehído, de curado en caliente.

MUF: Adhesivo de Urea Melamina - Formaldehído

UF: Adhesivo de Urea - Formaldehído

### **2.11.1. Adhesivos de Resorcinol-Formaldehído (RF) y Fenol-Resorcinol-Formaldehído (PRF)**

Las resorcinas puras se preparan haciendo reaccionar resorcinol (un compuesto fenólico) con formaldehído. El proceso se lleva a cabo con un déficit de formaldehído y la reacción se detiene cuando este se consume. Esto completa la cura de la resina a un estado de infusión. Este tipo de adhesivo tiene la finalidad de tapar hendiduras o huecos. El curado puede llevarse a cabo a temperatura ambiente (15-20°C) o a temperaturas elevadas.

Los miembros pegados con estos adhesivos no se delaminan en un incendio. Se logran líneas de pegado de espesores de hasta aproximadamente 1mm con adhesivos normales y hasta 2mm, con tipos especiales de llenado de espacio. Las líneas de pegado son neutras, por lo tanto no dañan la madera o corroen los metales. Se utilizan en: vigas laminadas y arcos, uniones dentadas de los elementos estructurales, vigas doble "te", vigas cajón, etc., tanto en interiores como en exteriores.

### **2.11.2. Adhesivos de Fenol-Formaldehído (PF), de curado en caliente**

Estos adhesivos se preparan haciendo reaccionar fenol y formaldehído bajo condiciones alcalinas, a una temperatura elevada. La reacción se detiene por el enfriamiento. Se cura por la aplicación de calor (110-140°C). Las líneas de pegado son muy oscuras.

Los adhesivos PF son típicamente prensados en caliente, y se utilizan en: la madera estructural, madera contrachapada y en tableros de fibra. El curado por microondas se utiliza para algunos productos, como en vigas enchapadas laminadas (LVL).

### **2.11.3. Adhesivos de Fenol-Formaldehído (PF), de curado en frío**

Cuando se quiere lograr una cura PF a temperatura ambiente, esta debe ser ácida. Esto no es posible en una solución acuosa porque el ácido podría precipitar la resina. El adhesivo es, por tanto, disuelto en alcohol y el curado se produce mediante la adición de un ácido fuerte.

Los adhesivos PF, por lo tanto, no deben ser utilizados con fines estructurales.

### **2.11.4. Adhesivos de Urea-Formaldehído (UF)**

Estos adhesivos se preparan haciendo reaccionar urea con el formaldehído. La reacción se acelera por el ácido y el calor. En un escenario adecuado la reacción es detenida por enfriamiento y neutralización. Se

inicia de nuevo mediante la adición de un endurecedor ácido y para algunos tipos, por el agregado de calor. Se pueden suministrar en forma de líquidos o polvos (a veces con el endurecedor añadido) y se puede curar a cualquier temperatura superior o igual a 10°C. La velocidad de curado puede ser adaptada para el proceso. También son adecuados para el curado por radio frecuencia.

Los tipos de prensado en caliente se utilizan para madera contrachapada y tableros con fines no estructurales. Sólo algunos adhesivos especiales UF son adecuados para uso estructural. No deben ser demasiado ácidos, y deben tener carga añadida para hacerlos llenar espacios en blanco (de hasta 1mm), de lo contrario las líneas de pegado se agrietan por su cuenta. Incluso estos adhesivos tienen limitaciones al calor y resistencia al agua. Se descomponen con bastante rapidez por la producción combinada de calor y alta humedad relativa. En caso de incendio, tenderán a despegarse las líneas de adhesivo. Se utilizan en la producción de madera laminada y uniones dentadas para la construcción en interiores.

### 2.11.5. Adhesivos Urea Melamina\_formaldehído (MFU)

Estos adhesivos están estrechamente relacionados con los adhesivos UF, pero parte de la urea se sustituye por melamina para aumentar la resistencia al agua y a la intemperie. Algunos de ellos incluso contienen resorcinol para el mismo propósito. Los adhesivos MUF se suministran como adhesivos para prensado en caliente para madera, contrachapado, etc., con resistencia intermedia al agua, y se usan para la madera laminada y uniones dentadas.

Son clasificados como resistentes a la intemperie. No son aplicables para usos marítimos. Sin embargo, MUF son preferidos a menudo por razones económicas, y debido a su color más claro.

### 2.11.6. Adhesivos de Poliuretanos

La siguiente información fue extraída de Hoffmeyer, P. (1995).

En los nuevos adhesivos estructurales para madera, tanto epoxis, poliuretanos y emulsión de polímeros isocianatos se logran muy buenas condiciones de resistencia y durabilidad. Algunos de ellos pueden ser adecuados como adhesivos estructurales de madera y algunos definitivamente no.

En la

Tabla 3 se muestran las propiedades de los adhesivos de Poliuretanos.

Propiedad	Epoxi	PU de dos componentes	PU de un componente	EPI
Resistencia al clima	*	*	*	*
Resistencia al calor	*	*	*	*
Resistencia al agua	*	*	*	*
Deslizamiento	*	*	*	*
Dureza	+	+	+	+
Llenado de huecos	+	+	x	x
Adhesión	*	+	+	0
Facilidad de uso	x	x	x	+
Tiempo de curado	0	0	0	+

Tabla 3 - Propiedades de los adhesivos de Poliuretanos.

+ Bueno, probablemente mejor que los adhesivos actuales, 0 comparables con los adhesivos actuales, x inferiores a los adhesivos actuales, \* comportamiento incierto, grandes variaciones entre distintas marcas.

PU: Poliuretano.

EPI: Emulsión de polímeros isocianatos.

### 2.11.7. Adhesivos Epoxi

Los Adhesivos epoxi constan de dos partes adhesivas:

- La primera parte es una resina epoxi, cuyas moléculas están terminados con grupos epoxi.
- La segunda parte, por lo general, consiste de amina bifuncional.

Algunos adhesivos epoxi son sin duda adecuados para el encolado de madera. Tienen buenas propiedades de llenado de espacios. Sin embargo, debido a su alto precio y sus propiedades de aplicación sólo se han utilizado en casos especiales para la unión de la madera, por ejemplo:

- La construcción de barcos de madera.
- La reparación de vigas de madera laminada con problemas de laminación.
- Unión de metales, plásticos o goma con la madera.
- La reparación de la madera en descomposición o cualquier otro daño ("casting"),
- Pegado en los pernos.

Los epoxis tienen muy buena resistencia y propiedades de durabilidad.

#### 2.11.7.1. Poliuretanos de dos componentes (PU)

En estos adhesivos la primera parte consta de isocianato de bi o trifuncionales y la segunda parte de alcoholes bi o trifuncionales. Ambas partes están libres de disolventes. Cuando se mezclan reaccionan para formar una resina de poliuretano. Estos adhesivos tienen una buena resistencia y durabilidad, pero la experiencia parece indicar que no son resistentes a la intemperie. En cuanto a la vinculación de madera que se han utilizado principalmente para propósitos especiales, por ejemplo: -Unión de aluminio a la madera contrachapada en las construcciones de sándwich.

- Placas de acero corrugado con madera contrachapada para los elementos del techo de carga.
- Pegado en los pernos.

#### 2.11.7.2. Poliuretano de un componente (PU)

En estos adhesivos el componente reactivo es un isocianato. Cuando se aplica a la madera, parte de ella reacciona con la humedad y se convierte en amina, esta reacciona con el isocianato restante para formar una resina de poli-urea. Durante el curado se forma dióxido de carbono y esto produce que la espuma adhesiva de la línea de encolado sea gruesa. No sirven para llenar espacios. La aplicación del poliuretano es más simple en términos de control, es un adhesivo menos restrictivo a las temperaturas y a la humedad ambiental. Además está libre de elementos contaminantes.

#### 2.11.7.3. Emulsión de Polímeros Isocianatos (EPI)

Viene en dos componentes. Cuando se lo mezcla en las proporciones indicadas se constituye en uno de los pegamentos más eficientes existentes. Mantiene su estabilidad dimensional en el material pegado cuando el

contenido de humedad cambia. EPI está clasificado como un adhesivo adecuado para resistir la humedad. Los productos ensamblados con EPI no se abren cuando son expuestos a la humedad.

Estos se forman por dos componentes adhesivos:

- Parte I: Emulsión de polímeros, por ejemplo, acetato de polivinilo (PVAc).
- Parte II: isocianato emulsionado.

## CAPITULO III

### ***Materiales y Métodos***

En este Capítulo se describen los materiales y métodos de ensayo empleados en la investigación, las técnicas utilizadas para el procesamiento de datos y obtención de valores característicos.

#### **3.1. Materiales**

Las probetas de uniones a ensayar fueron provistas cumpliendo con las condiciones de representatividad de la población estudiada, tanto desde el punto de vista estadístico del muestreo, como también los procesos normales de producción del material y dimensiones del mismo.

##### **3.1.1. Muestras**

Las muestras de tablas con *unión dentada en cara* fueron proporcionadas por una empresa foresto-industrial y se recibieron en el laboratorio, separadas por variedad, Australiano y Stoneville y cada una según dos clases, de acuerdo al método de clasificación de tablas desarrollado en la Etapa Uno. El adhesivo utilizado para conformar la unión se conoce como *Urea Formaldehido con Melanina*, es el mismo que se utiliza para el encolado de las láminas en la fabricación de vigas que realiza la empresa que proporciono las muestras.

Se verifico que la clasificación con la que llegaron las muestras fuera correcta y se identifico cada una con un número de muestra. Se denominaron con la primera letra de su variedad y con un número, para Clase 1 la numeración podía estar comprendida entre 1 y 99, y para Clase 2 comprendida desde 100 a 200, por ejemplo una tabla Clase 1, Stoneville o Australiano se denominó S45 o A33 y una Clase 2, S114 o A120.

A continuación se detallan las cantidades exactas correspondientes a cada clase:

**Stoneville**; Clase 1 = 64; Clase 2 = 50

**Australiano**; Clase 1 = 62; Clase 2 = 30

Las probetas se recibieron con las medidas estándar con las que salen de la línea de uniones, las cuales se presentan en la figura 8 junto con sus características principales; longitud de la probeta, ancho de la misma, espesores y paso del diente:

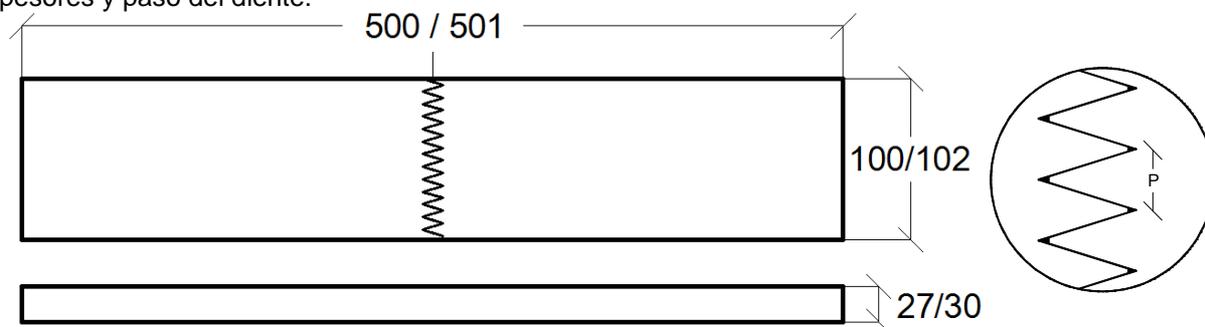


Figura 8 – esquema de probeta recibida

Como se aprecia en la figura 8 la longitud de las probetas varía entre 500 y 501 mm, su ancho entre 100 y 102 mm, su espesor entre 27 y 30 mm y el paso del diente (P) se mantuvo constante en 3.5mm.

### 3.2. Métodos

Los métodos utilizados para realizar los ensayos y calcular los valores característicos se tomaron de las normas, EN 384, EN408, EN1194, EN 14358 y DIN 68140-1

#### 3.2.1. Preparación de las muestras

Las probetas fueron cepilladas hasta llevarlas al espesor correspondiente a las láminas de las vigas de madera laminada encolada para uso estructural, es decir 22mm, utilizando la cepilladora del laboratorio de Ing. Civil de la FRCU. Para medir las probetas se utilizaron calibres y escuadras metálicas.

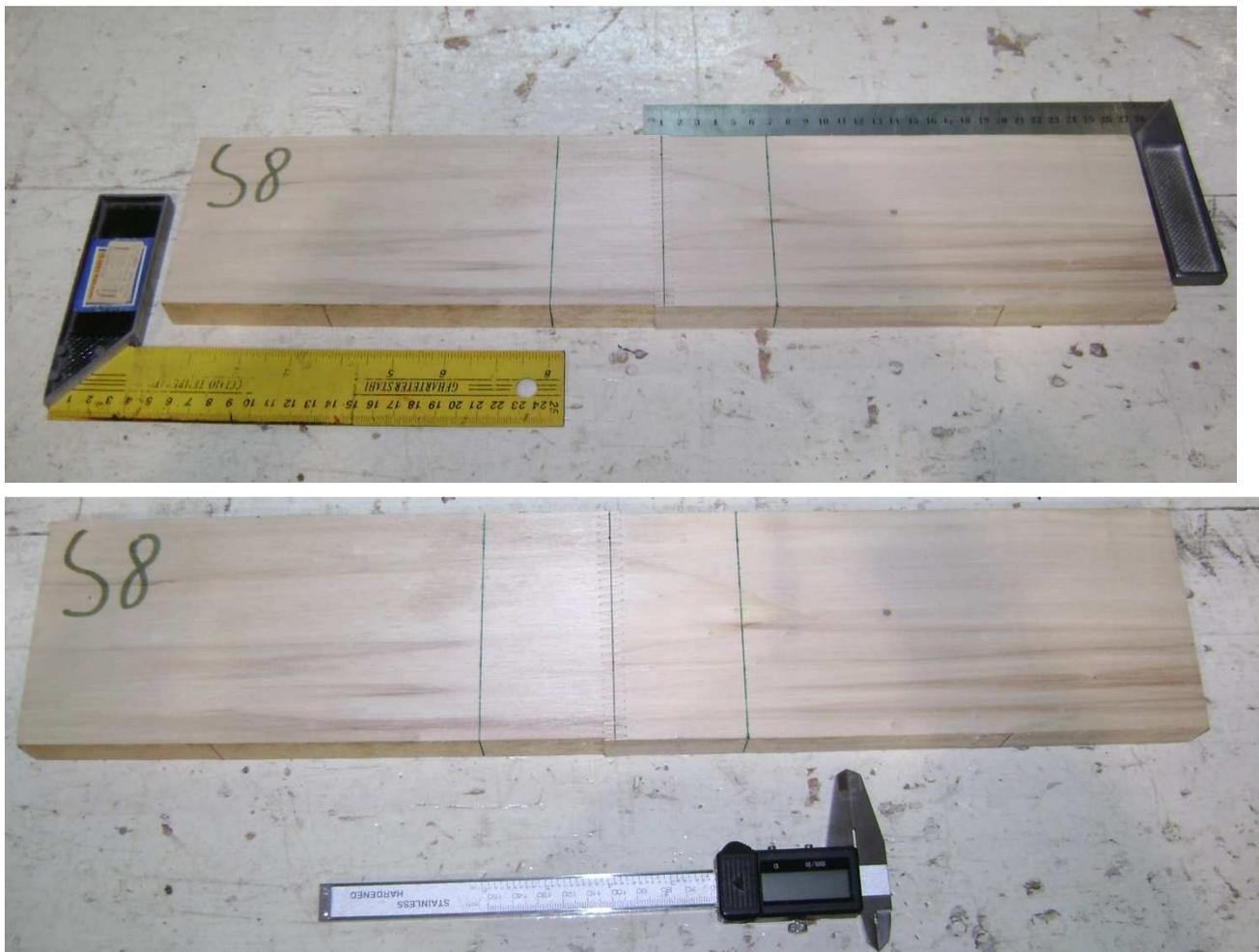


Figura 9 – Muestra junto a elementos de medición

Los valores finales de las tablas fueron las siguientes:

Tablas de Álamo con unión dentada en cara (dimensiones en mm).

- Ancho promedio = 100mm
- Altura promedio = 22.18mm
- Longitud promedio = 500mm

Donde la altura  $h$  es la dimensión que presenta mayor variación y se utiliza para determinar la distancia entre apoyos para lo cual se necesita determinar  $h$  promedio.

Una vez determinada la altura promedio de las muestras se procedió a marcar las probetas con tres pares de ejes diferentes:

Eje 1: Eje de aplicación de cargas (**color verde**)

Eje 2: Eje de apoyo (**color rojo**)

Eje 3: Eje centro de la unión dentada (**color negro**)

Estos ejes, figura 10, corresponden a lo establecido por la Norma EN 408, para la ejecución del ensayo de flexión estática.

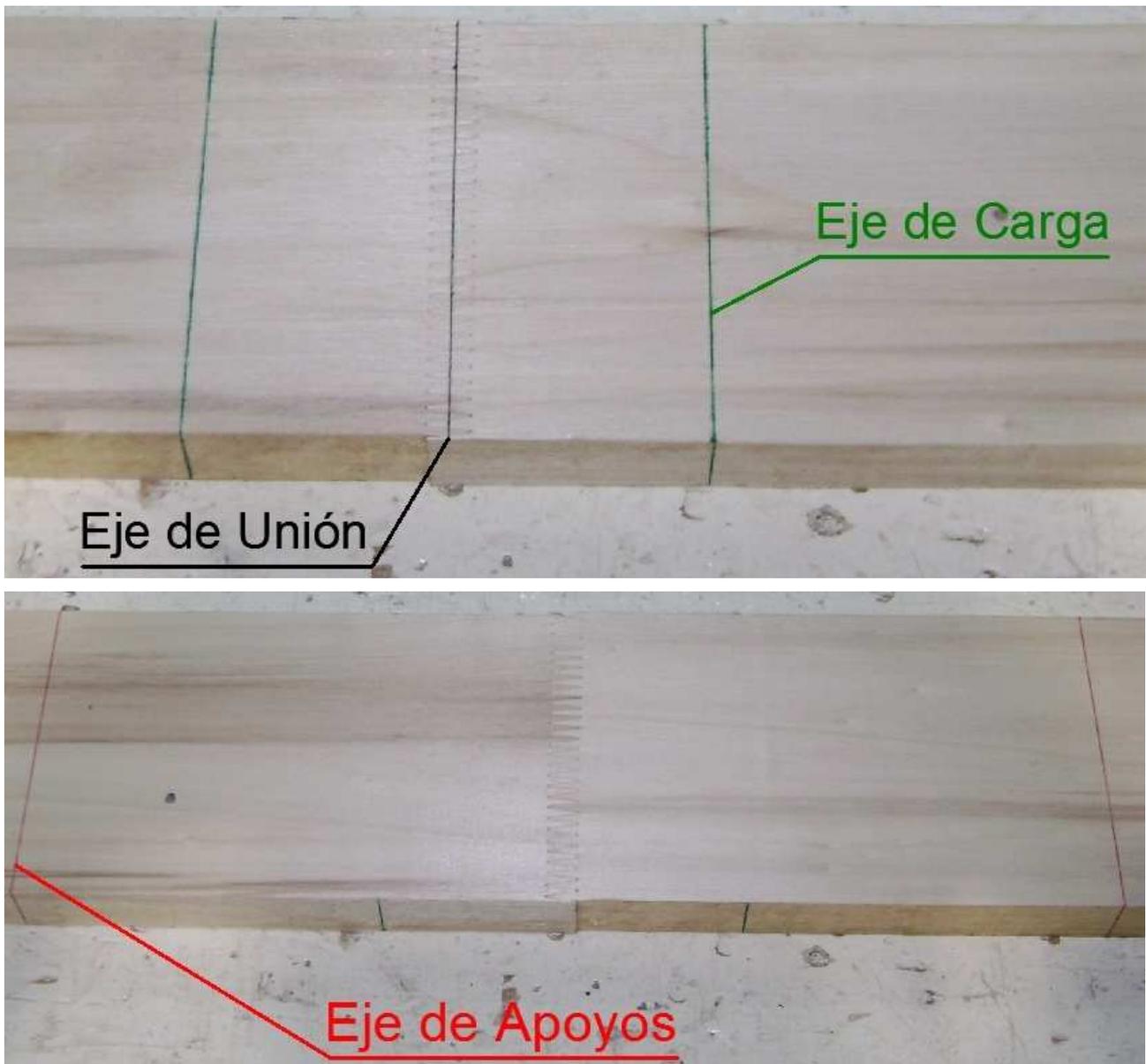


Figura 10 – Ejes de referencia sobre probeta.

Los ejes de aplicación de cargas son aquellos que corresponde a una distancia igual a  $5h$  tomada desde los apoyos, siendo  $h$  la altura promedio de la probeta.

Los ejes de apoyo se encuentran a una distancia igual a  $7,5h$  con respecto al centro de la unión dentada.

En la figura 11 se aprecia el esquema de ensayo de las probetas, con los puntos de apoyo y aplicación de carga.

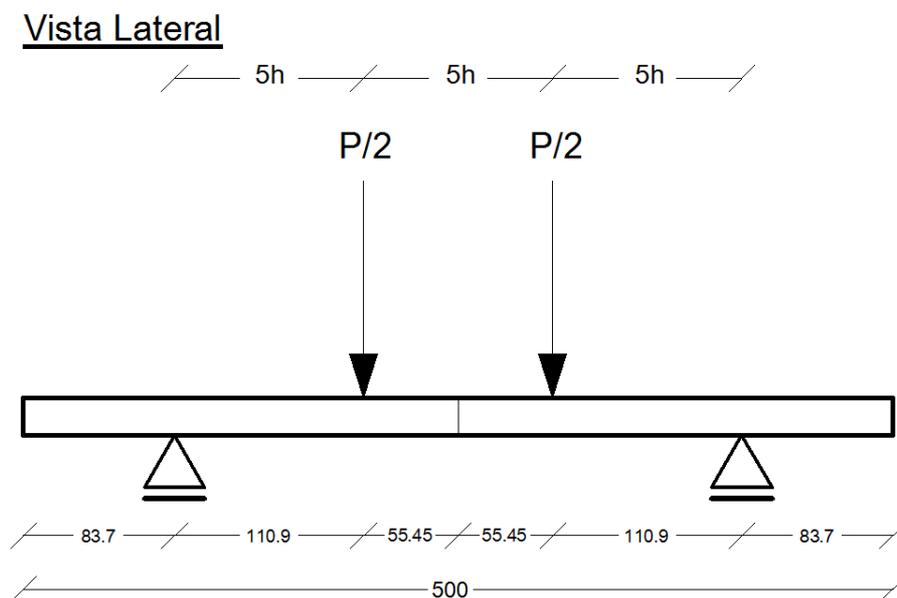


Figura 11 – Esquema de carga

En la figura 12 se presenta una fotografía de una probeta. En la misma se aprecia la unión dentada y las marcas correspondientes a los ejes de carga.



Figura 12 – Probeta.

### 3.2.2. Acondicionamiento

Durante las tareas preparatorias y hasta el ensayo se dispusieron las muestras en una cámara con una temperatura constante de 20°C y 65% de humedad relativa para mantener el contenido de humedad de las muestras próximo al contenido de humedad normal o de equilibrio (12%).

### 3.2.3. Ensayo

Preparadas las probetas se procedió a llevar a cabo el ensayo de flexión estática conforme a las prescripciones de la norma EN 408 "Estructuras de madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural". El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Civil (FRCU), éste cuenta con el instrumental requerido por las normativas así como también con las condiciones ambientales establecidas. Para el ensayo se utilizó una máquina de ensayos universal tipo Shimadzu UH 1000 con capacidad máxima de 1000 KN y escalas variables que permiten obtener una precisión del 1% de la carga aplicada en todos los casos.

Con el propósito de reducir el aplastamiento de la madera en las zonas de aplicación de cargas y apoyos, se colocaron placas de acero de 1cm de espesor y de longitud correspondiente con el ancho de las probetas. La velocidad de desplazamiento del cabezal de carga fue ajustada en los primeros ensayos hasta lograr un tiempo de rotura que se ajustaba a la especificaciones de la Norma Europea EN 408 (**180+/-60s.**), determinando como velocidad constante de aplicación de carga de 1.5mm/min.

Con la utilización de un aro dinamométrico de 1000 Kg, la variación de la carga se obtuvo en función a la deformación del mismo, registrada por un comparador micrométrico como se puede ver en la figura 13, cada centésima de milímetros deformación registrada por el comparador equivalente a 6.62kg. El valor de la carga se obtuvo multiplicando la deformación total registrada por dicha equivalencia.



Figura 13 – Ensayo a Flexión

Las probetas se ensayaron hasta la rotura y se registró la carga máxima correspondiente a esfuerzos de flexión simple y se describió el tipo de rotura.

### 3.3. Métodos de cálculo de valores característicos

En esa sección se procederá a describir la metodología empleada en la determinación de propiedades con los datos obtenidos en los ensayos, tales como propiedades físicas y mecánicas de las probetas de Álamo “*Populus Nigra*”. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- 1 – Procesamiento de datos de Etapa dos provenientes de ensayos realizados por grupo GEMA.
- 2 – Obtención de valores característicos de  $f_k$  (Modulo de Resistencia a Flexión Simple) y  $E_m$  (Modulo de Elasticidad Global) y la Densidad Característica de tablas derivadas de las etapas 1 y 2.
- 3 – Procesamiento de datos de la Etapa tres provenientes de ensayos realizados por los autores del presente informe.

En el anexo se encuentran las tablas A5, A6, A7, A8, A9, A10, con los datos obtenidos para cada muestra. Los valores calculados se encuentran en el apartado resultados.

#### 3.3.1. Análisis de datos de ensayos de tablas provenientes de “Etapa dos”

En la siguiente sección se describen las metodologías utilizadas para la obtención de las diferentes propiedades físicas y mecánicas.

#### 3.3.2. Densidad Aparente

Con los datos procedentes de la Etapa 2 de investigación proporcionados por el grupo GEMA, se procedió a calcular los valores de densidad aparente y humedad de la probeta al momento del ensayo.

El valor se obtuvo realizando el cociente entre el peso húmedo de la probeta y el volumen de la misma.

$$\rho_a = \frac{\text{peso húmedo}}{l \times h \times b}$$

l: Longitud de probeta

h: Altura de probeta

b: Ancho de probeta

##### 3.3.2.1. Corrección por Humedad

Aplicando la siguiente ecuación obtenemos el porcentaje de humedad:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Con los resultados obtenidos de densidad aparente y porcentaje de humedad se procedió a calcular la densidad corregida. Cuando el contenido de humedad resultó superior al 12%, la densidad se disminuyó en un 0,5% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad, y cuando resultó menor del 12% la densidad, se incremento en un 0,5% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad (Norma Española EN 384 – 1996).

$$\rho = \rho_a \times [1 + 0.005 \times (12 - \% \text{ humedad})]$$

La densidad característica para cada clase se obtiene en base a la norma EN 484 (1995).

El 5° percentil de la densidad de la muestra  $\rho_{05}$  se calculó partiendo de la ecuación:

$$\rho_{05} = \left( \frac{\sum \rho}{n} - 1,65 \times s \right) \text{kg/m}^3$$

n: Numero de muestras.

S: Desviación típica.

### 3.3.3. Resistencia a flexión

La resistencia a flexión de las probetas según las normas EN 408 (1996), se determinó con la ecuación:

$$f_m = \frac{a \times F_{max}}{2W}$$

$F_{max}$ : Carga máxima aplicada

a: Distancia entre el apoyo y la carga

W: Modulo resistente

Estos valores calculados fueron corregidos según normas EN 384 (1996) a una altura de referencia de 150mm dividiéndolos por el factor:

$$K_h = \left( \frac{150}{h} \right)^{0.2}$$

### 3.3.4. Valor característico de resistencia a flexión

El 5º percentil es el valor característico de resistencia a flexión, el cual se calcula para cada clase por ordenamiento, de menor a mayor, de los valores corregidos, adoptándose el valor que prosigue al 5% de los considerados.

### 3.3.5. Modulo de elasticidad a flexión

El modulo de elasticidad a flexión según normas EN 408 (1996), se determinó partiendo de la ecuación:

$$E_m = \frac{l^3 \times (F_2 - F_1)}{4,7 b \times h^3 \times (w_2 - w_1)}$$

l: Separación entre apoyos del cuerpo de prueba

h: Altura de la sección transversal

b: Ancho de la sección transversal

$F_2$  y  $F_1$ : 40% y 100% respectivamente de la carga de rotura.

$w_2$  y  $w_1$ : Deformación correspondiente a  $F_2$  y  $F_1$  en mm.

Estos valores calculados fueron corregidos al 12% de humedad según normas EN 384 (1996) la cual establece que: Si el contenido de humedad fuese superior al 12%, el modulo de elasticidad debe aumentarse en un 2% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad, y cuando este fuese menor al 12% el modulo de elasticidad, debe incrementarse en un 2% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad.

$$E_{mc} = E_m \times [1 - 0.02 \times (12 - \%humedad)]$$

El modulo de elasticidad característico para cada clase es el promedio de los módulos individuales corregidos.

### 3.3.6. Densidad ( $\rho_{05m}$ )

El valor de esta densidad fue calculado en base a los valores del 5° percentil de las densidades correspondientes a las etapas 1 y 2 de estudio para cada clase, realizando promedio ponderado por la cantidad de probetas correspondiente a cada muestra entre el valor del 5° percentil de la densidad.

$$\rho_{05m} = \frac{(\rho_{05-i1} \times n_{i1} + \rho_{05-i2}) \times n_{i2}}{(n_{i1} + n_{i2})}$$

$\rho_{05-i1}$ : 5° percentil de la densidad de clase i etapa 1

$\rho_{05-i2}$ : 5° percentil de la densidad de clase i etapa 2

$n_{i1}$ : Numero de muestras clase i etapa 1

$n_{i2}$ : Numero de muestras clase i etapa 2

i: corresponde a clase 1 o clase 2

### 3.3.7. Valor característico de resistencia a flexión del 5° percentil

El valor se calcula mediante el promedio ponderado con respecto al número de probetas muestreadas para cada clase y etapa, según:

$$f_{p5\%-ponderado} = \frac{(f_{P5\%-i1} \times n_{i1}) + (f_{P5\%-i2} \times n_{i2})}{(n_{i1} + n_{i2})}$$

$f_{P5\%-i1}$ : Valor característico de clase i etapa 1

$f_{P5\%-i2}$ : Valor característico de clase i etapa 2

$n_{i1}$ : Numero de muestras clase i etapa 1

$n_{i2}$ : Numero de muestras clase i etapa 2

i: corresponde a clase 1 o clase 2

*Procediéndose luego a la corrección en base a las normas EN 384 (1995).*

El valor característico para cada clase  $f_k$  se calcula afectando  $f_{p5\%-ponderado}$  por dos factores que dependen del tipo de clasificación y tamaño de la muestra respectivamente, mediante la ecuación:

$$f_k = f_{p5\%-ponderado} \times k_s \times k_v$$

$k_v$ : Es un factor que tiene en cuenta la menor variabilidad en los valores de  $f_{p5\%}$  en el caso de clasificación mecánica respecto a la clasificación visual. Toma el valor 1,00 para clasificación visual y 1,12 para clasificación mecánica. En este trabajo el factor es igual a 1.

$k_s$ : Es un factor para la corrección en función del número y tamaño de las muestras, se determina utilizando un grafico que se muestra en la figura 14. En este trabajo el factor  $k_s = 0.93$  para cada clase.

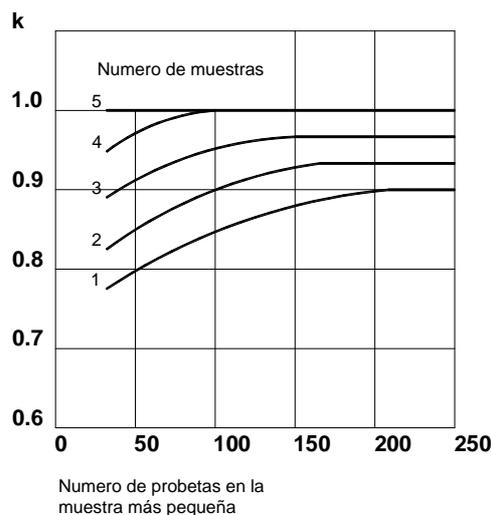


Figura 14 – Grafico utilizado hallar factor para la corrección en función del número y tamaño de las muestras.

El grafico se utiliza ingresando con el número de probetas, totales de las muestras, en el eje de abscisas. Luego, se traza una recta paralela al eje de ordenadas interceptando la curva correspondiente al número de muestras, una vez hecho esto procedemos a trazar otra recta paralela al eje de abscisas, interceptando con el eje de ordenadas donde se obtiene el valor correspondiente al factor de corrección  $k_s$ .

### 3.3.8. Modulo de elasticidad medio

El valor del modulo de elasticidad medio a flexión se calculo realizando el promedio ponderado entre el valor medio del modulo de elasticidad de las etapas uno y dos de cada clase.

$$E_m = \frac{(E_{i1} \times n_{i1} + E \times n_{i2})}{(n_{i1} + n_{i2})}$$

$E_{i1}$ : Modulo de elasticidad clase i etapa 1

$E_{i2}$ : Modulo de elasticidad clase i etapa 2

$n_{i1}$ : Numero de muestras clase i etapa 1

$n_{i2}$ : Numero de muestras clase i etapa 2

i: corresponde a clase 1 o clase 2

### 3.3.9. Análisis de datos en tablas con unión dentada.

A Continuación se describen las metodologías utilizadas para el cálculo de las diferentes propiedades físicas y mecánicas de tablas con unión dentada.

### 3.3.10. Resistencia a flexión

Se calculo utilizando el mismo procedimiento que en el apartado 3.3.3. y 3.3.4. Resistencia a flexión y valor característico para el análisis de tablas.

### 3.3.11. Cálculo del valor característico de resistencia a flexión de tablas con uniones dentadas

Aplicando la norma Alemana EN 14358 (2006) ajustando a curva log-normal se procedió a calcular el valor característico de resistencia a flexión aplicando la ecuación:

$$f_{m,j,k} = \exp (y_m - k_s \times s_y)$$

$y_m$ : Es la media de los logaritmos naturales de cada resistencia a flexión.

$$y_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln m_i$$

$s_y$ : Es la desviación estándar de los logaritmos naturales de cada resistencia a flexión.

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln m_i - y_m)^2}$$

$k_s$ : Coeficiente de variación que depende del número de muestras. Ver tabla 4

Tamaño de la muestra	Factor
$n$	$K_s$
3	3,15
5	4,46
10	2,1
15	1,99
20	1,93
30	1,87
50	1,81
100	1,76
500	1,71
$\infty$	1,65

Tabla 4 – Coeficiente de variación  $k_s$ .

### 3.3.12. Análisis de roturas en uniones dentadas

Según la norma DIN 68140-1 existen cuatro tipos de roturas que se producen en la mayoría de los caos analizados, estas roturas en uniones dentadas se pueden clasificar de la siguiente manera: Rotura S, Rotura G, Rotura M, Rotura A. A continuación se describen una serie de casos correspondiente a cada una de las roturas.

Rotura S: Rotura por corte en la fracción del diente.

Se produce el desprendimiento de la unión dentada y se puede presentar de dos formas:

- 1- Gran cantidad de fibras entre los dientes, por lo tanto se deduce un buen encolado. Alta resistencia.

Figura 15.



Figura 15 – Rotura tipo S, mucha presencia de fibra

- 2- Poco o nulo deposito de fibras, falla el encolado de la unión. Baja resistencia. Figura 16.



Figura 16 – Rotura tipo S, poca presencia de fibra

Rotura G: Rotura en la base del diente. Menor resistencia, unión bien encolada, menor densidad de madera.

Figura 17.



Figura 17 – Rotura tipo G

Rotura M: Rotura mixta entre S y G. Alta resistencia, buena unión. Figura 18.



Figura 18 – Rotura tipo M

Rotura A: Rotura fuera de la unión. Defecto en la madera. Figura 19.



Figura 19 – Rotura tipo A

### 3.3.13. Proyección de valores resistentes de vigas

La norma EN 1194 proporciona una serie de formulas que permiten proyectar el comportamiento resistente y elástico de las vigas a partir del valor de la resistencia característica en tracción de las láminas  $f_{t,0,1,k}$ . Las expresiones se muestran en la tabla 5:

Propiedades		
	Nomenclatura	Expresiones
Flexión	$f_{m,g,k}$	$7 + 1.15 \times f_{t,0,1,k}$
Tracción	$f_{t,0,g,k}$	$5 + 0.8 \times f_{t,0,1,k}$
	$f_{t,90,g,k}$	$0.2 + 0.015 \times f_{t,0,1,k}$
Compresión	$f_{c,0,g,k}$	$7.2 \times f_{t,0,1,k}^{0.45}$
	$f_{c,90,g,k}$	$0.7 \times f_{t,0,1,k}^{0.5}$
Cortante	$f_{v,g,k}$	$0.32 \times f_{t,0,1,k}^{0.8}$
Modulo de elasticidad	$E_{0,g,medio}$	$1.05 \times E_m$
	$E_{0,g,0.5}$	$0.85 \times E_m$
	$E_{90,g,medio}$	$0.035 \times E_m$
Mod. De elast. Cortante	$G_{g,medio}$	$0.065 \times E_m$
Densidad	$\rho_{g,k}$	$1.10\rho_{05m}$

Tabla 5 – Propiedades mecánicas y elásticas de vigas.

$f_{t,0,1,k}$ : Resistencia característica de tracción paralela a las fibras cuando la unión dentada es limitante; se puede considerar la resistencia característica a tracción de las tablas sin uniones  $f_{t,0,k}$  en caso contrario.

$E_m$ : Modulo de elasticidad medio.

$\rho_{05m}$ : Densidad ponderada.

Para evaluar el comportamiento de las uniones dentadas en relación a la resistencia de las tablas sin uniones, la norma EN 1194 establece el siguiente criterio:

$$f_{m,j,k} \geq 8 + 1.4 \times f_{t,0,k}$$

$f_{m,j,k}$ : Resistencia característica en flexión de las uniones dentadas con toda la anchura de la lámina, determinada según Norma Europea EN 14358, en Newton por milímetros cuadrados.

$f_{t,0,k}$ : Resistencia característica a tracción de las láminas según norma EN 384 apartado 8.2 la cual cita: Cuando se cuenta con  $f_k$  en lugar de los valores característicos de resistencia a tracción paralela a las fibras  $f_t$ , los valores característicos de resistencia a tracción  $f_{t,0,k}$  se deberá calcular según la ecuación:

$$f_{t,0,k} = 0,6 \times f_k$$

$f_k$ : Valor característico de la resistencia en flexión corregido



## CAPITULO IV

### Resultados

En este capítulo se pueden observar los resultados obtenidos a partir de la realización de ensayos de flexión simple sobre tablas provistas de unión dentada en la sección central y tablas desprovistas de unión dentada.

#### 4.1. Resultados de ensayos de tablas etapas 1 y 2.

Como primer paso se obtuvieron las propiedades características de resistencia, elasticidad y densidad con los datos de ensayos de Etapa Dos, con el fin de comprobar el método de clasificación visual desarrollado en la Etapa Uno. Con la totalidad de los resultados provenientes de las dos etapas anteriores, se calcularon nuevamente las propiedades antes mencionadas, teniendo en cuenta la incidencia del tamaño de cada muestra. A continuación se detalla paso por paso los resultados alcanzados.

En la tabla 6 se incluye una comparación de valores de resistencia característica a flexión simple y módulo de elasticidad de tablas de Etapa dos discriminado por variedad de especie y clase.

		Stoneville		Australiano	
		Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
f (P5%)	$\frac{N}{mm^2}$	23,28	20,04	26,60	17,71
E (Promedio)	$\frac{N}{mm^2}$	10645,86	9506,81	8449,30	8305,03
Cantidad		88	86	64	39

Tabla 6 – Valores de resistencia característica a flexión simple y modulo de elasticidad de tablas Etapa 2  
En “Etapa uno” los valores de las propiedades mecánicas correspondientes a las mismas clases de ambas variedades se compararon y se observó que no diferían significativamente una de otra, por lo tanto se decidió adoptar la clase unificada de ambas variedades, ya que es más rentable el uso de las variedades juntas debido a que es antieconómico dividir las mismas, dado que el aspecto de los arboles como su comportamiento es prácticamente el mismo.

Realizando la misma comparación en “Etapa dos” se observó el mismo resultado, por lo que se combinaron los valores de ambas especies.

En la tabla 7 se aprecian los valores de resistencia característica a flexión simple y modulo de elasticidad de Etapa uno y dos discriminados por clase. Valores ponderados de dichas propiedades para clase 1 y 2.

		1a. Etapa		2a. Etapa	
		Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
f (P5%)	$\frac{N}{mm^2}$	24,8	17,3	24,2	19,6
E (Promedio)	$\frac{N}{mm^2}$	10219	8899	9731	9159
Densidad (P5%)	$\frac{N}{mm^3}$	400	401	389	392
Cantidad		171	136	152	125

Tabla 7 – Valores de resistencia característica a flexión simple y módulo de elasticidad de Etapa 1 y 2

En tabla 7 se puede observar la similitud entre los valores de cada etapa, para los tres parámetros presentados en las tablas, lo que pone de manifiesto la verificación del método de clasificación.

Una vez corroborado el método de clasificación visual se procedió a calcular los valores de resistencia característica a flexión simple y modulo de elasticidad ponderados en función del número de probetas para clase 1 y 2, tal como se expresan en la tabla 8.

		Combinación de etapas	
		Clase 1	Clase 2
f (P5%)	$\frac{N}{mm^2}$	24,8	19,4
E(Ponderado)	$\frac{N}{mm^2}$	10204	9029
Densidad (P5%)	$\frac{N}{mm^3}$	395	397
Cantidad		323	261

Tabla 8 – Propiedades Físicas, Elásticas y Mecánicas de Tablas.

En la unificación de los resultados provenientes de las Etapas uno y dos, se obtuvieron valores más representativos en consecuencia con el aumento de la población analizada.

Con los valores de resistencia característica ponderados a flexión simple obtenidos se realizó la corrección en base a las normas EN 384 (1995) del valor característico  $f_k$  para cada clase, la cual considera la influencia del número de muestras y el tamaño de las mismas. Expresado en apartado 3.3.7.

En la figura 20 se contempla el grafico con el cual se obtiene  $k_s$ .

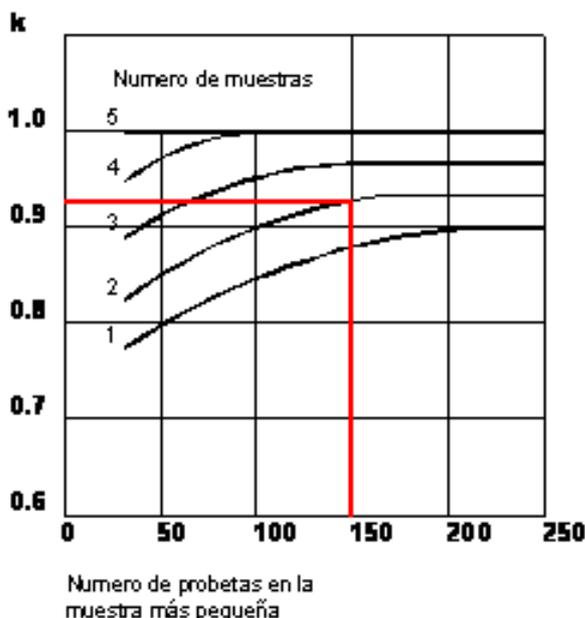


Figura 20 – Factor de corrección en función del número y tamaño de las muestras.

Factor $k_s$	0.93
Factor $k_v$	1.00

$k_s$  : Se obtuvo para una cantidad aproximada de 150 probetas siendo dos el número de muestras para cada clase.

$k_v$  : Este valor es correspondiente al método de clasificación visual.

En la tabla 9 se aprecian los valores característicos finales de  $f_k$  para cada clase.

Valores característicos de Tablas

$f_k$ CORREGIDO POR TAMAÑO DE MUESTRA	
Clase 1	Clase 2
$\frac{N}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$
<b>23.1</b>	<b>18.1</b>

Tabla 9 – Tensión corregida por tamaño de muestra

En tabla 10 se encuentran los valores de elasticidad y densidad redondeados finales.

	CARACTERÍSTICO	
	Clase 1	Clase 2
E(Ponderado)	10200	9000
Densidad (P5%)	400	400

Tabla 10 – Valores de Modulo de Elasticidad y Densidad, a utilizar.

Valores característicos de resistencia a tracción paralela a las fibras calculadas según apartado 3.3.13.

$f_{t,0,k}$ (tracción)	
CARACTERÍSTICO	
Clase 1	Clase 2
$\frac{N}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$
<b>13.9</b>	<b>10.8</b>

Tabla 11 -  $f_{t,0,k}$  (tracción)

## 4.2. Resultado de ensayos de tablas con unión dentada.

A partir de ensayos de flexión simple sobre láminas de Álamo con una unión dentada en el centro de la misma, se calcularon los valores característicos de resistencia y elasticidad. A su vez se efectuó un análisis de roturas.

En la tabla 12 se pueden ver los valores característicos de resistencia a flexión de tablas con uniones dentadas.

		Clase 1	Clase 2
	—	22.1	18.3
Cantidad		126	80

Tabla 12 – Flexión unión dentada.

Los valores obtenidos para cada clase son similares a los obtenidos para tablas sin unión dentada.

### 4.2.1. Análisis de Roturas

Para poder establecer la calidad de las uniones se procedió a realizar un análisis visual de roturas durante la ejecución de los ensayos, determinando para cada clase los tipos de rotura dominante.

Rotura S: Rotura por corte en la fracción del diente.

Rotura G: Rotura en la base del diente. Menor resistencia, unión bien encolada, menor densidad de madera.

Rotura M: Rotura mixta entre S y G. Alta resistencia, buena unión.

Rotura A: Rotura fuera de la unión. Defecto en la madera.

Los porcentajes de roturas para clase 1 en relación a los tipos descritos anteriormente se expresan en la figura 21 y las tensiones de flexión según el tipo de rotura se presentan en la figura 22.

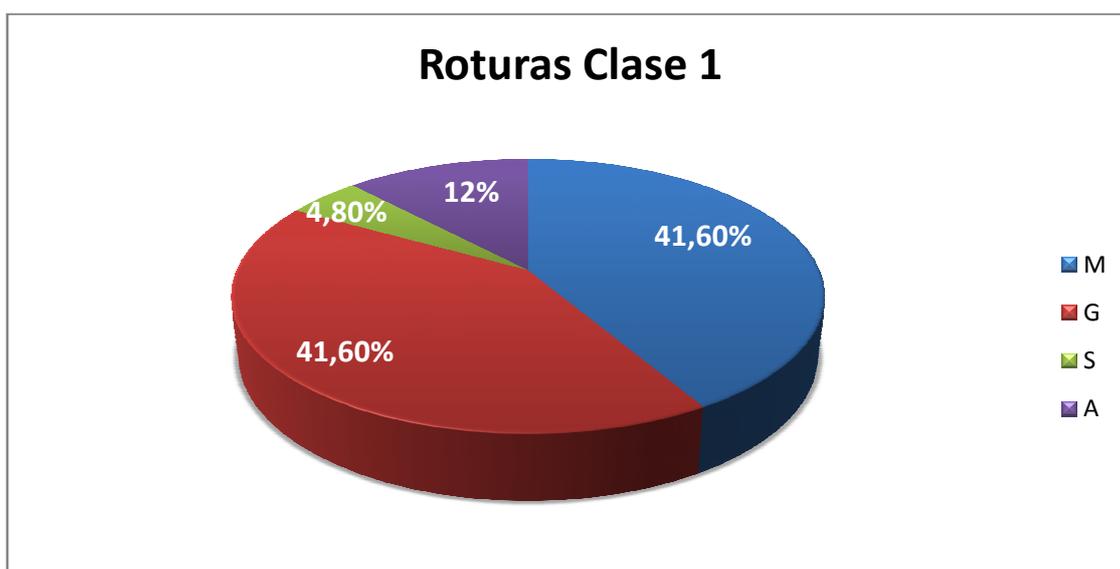


Figura 21 – Porcentajes correspondientes a los diferentes tipos de roturas

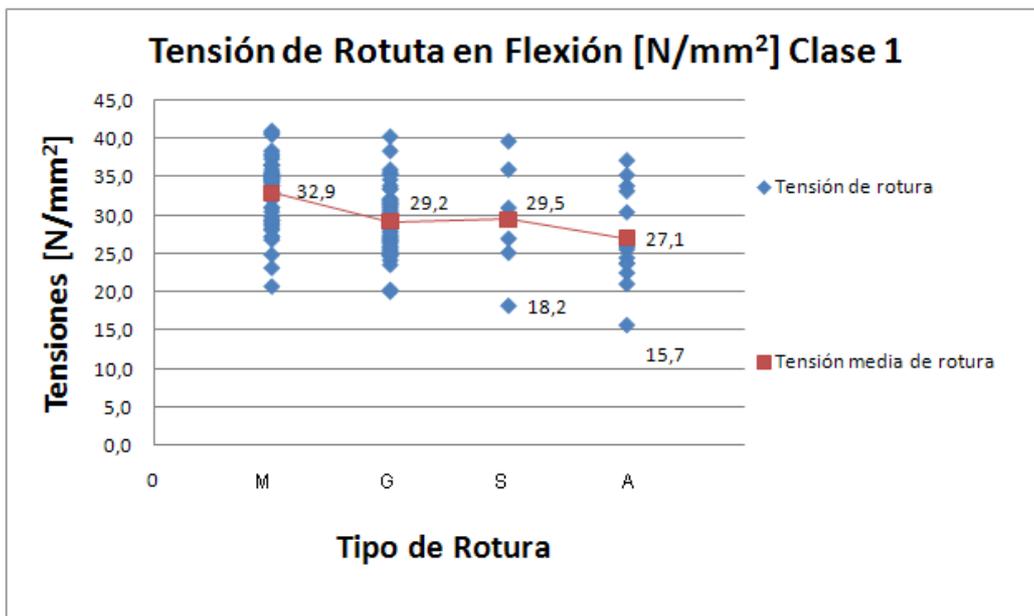


Figura 22 – Tensiones de flexión según tipo de rotura.

Los porcentajes de roturas para clase 2 en relación a los tipos descritos anteriormente se expresan en la figura 23 y las tensiones de flexión según el tipo de rotura se presentan en la figura 24.

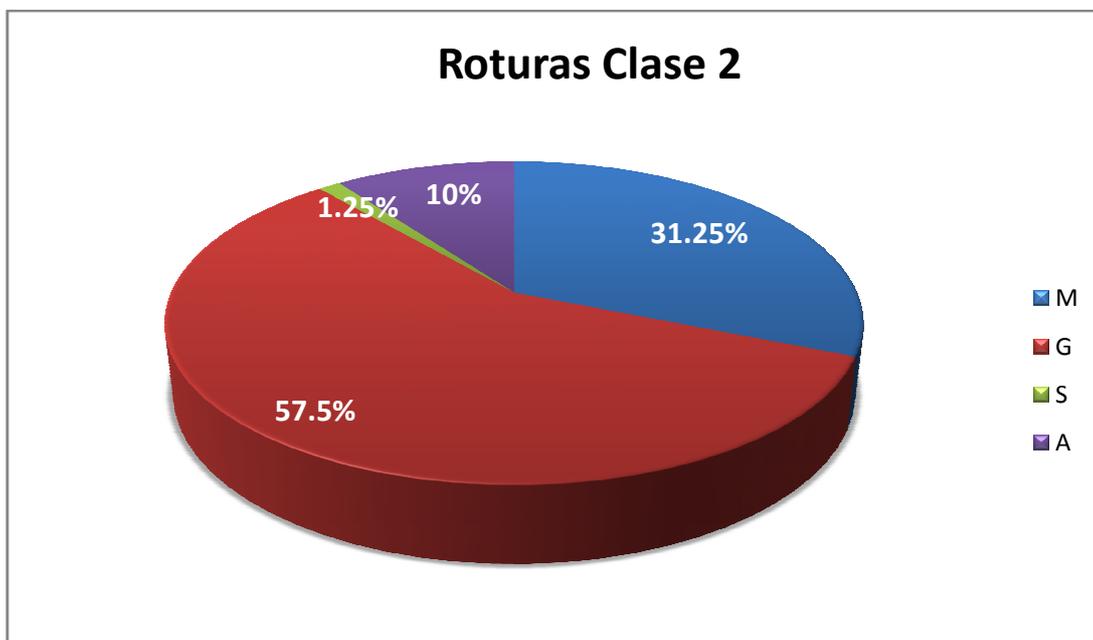


Figura 23 – Porcentajes correspondientes a los diferentes tipos de roturas

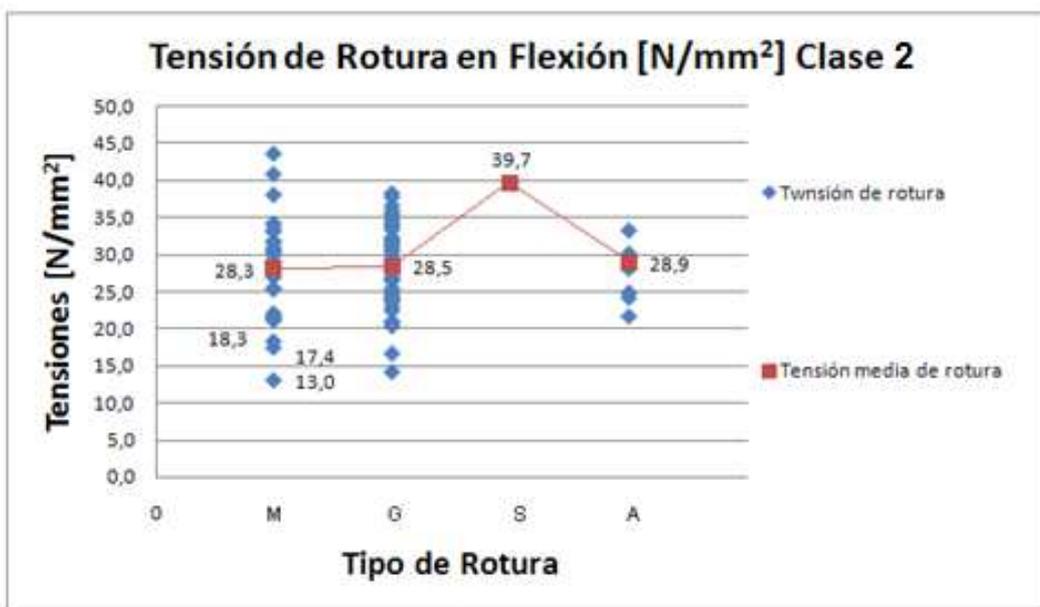


Figura 24 – Tensiones de flexión según tipo de rotura

Analizando los gráficos se puede apreciar que se produjo una tendencia de rotura para ambas clases, los casos más significativos son el de la rotura tipo “G” y “M” donde los porcentajes correspondientes a cada clase fueron los mayores.

Siguiendo con la tendencia entre ambas clases se aprecia que las roturas tipo “A” también son muy similares entre si, a tal punto que el porcentaje que se les atribuye es casi el mismo.

Solamente se produjo un valor bajo de tensión en un caso de rotura tipo “S” con poco depósito de fibra en la clase 1, lo que indica una falla del proceso de encolado. En la clase 2 este efecto se generó solamente en 3 casos de rotura tipo “M”, donde el porcentaje correspondiente a rotura “S” con poco depósito de fibra fue mayor al 50%, solamente el 1,95% de probetas ensayadas dio como resultado una mala calidad de unión.

En el anexo se pueden ver las observaciones de roturas que se dieron durante el ensayo, tablas A1, A2, A3, A4.

### 4.3. Comparación de resistencia de tablas con y sin unión dentada.

Se compararon los valores de resistencia para poder determinar si la influencia de la unión dentada es determinante en la resistencia de las láminas y así poder proyectar las propiedades características. En la tabla 7 se expresan los valores característicos de tensiones para posteriormente compararlas gráficamente, figura 25.

Tensión Característica de Flexión		
	Clase 1	Clase 2
Tablas Sin Unión Dentada	23.1	18.1
Tablas Con Unión Dentada	22.1	18.3

Tabla 13 – Tensión característica de flexión para tablas con y sin unión dentada.

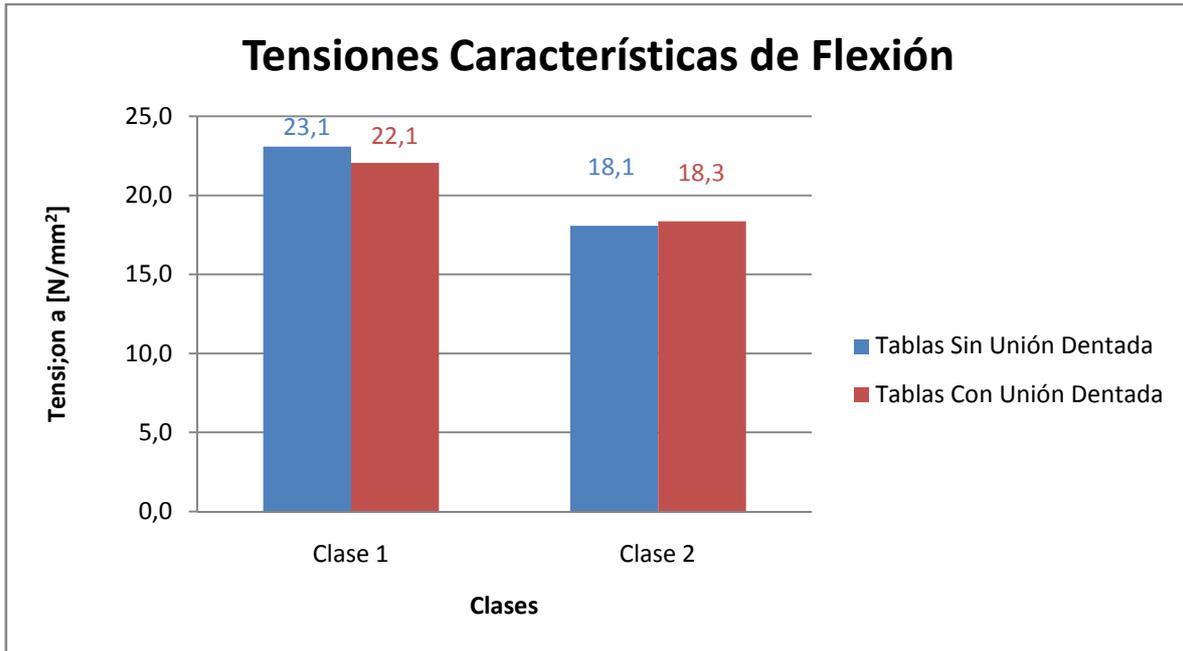


Figura 25 – Comparación de tensiones.

En la figura 25 se puede apreciar que el comportamiento de tablas sin unión y aquellas con unión dentada fue muy similar frente a esfuerzos de flexión.

No obstante la verificación que debe realizarse es la indicada en el punto 6.3.2 requisito “b” norma EN 1194 (1999) descrita en el apartado 3.3.13 de este informe.

$$f_{m,j,k} \geq 8 + 1.4 \times f_{t,0,k}$$

Para verificar esta inecuación se necesita la tensión de tracción (tabla 14) de tablas sin unión dentada, la cual se calculo como se expresa en el apartado 3.3.13.

$f_{t,0,k}$ (tracción)	
CARACTERÍSTICO	
Clase 1	Clase 2
13,9	10,8

Tabla 14 – Tensión característica de tracción.

La verificación que exige la norma se detalla en la tabla 15.

	Clase 1			Clase 2		
	$f_{m,j,k} \geq 8 + 1.4 \times f_{t,0,k}$			$f_{m,j,k} \geq 8 + 1.4 \times f_{t,0,k}$		
	$\frac{N}{mm^2}$			$\frac{N}{mm^2}$		
Requisito b EN/1194	22.1	<	27.39	18.3	<	23.18

Tabla 15 – Verificación de Requisito b EN/1194

Debido a que el requisito de la norma no se cumplió, se determina que el valor limitante en la proyección de valores resistentes de vigas de madera laminada encolada para uso estructural es la tensión  $f_{m,j,k}$  determinada en base a los ensayos para unión dentada, en consecuencia se calcula un valor característico de tracción despejando de la inequación en función la tensión  $f_{m,j,k}$ .

Valores de resistencia característica a tracción calculados despejando de inequación

Despejando resulta:

$$f_{t,0,1,k} = \frac{f_{m,j,k} - 8}{1,4}$$

Las tenciones  $f_{t,0,1,k}$  calculadas para realizar la proyección se observan en la tabla 16.

CARACTERÍSTICO $f_{t,0,1,k}$	
Clase 1	Clase 2
$\frac{N}{mm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$
10.0	7.4

Tala 16 – Valor Calculado de Tracción ( $f_{t,0,1,k}$ )

Se puede observar que los valores calculados de  $f_{t,0,1,k}$  son menores que los provenientes de tablas  $f_{t,0,k}$ , a pesar de que la unión dentada tiene un comportamiento similar al de tablas sin unión frente a un esfuerzo de flexión, esto se debe a que el requisito exigido por la norma es muy conservador.

#### 4.4. Propiedades características de madera laminada encolada para uso estructural calculadas según norma EN 1194(1999) Tabla A.1, pag. 12

En la tabla 17 se presentan los valores de resistencia, elasticidad y densidad de tablas que se utilizaron para realizar las proyecciones de valores de vigas.

			Clase 1	Clase 2
Resistencia caract. tablas-TRACCION	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{t,0,1,k}$	10,0	7,4
E (ponderado)	$\frac{N}{mm^2}$	E0,1,medio	10200	9000
Densidad (P5%)	$\frac{N}{mm^3}$	$\rho_{05m}$	400	400

Tabla 17 – Valores Característicos utilizados para proyección.

Los resultados se expresan en la tabla 18:

Propiedades				
		Nomenclatura	Clase 1	Clase 2
Flexión	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{m,g,k}$	18,55	15,50
Tracción	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{t,0,g,k}$	13,03	10,91
	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,31
Compresión	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{c,0,g,k}$	20,33	17,71
	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{c,90,g,k}$	2,22	1,90
Cortante	$\frac{N}{mm^2}$	$f_{v,g,k}$	2,03	1,59
Modulo de elasticidad	$\frac{N}{mm^2}$	$E_{0,g,medio}$	10710	9450
	$\frac{N}{mm^2}$	$E_{0,g,0.5}$	8670	7650
	$\frac{N}{mm^2}$	$E_{90,g,medio}$	357	315
Mod. de elast. Cortante	$\frac{N}{mm^2}$	$G_{g,medio}$	663	585
Densidad	$\frac{N}{mm^3}$	$\rho_{g,k}$	440	440

Tabla 18 – Propiedades Características de Madera Laminada Encolada para Uso Estructural



---

## CAPITULO V

### *Conclusiones.*

En base a los resultados obtenidos del análisis de tablas del presente proyecto, se pudo verificar la tendencia establecida en la primera etapa y concluir que, por razones técnicas y económicas, es conveniente considerar a las variedades Stoneville y Australiano de manera conjunta como un grupo de especies clasificadas de acuerdo al método desarrollado en la etapa uno.

A partir del análisis de resultados, se observó que los valores del 5º percentil correspondientes a las tensiones de flexión obtenidos en los ensayos de tablas con uniones dentadas (Clase 1: 22.1N/mm<sup>2</sup>, Clase 2: 18.3N/mm<sup>2</sup>), son similares a los encontrados para tablas sin unión dentada (Clase 1: 23.1N/mm<sup>2</sup>, Clase 2: 18.1N/mm<sup>2</sup>).

Paralelamente se realizó un análisis detallado del tipo de rotura producido en las uniones dentadas con el objetivo de determinar si las fallas fueron ocasionadas por defectos de encolado o se produjeron en la madera. Los resultados confirmaron que un porcentaje mínimo de los cuerpos de prueba presentó problemas de calidad de encolado.

Más allá del buen comportamiento de las uniones, los resultados obtenidos no satisfacen los requerimientos establecidos por la normativa IRAM vigente para proyectar la resistencia final de vigas a partir de las propiedades de las tablas. En consecuencia, las propiedades mecánicas de la madera laminada encolada, estimadas teóricamente, se encontrarán penalizadas por el comportamiento mecánico de las uniones.

Estos resultados corroboran observaciones previas realizadas con otras especies cultivadas en el país y amerita la discusión de una reforma de los requisitos de la normativa vigente, la cual se encuentra prevista en el cronograma de reuniones que para el año 2013 el IRAM planifica realizar sobre esta temática.

---

## **Bibliografía**

- (Raul L Zerbino, Juan C. Piter – 2001 - *Materiales 2, La Madera como Material Estructural – CEILP – La Plata*)
- (Dr. Ing. Ftal. Eduardo O. Coronel – 1994 – *Fundamentos de las Propiedades Físicas de las Maderas – El Liberal – Santiago del Estero*)
- ([http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2002000200007&Ing=en&nrm=iso&ignore=.html](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2002000200007&Ing=en&nrm=iso&ignore=.html))
- ([www.woodsrl.com.ar/nota1.html](http://www.woodsrl.com.ar/nota1.html))
- ([www.revista-mm.com/ediciones/rev70/arquitectura\\_madera.pdf](http://www.revista-mm.com/ediciones/rev70/arquitectura_madera.pdf))
- (Colin F. 1995 – *Glue laminated timber-Production and strength classes – EN: Timber Engineering STEP 1 A8/1; A8/8 – Centrum Hout, The Netherlands*)
- ([www.nuevos-libros.com.ar/Enciclopedia-S/63524/Salicaceas.htm](http://www.nuevos-libros.com.ar/Enciclopedia-S/63524/Salicaceas.htm))
- (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos- 2008 – SAGPyA- [alamosenventa.com.ar](http://alamosenventa.com.ar))
- ([www.sinavimo.gov.ar/cultivo/álamo](http://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/álamo))
- Norma IRAM 45055.
- Norma Argentina IRAM 9661
- Norma Española UNE-EN 385
- Norma Europea EN 1194
- Norma Europea EN 408

**Anexo**

ENSAYO FLEXION EN 408 - FINGER ÁLAMO STONEVILLE - CLASE 1											
Número de probeta	Datos Probeta						Valores calculados			Descripción de la rotura.	Ref.
	b	h	Long	Tiempo	Lectura	Carga	Tensión de Rotura en Flexión	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	Velocidad de rotura		
	[mm]	[mm]	[mm]	(seg)	[Espacios]	[kg]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm/min]		
S1	105	22.22	501.0	1' 59"	109	722	45.4	31.0	2.50	G	
S2	104	22.16	501.0	5' 21"	113	748	47.8	32.6	1.50	M (80% S)	1
S3	102	22.12	501.5	3' 55"	122	808	52.8	36.0	1.50	M (95% S)	1
S4	105	22.15	501.0	2' 18"	81	536	34.0	23.2	1.50	M (25% S)	3-1
S5	105	22.15	501.0	3' 02"	126	834	52.8	36.0	1.50	G	
S7	105	22.21	501.0	3' 13"	125	828	52.1	35.6	1.50	M (30% S)	3-1
S9	104	22.28	501.0	2' 09"	131	867	54.8	37.4	1.50	M (35% S)	3-1
S10	105	22.16	500.5	2' 25"	124	821	52.0	35.4	1.50	M (60% S)	4-1
S11	105	22.13	501.0	3' 03"	143.5	950	60.3	41.1	1.50	M (50% S)	5-1
S12	102	22.19	501.0	2' 49"	119.5	791	51.4	35.1	1.50	M (90% S)	3-1
S14	104	22.06	501.0	3' 42"	126	834	53.8	36.7	1.00	M (50% S)	1
S15	105	22.07	501.0	3' 30"	127	841	53.7	36.6	1.00	M (75% S)	1
S16	105	22.15	501.0	4' 30"	93.5	619	39.2	26.7	1.00	G	
S19	105	22.11	501.0	3' 45"	120	794	50.5	34.4	1.00	M (90% S)	3-1
S20	104	22.21	500.0	3' 52"	134	887	56.4	38.5	1.00	M (30% S)	3-1
S21	104	22.1	501.0	4' 10"	140	927	59.6	40.6	1.00	M (40% S)	7-4-1
S23	105	22.19	501.0	3' 31"	114	755	47.6	32.5	1.00	M (35% S)	4-1
S24	108	22.17	501.0	4' 09"	112	741	45.6	31.1	1.00	M (30% S)	6-4-1
S25	105	22.02	501.0	3' 38"	63	417	26.7	18.2	1.00	S	2
S26	105	22.19	501.0	4' 40"	95	629	39.7	27.1	1.00	G	
S27	105	22.22	501.0	5' 22"	110	728	45.8	31.3	1.00	G	5
S28	105	22.22	501.0	4' 28"	104	688	43.3	29.6	1.00	G	
S29	105	22.16	501.0	3' 48"	88	583	36.9	25.2	1.00	S	1
S30	105	22.18	502.0	4' 05"	99	655	41.4	28.3	1.00	G	5
S31	105	22.2	501.0	4' 33"	121	801	50.5	34.5	1.00	M (40% S)	4-1
S33	104	22.3	501.0	4' 17"	113	748	47.2	32.2	1.00	G	
S34	106	22.21	501.0	4' 00"	114	755	47.1	32.1	1.00	M (20% S)	3-1
S35	106	22.26	501.0	4' 23"	118	781	48.5	33.1	1.00	M (85% S)	3-1
S36	105	22.28	501.0	4' 21"	124	821	51.4	35.1	1.00	M (10% S)	8
S37	105	22.25	501.0	4' 25"	123	814	51.1	34.9	1.00	M (20% S)	3-1
S38	105	22.13	501.0	3' 40"	115	761	48.3	33.0	1.00	M (85% S)	1
S39	105	22.31	501.0	2' 49"	99	655	40.9	28.0	1.00	G	
S40	106	22.28	501.0	2' 57"	74	490	30.4	20.8	1.00	M (25% S)	3-2
S41	105	22.23	501.0	3' 35"	108	715	45.0	30.7	1.00	G	6
S42	105	22.28	500.0	3' 10"	120	794	49.7	34.0	1.00	M (10% S)	3-1
S43	104	23.36	501.0	3' 22"	112	741	42.6	29.4	1.00	M (15% S)	3
S44	104	22.2	501.0	3' 10"	100	662	42.2	28.8	1.00	M (20% S)	3
S49	105	22.21	501.0	3' 00"	109	722	45.5	31.0	1.00	S	7-1
S51	105	22.1	501.0	3' 00"	94	622	39.6	27.0	1.00	S	1
S52	106	22.25	501.5	3' 40"	117	775	48.2	32.9	1.00	M (35% S)	3-1
S53	104	22.17	501.0	3' 25"	118	781	49.9	34.0	1.00	M (70% S)	3-1
S55	105	22.17	501.0	3' 06"	95	629	39.8	27.1	1.00	G	
S56	105	22.1	501.0	2' 50"	100	662	42.1	28.7	1.00	G	
S57	104	22.16	501.0	3' 31"	127	841	53.7	36.7	1.00	M (60% S)	3-1
S58	105	22.18	501.0	6' 10"	124	821	51.9	35.4	1.00	G	
S59	105	21.75	501.0	5' 30"	105	695	45.7	31.0	1.00	M (10% S)	6-3-1
S60	105	22.1	501.0	3' 49"	93	616	39.2	26.7	1.00	G	
S61	105	22.05	501.0	6' 30"	131	867	55.4	37.8	1.00	M (70% S)	1
S62	104	22.1	501.0	5' 15"	117	775	49.8	33.9	1.00	G	
S63	104	22.18	501.0	5' 14"	120	794	50.7	34.6	1.00	M (35% S)	7-3-1
S64	105	22.15	501.0	4' 30"	125	828	52.4	35.8	1.00	G	



ENSAYO FLEXION EN 408 - FINGER ÁLAMO STONEVILLE - CLASE 2											
Número de probeta	Datos Probeta						Valores calculados			Descripción de la rotura.	Ref.
	b	h	Long	Tiempo	Carga	Carga	Tensión de Rotura en Flexión	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia	Velocidad de rotura		
	[mm]	[mm]	[mm]		[Espacios]	[kg]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm/min]		
S101	107	22.15	501.0	3' 20"	108	715	44.5	30.3	1.00	M (10% S)	3-1
S102	108	22.15	501.0	2' 35"	75	497	30.6	20.9	1.00	G	
S103	108	22.19	501.0	3' 10"	60	397	24.4	16.6	1.00	G	10
S104	104	22.19	501.0	3' 18"	84	556	35.4	24.2	1.00	G	
S105	105	22.14	501.0	3' 18"	77	510	32.3	22.0	1.00	M (20% S)	3-1
S107	107	22.19	501.0	2' 36"	102	675	41.8	28.5	1.00	G	
S108	107	20.05	501.0	2' 47"	74	490	37.2	24.9	1.00	A	13
S110	105	22.04	501.0	3' 40"	101	669	42.8	29.2	1.00	G	
S111	106	22.28	501.0	3' 03"	96	636	39.4	26.9	1.00	G	
S113	107	22.11	501.0	3' 04"	89	589	36.8	25.1	1.00	G	10-7
S114	106	22.18	501.0	3' 32"	117	775	48.5	33.1	1.00	M (20% S)	3-1
S115	106	22.09	501.0	3' 35"	119	788	49.7	33.9	1.00	G	
S116	106	22.13	501.0	2' 21"	81	536	33.7	23.0	1.00	G	
S118	105	22.18	501.0	3' 42"	107	708	44.8	30.5	1.00	G	10-5
S119	106	22.13	501.0	2' 30"	98	649	40.8	27.8	1.00	G	
S122	106	22.15	501.0	4' 44"	88	583	36.6	24.9	1.00	G	
S124	105	22.15	501.0	5' 32"	107	708	44.9	30.6	1.00	M (25% S)	3-1
S125	108	22.14	501.0	3' 40"	73	483	29.8	20.3	1.00	G	
S129	104	22.13	501.0	3' 45"	93	616	39.5	26.9	1.00	M (50% S)	1
S131	104	22.12	501.0	6' 40"	137	907	58.2	39.7	1.00	S	5-1
S134	105	22.08	501.0	4' 36"	112	741	47.3	32.2	1.00	G	5
S135	105	22.16	501.0	4' 08"	112	741	46.9	32.0	1.00	A/G	13
S147	105	22.10	501.0	3' 25"	92	609	38.8	26.4	1.00	G	
S156	105	22.07	500.0	4' 22"	101	669	42.7	29.1	1.00	G	
S157	105	22.33	501.0	2' 22"	75	497	31.0	21.1	1.00	M (35% S)	3-1
S158	100	22.10	501.0	2' 59"	79	523	34.8	23.8	1.00	G	5
S159	100	22.11	501.0	3' 31"	127	841	56.0	38.2	1.00	G	
S160	100	21.87	501.0	4' 54"	142	940	64.0	43.6	1.00	M (70% S)	1
S161	100	21.99	501.0	2' 23"	71	470	31.9	21.7	1.00	G (10%) y A (90% S)	12
S162	100	22.03	501.0	3' 15"	97	642	43.0	29.3	1.00	G	
S163	100	22.03	501.0	3' 15"	104	688	46.5	31.7	1.00	M (10% S)	3-2
S164	100	22.01	501.0	2' 21"	80	530	35.7	24.3	1.00	G	
S165	100	22.06	501.0	2' 52"	82	542	36.4	24.8	1.00	G	
S166	100	21.92	501.0	3' 01"	87	576	39.3	26.8	1.00	G	
S167	100	22.66	501.0	4' 34"	122	808	51.3	35.2	1.00	G	10
S168	168	22.48	501.0	2' 34"	75	496	19.1	13.0	1.00	M (90% S)	2
S169	100	22.28	501.0	3' 37"	85	563	37.2	25.4	1.00	G (10%) y A (90% S)	12
S170	100	22.07	501.0	3' 32"	103	682	45.7	31.1	1.00	G	
S171	100	22.37	501.0	3' 34"	48	318	20.7	14.2	1.00	G	10
S172	100	22.06	501.0	4' 00"	70	463	31.1	21.2	1.00	M (10% S)	4-1
S173	100	22.07	501.0	6' 02"	99	655	43.9	29.9	1.00	M (7% S)	4-1
S174	100	22.09	501.0	3' 22"	110	728	48.7	33.2	1.00	A	
S175	101	22.07	501.0	5' 10"	114	755	50.1	34.1	1.00	M (10% S)	1
S176	99	22.00	501.0	6' 24"	112	741	50.5	34.4	1.00	G	10
S177	100	22.09	501.0	2' 18"	71	470	31.4	21.4	1.00	M (30% S)	1
S178	100	21.95	501.0	3' 23"	94	622	42.2	28.7	1.00	A	
S179	100	22.05	501.0	2' 50"	102	675	45.3	30.9	1.00	M (15% S)	2
S180	100	22.03	501.0	3' 04"	69	457	30.7	20.9	1.00	G	11
S181	100	22.27	501.0	3' 15"	115	761	50.0	34.1	1.00	M (40% S)	10-3-2
S182	101	22.01	501.0	3' 20"	105	695	46.6	31.7	1.00	M (25% S)	3-2



ENSAYO FLEXION EN 408 - FINGER ÁLAMO AUSTRALIANO - CLASE 1											
Número de probeta	Datos Probeta						Valores calculados			Descripción de la rotura.	Ref.
	b	h	Long	Tiempo	Carga	Carga	Tensión de Rotura en Flexión	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	Velocidad de rotura		
	[mm]	[mm]	[mm]		[Espacios]	[kg]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm/min]		
A1	102	22.62	501.0	4' 45"	110	728	45.5	31.2	1.0	G	
A2	104	22.10	501.0	3' 30"	70	463	29.8	20.3	1.0	G	
A3	105	22.30	501.0	3' 52"	71	470	29.4	20.1	1.0	G	10
A4	102	22.37	501.0	4' 11"	88	583	37.3	25.5	1.0	G	
A6	102	22.36	501.0	3' 52"	96	636	40.7	27.8	1.0	G	5
A7	102	22.32	501.0	4' 27"	110	728	46.8	32.0	1.0	G	7
A8	102	22.26	501.0	3' 15"	110	728	47.0	32.1	1.0	G	5
A10	102	22.13	501.0	4' 31"	120	794	51.9	35.4	1.0	G	
A11	105	22.22	501.0	3' 50"	85	563	35.4	24.2	1.0	G	
A12	101	22.26	501.0	3' 34"	86	569	37.1	25.4	1.0	G	10
A13	103	22.27	501.0	4' 21"	93	616	39.3	26.9	1.0	M (20% S)	3 - 1
A14	101	22.27	501.0	8' 03"	101	670	43.7	29.8	1.0		14
A15	102	22.26	502.0	3' 30"	119	788	50.9	34.7	1.0	G	
A16	101	22.10	501.0	3' 03"	102	675	44.7	30.5	1.0	A	9
A17	103	22.24	501.0	3' 24"	109	722	46.2	31.6	1.0	G	5
A19	103	22.18	501.0	4' 42"	88	583	37.5	25.6	1.0	A	
A23	103	22.15	501.0	4' 55"	84	556	35.9	24.5	1.0	A	15
A24	102	22.23	501.0	5' 02"	91	602	39.0	26.6	1.0	A	
A25	103	22.15	502.0	3' 53"	85	563	36.3	24.8	1.0	G	
A26	103	22.15	501.0	3' 20"	89	589	38.1	26.0	1.0	A	15
A27	102	22.21	501.0	7' 38"	96	636	41.2	28.1	1.0	M (40% S)	4 - 1
A28	103	22.23	501.0	5' 26"	117	775	49.7	33.9	1.0	A	15
A30	103	22.16	501.0	5' 02"	114	755	48.7	33.2	1.0	(60% A) y (40% G)	15
A31	102	22.19	501.0	4' 11"	104	688	44.7	30.5	1.0	M (15% S)	10 - 3 - 2
A32	103	22.37	501.0	6' 47"	95	629	39.8	27.2	1.0	M (50% S)	3 - 1
A33	104	22.24	501.0	5' 00"	87	576	36.5	24.9	1.0	G	
A35	103	22.31	501.0	5' 22"	86	569	36.2	24.8	1.0	G	10 - 5
A36	101	22.22	501.0	6' 54"	88	583	38.1	26.0	1.0	G	13
A37	102	22.25	501.0	2' 52"	109	722	46.6	31.8	1.0	G	10 - 9
A40	102	22.26	501.0	2' 15"	88	583	37.6	25.7	1.0	G	
A42	104	22.22	501.0	3' 14"	95	629	40.0	27.3	1.0	G	10 - 5
A43	102	22.25	501.0	3' 41"	101	669	43.2	29.5	1.0	G	10
A44	104	22.28	501.0	4' 55"	103	682	43.1	29.4	1.0	M (70% S)	3 - 1
A45	101	22.22	501.0	5' 13"	89	589	38.6	26.3	1.0	A	15
A46	103	22.24	501.0	3' 37"	86	569	36.5	24.9	1.0	M (10% S)	3 - 1
A47	103	22.32	501.0	4' 15"	110	728	46.3	31.6	1.0	G	10
A49	104	22.35	501.0	4' 05"	102	675	42.4	29.0	1.0	G	
A50	101	22.32	501.0	5' 18"	93	616	39.9	27.3	1.0	M (20% S)	3 - 1
A54	102	22.24	501.0	3' 53"	94	622	40.3	27.5	1.0	G	
A55	102	22.08	501.0	6' 50"	113	748	49.1	33.5	1.0	G	10 - 5
A56	103	22.08	501.0	6' 59"	127	841	54.6	37.3	1.0	A	
A57	100	22.12	501.0	6' 21"	116	768	51.2	34.9	1.0	M (25% S)	3 - 1
A58	101	22.13	501.0	6' 05"	100	662	43.7	29.8	1.0	G	10
A59	102	22.14	501.0	6' 50"	115	761	49.7	33.9	1.0	M (85% S)	3 - 1
A60	105	22.14	501.0	3' 38"	83	549	34.8	23.8	1.0	A	
A61	102	22.18	501.0	3' 50"	102	675	43.9	30.0	1.0	G	
A62	103	22.18	501.0	6' 17"	131	867	55.9	38.1	1.0	M (40% S)	3 - 1
A63	101	22.21	501.0	5' 33"	85	563	36.9	25.2	1.0	G	10
A64	104	22.12	501.0	5' 03"	91	602	38.6	26.3	1.0	G	
A65	100	22.09	501.0	6' 50"	99	655	43.8	29.9	1.0	M (50% S)	10 - 5 - 3 - 1
A66	102	22.21	501.0	5' 23"	123	814	52.8	36.0	1.0	S	6 - 1

						<b>MIN</b>	20.1
						<b>PROM</b>	29.1
						<b>MÁX</b>	40.4
						<b>DESV S</b>	4.8
						<b>COV</b>	0.16
						<b>CONTAR</b>	62

Datos del Finger: largo= 10 mm, paso del diente= 3,5 mm, ancho del fondo del diente= 1 mm. velocidad de ensayo = 1 mm/min.

Referencias	
1	Abundante deposito de fibras
2	Escaso deposito de fibras
3	En zona traccionada combinan rotura tipo G y S
4	En zona traccionada y comprimida rotura tipo G, y en zona central, rotura tipo S
5	En zona comprimida la rotura se produjo en la zona de aplicación de la carga
6	En zona comprimida la rotura se produjo 25% en zona de finger y 75% en zona de aplicación de la
7	En zona comprimida la rotura se produjo 50% en zona de finger y 50% en zona de aplicación de la
8	En zona comprimida 25% rompio en zona de apoyo, y 30% en zona de finger
9	En zona traccionada 50% de rotura tipo G y 50% rotura tipo A
10	En zona comprimida rotura tipo A
11	En zona traccionada 50% de la rotura se produjo fuera del tercio central (sobre nudo), y 50% sobre
12	Rotura sobre nudo dentro del tercio central
13	70% de la rotura se produjo fuera del finger, en zona traccionada
14	En zona traccionada rotura tipo S (30%) y rotura tipo A (70%)
15	En zona comprimida rotura tipo G
16	En zona traccionada rotura tipo A (15%)
17	En zona comprimida rotura tipo G (40%) y rotura tipo A (60%)
18	Presencia de medula en la zona de rotura

Tabla A3 - Datos de Ensayo Flexión Finger Australiano Clase 1

ENSAYO FLEXION EN 408 - FINGER ÁLAMO AUSTRALIANO - CLASE 2											
Número de probeta	Datos Probeta						Valores calculados			Descripción de la rotura.	Ref.
	b	h	Long	Tiempo	Carga	Carga	Tensión de Rotura en Flexión	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	Velocidad de rotura		
	[mm]	[mm]	[mm]	(seg)	[Espacios]	[kg]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm/min]		
A106	104.00	22.16	501.0	3' 24"	75	497	31.7	21.6	1.0	A	
A107	102.00	22.16	501.0	4' 47"	95.00	629	41.0	28.0	1.0	G	16 -10 - 5
A114	104.00	22.20	501.0	3' 34"	84.00	556	35.4	24.2	1.0	A	17
A130	106.00	22.14	501.0	3' 08"	79.00	523	32.9	22.4	1.0	G	
A135	104.00	22.13	501.0	3' 50"	111.00	735	47.1	32.1	1.0	G	
A136	104.00	22.10	501.0	3' 47"	115.00	761	48.9	33.4	1.0	G	10 - 5
A138	103.00	22.12	501.0	4' 32"	81.00	536	34.7	23.7	1.0	G	10 - 5
A139	103.00	22.25	501.0	3' 05"	97.00	642	41.1	28.1	1.0	A	
A140	104.00	22.15	501.0	4' 30"	124.00	821	52.5	35.8	1.0	G	10-5
A142	104.00	22.21	501.0	3' 20"	104.00	688	43.8	29.9	1.0	G	
A145	104.00	22.24	501.0	3' 30"	105.00	695	44.1	30.1	1.0	A	
A149	103.00	22.19	501.0	3' 15"	102.00	675	43.5	29.7	1.0	A	
A150	103.00	22.20	501.0	8' 10"	108.00	715	46.0	31.4	1.0	G	18
A152	104.00	22.16	501.0	5' 00"	88.00	583	37.2	25.4	1.0	G	
A153	105.00	22.06	501.0	4' 04"	96.00	636	40.6	27.7	1.0	G	18
A157	105.00	22.18	501.0	6' 37"	143.00	947	59.8	40.8	1.0	M (40% S )	18-1
A159	102.00	22.25	501.0	6' 35"	116.00	768	49.6	33.9	1.0	G	18
A160	100.20	22.38	501.0	4' 55"	86.00	569	37.0	25.3	1.0	(60% G) y (40% A)	10
A161	100.00	21.98	501.0	5' 14"	120.00	794	53.7	36.6	1.0	G	10 - 5
A162	100.30	22.32	501.0	3' 57"	59.00	391	25.5	17.4	1.0	M (40% S )	3 - 2
A163	100.00	22.10	501.0	4' 40"	125.00	828	55.3	37.7	1.0	G	
A164	100.00	22.08	501.0	4' 10"	101.00	669	44.8	30.5	1.0	G	
A165	100.00	22.00	501.0	4' 45"	125.00	828	55.8	38.0	1.0	M (5% S )	10 - 5 - 3 - 2
A166	100.20	22.13	501.0	5' 30"	119.00	788	52.4	35.7	1.0	G	10
A167	100.00	22.05	501.0	5' 43"	110.00	728	48.9	33.3	1.0	M (5% S )	16 - 3 - 1
A168	99.50	22.03	501.0	2' 15"	60.00	397	26.8	18.3	1.0	M (25% S )	3 - 2
A169	100.00	22.05	501.0	2' 48"	80.00	530	35.6	24.2	1.0	G	10 - 5
A170	99.50	22.05	501.0	3' 47"	104.00	688	46.4	31.7	1.0	(10% G) y (85% A) y	7 - 2
A171	100.10	21.93	501.0	4' 47"	103.00	682	46.2	31.5	1.0	G	6
A172	100.20	22.00	501.0	3' 58"	115.00	761	51.2	34.9	1.0	G	

							MIN	17.4			
							PROM	29.8			
							MÁX	40.8			
							DESV S	5.9			
							COV	0.20			
							CONTAR	30			

Datos del Finger: largo= 10 mm, paso del diente= 3,5 mm, ancho del fondo del diente= 1 mm. velocidad de ensayo = 1 mm/min.

Referencias	
1	Abundante deposito de fibras
2	Escaso deposito de fibras
3	En zona traccionada combinan rotura tipo G y S
4	En zona traccionada y comprimida rotura tipo G, y en zona central, rotura tipo S
5	En zona comprimida la rotura se produjo en la zona de aplicación de la carga
6	En zona comprimida la rotura se produjo 25% en zona de finger y 75% en zona de aplicación de la carga
7	En zona comprimida la rotura se produjo 50% en zona de finger y 50% en zona de aplicación de la carga
8	En zona comprimida 25% rompio en zona de apoyo, y 30% en zona de finger
9	En zona traccionada 50% de rotura tipo G y 50% rotura tipo A
10	En zona comprimida rotura tipo A
11	En zona traccionada 50% de la rotura se produjo fuera del tercio central (sobre nudo), y 50% sobre finger
12	Rotura sobre nudo dentro del tercio central
13	70% de la rotura se produjo fuera del finger, en zona traccionada
14	En zona traccionada rotura tipo S (30%) y rotura tipo A (70%)
15	En zona comprimida rotura tipo G
16	En zona traccionada rotura tipo A (15%)
17	En zona comprimida rotura tipo G (40%) y rotura tipo A (60%)
18	Presencia de medula en la zona de rotura

Tabla A4 - Datos de Ensayo Flexión Finger Australiano Clase 2

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
A63	1	19,15		271
A48	2	25,11		7074
A64	3	25,44		280
A31	4	26,60	26,60	6422
A16	5	26,67		8769
A33	6	27,91		4266
A50	7	27,99		9476
A29	8	29,29		5050
A19	9	29,44		10038
A21	10	29,91		8566
A36	11	30,50		11256
A40	12	31,19		7212
A22	13	31,73		5329
A10	14	32,61		6607
A34	15	32,87		10847
A25	16	32,96		5810
A30	17	33,63		9194
A46	18	33,69		10627
A54	19	34,86		8417
A61	20	34,86		293
A4	21	34,95		7692
A18	22	35,09		7856
A43	23	35,18		8514

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
A42	24	35,56		6702
A49	25	35,82		7090
A11	26	36,61		8860
A26	27	36,84		9500
A20	28	37,78		8138
A45	29	37,94		6982
A55	30	38,13		10940
A15	31	38,20		7272
A3	32	38,34		9462
A65	33	39,27		436
A28	34	40,27		9314
A7	35	40,47		10620
A32	36	40,75		10086
A38	37	40,75		11131
A1	38	41,23		11412
A62	39	41,23		486
A24	40	41,68		11822
A51	41	42,51		10065
A17	42	43,22		9397
A37	43	43,22		12843
A41	44	43,56		10595
A8	45	43,95		12797
A47	46	44,09		10358
A12	47	44,47		12588

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
A6	50	45,82		11767
A35	51	46,08		10122
A9	52	46,71		10790
A52	53	47,29		11508
A14	54	47,31		9791
aA57	55	48,13		11276
A13	56	48,39		11123
A56	57	49,13		9886
A23	58	49,45		10039
A2	59	49,52		10495
A53	60	49,84		11786
A60	61	51,25		363
A39	62	52,12		10508
A5	63	54,01		11911
A59	64	55,71		608
	5%muestras	3,20	Promedio	8449

Tabla A5 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión – Modulo de Elasticidad - Tablas Australiano Clase 1

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
A108	1	16,49		6773
A103	2	17,71	17,71	4115
A121	3	18,89		3908
A123	4	19,58		5028
A128	5	21,08		7005
A127	6	22,61		7500
A135	7	23,14		3416
A117	8	24,75		7187
A141	9	25,03		10108
A138	10	29,13		8551
A133	11	29,37		9070
A126	12	30,36		9762
A131	13	30,67		8332
A129	14	30,81		8900
A106	15	30,84		7664
A116	16	32,83		5946
A112	17	33,67		8871
A101	18	34,23		9741
A113	19	34,28		7369
A107	20	34,33		10350
A125	21	34,38		9430
A111	22	34,53		6384
A118	23	34,63		8180

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
A115	26	35,32		10124
A109	27	35,52		8548
A120	28	35,81		9085
A105	29	36,32		8776
A119	30	37,03		8337
A122	31	37,45		8339
A137	32	38,06		10866
A110	33	38,41		9424
A104	34	39,46		8704
A134	35	40,09		9454
A139	36	40,57		10704
A140	37	41,06		11211
A124	38	41,98		11062
A132	39	45,03		9689
	5%muestras	1,95	Promedio	8305

Tabla A6 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión – Modulo de Elasticidad - Tablas Australiano Clase 2

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S29	1	9,80		6619
S25	2	12,21		7214
S30	3	20,21		9566
S76	4	22,93		9215
S53	5	23,28	23,28	10670
S23	6	23,80		11260
S21	7	24,18		8952
S26	8	24,32		9227
S50	9	24,36		10586
S51	10	25,56		10191
S15	11	26,10		5773
S24	12	26,70		10269
S40	13	27,88		10675
S27	14	28,23		9936
S47	15	28,47		9692
S4	16	29,20		10280
S11	17	29,61		9490
S68	18	29,74		8699
S19	19	30,21		8788
S80	20	31,34		5344
S13	21	32,56		9168
S28	22	32,65		11945
S18	23	32,72		9892

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
S59	26	33,36		11399
S78	27	33,53		9060
S42	28	34,42		11983
S83	29	34,42		9726
S17	30	34,49		11437
S9	31	34,97		9481
S20	32	34,98		9371
S63	33	34,98		9734
S41	34	35,38		10123
S12	35	35,91		11598
S31	36	36,21		10565
S43	37	36,31		9359
S36	38	36,86		9692
S60	39	36,95		9684
S45	40	37,05		12359
S62	41	37,13		10643
S5	42	37,15		11771
S79	43	37,28		11082
S6	44	37,35		9867
S39	45	37,78		10385
S66	46	38,02		8402
S57	47	38,17		10689
S16	48	38,24		11347

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
S46	51	39,43		10309
S74	52	39,80		11021
S37	53	39,82		11339
S7	54	39,94		10529
S2	55	40,07		13398
S56	56	40,23		10699
S81	57	40,29		11351
S72	58	40,30		11466
S58	59	40,46		11006
S75	60	40,60		11897
S85	61	40,66		11711
S48	62	40,69		11410
S77	63	40,72		10056
S14	64	40,75		11753
S38	65	40,95		10882
S84	66	41,12		11195
S8	67	41,36		11283
S86	68	41,52		11086
S52	69	41,65		11629
S65	70	42,13		10681
S61	71	42,60		12389
S88	73	42,97		11807
S44	74	43,14		11125

Nombre de la probeta	Muestras	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S1	76	43,64		11033
S34	77	44,26		11445
S69	78	44,63		11290
S70	79	45,09		11659
S67	80	45,40		11328
S10	81	45,48		12262
S87	82	45,59		11458
S32	83	45,61		13124
S49	84	45,88		11415
S55	85	46,69		11358
S82	86	46,75		11809
S64	87	48,96		12814
S71	88	55,88		18152
	5% muestra	4,4		10646

Tabla A7 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión – Modulo de Elasticidad - Tablas Stoneville Clase 2

Nombre de la probeta	Muestra	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S134	1	17,45		8718
S166	2	18,25		7699
S120	3	18,99		8909
S110	4	20,03		10206
S104	5	20,04	20,04	7583
S139	6	21,86		7097
S167	7	22,24		8367
S175	8	22,27		8002
S140	9	22,28		8162
S148	10	22,37		8573
S119	11	23,25		7550
S157	12	23,47		9835
S131	13	23,74		7440
S181	14	23,74		9471
S154	15	24,55		9603
S125	16	25,31		8912
S163	17	25,58		7926
S161	18	26,43		8200
S177	19	26,54		9898
S151	20	26,60		7590
S123	21	26,77		9281
S150	22	26,89		8712
S141	23	27,12		9055

Nombre de la probeta	Muestra	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
S135	26	27,51		6026
S103	27	27,83		10930
S186	28	27,88		9969
S183	29	28,01		9945
S180	30	28,36		8794
S152	31	28,37		9049
S153	32	28,39		6212
S128	33	28,69		8596
S162	34	28,74		9034
S174	35	28,76		9045
S109	36	29,44		10226
S136	37	29,63		11229
S132	38	29,85		9408
S121	39	29,87		9619
S138	40	29,90		9954
S168	41	30,06		9641
S116	42	30,08		9881
S185	43	30,43		9684
S144	44	30,52		8266
S184	45	30,84		9865
S122	46	31,13		9195
S115	47	31,67		8774
S155	48	31,80		9404

Nombre de la probeta	Muestra	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
S146	51	31,98		8838
S112	52	32,00		8990
S149	53	32,09		9568
S137	54	32,37		9253
S147	55	32,62		10243
S130	56	32,91		10661
S133	57	32,91		9737
S129	58	33,05		9325
S173	59	33,32		11649
S107	60	33,74		10747
S143	61	34,08		11233
S117	62	34,16		10121
S165	63	34,25		11301
S170	64	34,37		10795
S159	65	34,43		10768
S182	66	34,59		10861
S178	67	34,83		10440
S118	68	34,88		8180
S160	69	35,02		11214
S179	70	35,77		10834
S172	71	35,92		10345
S102	73	36,11		9887
S106	74	36,24		8413

Nombre de la probeta	Muestra	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	MOR	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S127	77	38,01		9149
S111	78	38,02		10530
S171	79	38,16		9129
S113	80	39,40		10778
S142	81	40,69		10538
S145	82	40,80		12029
S164	83	40,84		12697
S105	84	42,77		11766
S114	85	46,65		11561
S101	86	46,88		12691
	5%muestras	4,3		9507

Tabla A8 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión – Modulo de Elasticidad - Tablas Stoneville Clase 2

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
				[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>Tablas</b>								
S29	1	clase1		441	13	9,8		6619
S25	2	clase1		442	12,6	12,21		7214
A63	3	clase1		383	11,5	19,15		271
S30	4	clase1		460	12,8	20,21		9566
S76	5	clase1		436	12,5	22,93		9215
S53	6	clase1		460	11,9	23,28		10670
S23	7	clase1		513	12,2	23,8		11260
S21	8	clase1		461	12,5	24,18	24,18	8952
S26	9	clase1		418	12,4	24,32		9227
S50	10	clase1		428	12,6	24,36		10586
A48	11	clase1		375	11,7	25,11		7074
A64	12	clase1		399	11,8	25,44		280
S51	13	clase1		477	12,4	25,56		10191
S15	14	clase1		409	13,1	26,1		5773
A31	15	clase1		425	12,2	26,6		6422
A16	16	clase1		427	11,7	26,67		8769
S24	17	clase1		530	12,4	26,7		10269
S40	18	clase1		438	12,7	27,88		10675
A33	19	clase1		451	12,6	27,91		4266
A50	20	clase1		430	11,6	27,99		9476
S27	21	clase1		419	12,3	28,23		9936
S47	22	clase1		444	12,6	28,47		9692

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S4	23	clase1		420	13	29,2		10280
A29	24	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
A19	25	clase1		427	12,1	29,44		10038
S11	26	clase1		433	12,4	29,61		9490
S68	27	clase1		442	12,4	29,74		8699
A21	28	clase1		436	11,1	29,91		8566
S19	29	clase1		470	12,6	30,21		8788
A36	30	clase1		512	11,5	30,5		11256
A40	31	clase1		456	11,9	31,19		7212
S80	32	clase1		408	13,3	31,34		5344
A22	33	clase1		440	12,3	31,73		5329
S13	34	clase1		424	12,3	32,56		9168
A10	35	clase1		398	11,6	32,61		6607
S28	36	clase1		446	11,9	32,65		11945
S18	37	clase1		410	12,5	32,72		9892
A34	38	clase1		481	11,3	32,87		10847
A25	39	clase1		442	12,5	32,96		5810
S22	40	clase1		447	11,6	32,98		11971
S3	41	clase1		402	12,6	33,15		9464
S59	42	clase1		443	12,3	33,36		11399
S78	43	clase1		447	12,3	33,53		9060
A30	44	clase1		433	12,2	33,63		9194
A46	45	clase1		495	11,6	33,69		10627
S42	46	clase1		431	11,9	34,42		11983

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S83	47	clase1		399	12,5	34,42		9726
S17	48	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
A54	49	clase1		400	11,2	34,86		8417
A61	50	clase1		392	11,6	34,86		293
A4	51	clase1		429	11,7	34,95		7692
S9	52	clase1		386	13	34,97		9481
S20	53	clase1		447	11,9	34,98		9371
S63	54	clase1		376	12,4	34,98		9734
A18	55	clase1		411	12,5	35,09		7856
A43	56	clase1		463	11,8	35,18		8514
S41	57	clase1		412	13	35,38		10123
A42	58	clase1		457	12	35,56		6702
A49	59	clase1		435	11,8	35,82		7090
S12	60	clase1		441	12,5	35,91		11598
S31	61	clase1		469	12	36,21		10565
S43	62	clase1		429	12,2	36,31		9359
A11	63	clase1		460	11	36,61		8860
A26	64	clase1		453	12,4	36,84		9500
S36	65	clase1		402	12,7	36,86		9692
S60	66	clase1		397	12,7	36,95		9684
S45	67	clase1		454	12,6	37,05		12359
S62	68	clase1		431	12,1	37,13		10643
S5	69	clase1		430	13,1	37,15		11771
S79	70	clase1		433	12,4	37,28		11082

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S6	71	clase1		438	12,2	37,35		9867
A20	72	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S39	73	clase1		424	12,4	37,78		10385
A45	74	clase1		449	11,7	37,94		6982
S66	75	clase1		449	12,5	38,02		8402
A55	76	clase1		461	11,9	38,13		10940
S57	77	clase1		410	12,4	38,17		10689
A15	78	clase1		390	11,5	38,2		7272
S16	79	clase1		422	13,1	38,24		11347
A3	80	clase1		410	11,3	38,34		9462
S73	81	clase1		465	11,8	38,95		10774
A65	82	clase1		403	12	39,27		436
S54	83	clase1		430	11,9	39,28		10498
S46	84	clase1		456	12,6	39,43		10309
S74	85	clase1		444	12,5	39,8		11021
S37	86	clase1		473	12,6	39,82		11339
S7	87	clase1		474	12,3	39,94		10529
S2	88	clase1		446	12,6	40,07		13398
S56	89	clase1		474	12,2	40,23		10699
A28	90	clase1		535	10,9	40,27		9314
S81	91	clase1		421	12,4	40,29		11351
S72	92	clase1		452	12,1	40,3		11466
S58	93	clase1		470	11,8	40,46		11006
A7	94	clase1		441	11,3	40,47		10620

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S75	95	clase1		443	12,2	40,6		11897
S85	96	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S48	97	clase1		408	12,4	40,69		11410
S77	98	clase1		391	12,7	40,72		10056
A32	99	clase1		416	11,5	40,75		10086
A38	100	clase1		484	11,3	40,75		11131
S14	101	clase1		470	12,7	40,75		11753
S38	102	clase1		418	12,5	40,95		10882
S84	103	clase1		417	13,3	41,12		11195
A1	104	clase1		451	11,2	41,23		11412
A62	105	clase1		434	11,5	41,23		486
S8	106	clase1		430	12	41,36		11283
S86	107	clase1		426	12,2	41,52		11086
S52	108	clase1		452	12,5	41,65		11629
A24	109	clase1		472	11,5	41,68		11822
S65	110	clase1		445	12,5	42,13		10681
A51	111	clase1		530	11	42,51		10065
S61	112	clase1		475	11,9	42,6		12389
S35	113	clase1		486	12,8	42,94		12176
S88	114	clase1		434	12,7	42,97		11807
S44	115	clase1		446	13,3	43,14		11125
A17	116	clase1		430	10,8	43,22		9397
A37	117	clase1		487	11,4	43,22		12843
S33	118	clase1		424	11,9	43,23		11106

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
A41	119	clase1		524	11,6	43,56		10595
S1	120	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
A8	121	clase1		474	11,1	43,95		12797
A47	122	clase1		468	11	44,09		10358
S34	123	clase1		424	12,8	44,26		11445
A12	124	clase1		486	11,7	44,47		12588
S69	125	clase1		414	12,5	44,63		11290
A44	126	clase1		415	11,9	45,02		9455
S70	127	clase1		455	12,2	45,09		11659
A27	128	clase1		510	11,4	45,25		10565
S67	129	clase1		424	12,1	45,4		11328
S10	130	clase1		454	12,3	45,48		12262
S87	131	clase1		453	12,6	45,59		11458
S32	132	clase1		460	12,6	45,61		13124
A6	133	clase1		500	11,1	45,82		11767
S49	134	clase1		424	12,6	45,88		11415
A35	135	clase1		512	11,5	46,08		10122
S55	136	clase1		439	12,2	46,69		11358
A9	137	clase1		488	11,2	46,71		10790
S82	138	clase1		460	12,5	46,75		11809
A52	139	clase1		452	11,6	47,29		11508
A14	140	clase1		441	11,1	47,31		9791
A57	141	clase1		464	11,4	48,13		11276
A13	142	clase1		448	11,3	48,39		11123

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S64	143	clase1		446	12,9	48,96		12814
A56	144	clase1		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
A23	145	clase1		516	11,2	49,45		10039
A2	146	clase1		560	10,9	49,52		10495
A53	147	clase1		502	11,5	49,84		11786
A60	148	clase1		454	11,9	51,25		363
A39	149	clase1		467	11,2	52,12		10508
A5	150	clase1		506	10,8	54,01		11911
A59	151	clase1		453	11,4	55,71		608
S71	152	clase1		507	12,4	55,88		18152
	5% muestra	7,6	Promedio	446			Promedio	9731
			Desvi.	34				
			V.Carac.	389				
A108	1	clase2		391	11,5	16,49		6773
S134	2	clase2		453	12,6	17,45		8718
A103	3	clase2		467	12,2	17,71		4115
S166	4	clase2		466	12,3	18,25		7699
A121	5	clase2		427	12,4	18,89		3908
S120	6	clase2		444	12,6	18,99		8909
A123	7	clase2		439	12,6	19,58	19,58	5028
S110	8	clase2		423	13,1	20,03		10206
S104	9	clase2		409	13,8	20,04		7583
A128	10	clase2		485	11,9	21,08		7005
S139	11	clase2		428	13,1	21,86		7097

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S167	12	clase2		454	11,1	22,24		8367
S175	13	clase2		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S140	14	clase2		440	12,7	22,28		8162
S148	15	clase2		566	12,3	22,37		8573
A127	16	clase2		415	11,4	22,61		7500
A135	17	clase2		441	12,1	23,14		3416
S119	18	clase2		461	12,2	23,25		7550
S157	19	clase2		446	12,9	23,47		9835
S131	20	clase2		448	12,7	23,74		7440
S181	21	clase2		433	12,9	23,74		9471
S154	22	clase2		491	12,1	24,55		9603
A117	23	clase2		483	11,9	24,75		7187
A141	24	clase2		429	12,3	25,03		10108
S125	25	clase2		422	12,6	25,31		8912
S163	26	clase2		429	12,7	25,58		7926
S161	27	clase2		419	12,5	26,43		8200
S177	28	clase2		479	12,3	26,54		9898
S151	29	clase2		501	11,9	26,6		7590
S123	30	clase2		449	13	26,77		9281
S150	31	clase2		383	12,9	26,89		8712
S141	32	clase2		438	12,5	27,12		9055
S176	33	clase2		447	12,6	27,25		8360
S158	34	clase2		491	12,4	27,5		8062
S135	35	clase2		455	12,9	27,51		6026

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S103	36	clase2		424	13,8	27,83		10930
S186	37	clase2		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S183	38	clase2		399	12,3	28,01		9945
S180	39	clase2		489	12	28,36		8794
S152	40	clase2		431	12,9	28,37		9049
S153	41	clase2		415	13,2	28,39		6212
S128	42	clase2		437	12,6	28,69		8596
S162	43	clase2		567	12,3	28,74		9034
S174	44	clase2		436	12,4	28,76		9045
A138	45	clase2		435	11,2	29,13		8551
A133	46	clase2		488	10,7	29,37		9070
S109	47	clase2		446	12,8	29,44		10226
S136	48	clase2		449	12,7	29,63		11229
S132	49	clase2		428	12,8	29,85		9408
S121	50	clase2		445	12,8	29,87		9619
S138	51	clase2		484	12,2	29,9		9954
S168	52	clase2		406	12,6	30,06		9641
S116	53	clase2		404	12,6	30,08		9881
A126	54	clase2		468	11,3	30,36		9762
S185	55	clase2		532	12,4	30,43		9684
S144	56	clase2		511	12,4	30,52		8266
A131	57	clase2		451	12,1	30,67		8332
A129	58	clase2		490	11,6	30,81		8900
A106	59	clase2		416	11,2	30,84		7664

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S184	60	clase2		455	12,4	30,84		9865
S122	61	clase2		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S115	62	clase2		413	12,9	31,67		8774
S155	63	clase2		485	12,3	31,8		9404
S124	64	clase2		452	11,8	31,81		10266
S169	65	clase2		426	12,9	31,96		7110
S146	66	clase2		479	12,9	31,98		8838
S112	67	clase2		419	12,8	32		8990
S149	68	clase2		463	12,2	32,09		9568
S137	69	clase2		456	12,5	32,37		9253
S147	70	clase2		433	12,8	32,62		10243
A116	71	clase2		442	12,2	32,83		5946
S130	72	clase2		440	12,4	32,91		10661
S133	73	clase2		538	12,6	32,91		9737
S129	74	clase2		429	12,3	33,05		9325
S173	75	clase2		503	10,7	33,32		11649
A112	76	clase2		505	11,3	33,67		8871
S107	77	clase2		437	13	33,74		10747
S143	78	clase2		473	12,4	34,08		11233
S117	79	clase2		460	12,5	34,16		10121
A101	80	clase2		489	10,9	34,23		9741
S165	81	clase2		427	12,6	34,25		11301
A113	82	clase2		415	12	34,28		7369
A107	83	clase2		534	13,5	34,33		10350

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S170	84	clase2		551	12,3	34,37		10795
A125	85	clase2		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
S159	86	clase2		479	12,8	34,43		10768
A111	87	clase2		397	12,3	34,53		6384
S182	88	clase2		492	12,3	34,59		10861
A118	89	clase2		638	11,5	34,63		8180
A114	90	clase2		430	11,8	34,64		7836
S178	91	clase2		449	12,6	34,83		10440
S118	92	clase2		514	12,6	34,88		8180
S160	93	clase2		537	12,4	35,02		11214
A136	94	clase2		437	12	35,03		8147
A115	95	clase2		509	11,8	35,32		10124
A109	96	clase2		479	11	35,52		8548
S179	97	clase2		423	12,7	35,77		10834
A120	98	clase2		496	11,6	35,81		9085
S172	99	clase2		408	13,2	35,92		10345
S156	100	clase2		483	13	36,09		12950
S102	101	clase2		475	13,6	36,11		9887
S106	102	clase2		435	13	36,24		8413
A105	103	clase2		421	11,7	36,32		8776
A119	104	clase2		472	11,4	37,03		8337
S108	105	clase2		408	12,5	37,22		10232
A122	106	clase2		493	11	37,45		8339
S126	107	clase2		431	12,2	38,01		10243

Nombre de la probeta	muestras	clase		densidad corregida al 12% humedad	humedad	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	Módulo de Elasticidad en Flexión corregido al 12%
S127	108	clase2		506	12,6	38,01		9149
S111	109	clase2		[kg/m3]	[%]	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]
A137	110	clase2		479	11,7	38,06		10866
S171	111	clase2		465	12,9	38,16		9129
A110	112	clase2		452	11,8	38,41		9424
S113	113	clase2		491	12,8	39,4		10778
A104	114	clase2		407	11,1	39,46		8704
A134	115	clase2		508	11	40,09		9454
A139	116	clase2		464	11,6	40,57		10704
S142	117	clase2		423	12,4	40,69		10538
S145	118	clase2		481	12,9	40,8		12029
S164	119	clase2		472	12,7	40,84		12697
A140	120	clase2		526	11,9	41,06		11211
A124	121	clase2		487	11,2	41,98		11062
S105	122	clase2		499	12,6	42,77		11766
A132	123	clase2		493	11,3	45,03		9689
S114	124	clase2		454	12,2	46,65		11561
S101	125	clase2		475	13,7	46,88		12691
	5% muestra	6,25	Promedio	460			Promedio	9159
			Desvi.	41				
			V.Carac.	392				

Tabla A9 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión – Modulo de Elasticidad -Densidad - Tablas Clase 1 - Tablas Clase 2

## Tablas con unión dentada

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S77	1	Clase1	15,68	
S25	2	Clase1	18,22	
A3	3	Clase1	20,07	
A2	4	Clase1	20,30	
S40	5	Clase1	20,75	
A70	6	Clase1	21,07	
A69	7	Clase1	22,53	22,53
S4	8	Clase1	23,17	
S67	9	Clase1	23,57	
A77	10	Clase1	23,76	
A60	11	Clase1	23,76	
A11	12	Clase1	24,18	
A23	13	Clase1	24,50	
A35	14	Clase1	24,76	
A25	15	Clase1	24,79	
A76	16	Clase1	24,84	
A46	17	Clase1	24,90	
A33	18	Clase1	24,95	
S29	19	Clase1	25,16	
A63	20	Clase1	25,16	
A12	21	Clase1	25,35	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
A4	22	Clase1	25,46	
A19	23	Clase1	25,60	
A40	24	Clase1	25,69	
A74	25	Clase1	25,89	
A26	26	Clase1	25,96	
A36	27	Clase1	26,02	
A45	28	Clase1	26,32	
A64	29	Clase1	26,35	
A24	30	Clase1	26,63	
S65	31	Clase1	26,68	
S60	32	Clase1	26,71	
S16	33	Clase1	26,75	
A13	34	Clase1	26,86	
S51	35	Clase1	27,00	
S26	36	Clase1	27,09	
S55	37	Clase1	27,13	
A32	38	Clase1	27,22	
A50	39	Clase1	27,28	
A42	40	Clase1	27,28	
A54	41	Clase1	27,48	
A6	42	Clase1	27,80	
S39	43	Clase1	27,96	
A27	44	Clase1	28,13	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S30	45	Clase1	28,25	
S69	46	Clase1	28,40	
S56	47	Clase1	28,73	
S44	48	Clase1	28,77	
A49	49	Clase1	28,99	
S70	50	Clase1	29,04	
S71	51	Clase1	29,35	
S43	52	Clase1	29,40	
A44	53	Clase1	29,44	
A43	54	Clase1	29,50	
S28	55	Clase1	29,58	
A58	56	Clase1	29,79	
A14	57	Clase1	29,81	
A65	58	Clase1	29,88	
A61	59	Clase1	29,97	
A16	60	Clase1	30,46	
A72	61	Clase1	30,50	
A31	62	Clase1	30,53	
S41	63	Clase1	30,70	
S1	64	Clase1	31,01	
S49	65	Clase1	31,03	
S59	66	Clase1	31,04	
S24	67	Clase1	31,10	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
A1	68	Clase1	31,19	
S27	69	Clase1	31,29	
A17	70	Clase1	31,56	
A47	71	Clase1	31,64	
A37	72	Clase1	31,84	
A7	73	Clase1	31,95	
A8	74	Clase1	32,11	
S34	75	Clase1	32,15	
S33	76	Clase1	32,24	
S23	77	Clase1	32,51	
S2	78	Clase1	32,61	
A68	79	Clase1	32,69	
S52	80	Clase1	32,89	
S38	81	Clase1	32,95	
S66	82	Clase1	32,98	
S68	83	Clase1	33,04	
S35	84	Clase1	33,14	
A30	85	Clase1	33,22	
A55	86	Clase1	33,47	
S74	87	Clase1	33,58	
A59	88	Clase1	33,90	
A28	89	Clase1	33,90	
S62	90	Clase1	33,93	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S42	91	Clase1	33,97	
S53	92	Clase1	34,03	
S19	93	Clase1	34,44	
S31	94	Clase1	34,48	
S63	95	Clase1	34,58	
A15	96	Clase1	34,73	
A67	97	Clase1	34,77	
S37	98	Clase1	34,90	
A57	99	Clase1	34,93	
S73	100	Clase1	34,93	
S12	101	Clase1	35,08	
S36	102	Clase1	35,10	
S76	103	Clase1	35,33	
S58	104	Clase1	35,39	
A10	105	Clase1	35,40	
S10	106	Clase1	35,45	
S75	107	Clase1	35,56	
S7	108	Clase1	35,59	
S64	109	Clase1	35,76	
S3	110	Clase1	36,02	
S5	111	Clase1	36,05	
A66	112	Clase1	36,05	
S15	113	Clase1	36,57	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S57	114	Clase1	36,65	
S14	115	Clase1	36,66	
A56	116	Clase1	37,25	
S9	117	Clase1	37,44	
S61	118	Clase1	37,78	
A62	119	Clase1	38,11	
A73	120	Clase1	38,49	
S20	121	Clase1	38,52	
A75	122	Clase1	39,76	
A71	123	Clase1	40,37	
S21	124	Clase1	40,60	
S72	125	Clase1	40,82	
S11	126	Clase1	41,12	
	5% muestra	6,3	<b>Ks</b>	
	Media	3,40	<b>1,756750</b>	<b>22,0590433</b>
	Desv.	0,17637		
S168	1	Clase2	13,04	
S171	2	Clase2	14,16	
S103	3	Clase2	16,63	
A162	4	Clase2	17,43	
A168	5	Clase2	18,29	<b>18,29</b>
S125	6	Clase2	20,32	
S102	7	Clase2	20,86	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S180	8	Clase2	20,93	
S157	9	Clase2	21,15	
S172	10	Clase2	21,18	
S177	11	Clase2	21,41	
A106	12	Clase2	21,65	
S161	13	Clase2	21,72	
S105	14	Clase2	22,05	
A130	15	Clase2	22,41	
S116	16	Clase2	22,99	
A138	17	Clase2	23,68	
S158	18	Clase2	23,76	
A114	19	Clase2	24,16	
S104	20	Clase2	24,18	
A169	21	Clase2	24,23	
S164	22	Clase2	24,31	
S165	23	Clase2	24,80	
S108	24	Clase2	24,85	
S122	25	Clase2	24,94	
S113	26	Clase2	25,07	
A160	27	Clase2	25,31	
S169	28	Clase2	25,39	
A152	29	Clase2	25,40	
S147	30	Clase2	26,43	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
S166	31	Clase2	26,76	
S129	32	Clase2	26,91	
S111	33	Clase2	26,92	
A153	34	Clase2	27,67	
S119	35	Clase2	27,82	
A107	36	Clase2	27,95	
A139	37	Clase2	28,06	
S107	38	Clase2	28,54	
S178	39	Clase2	28,70	
S156	40	Clase2	29,08	
S110	41	Clase2	29,15	
S162	42	Clase2	29,31	
A149	43	Clase2	29,65	
A142	44	Clase2	29,89	
S173	45	Clase2	29,90	
A145	46	Clase2	30,11	
S101	47	Clase2	30,32	
A164	48	Clase2	30,51	
S118	49	Clase2	30,54	
S124	50	Clase2	30,61	
S179	51	Clase2	30,86	
S170	52	Clase2	31,14	
A150	53	Clase2	31,37	

Nombre de la probeta	muestras	clase	Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk
A171	54	Clase2	31,47	
A170	55	Clase2	31,65	
S163	56	Clase2	31,71	
S182	57	Clase2	31,74	
S135	58	Clase2	32,02	
A135	59	Clase2	32,11	
S134	60	Clase2	32,22	
S114	61	Clase2	33,08	
S174	62	Clase2	33,20	
A167	63	Clase2	33,31	
A136	64	Clase2	33,35	
A159	65	Clase2	33,89	
S115	66	Clase2	33,89	
S175	67	Clase2	34,13	
S181	68	Clase2	34,14	
S176	69	Clase2	34,37	
A172	70	Clase2	34,90	
S167	71	Clase2	35,18	
A166	72	Clase2	35,73	
A140	73	Clase2	35,82	
A161	74	Clase2	36,55	
A163	75	Clase2	37,70	
A165	76	Clase2	38,01	

Nombre de la probeta	muestras	clase				Tensión de Rotura en Flexión corregida a altura de referencia 150mm	fk	
S159	77	Clase2				38,20		
S131	78	Clase2				39,67		
A157	79	Clase2				40,81		
S160	80	Clase2				43,56		
	5% muestra	4						
	Media	3,32				Ks	18,3476	
	Desv	0,23254				1,780		

Tabla A10 – Tabla de Cálculo para Determinar la Tensión Característica de Rotura a Flexión –

Tablas con unión dentada Clase 1 – Tablas con unión dentada Clase 2