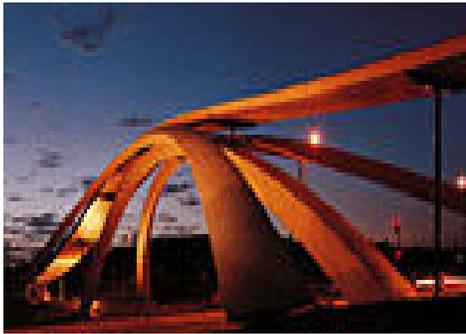


# Centro de Transferencia Tecnológica Pino Radiata



Presentación CTT-Unidad de  
Educación

**COMPENDIO DE DIRECTRICES  
PARA ENSEÑANZA EN  
INGENIERÍA**

PROYECTO CORFO-FONTEC

Noviembre 2003

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.</b>	<b>Identificación General del Recurso Forestal.....</b>	<b>8</b>
	Según el tipo de especies maderera (Clasificación Botánica).....	8
	Según el origen de la especie maderera.....	9
<b>2.</b>	<b>MADERA. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Clasificación Botánica.....</b>	<b>10</b>
	2.1.1. Nombre Científico.....	10
<b>2.2.</b>	<b>Estructura de la Madera.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.</b>	<b>Propiedades Físicas de la Madera.....</b>	<b>17</b>
	2.3.1. Contenido de humedad.....	17
	2.3.2. Medición del contenido de humedad.....	18
	2.3.2.1. Método de secado en estufa.....	19
	2.3.2.2. Método de xilohigrómetro.....	19
	2.3.3. Requisito para la madera.....	21
	2.3.4. Obtención de la humedad de equilibrio de servicio.....	21
	2.3.6. Densidad.....	24
	2.3.6.1. Medición de la densidad.....	30
	2.3.7. Contracción.....	31
<b>2.4.</b>	<b>Propiedades Eléctricas.....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.</b>	<b>Propiedades Acústicas.....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.</b>	<b>Propiedades Térmicas.....</b>	<b>35</b>
<b>2.7.</b>	<b>Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>37</b>
	2.7.1 Flexión estática.....	37
	2.7.2 Compresión paralela.....	39
	2.7.3 Cizalle paralelo a la dirección de las fibras.....	42
	2.7.4 Clivaje.....	43
	2.7.5 Tracción.....	44
	2.7.5.1 Tracción paralela a las fibras.....	44
	2.7.5.2 Tracción normal a las fibras .....	44
	2.7.6 Dureza (Janka).....	45
	2.7.7 Extracción de clavo.....	47
<b>2.9.</b>	<b>Propiedades Mecánicas de Especies Madereras crecidas en Chile.....</b>	<b>48</b>
<b>2.9</b>	<b>Factores que afectan las Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>49</b>
<b>2.10</b>	<b>Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chile según sus Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>55</b>
<b>3.</b>	<b>TENSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Tensiones de Diseño de la Madera.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Tensiones Básicas .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.3.</b>	<b>Tensiones Admisibles.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.4.</b>	<b>Defectos de la Madera.....</b>	<b>59</b>
	3.1.4.1 Definiciones Generales.....	59
	3.1.4.2 Términos relativos a defectos.....	60
	3.1.4.3. Esquematación y cuantificación de los defectos en la madera.....	63
<b>3.1.5.</b>	<b>Razón de Resistencia (RR).....</b>	<b>73</b>

3.1.6.	Clasificación de la Madera.....	73
3.1.6.1	Clasificación por Aspecto.....	73
3.1.6.2	Clasificación por Resistencia.....	74
3.1.6.3	Normas Nacionales.....	74
3.1.7.	Obtención de las Tensiones de Diseño.....	81
3.1.7.1	Factores de Modificación.....	82
3.1.7.2	Factores de Modificación de Aplicación General.....	82
3.1.7.3	Factores de Modificación de Aplicación Particular.....	86
3.1.8.	Tensiones y Módulo de Elasticidad de Diseño.....	86
4.	GEOMETRIA DE LA MADERA.....	87
4.1.	Dimensiones de la Madera Aserrada y Cepillada.....	87
4.1.1	Contenido de Humedad de Referencia.....	87
4.1.2	Unidades.....	87
4.1.3	Dimensiones Nominales.....	87
4.1.4.	Tolerancias.....	87
4.1.1.	Especificaciones.....	88
4.2.	Dimensiones de la Madera Aserrada y Cepillada de Pino radiata.....	89
4.2.1	Contenido de Humedad de Referencia.....	89
4.2.2	Unidades.....	89
4.1.1	Espesor y Ancho.....	89
4.1.2	Longitudes.....	91
4.2.4.1.	Longitudes mínimas.....	91
4.2.4.2.	Longitudes máximas.....	91
4.2	Dimensiones a Considerar de Acuerdo a la Humedad de la madera en el Momento de le Construcción y Puesta en Servicio.....	93
4.3.1.	Sobredimensiones para la Madera Aserrada en Estado Verde.....	94
4.4.	Dimensionamiento de Piezas Estructurales de Madera Aserrada y/o Cepillada.....	94
4.4.1	Consideraciones Generales de Diseño.....	94
4.4.1.1.	Secciones Transversales Mínimas.....	94
4.4.1.2.	Debilitamiento de Sección Transversal.....	94
5.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PIEZAS SIMPLES.....	95
5.1	Elementos en Flexión.....	95
5.1.1.	Generalidades.....	95
5.1.2.	Flexión en Vigas Simples.....	96
5.1.2.1.	Verificación de las Tensiones.....	96
5.1.2.2	Verificación de la Deformación.....	99
5.1.2.3	Verificación por Volcamiento.....	100
5.1.2.4	Factor de Modificación por Altura.....	104
5.1.2.5	Verificación de las Tensiones de Cizalle.....	105
5.1.2.6	Factor de Modificación por Rebaje.....	106
5.2	Elementos Sometidos A Compresión Normal.....	106
5.3	Elementos En Compresión Paralela A Las Fibras.....	109
5.3.1.	Generalidades.....	109
5.3.2.	Longitud efectiva de Pandeo.....	109

5.3.3.	Esbeltez.....	109
5.3.4.	Compresión Paralela en Piezas Simples.....	110
5.3.4.1.	Verificación de Tensiones.....	110
5.3.4.2.	Factor de Modificación por Esbeltez.....	111
5.4	Elementos En Tracción Según La Dirección De La Fibra.....	112
5.4.1.	Verificación de Tensiones.....	112
5.4.2.	Factor de Modificación por Concentración de Tensiones.....	113
5.5	Dimensionamiento De Piezas Sometidas A Esfuerzos Combinados.....	114
5.5.1.	Flexión en dos Ejes Principales de Inercia.....	114
5.5.2.	Flexión y Tracción Axial.....	115
5.5.3.	Flexión y Compresión Paralela.....	115
6.	DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR.....	118
6.1	Generalidades.....	118
6.2	Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad.....	119
6.3	Propiedades Geométricas.....	119
6.4	Factores de Modificación.....	119
6.4.1	De Aplicación General.....	119
6.4.2	De Aplicación Particular.....	119
6.5	Diseño de Elementos de Sección Circular en Flexión.....	122
6.6	Elementos de Sección Circular en Compresión.....	123
7.	UNIONES EN LA MADERA ESTRUCTURAL.....	126
7.1	Generalidades.....	126
7.2	Factores que requieren ser considerados.....	126
7.3.	Factores de Modificación.....	126
7.4.	Cargas de Diseño.....	127
7.5.	Uniones con Clavos.....	127
7.6.	Solicitaciones de Extracción Lateral.....	128
7.7.	Uniones de Barras de Acero y Pernos.....	131
7.7.1	Cargas Admisibles de Uniones Apernadas.....	131
8.	MADERA LAMINADA.....	138
8.1	Generalidades.....	138
8.1.1	Definición y Tipos de Laminados.....	138
8.1.2.	Reseña Histórica .....	139
8.1.3.	Ventajas de la Madera Laminada.....	141
8.1.4.	Desventajas de la Madera Laminada.....	142
8.1.5.	Aplicaciones.....	143
a.	Vigas Rectas.....	143
b.	Arcos.....	146
c.	Marcos.....	147
8.1.6.	Componentes de la Madera Laminada.....	150
8.2.	Fabricación de Madera Laminada.....	155
8.2.1.	Área de Pre-Encolado.....	156

8.2.2. Área de Encolado, Prensado y Fraguado.....	158
8.2.3. Área de Terminaciones.....	161
8.3. Especificaciones.....	166
8.3.1. Especificaciones de Fabricación.....	166
8.3.2. Especificaciones de Diseño Arquitectónico.....	169
8.3.3. Predimensionamiento.....	169
8.4. Dimensiones.....	172
8.4.1. Espesores.....	172
8.4.2. Anchos.....	172
8.4.3. Radio de Curvatura.....	172
<b>9. GRADOS DE CALIDAD DE LA MADERA ASERRADA DESTINADA A LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES LAMINADOS.....</b>	<b>178</b>
9.1 Grados de Calidad.....	178
9.1.1. Clasificación Estructural Mecánica.....	178
9.1.2. Clasificación Estructural Visual.....	180
9.2. Tensiones Admisibles para los Elementos Laminados Estructurales.....	182
<b>10. FACTORES DE MODIFICACIÓN PARA LA MADERA LAMINADA....</b>	<b>189</b>
10.1. Por contenido de Humedad.....	189
10.2. Por Duración de Carga.....	189
10.3. Por Temperatura.....	190
10.4. Por Tratamiento Químico.....	190
10.5. Por Volcamiento.....	190
10.6. Por Esbeltez.....	190
10.7. Por condición de Carga.....	191
10.8. Por Razón Luz/Altura.....	191
10.9. Por concentración de Tensiones.....	192
10.10. Por curvatura.....	192
10.11. Por Altura.....	193
<b>11. TENSIONES DE DISEÑO PARA ELEMENTOS LAMINADOS.....</b>	<b>194</b>
<b>12. PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN UN CALCULO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS LAMINADOS.....</b>	<b>195</b>
12.1. Método de Cálculo para Estructuras de Madera Laminada.....	195
a. Cálculo de las Tensiones de Trabajo.....	195
b. Cálculo de las Tensiones de Diseño.....	195
c. Verificación de las Tensiones.....	196
Para Flexión.....	196
Para Compresión Paralela.....	196
Para Tracción Paralela.....	196
Para Flexo-Compresión.....	196
Para flexo Tracción.....	196
12.2. Ejemplo de Cálculo Galpón Triarticulado de Madera Laminada.....	197
12.2.1. Memoria de Cálculo.....	197
12.2.2. Elevación y Planta del Galpón a Calcular.....	198

12.2.3. Diseño de las Costaneras.....	199
12.2.4. Diseño del Marco.....	201
<b>13. SECADO DE LA MADERA.....</b>	<b>206</b>
13.1. Introducción.....	206
13.2. Razones para Secar la Madera.....	207
13.3. Secado de la Madera.....	208
13.4. Defecto de secado y modo de Evitarlos.....	210
13.5. Métodos de secado.....	214
13.5.1. Secado al aire.....	214
13.5.2. Secado Artificial.....	218
13.5.3. Proceso de Secado Artificial.....	219
13.5.4. Programas de Secado y su Aplicación.....	223
13.5.5. Tipo de Secado Convencional .....	224
13.5.6. Tiempo Requerido en el Secado.....	225
<b>14. PRESERVACIÓN DE LA MADERA.....</b>	<b>226</b>
14.1. Agentes Destructores de la Madera.....	226
14.1.1. Causas Biológicas.....	226
14.1.1.a. Organismos Vegetales y xilófagos.....	229
14.1.1.b. Animales Xilófagos (Terrestres y Marítimos) .....	230
14.1.1.c. Acción del Hombre.....	232
14.2. Durabilidad Natural de la Madera.....	235
14.2.1. Principios básicos.....	235
14.2.2. Categorías de Maderas Comerciales según durabilidad.....	235
14.2.3. Clasificación de las Maderas.....	235
14.3. Protección de la Madera.....	236
14.4. Tipos de Preservantes.....	236
14.4.1. Preservantes Creosotados.....	236
14.4.2. Preservantes Solubles en Líquidos Orgánicos.....	236
14.4.3. Preservantes Hidrosolubles.....	237
14.5. Métodos de Preservación.....	238
14.5.1. Métodos sin Presión.....	238
14.5.1.1. Brocha o esparcidor.....	238
14.5.1.2. Inmersión.....	238
14.5.1.3. Inmersión Prolongada.....	238
14.5.1.4. Tratamiento Baño Caliente-Frío.....	238
14.5.1.5. Otros Tratamientos.....	239
14.5.2. Métodos con Presión.....	239
14.5.2.1. Proceso Célula Llena.....	240
14.5.2.2. Otros métodos con Presión .....	241
14.6. Usos de la Madera Preservada.....	242
14.6.1. Algunos Usos de la Madera Preservada.....	242
14.6.2. Uso del Pino radiata Preservado.....	244
14.7. Parámetros a considerar en Madera Tratada.....	245
14.7.1. Retención.....	246
14.7.2. Penetración.....	247

14.8. Inspección.....	248
14.8.1. Extracción de la Muestra.....	248
14.8.2. aceptación y Rechazo.....	248
<b>15. MADERAS COMERCIALES.....</b>	<b>249</b>
15.1. Especies Madereras Nativas.....	249
15.1.1. Coníferas.....	249
15.1.2. Latifoliadas.....	251
15.2. Especies Madereras Exóticas.....	258
15.2.1. Coníferas.....	258
15.2.2. Latifoliadas.....	259
<b>16. MADERAS RECONTITUIDAS.....</b>	<b>261</b>
16.1. Definición.....	261
16.2. Tableros de Fibras.....	261
16.2.1. Dimensiones.....	261
16.2.2. Tipos de Tableros de Fibras.....	261
16.2.3. Aplicación de los Tableros de Fibras.....	262
16.2.4. Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Fibra.....	262
16.3. Tableros de Partículas.....	263
16.3.1. Definición.....	263
16.3.2. Proceso de Fabricación.....	263
16.3.3. Tipos de Tableros de Partículas.....	263
16.3.4. Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Partículas.....	264
16.3.5. Aplicación de los Tableros de Partículas.....	265
16.4. Tableros Contrachapados. ....	265
16.4.1. Dimensiones y Espesores.....	265
16.4.2. Especies Madereras Utilizadas en la Fabricación.....	266
16.4.3. Algunas Especies Usadas en Chile.....	266
16.4.4. Grado de Calidad de las Chapas.....	266
16.4.5. Tipos de Adhesivos Usados.....	267

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. IDENTIFICACION GENERAL DEL RECURSO FORESTAL.

Las especies forestales se clasifican en dos grandes grupos:

#### Latifoliadas y Coníferas

Aún cuando las diferencias entre ambos grupos son de origen botánico, existe la creencia errónea que esta clasificación puede ser aplicada al campo de las propiedades físicas y mecánicas de la madera que de ellas se obtiene. Este error deriva probablemente de la denominación inglesa de ambos grupos: “Hardwood” (maderas duras), para las latifoliadas, y “Softwood” (maderas blandas) para las coníferas. Este concepto no es aplicable en absoluto a las especies forestales chilenas pues existen coníferas con mejores propiedades mecánicas y físicas que muchas latifoliadas y viceversa.

**Las coníferas** corresponden a una clasificación de orden superior, que abarca a aquellas especies cuyos frutos son estructuras llamadas conos, aunque en algunas coníferas esta estructura no es tan evidente. Generalmente sus hojas poseen forma de agujas o bien alargadas; por lo general la madera es resinosa. Sus estructuras florales son relativamente simples y la fecundación es realizada comúnmente por el viento o corrientes de aire.

**Las latifoliadas**, abarcan a muchas especies cuya característica principal es poseer hojas anchas, aunque en esta clasificación entran especies de hojas angosta y alargada. Los frutos se clasifican en estructuras más variadas, como nueces, bayas, etc. Las exudaciones en la madera pueden ser látex o gomas. La mayor parte de las especies que pierden regularmente la hoja en forma estacional corresponden a este grupo. Las estructuras florales son generalmente más vistosas, como muchas especies que son polinizadas por insectos o aves, aunque otras tienen formas más simples de polinización.

1.1.1.- Según el tipo de especie maderera. (Clasificación Botánica.)

- a) **LATIFOLIADAS (HARDWOOD).** :  
Hoja ancha y caduca.  
Frutos: Nueces, bayas, Estructura variada – Exudaciones látex o goma –  
Flores vistosas – Polinización : Insectos o Aves.  
Crecen principalmente cerca del Ecuador.

Ejemplo : Roble – Eucalipto

- b) **CONIFERAS (SOFTWOOD).** :

Hojas en forma de agujas o alargadas y perenne.

Fruto : Cono – Madera resinosa – Estructura floral simple.  
Fecundación : Viento o corrientes de aire.  
Crecen principalmente cerca de los trópicos (Cáncer y Capricornio)

Ejemplo : Pino radiata – Pino araucaria.

1.1.2.- Según el origen de la especie maderera, pueden pertenecer al :

a) Bosque Nativo – Natural o Autóctono

En Chile pertenecen a este tipo : Olivillo – Pino araucaria – Ciprés de la Cordillera – Canelo – Ulmo – Alerce – Tepa – Laurel – Raulí – Coigüe – Lengua – Lingue – Mañío – Roble – Tineo - Ciprés de las guaytecas.

b) Bosque Plantado Artificial – Introducido – Exótico.

En Chile son de este tipo las especies madereras : Acacia – Aromo Australiano – Ciprés Macrocarpa – Eucalipto – Pino radiata – Alamo – Pino oregón – Sauce – Sequoia.

## 2 . MADERA. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES

### 2.1 Clasificación Botánica

#### 2.1.1 Nombre científico.

La madera proviene de árboles que se pueden clasificar botánicamente, asignando un nombre científico a la especie cuya madera es de nuestro interés. Esto permite evitar la confusión que surge del uso y abuso de los nombres comunes. Un nombre científico de una especie posee dos palabras. La primera describe el **Género** al que pertenece, mientras que la otra denota la **especie** en sí. El conjunto de Géneros relacionados botánicamente entre sí constituye una **Familia**. Estas palabras identifican una especie y ellas pertenecen al latín.

Ejemplo : El género NOTHOFAGUS está integrado por varias especies como: Nothofagus alpina (Raulí), Nothofagus dombeyi (Coigüe), Nothofagus obliqua (Roble), etc.

El nombre científico lleva, además, información sobre el investigador que identificó y asignó un nombre a la especie. Ejemplo : Nothofagus alpina (POEPP ET ENDL.) KRASSER. En propiedad, el nombre científico debe ir subrayado.

Existen diversas ventajas al utilizar nombres científicos para individualizar la especie de una madera.

Hay un solo nombre científico, de uso vigente, para cada especie maderera y, un indefinido número de nombres comerciales o comunes en uso para esa misma madera . En segundo lugar, a diferencia de los nombres comunes que, generalmente, nada indican acerca de la madera, el nombre científico de la especie, cuya madera es de interés, en algo orienta. Ejemplo : Los PINUS generalmente poseen fibra larga. Sin embargo, esto no es absoluto. El punto quizás más importante es que el nombre científico es el mismo en todos los países y es único.

En la Tabla 2.1 se incluyen algunas especies madereras comerciales, de uso corriente en la construcción o susceptibles de serlo, con sus nombres científicos y comunes.

**Tabla 2.1 Especies Forestales y Exóticas En Chile. E s p e c i e s N a t i v a s**

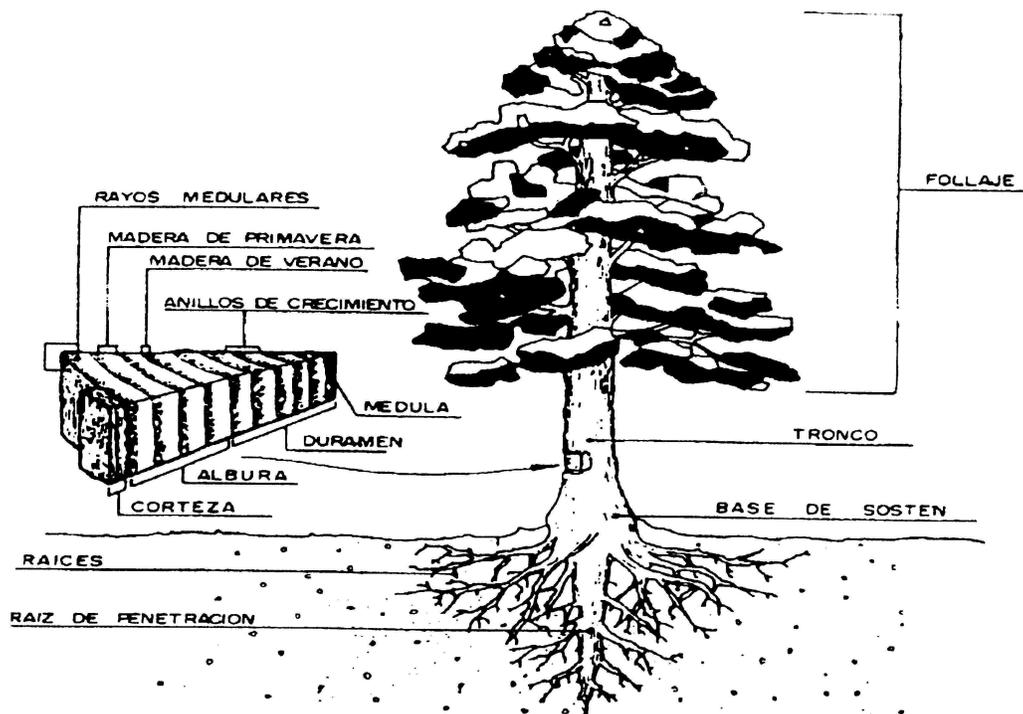
<b>GENERO</b>	<b>ESPECIE</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>NOMBRECOMUN</b>
Aextoxicon	Punctatum R'PAVON	Aextoxicaceae	Olivillo, Aceituno
Araucaria	Araucana (MOL)C.KOCH	Araucariaceae	Pino Araucaria, Pehuén
Austrocedrus	Chilensis (D.DON) FLORIN ET BOUTELJE	Cupressaceae	Ciprés de la Cordillera
Drimys	Winteri var. Chilensis (DC) A. GRAY	Winteraceae	Canelo
Eucryphia	Cordifolia CAV	Eucryphiaceae	Ulmo, Muermo
Fitzroya	Cupressoides (MOL.) JOHNSTON	Cupressaceae	Alerce, laguen
Laurelia	Philippiana LOOSER q	Monimiaceae	Tepa, Huahuán
Laurelia	Sempervirens (R.ET PAV.) TUL	Monimiaceae	Laurel, Tihue
Nothotagus	Alpina (OPEP ET ENDL.) KRASSER	Fagaceaea	Raulí, Reulí
Nothotagus	Dombeyi (MIRB.) OERST	Fagaceaea	Coigüe
Nothotagus	Oblicua (MIRB.) OERST	Fagaceaea	Roble Blanco
Nothotagus	Pumilio (POEPP EX. ENDL. ) KRASSER	Fagaceaea	Lenga
Persea	Lingue NEES	Lauraceae	Lingue
Podocarpus	Saligna D.DON	Podocarpaceae	Mañío Hoja Larga
Saxegothaea	Conspicua LINDL.	Podocarpaceae	Mañío Hembra
<b>Especies Exóticas</b>			
Eucaliptus	Globulus LABILL	Myrtaceae	Eucalipto.
Pinus	Radiata D.DON	Pinaceae	Pino insigne. Pino radiata
Populus	Alba L.	Salicaceae	Alamo Blanco
Populus	Nigra L.	Salicaceae	Alamo Negro
Pseudotsuga	Menziesii (MIRB.) FRANCO	Pinaceae	Pino oregón.

## 2.2 Estructura de la Madera

A través de sus hojas los árboles absorben dióxido de carbono del aire y por medio de sus raíces toman agua y minerales del suelo. El agua y los minerales forman la savia, la cual asciende hacia las hojas y en ellas, mediante el fenómeno denominado fotosíntesis, se combina con el dióxido de carbono para formar compuestos básicos de carbohidratos.

Estos compuestos bajan por el cambium, capa delgada ubicada debajo de la corteza, desde donde proveen el alimento a las células o fibras las cuales constituyen el material leñoso de la madera.

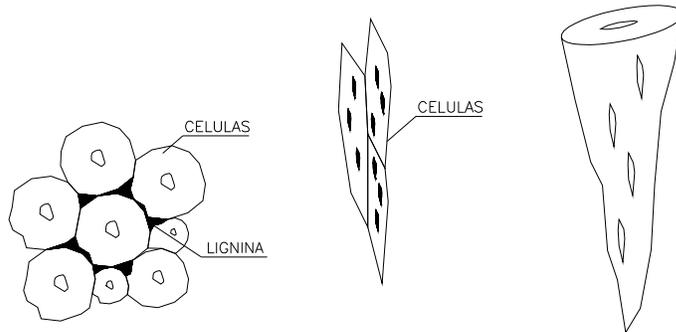
Se considera como madera a los troncos, ramas y raíces de los árboles y arbustos, desprovistos de su corteza. Ver Figura 2.1



**Figura 2.1 Terminología de las partes de un árbol y la estructura de la Madera**

La madera es un material orgánico, no homogéneo, compuesto de células. Estas están conformadas fundamentalmente, por celulosa y lignina. La celulosa constituye la estructura de las paredes celulares, mientras que la lignina es el material ligante de las células entre sí. Las células de madera son huecas y en las coníferas tienen una longitud comprendida entre 3 a 5 mm de longitud y 0,030 a 0,045 mm de espesor. En las latifoliadas son bastantes más cortas. Aun

cuando la mayoría de las células se orientan verticalmente en el árbol, algunas de ellas se encuentran distribuidas horizontalmente en forma de radios en la sección transversal del árbol. Esta conformación celular es, en gran medida, la responsable de las diferentes respuestas estructurales dadas por la madera, según sea el sentido y características de la sollicitación (anisotropía).



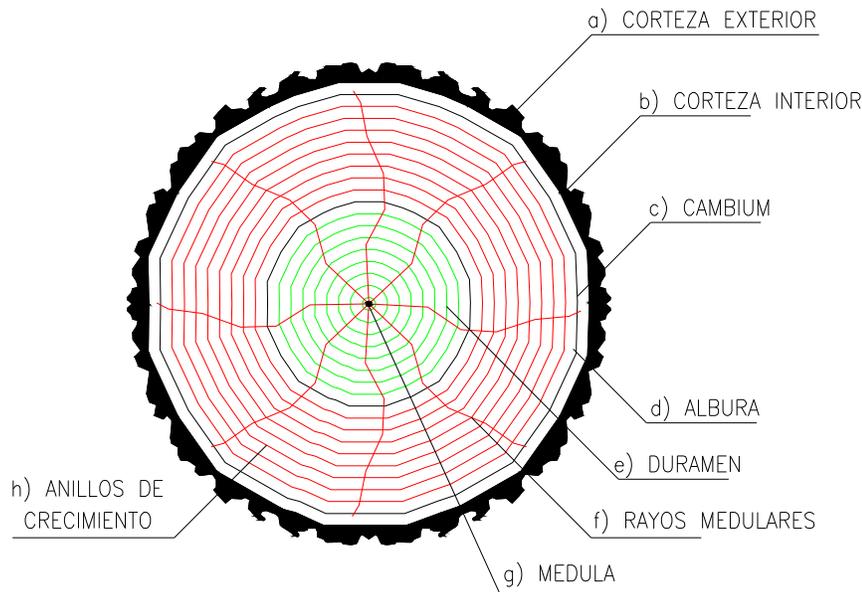
**Figura 2.2 Formas de las células**



**Figura 2.3 Estructura celular de la madera**

Al analizar a simple vista la sección transversal de un tronco de un árbol, conífera o Latifoliada, es posible distinguir sectores bien definidos.

Ver Figura 2.4



**Figura 2.4 Sección Transversal de un árbol.**

\* **Médula** : Tejido inactivo en el árbol adulto, que normalmente ocupa una posición central. Tiene escasas cualidades mecánicas.

\* **Anillos de Crecimientos** : Anillos concéntricos a la médula, presentes en especie donde las estaciones climáticas son marcadas. Cada anillo está compuesto por una zona más clara y otra más oscura. Registra el crecimiento estacional y permite en muchas especies determinar la edad mediante su recuento. Existen anillos falsos provocados por otras causas que las estacionales.

\* **Corteza**: Capa exterior que cumple una labor de protección a los agentes climáticos, patológicos, etc. Por lo general es fácilmente distinguible del resto de la madera.

\* **Albura** : Zona exterior de la madera, constituida por tejido vivo, encargado de la traslocación del agua, con nutrientes hacia las hojas. Corresponde al xilema activo y en muchas especies es distinguible por tener un color más claro, aunque a veces el color no es índice fiel del xilema activo.

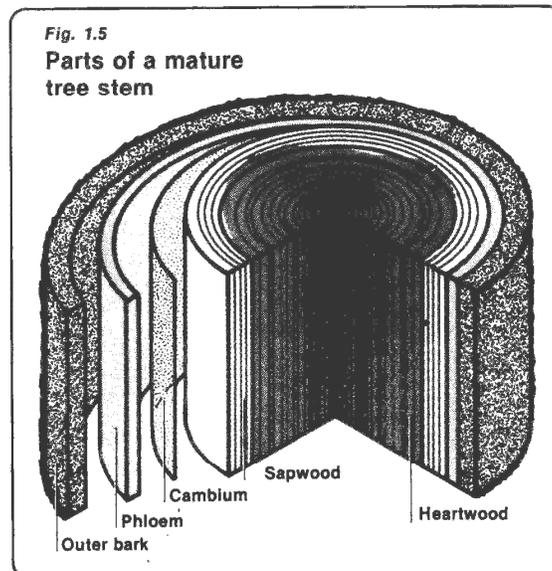
\* **Duramen:** Zona más hacia el interior del tronco, constituida por tejido similar a la albura, pero que está inactivo y ha sufrido un proceso de depositación de diversas sustancias en sus células, llamando duramenización.

La albura recibe el nombre común de “Hualle” , principalmente en referencia a los Nothotagus (roble, Coigüe, Raulí, lengua, etc.). mientras que el duramen recibe el nombre vulgar de “pellín” . Para contenidos de humedad equivalentes, las propiedades mecánicas de la albura y duramen no tienen diferencias significativas y la madera provenientes de ambas zonas, tienen pesos específicos similares. El duramen posee mayor resistencia a hongos e insectos, debido a la presencia de depósito de materias tóxicas a estos agentes (durabilidad natural). Sin embargo si la madera ha de ser tratada, es preferible la presencia de albura, debido a que el movimiento del preservante hacia el interior es mejor que en el duramen, confiriendo mayor protección. En general, el duramen es más oscuro que la albura pero, en algunas especies esta diferencia de color es apenas perceptible. La proporción de albura respecto a la sección transversal del árbol varía de especie en especie.

Otra clasificación, basada en la anatomía y fisiología de los distintos tejidos leñosos, es la siguiente:

\* **Xilema:** Porción mayor de un corte transversal de un tronco, incluyendo desde la médula hasta muy cerca de la corteza.

Sus tejidos tienen la función de sostén. La parte exterior del xilema se mantiene activa con movimientos de agua y nutrientes (savia ) desde las raíces a las hojas, mientras que hacia el interior las células van muriendo.



**Figura 2.5 Esquema de Corteza Interior y Exterior.**

- **Cambium:** También denominado Cambio. Se encuentra adyacente al xilema y es el tejido generador de nuevas células. Hacia el interior del leño se forman células xilemáticas, mientras que hacia la corteza, células del floema. Constituye una capa muy delgada, difícilmente distinguible a simple vista.
- **Floema o Corteza interior:** Tejido comprendido entre el cambio y la corteza. Su labor principal es trastocar la savia elaborada de las hojas hacia el resto de los tejidos.
- **Corteza o Tejido exterior de un tronco:** Cuya principal función es de protección. También tiene una zona cambiar, donde se producen las células que formarán la corteza.

En la médula del árbol se inician anillos concéntricos, que continúan hacia la corteza. Cada anillo representa el crecimiento del árbol durante un año. Este crecimiento se verifica en el Cambium, de tal manera que la nueva madera se agrega inmediatamente al interior de esta capa y tiende a empujar la corteza hacia fuera. Cuando los árboles crecen en un clima variable, es posible distinguir un **anillo de crecimiento** de otro, porque las células que se forman en la estación fría son diferentes de las que se forman en la estación cálida, originándose **madera de primavera y madera de verano**. Cada anillo anual se divide en dos capas: La interior, **llamada de primavera**, se desarrolla durante la primera parte de la estación de crecimiento. Se compone de células grandes, de pared delgada y es generalmente más clara en color que la madera de verano.

La capa exterior, llamada de verano, consiste en células más pequeñas, con paredes más gruesas y es la parte oscura del anillo anual. Es más pesada, más fuerte que la madera de primavera y tiene un efecto importante en determinar las propiedades de resistencia de la mayoría de las especies.

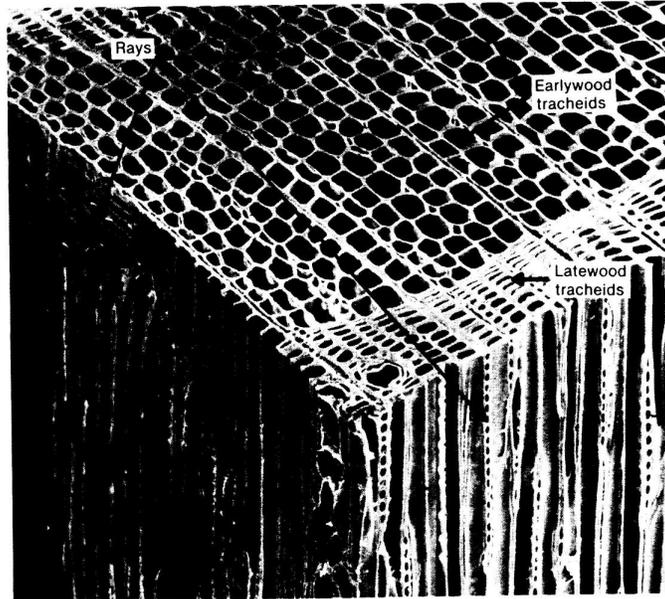


Figura 2.6 Esquema microscópico de un trozo de madera.

## 2.3 Propiedades Físicas de la Madera

Definición : Son aquellas que determinan su comportamiento en el medio ambiente.

### 2.3.1 Contenido de Humedad.

Debido a que el árbol en pie contiene savia, la madera recién extraída de él generalmente posee un alto contenido de humedad.

El contenido de humedad es la masa de agua presente en una pieza de madera, expresada como un porcentaje de la masa de la pieza anhidra.

$$H = \frac{\text{Masa de agua contenida en una pieza de madera}}{\text{Masa de la pieza anhidra}}$$

La madera es un material **higroscópico**. Absorbe o entrega agua según sean las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente que la rodea. En una primera etapa la madera se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua (savia). Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable, dependiendo del ambiente en que se encuentre. Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades, hasta alcanzar un punto denominado como “punto de saturación de la fibra”, que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado el agua libre y las paredes celulares permanecen saturadas.

El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra o simplemente “**punto de saturación de la fibra**” (PSF), depende de diversos factores y varía para las diferentes especies; sin embargo, se acepta un 28 % - 30 % como promedio para la madera en general. Por debajo del punto de saturación de la fibra y al continuar el proceso de evaporación, la madera cede el agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar un punto en el cual el proceso se detiene. Este punto se conoce como “**Humedad de Equilibrio**” de la madera y depende, fundamentalmente, de la especie, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. La pérdida de humedad por debajo de este estado de equilibrio sólo podrá conseguirse por medio de tratamientos especiales de secado en hornos o estufas. De esta manera es posible obtener la sequedad completa o “**madera anhidra**”.

La Norma Chilena de Cálculo de Construcciones en Madera (NCh 1198) define como madera en estado verde aquella cuyo contenido de humedad es superior al 30 % y como madera seca aquella cuyo contenido de humedad no es superior al 20 %. En general no se recomienda el uso, con fines estructurales, de piezas de madera cuyo contenido de humedad esté comprendido entre 20 y 30 % . Por otra parte, es deseable que la madera destinada a la construcción tenga un contenido de humedad similar a la humedad de equilibrio del lugar en que ella preste servicio.

El rango de humedad en la madera puede variar entre un 40 % - 400 %. Esto se da generalmente en especies de crecimiento rápido, por lo tanto de muy baja densidad, lo que implica pared celular delgadas y lúmenes o cavidades celulares muy anchas .

### **2.3.2 Medición del Contenido de Humedad.**

Existen dos métodos normalizados para la determinación de la humedad en la madera y ellos son :

- a) **Método Directo o Destructivo** : En los cuales la humedad se separa de los otros componentes inherentes de la madera. Ejemplo : Método de Secado en estufa, Método de destilación.
- b) **Método Indirecto o no Destructivo** : En los cuales las mediciones son efectuadas a través de alguna propiedad conocida de la madera y que esté relacionada con el contenido de humedad. Ejemplo : Método del Xilohigrómetro, basado en las propiedades eléctricas de la madera.

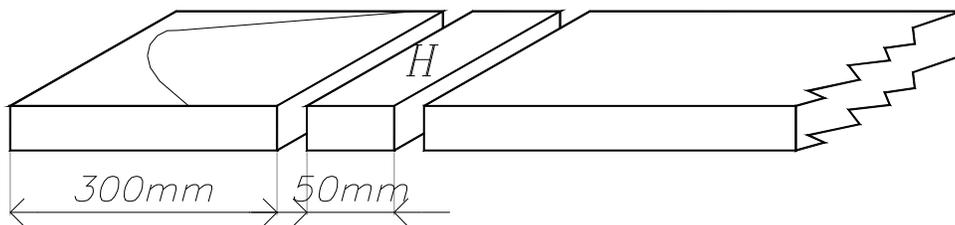
### 2.3.2.1 Método de secado en estufa :

Según NCh 176/1 Of. 84 se debe disponer :

- Horno eléctrico con termostato y ventilador
- Temperatura  $103 \pm 3^{\circ} \text{C}$
- Tiempo de secado hasta peso constante, aproximadamente 20 a 60 horas, según la especie, tamaño y contenido de humedad inicial.
- Balanza de precisión 0,1 gramos.

**Tabla 2.2 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del secado en estufa.**

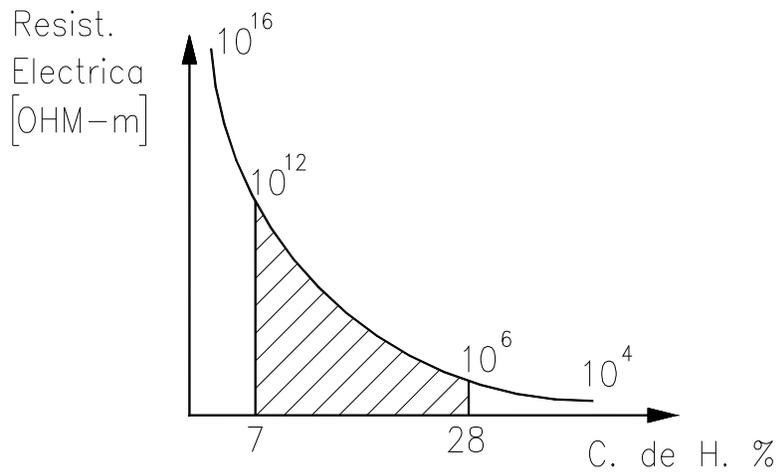
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El método es atractivamente simple	Es un método destructivo
Da resultados exactos	Existe demora en la obtención del resultado
Es aplicable a especies con alto contenido de resinas o aceites volátiles a baja temperatura	El resultado debe ser calculado
No requiere de instrumentos muy costosos	El contenido de humedad corresponde a una pequeña muestra de la pieza, que puede ser no representativa.



**Figura 2.7 Extracción de una muestra de humedad.**

### 2.3.2.2.- Método del Xilohigrómetro :

Es el método más usado en la industria y la construcción. Se basa en las propiedades eléctricas de la madera. “ La resistencia eléctrica de la madera **aumenta** a medida que **disminuye** el contenido de humedad.



**Figura 2.8 Comportamientos de la Resistencia Eléctrica versus Humedad de la Madera**

- Cuando el C. de H es nulo la resistencia eléctrica de la madera es 1 millón ( $10^6$ ) de veces mayor que para un contenido de humedad del 28 % (P.S.F.)
- Sobre el P.S.F. la resistencia eléctrica es muy baja y grandes cambios del contenido de humedad producen muy pocas variaciones de la resistencia eléctrica.
- Entre un 7 % y un 28 % hay gran variación de la resistencia eléctrica para incrementos pequeños de contenido de humedad.



**Figura 2.9 .- Medidor de humedad**

**Tabla 2.3.- Cuadro corporativo de ventajas y desventajas del medidor de humedad.-**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Es un método no destructivo.	Trabajan en un rango entre 7-28%
Puede ser usado en terreno y en madera “ in situ “	Sobre 28 % no es preciso, solo indica que la madera está verde.
Son pequeños, portátiles y livianos.	No puede ser aplicada en maderas impregnadas.
Entregan el resultado inmediatamente.	

### **2.3.3 Requisitos para la Madera.**

La norma de cálculo NCh 1198 establece que la madera y los productos derivados de ella deben tener, en el momento de su utilización, un contenido de humedad igual al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicio.

El contenido de humedad se controlará de acuerdo con los procedimientos establecidos en NCh 176/1, aceptándose una tolerancia de  $\pm 3 \%$ .

No obstante, cuando por razones técnicamente justificada no se puede cumplir con este requisito, se deben respetar las restricciones establecidas para las tensiones admisibles y módulos elásticos de la madera aserrada. Si en caso que dicha especie se utilice en ambientes que determinen una humedad de equilibrio menor que 12 % deberá secarse, antes de uso, a un contenido máximo de 15 %.

Se excluye de esta justificación a las maderas de fácil secado como el Pino radiata y Alamo.

### **2.3.4 Obtención de la Humedad de Equilibrio de Servicio**

En edificios o recintos cubiertos: La NCh 1198 establece que las humedades de equilibrio para las condiciones de servicio en las que queda la madera en un edificio, se puede estimar sobre la base de la información de la Tabla 2.4

**Tabla 2.4 Humedad De Equilibrio Para Maderas Ubicadas En Edificios Con Distintas Condiciones De Servicio.**

<b>UBICACIÓN DE LA MADERA EN EL EDIFICIO</b>	<b>HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO PARA LAS CONDICIONES DE SERVICIOS SEÑALADAS.</b>	<b>TOLERANCIA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA A USAR.</b>
<b>Recintos, Cubiertos, Abiertos</b>	<b>Según 2.3.3.</b>	<b>Más, menos, 3 %</b>
<b>Recintos cubiertos cerrados sin calefacción o calefaccionados intermitentemente</b>	<b>12 %</b>	<b>Más, menos, 3 %</b>
<b>Recintos continuamente calefaccionados.</b>	<b>9 %</b>	<b>Mas, menos, 3 %</b>

NOTA : Las tolerancias establecidas en Tabla 2.4, deben ser usadas para aproximarse a la humedad de equilibrio del lugar geográfico en el que se ubica el edificio.

A la intemperie : La humedad de equilibrio de las maderas expuestas a la intemperie depende, en gran parte, de las características propias de cada especie y de la escuadría de la madera en cuestión. Por esta razón, interesa más la determinación empírica de su valor, lo cual se consigue solamente a través de un ensayo.

La norma NCh 1079 clasifica la superficie del territorio nacional en zonas climáticas habitacionales, a las cuales conviene asignar una humedad de equilibrio promedio que, si bien no es exacta ni contempla las diferentes especies, puede servir para una primera aproximación en la determinación del valor exacto.

La Tabla 2.5, proporciona la clasificación climática – habitacional de Chile, dada por la Norma NCh 1079

**Tabla 2.5 Clasificación Climático – Habitacional en Chile**

ZONA	LOCALIZACION	PRINCIPALES CIUDADES QUE INCLUYE	OBSERVACIONES
NORTE LITORAL NL.	Desde el límite con el Perú hasta la cuenca del río Aconcagua y desde el océano hasta límite de la zona de influencia marítima (Cordillera de la Costa)	Arica – Iquique – Tocopilla – Antofagasta – Taltal . Chañaral – Caldera – La Serena – Coquimbo – Los Vilos.	Zona desértica con clima dominante marítimo
NORTE DESÉRTICA ND.	Valle comprendido entre las dos cordilleras y desde el Límite con el Perú hasta el Norte de Copiapó.	Quillagua – Baquedano (Refresco).	Zona desértica que comprende el gran desierto de Atacama. La cruza el río Loa que forma en su cuenca un angosto microclima.
NORTE VALLE TRANSVERSAL NVT.	Entre ambas cordilleras y desde Copiapó hasta la cuenca del río Aconcagua.	Copiapó – Vallenar-Vicuña-Ovalle- Combarbalá – Illapel.	Zona de cordones y valles transversales. Verano largo (10 meses) y caluroso. Microclima en los valles.
CENTRO LITORAL CL	Desde la cuenca del río Aconcagua hasta el Itata y desde el océano hasta el límite de la zona de influencia marítima (Cordillera de la Costa).	Quintero – Concón –Viña del mar – Valparaíso –San Antonio –Pichilemu – Constitución.	Zona con predominio de clima marítimo inviernos cortos de 6 a 4 meses.
CENTRO VALLE LONGITUDINAL CVL	Desde el río Aconcagua hasta la cuenca del Itata y desde la cordillera de la costa hasta faldeo de los Andes.	Los Andes – San Felipe – Santiago – Curicó – Talca – Linares – Chillán	Zona de valle longitudinal, cruzada por ríos importantes inviernos cortos de 4 a 6 meses.
SUR LITORAL SL	Desde el Itata hasta el Canal de Chacao y desde el océano hasta el límite de la zona influencia marítima (cordillera de la costa).	Tomé – Talcahuano – Angol – Los Angeles –Arauco – Lebu –Valdivia – Puerto Montt.	Zona de clima marítimo y lluvioso. Vientos fuertes Inviernos de 6 a 8 meses.
SUR VALLE LONGITUDINAL SVL	Desde la cuenca del río Itata hasta las proximidades del Canal de Chacao y desde la costa hasta los primeros contrafuertes de los andes.	Los Angeles –Angol – Traiguén –Temuco – Loncoche – La Unión – Osorno – Río Bueno	Zona lluviosa y fría con heladas frecuentes . Veranos cortos de 4 a 6 meses. Lagos y ríos numerosos
SUR EXTREMO SE.	Desde el Canal de Chacao hasta Tierra del Fuego.	Ancud – Castro – Coyhaique –Pto Natales – Punta Arena	Zonas de grandes lluvias que disminuye de W a E Clima marítimo . Fuertes viento. Alta nubosidad

**Tabla 2.6 Humedad de Equilibrio de las Zonas Climáticas Definidas En NCh 1079**

ZONA CLIMÁTICO HABITACIONAL	DESIGNACION	HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO	
		Experimental	Teórico
NORTE LITORAL	NL	14%	16%
NORTE DESÉRTICO	ND	7%	10%
NORTE VALLE TRANSVERSAL	NVT	15%	13%
CENTRO LITORAL	CL	15%	16%
CENTRO VALLE LONGITUDINAL	CVL	13%	14%
SUR LITORAL	SL	18%	17%
SUR VALLE LONGITUDINAL	SVL	18%	16%
SUR EXTREMO	SE	18%	16%

NOTA: El valor experimental es considerado como más exacto que el teórico.

### 2.3.5 Densidad

La madera es un material poroso, celular y por lo tanto la cantidad de sustancia sólida que tiene un volumen de madera, es un buen indicador de sus propiedades resistentes y, en un menor grado, de la trabajabilidad, secado y características térmicas.

La densidad de un cuerpo, es el cociente formado por la masa y su volumen.

Debido a que tanto la masa como el volumen de una madera varían significativamente de acuerdo con el contenido de humedad, es importante expresar la condición bajo la cual la densidad es obtenida.

La Tabla 2.7 entrega los nombres que la norma NCh 176/2, asigna a la densidad según el contenido de humedad de la muestra en la cual se determina la masa y el volumen.

**TABLA 2.7 Asignación de Nombre a la Densidad de Acuerdo al Contenido de Humedad que Tiene la Masa y el Volumen.**

<b>MASA</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>NOMBRE QUE TOMA LA DENSIDAD</b>
Anhidra ( H = 0 % )	Anhidro ( H = 0 % )	Anhidra
Seca ( H = 12 % )	Seco ( H = 12 % )	Normal
Anhidra ( H = 0 % )	Verde ( H ≥ PSF )	Básica
Anhidra ( H = 0 % )	Contenido Humedad (H) del ensayo ( H = 12 % )	Nominal
Contenido de Humedad (Hi )	Contenido de Humedad (Hi)	Referencia

PSF : Punto de Saturación de la Fibra.

Hi : Contenido de Humedad Cualquiera.

La Tabla 2.8 muestra los valores obtenidos para la densidad anhidra, básica y nominal de las distintas especies madereras crecidas en Chile, de acuerdo a ensayos realizados por los diferentes laboratorios del país.

**TABLA 2.8 Densidades de Especies Madereras Crecidas en Chile**

ESPECIE	DENSIDAD (Kg / m <sup>3</sup> )		
	Anhidra	Básica	Nominal
Alamo	367	331	372
Alerce	460	405	436
Algarrobo	740	710	-
Araucaria	565	483	536
Avellano	470	410	430
Canelo	-	-	478
Ciprés de la Cordillera	474	424	462
Coigue	464	515	594
Coigue de Magallanes	618	-	-
Eucalyptus globulus	800	623	720
Laurel	514	400	467
Lenga	545	464	527
Lingue	596	491	530
Luma	1080	1050	1150
Mañío de hoja punzante	516	459	479
Olivillo	545	448	510
Pino radiata	454	429	459
Pino oregón	412	344	477
Raulí	508	463	531
Roble	634	492	607
Tamarugo	975	875	-
Tepa	515	418	478
Tineo	696	555	614
Ulmo	632	537	612

Las fórmulas que relacionan las diferentes densidades. Según la NCh 176/2, son:

**Si  $H < PSF$  :** 
$$\rho_H = \rho_0 \frac{100 + H}{100 + K * H}$$

**Si  $H > PSF$  :** 
$$\rho_H = \rho_0 \frac{100 + H}{100}$$

en que:

$\rho_0$  = Densidad anhidra

$\rho_H$  = Densidad de referencia al contenido de humedad H.

H = Contenido de humedad, expresado como porcentaje.

K = Coeficiente de contracción volumétrica para un cambio de 1 % de contenido de humedad, calculado para cada especie, como la suma de los respectivos coeficientes de contracción lineal ( k ), radial y tangencial, que se incluyen en la Tabla 2.11

$\rho_b$  = Densidad básica.

Si no se conoce el coeficiente de contratación volumétrica, usar:

$(0,85 \cdot 10^{-3} * \rho_0)$  si la densidad se expresa en  $(\text{Kg} / \text{m}^3)$  y,  $(0,85 * \rho_0)$  si la densidad se expresa en  $(\text{gr.} / \text{cm}^3)$ .

Cuando no se conocen valores experimentales, es posible usar las relaciones entre densidades que se incluyen en la Tabla 2.9 para contenidos de humedad menor que el Punto de Saturación de la Fibra y en la Tabla 2.10 para contenidos de humedad mayor que el Punto de Saturación de la Fibra.

**Tabla 2.9 Relación Entre Diferentes Densidades, Para un Contenido de Humedad  $H \leq \text{PSF}$**

<b>PARA : <math>H \leq \text{PSF}</math></b>					
Variable Dependiente / Variable Independiente	$\rho_0$	$\rho_{H1}$	$\rho_{H2}$	$\rho_{\text{PSF}}$	$\rho_{\text{PSF}}$
$\rho_0$		$\left( \frac{100 + H + 0.01}{100 + 0.01} \right)^{1.19}$	$\rho_{H2} \left( \frac{100 + K * H_2}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + 28 * K}{128} \right)$	
$\rho_{H1}$	$\rho_0 \left( \frac{100 + H_1}{100 + K * H_1} \right)$		$\rho_{H1} \left( \frac{100 + H_1}{100 + H_2} \right) \left( \frac{100 + K * H_2}{100 + K * H_1} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_1}{128} \right) \left( \frac{100 + 28 * K}{100 + K * H_1} \right)$	
$\rho_{H2}$	$\rho_0 \left( \frac{100 + H_2}{100 + K * H_2} \right)$	$\rho_{H1} \left( \frac{100 + H_2}{100 + H_1} \right) \left( \frac{100 + K * H_1}{100 + K * H_2} \right)$		$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_2}{128} \right) \left( \frac{100 + 28 * K}{100 + K * H_2} \right)$	
$\rho_{\text{PSF}}$	$\rho_0 \left( \frac{128}{100 + 28 * K} \right)$	$\rho_{H1} \left( \frac{128}{100 + H_1} \right) \left( \frac{100 + K * H_1}{100 + 28 * K} \right)$	$\rho_{H1} \left( \frac{128}{100 + H_2} \right) \left( \frac{100 + K * H_2}{100 + 28 * K} \right)$		

PSF: Punto de saturación de la fibra aproximado a un valor de 28 %. Ejemplo:  $\rho_0 = \rho_{H1} (100 + K * H_1) / (100 + H_1)$

**TABLA 2.10 Relación Entre Diferentes Densidades, Para un Contenido de Humedad  $H \geq \text{PSF}$**

<b><math>H \geq \text{PSF}</math></b>				
Variable Dependiente Variable Independiente	$\rho_o$	$\rho_{H1}$	$\rho_{H2}$	$\rho_{\text{PSF}}$
$\rho_b$		$\rho_{H1} \left( \frac{100}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H2} \left( \frac{100}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100}{128} \right)$
$\rho_{H1}$	$\left( \frac{H + 001}{001} \right) \rho_a$		$\rho_{H2} \left( \frac{100 + H_1}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_1}{128} \right)$
$\rho_{H2}$	$\rho_b \left( \frac{100 + H_2}{100} \right)$	$\rho_{H1} \left( \frac{100 + H_2}{100 + H_1} \right)$		$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_2}{128} \right)$
$\rho_{\text{PSF}}$	$\rho_b * 1,28$	$\rho_{H1} \left( \frac{128}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H2} \left( \frac{128}{100 + H_2} \right)$	

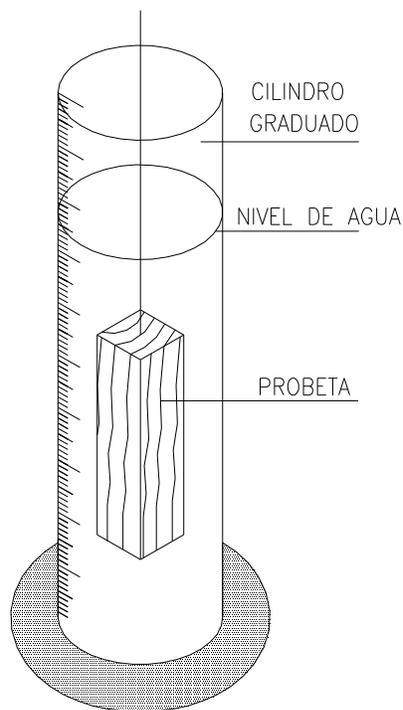
### 2.3.6.1.- Medición De La Densidad

a ) MEDICION DE LA MASA: Para la medición de la masa basta con una balanza de precisión de 0,1 gramo.

b ) MEDICION DEL VOLUMEN: Para la medición del volumen de un cuerpo sólido como lo es la madera se conocen dos métodos de uso común.

- Método Manual : Conociendo la expresión matemática del volumen de un cubo o paralelepípedo, se puede determinar su volumen siempre y cuando la probeta presente superficies regulares y se puedan hacer mediciones exactas.  
Para un cubo de lado "a" centímetros su volumen es :  $a^3$  (cm<sup>3</sup>)  
Para un paralelepípedo de ancho "a" altura "b" y largo "l" su volumen será :  $a * b$  (cm<sup>3</sup>).
- Método de desplazamiento de un fluido: Se utiliza cuando la probeta no presenta superficies regulares. Este método utiliza el principio de Arquímedes. El volumen se obtiene mediante la siguiente expresión :

Volumen : (Lectura Final – Lectura Inicial ) x Area de la Pipeta.



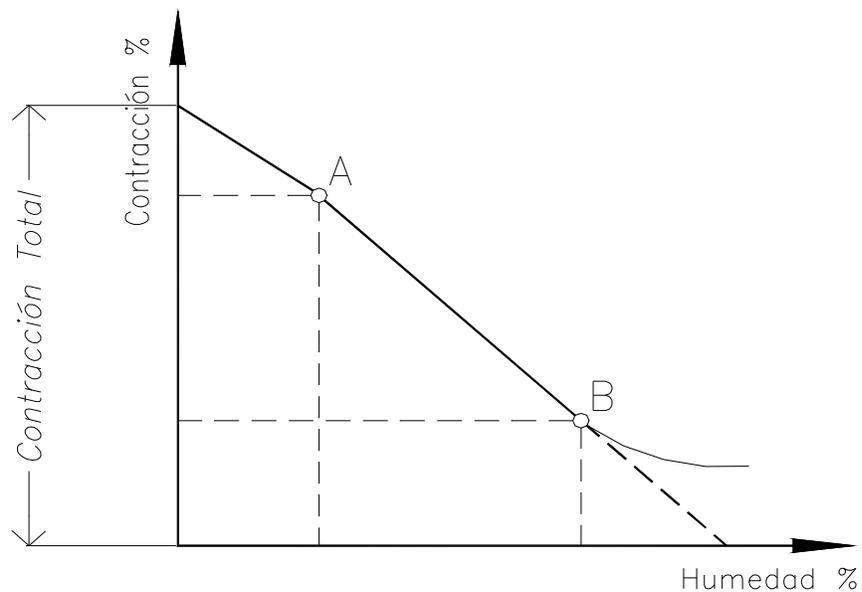
**Figura 2.10.- Medición de volumen de una muestra de madera**

### 2.3.7. Contracción.

La norma NCh 176/3 define la “contracción normal”, como la disminución de dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de las fibras, expresada como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde. También define el “colapso”, como la disminución irregular de dimensiones que sufre la madera de algunas especies al perder humedad en las primeras etapas de secado, sobre el punto de saturación de las fibras, y que se caracteriza por el aplastamiento de las paredes celulares.

La suma de la contracción normal más el colapso, es la “contracción total”.

La curva de contracción tiene la forma que se indica en la Figura 2.11



**Figura 2.11.- Curva de Contracción Lineal**

AB = Porción recta de la curva, cuya pendiente corresponde al coeficiente de contracción lineal  $k$ . (La porción recta está comprendida aproximadamente entre 5 % y 20 % de humedad).

La determinación de las dimensiones que alcanza una pieza de madera a contenidos de humedad inferiores a 20 % se obtiene mediante los coeficientes de contracción lineal ( $k$ ), determinados experimentalmente para las especies que se indican en la Tabla 2.11.-

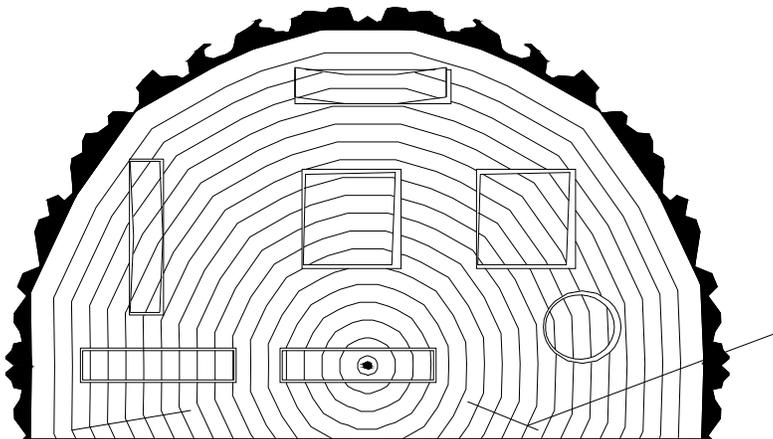
**Tabla 2.11.- Coeficiente de Contracción Lineal (K) de Algunas Maderas de Chile para una Variación de 1 % del Contenido de Humedad.**

ESPECIE	DIRECCION	COEFICIENTE CONTRACCIÓN LINEAL (k)
PINO RADIATA	T	0,29
	R	0,20
TEPA	T	0,31
	R	0,15
EUCALIPTO	T	0,42
	R	0,24
COIGUE	T	0,30
	R	0,15
ROBLE	T	0,29
	R	0,18
OLIVILLO	T	0,30
	R	0,15
ULMO	T	0,35
	R	0,22
TINEO	T	0,36
	R	0,18

(\*) Ensayos Realizados por Universidad de Chile, Departamento Tecnología de la Madera.

NOTA T = Tangencial

R = Radial



**Figura 2.12.- Diferencias entre las contracciones.**

La fórmula que rige la variación de dimensiones de las especies madereras debido a la contracción, es la siguientes :

$$\text{Dimensión } H = \text{Dimensión } 20 * \left(1 - \frac{K * \Delta H}{100}\right) (\text{mm})$$

donde :

H : Contenido de humedad (entre 20 y 0 %)

k : Coeficiente de contracción lineal

$\Delta H$  : Diferencia entre humedad 20 % y H

La contracción longitudinal provocada por una variación en el contenido de humedad de la madera alcanza valores muy reducidos y es perfectamente despreciable en términos prácticos .

Con respecto al fenómeno de dilatación (“Hinchamiento”), es decir el incremento dimensional producido en una madera seca al aumentar su contenido de humedad se puede suponer, sin gran margen de error, que su comportamiento es regulado por las mismas relaciones que rigen la contracción, por consiguiente se puede aplicar los valores dados en la Tabla 2.11.-

Durante la vida útil de una estructura de madera, ésta se encuentra sometida a contracciones e hinchamientos continuos debido a las variaciones de temperatura y humedad ambientales. Este fenómeno se conoce como “trabajo” o “juego” de la madera.

## **2.4 Propiedades Eléctricas.**

La madera es un excelente aislador eléctrico, perdiendo esta cualidad con el aumento de la humedad, siendo altamente conductora con el aumento de humedad por sobre el Punto de Saturación de la Fibra (P.S.F).

Para un cierto grado de humedad la resistencia eléctrica depende de la especie, dirección de la fibra y de su densidad. Es cuatro veces mayor en el sentido longitudinal que en el sentido transversal (radial y tangencial), y aumenta su resistencia con la densidad de la madera.

Algunos valores de resistividad en megaohm/cm según el grado de humedad, en el sentido longitudinal, se indican en la Tabla 2.12

**TABLA 2.12 VALORES DE RESISTIVIDAD DE LA MADERA PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD**

<b>Humedad %</b>	<b>Resistividad Megaohms/cm</b>
<b>7</b>	<b>22000</b>
<b>10</b>	<b>600</b>
<b>15</b>	<b>40</b>
<b>25</b>	<b>0.5</b>

En estado anhidro y a temperatura ambiente la resistencia eléctrica es de aproximadamente,  $10^{16}$  Ohms-metro decreciendo a  $10^4$  Ohms-metro cuando la madera esta en estado verde. Esta gran diferencia que se produce cuando su contenido de humedad varía entre un = 70 a 30 %, es la base para el diseño de los instrumentos que miden la humedad (xilohigrómetros) en forma no destructiva. Sin embargo, desde el punto de saturación de las fibras hasta el estado de saturación total de la madera, su resistencia eléctrica sólo decrece en  $10^5$  Ohms-metro, lo cual es bastante poco en comparación los  $10^{12}$  veces que disminuye entre humedad comprendidas entre 0 % y 30 %. Lo anterior explica la razón por la cual estos instrumentos proporcionan sólo una estimación general del contenido de humedad por sobre el P. S. F.

## **2.5 Propiedades Acústicas.**

La acústica es la ciencia de todos los sonidos audibles, necesarios o innecesarios para el hombre.

- El control de los sonidos **necesarios para el hombre**, en el interior de una habitación se denomina **acústica de tal habitación**.
- El control de los sonidos **innecesarios para el ser humano** en el interior de un edificio es denominado como **aislación de tal edificio**.

Una propiedad acústica importante de la madera es su capacidad para amortiguar las vibraciones sonoras. Su estructura celular porosa transforma la energía sonora en energía calórica debido al roce. Esto hace que la madera absorba el sonido y reduzca la tendencia, que en general tienen las estructuras, de transmitir las vibraciones a grandes distancias.

La propagación del sonido a través de la madera es un fenómeno muy difícil de determinar. Por su constitución y características de anisotropía, la madera es un buen conductor del sonido a pesar de su porosidad.

La relación de la propagación del sonido según la diferentes direcciones es:

$$V_l / 14 = V_r / 5 = V_t / 3$$

Los diferentes valores de velocidad de propagación del sonido, para los materiales que a continuación se señalan, son :

Aire (t = 20 ° C )	343 (m/seg)
Agua	1450 (m/seg)
Madera	4130 (m/seg)
Acero	5050 (m/seg)

## 2.6 Propiedades Térmicas

Las propiedades térmicas de la madera al igual que otros materiales dependen de los siguientes aspectos.

- A. **Conductividad:** Es la capacidad que tiene un material para transmitir el calor y se representa por el coeficiente de conductividad interna, el cual se define como la cantidad de calor que atraviesa por hora, en estado de equilibrio, un cubo de 1 metro de arista desde una de sus caras a la opuesta, cuando existe una diferencia de temperatura de 1 ° C. Se expresa en watt por metro cuadrado, por grado Celsius para un milímetro ( $w/m^2 * ° C mm$ ).

La conductividad está directamente relacionada con la densidad de la madera. Las maderas con baja densidad conducen menos calor que las de densidad alta. (Mayor volumen de cavidades celulares en relación con la sustancia sólida de la pared celular).

La conductividad térmica es afectada también por el contenido de humedad de la madera. La madera con un C. de H. menor a 12 % tiene una conductividad menor que aquella con mayor contenido de humedad. (El agua libre y la de la pared celular contribuyen notablemente a la transmisión del calor).

La conductividad térmica obtenido para el Douglas Fir. (Pino oregón Norteamericano), a 12% de humedad es, aproximadamente 5 veces más bajo que el obtenido para ladrillos, 14 veces menor que el correspondiente al hormigón y 370 veces menor que el del acero.

La conductividad térmica a lo largo de las fibras es dos a tres veces mayor que en el sentido perpendicular a las fibras.

- B. **Calor Específico de la madera :** Se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1 ° C la temperatura de 1 gramo de madera.

Existen estudios que han demostrado que el calor específico de la madera no depende de las especies madereras, ni de su densidad, pero se varía con la temperatura.

El calor específico de la madera es un 50 % más alto que el correspondiente al aire y 4 veces mayor que el del cobre. Además se incrementa cuando la madera contiene agua (mayor humedad).

C. **Dilatación Térmica** : La madera al igual que otros materiales de construcción, se dilata o contrae al aumentar o disminuir la temperatura. La dilatación es menor que la de otros materiales convencionales pero no es despreciable. El coeficiente de dilatación para la madera seca, en dirección paralelas a las fibras, varía entre  $3 \times 10^{-6}$  y  $5 \times 10^{-6}$  mm por cada grado Celsius. Estos valores son aproximadamente 1/3 del que se obtiene en el acero, 1/6 del correspondiente al aluminio.

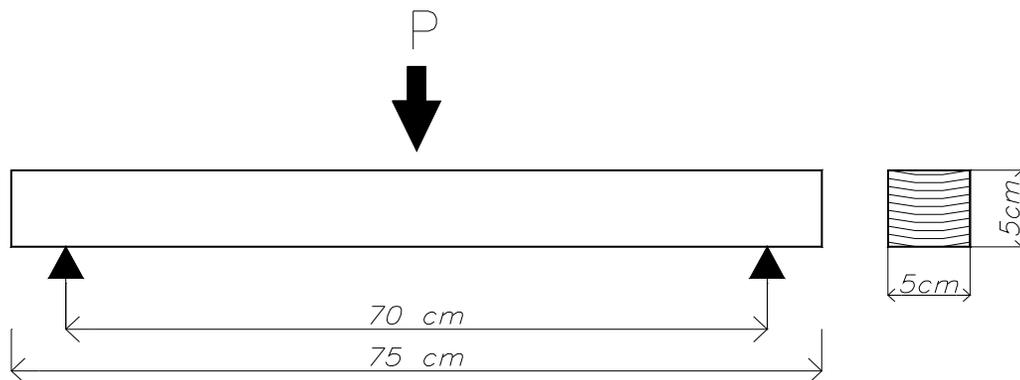
## 2.7.- Propiedades Mecánicas

Son aquellas que indican la capacidad de los materiales para resistir fuerzas externas, de acuerdo a esta capacidad serán los usos a que los materiales son destinados y las secciones transversales necesarias para asegurar una adecuada estabilidad estructural en las construcciones. Conforme a la amplia gama de solicitaciones a los cuales puede estar expuesto un material durante su uso, se han definido diversas propiedades mecánicas.

La metodología de ensayo para ellos, son

### 2.7.1.- Flexión Estática:

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta. El diagrama de ensayo es el que indica la Figura 2.13



**Figura 2.13 Ensayo de Flexión Estática**

Los parámetros que se determinan en el ensayo de flexión estática son :

- ❖ **Tensión en el límite de Proporcionalidad ( $\sigma_{f,lim}$ )** : Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión a que se puede someter el material sin que se produzcan deformaciones permanentes.

$$\sigma_{f,lim} = \frac{M_{lim}}{W} \quad (Kg . / cm^2)$$

Donde :

$M_{lim}$  = Momentos resistente en el límite de proporcionalidad (Kg \* cm)

$W$  = Módulo resistente de la probeta ( $cm^3$ )

Pero :

$$M_{lim} = \frac{P_{lim} * L}{4} \quad W = \frac{b * h^2}{6}$$

L = Distancia entre apoyos o luz de la probeta, en cm.

b = Ancho de la probeta, en cm.

h = Altura de la probeta, en cm.

Luego reemplazando :

$$\sigma_{f,lim} = \frac{M_{lim}}{W} = \frac{1.5 * P_{lim} * L}{b * h^2} \left( \frac{Kg.}{cm^2} \right)$$

❖ **Módulo de Ruptura (Rf)** : Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material, antes que se produzca la falla. Cualquier incremento adicional de carga sobre el material provocará la ruptura de éste.

Siguiendo idéntico procedimiento al indicado para la tensión en el límite de proporcionalidad, se determina el Módulo de Ruptura obteniéndose la relación siguiente :

$$R_f = \frac{1.5 * Q * L}{b * h^2} \left( \frac{Kg.}{cm^2} \right)$$

Q = Carga de ruptura en Kg

b, h y L = Definidos en 2.7.1

❖ **Módulo de Elasticidad en Flexión (Ef)**

Es la medida de la rigidez del material. Su cálculo se basa en la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud experimentada por una probeta sometida a flexión. Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solamente a condiciones de trabajo de la zona dentro de la zona elástica de la curva versus deformación.

La fórmula matemática que permite calcular el Módulo de Elasticidad en flexión se obtiene del análisis estructural de una viga simplemente apoyada con carga aplicada al centro de la luz, resultando lo siguiente:

$$E_f = \frac{P * L^3}{48 * \Delta * I} \left( \frac{Kg.}{cm^2} \right)$$

En que :

I = Momento de Inercia de la probeta, cm<sup>4</sup>

L = Distancia entre apoyos de la probeta, en cm.

P/Δ = Pendiente de la curva carga versus deformación en el rango elástico, en Kg./cm

Pero 
$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Luego , reemplazando se obtiene la expresión siguiente:

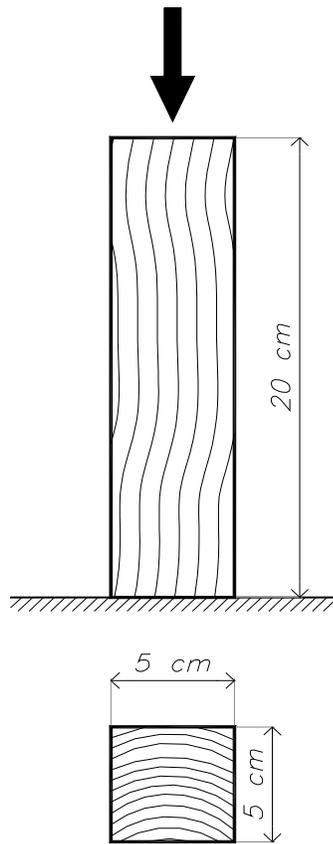
Pero

$$E_f = \frac{P * L^3}{\Delta * 4 * b * h^3} \left( \frac{Kg.}{cm^2} \right)$$

### 2.7.2 Compresión Paralela

Es la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra.

La norma Chilena NCh 973, establece para la realización de este ensayo, probetas de sección transversal 5\*5 cm y 20 cm de longitud, según se indica en la Figura 2.14



**Figura 2.14 Probeta de Compresión Paralela**

Los valores calculados para los diferentes ensayos de compresión paralela, son válidos para piezas de madera cuya longitud no arriostrada, sea inferior a once veces la dimensión menor de su sección transversal. Esto se debe a que en la práctica se ha visto que para columnas mayores, la falla se produce por inestabilidad lateral (pandeo), antes de alcanzar la resistencia total a la compresión.

Del ensayo de compresión paralela se determinan los parámetros siguientes:

- ❖ Tensión en el límite de Proporcionalidad ( $\sigma_{cp,lim}$ )

$$\sigma_{cp,lim} = \frac{P}{A} \quad \left( \frac{Kg.}{cm^2} \right)$$

donde:

P = Carga máxima aplicada en el límite elástico, en Kg.

A = Sección transversal de la probeta, en  $cm^2$

❖ **Tensión Máxima o de Ruptura ( $R_{cp}$ )**

$$R_{cp} = \frac{Q}{A} \left( \frac{kg.}{cm^2} \right)$$

donde:

Q = Carga de ruptura, en Kg.  
A = Sección transversal de la probeta, en  $cm^2$

❖ **Módulo de Elasticidad en Compresión Paralela ( $E_{cp}$ )**

donde :

$$E_{cp} = \frac{\sigma_{cp}}{\varepsilon} \left( \frac{kg.}{cm^2} \right)$$

$\varepsilon$  = Deformación unitaria  
 $\sigma_{cp, lim}$  = Definido anteriormente

Pero se sabe que:

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{A} \left( \frac{kg.}{cm^2} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$$

en que:

P = Carga en el limite de proporcionalidad, en Kg.  
 $\Delta$  = Acortamiento total de la probeta, en el limite de proporcionalidad, en cm  
L = Longitud total de la probeta, en cm.

luego reemplazando:

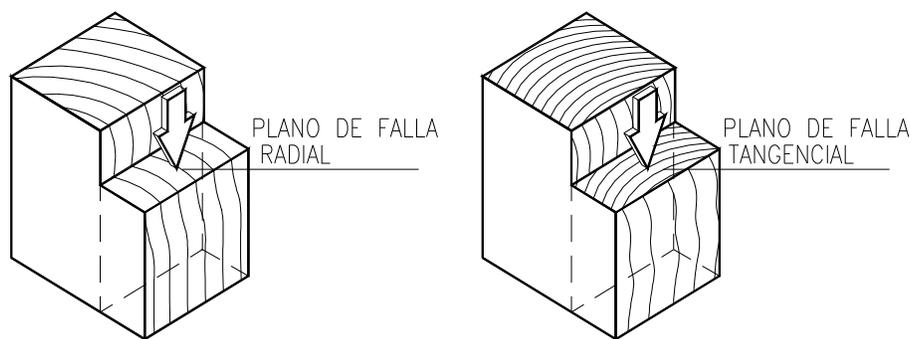
$$E_{cp} = \frac{P * L}{A * \Delta} \left( \frac{kg.}{cm^2} \right)$$

### 2.7.3 Cizalle Paralelo a la Dirección de las Fibras:

Es la capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente a la anterior.

Esta sollicitación puede presentarse tanto en sentido paralelo como perpendicular a las fibras. Sin embargo debido a la alta resistencia de la madera a este último esfuerzo, no se considera el cizalle perpendicular en el estudio de las propiedades mecánicas. De todas formas dicha alta resistencia le otorga una seguridad total ante cualquier condición de uso.

En el ensayo de cizalle paralelo a las fibras, se distinguen dos tipos de sollicitaciones, según la ubicación del plano de falla respecto a las anillos de crecimientos.



**Figura 2.15. Probetas de Cizalle Paralelo**

En la Figura 2.15 se presenta ambas sollicitaciones: Cizalle Paralelo Radial y Cizalle Paralelo Tangencial.

El parámetro que se mide para ambos casos es la tensión de ruptura por Cizalle Paralelo ( $R_{cz}$ ) a las fibras, la cual se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula .

$$R_{cz} = \frac{Q}{A} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

En que:

Q = Carga de Ruptura, en Kg

A = Area total del plano de falla, en  $cm^2$

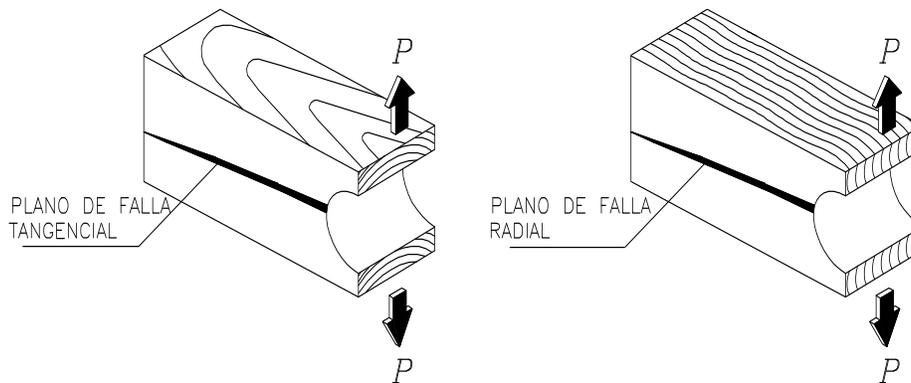
$R_{cz}$  = Tensión de ruptura por cizalle, en  $(Kg/cm^2)$

## 2.7.4 Clivaje

Es la resistencia que ofrece la madera a una sollicitación que intenta rajarla en la dirección paralela a las fibras. Este ensayo entrega antecedentes acerca de la capacidad de unión entre las células que conforman la madera.

En el ensayo de cizalle paralelo a las fibras, se distinguen dos tipos de sollicitaciones según la ubicación del plano de la falla respecto a los anillos de crecimiento.

- ❖ Clivaje Tangencial ( $R_{clt}$ ) : La probeta es sometida a una sollicitación que genera un plano de falla tangente a los anillos de crecimiento.
- ❖ Clivaje Radial ( $R_{clr}$ ) : La probeta es sometida a una sollicitación que genera un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento.



**Figura 2.16 Probeta de Clivaje Tangencial y Clivaje Radial**

Los parámetros que este ensayo entrega son la tensión de ruptura por clivaje ( $R_{cl}$ ) tanto tangencial como radial, ambos se calculan de la misma forma y de acuerdo a la siguiente relación:

Donde

$$R_{cl} = \frac{Q}{A}$$

$R_{cl}$  = Tensión de Ruptura por Clivaje, en Kg / cm

Q = Carga de ruptura, en Kg

A = Ancho de falla, en cm

## 2.7.5 Tracción

El ensayo de tracción entrega antecedentes respecto a la resistencia que opone una probeta de madera al ser sometida a cargas de efecto traccionante que provocan un estiramiento en ella.

Dependiendo de la dirección de aplicación de la carga se distinguen dos tipos de sollicitaciones en tracción :

### 2.7.5.1 Tracción Paralela a la Fibra:

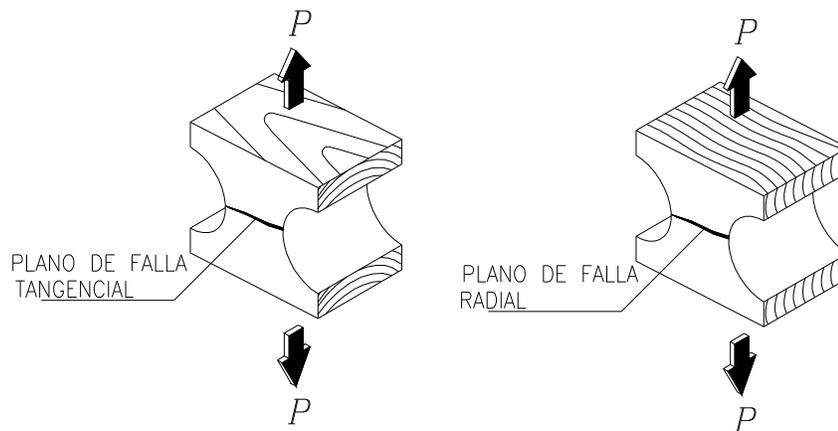
Es la resistencia que opone una probeta de madera a una carga de tracción aplicada en la dirección a las fibras.

En la práctica, realizar un ensayo de tracción paralela en una probeta libre de defecto y lograr su ruptura por esfuerzo de tracción, es prácticamente imposible.

El motivo de esto, es el hecho que la probeta antes de alcanzar la tensión de ruptura por tracción paralela, falla en los apoyos por el cizalle horizontal provocado por las tenazas que están traccionándola desde sus extremos. Por este motivo los antecedentes de tracción paralela son relativamente escasos, además los altos valores obtenidos en los ensayos que aisladamente se han realizado, entregan una seguridad que la madera fallará por otros esfuerzos antes que el de tracción paralela.

### 2.7.5.2 Tracción Normal a la Fibra:

Es la resistencia que opone una probeta de madera a una carga de tracción con dirección perpendicular a las fibras de la madera. Dependiendo de la posición del plano de falla respecto a los anillos de crecimiento, se distinguen dos tipos de sollicitaciones de tracción normal.



**Figura 2.17 Probeta de Tracción Normal.**

- ❖ **Tracción Normal Tangencial ( $R_{tn}$ )** : Es aquella en la cual el plano de falla se dispone tangente a los anillos de crecimiento.
- ❖ **Tracción Normal Radial ( $R_{tnr}$ )** : Es aquella en la cual el plano se dispone perpendicular al los anillos de crecimiento.

Los parámetros que este ensayo entrega son la tensión de ruptura por Tracción Normal ( $R_{tn}$ ), tanto tangencial como radial, ambos se calculan de la misma forma y de acuerdo a la siguiente relación:

$$R_{tn} = \frac{Q}{A} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

Donde

$R_{tn}$  = Tensión de Ruptura por Tracción Normal, en Kg./cm<sup>2</sup>

Q = Carga de ruptura, en Kg.

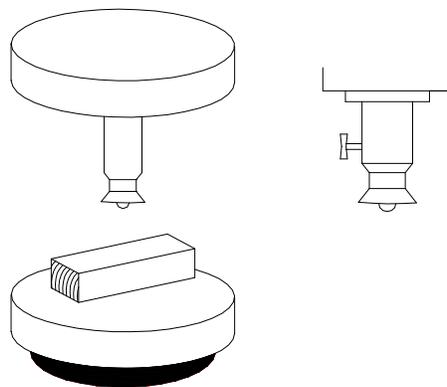
A = Area solicitada a la Tracción Normal, en cm<sup>2</sup>

### 2.7.6 Dureza (Janka)

La dureza determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia que ella.

Para la realización de este ensayo se debe conectar a la máquina de ensayo, un dispositivo que posee una esfera de acero de 11,3 mm de diámetro, la cual se hace penetrar a una probeta normalizada, según la norma Chilena NCh 978.

La esfera se introduce hasta la mitad de su diámetro en cada una de las seis caras de la probeta. Una vez que ha penetrado la mitad de diámetro de la esfera, se activa una alarma electrónica conectada al dispositivo, instante en el cual se detendrá el ensayo y se registrará la carga de penetración soportada.



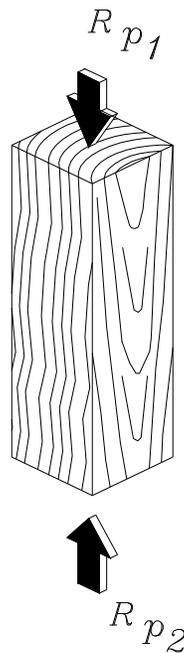
**Figura 2.18** Dispositivo de ensayo de Dureza Janka

Tal como se dijo anteriormente, la esfera debe penetrar en cada una de las seis caras, sin embargo la sollicitación en cuatro caras será normal a la dirección a las fibras y en dos caras será, paralela a la dirección de las fibras, es por ello que ambos parámetros se miden separadamente de acuerdo a lo siguiente:

❖ **Dureza Paralela ( $R_{dp}$ ) :**

Es un parámetro que indica la resistencia que ofrece la madera a la penetración con carga aplicada en sus cabezales o extremos de la probeta. Para calcularla se aplica la carga en uno y otro extremo consecutivamente y la dureza paralela será el promedio aritmético de ambos.

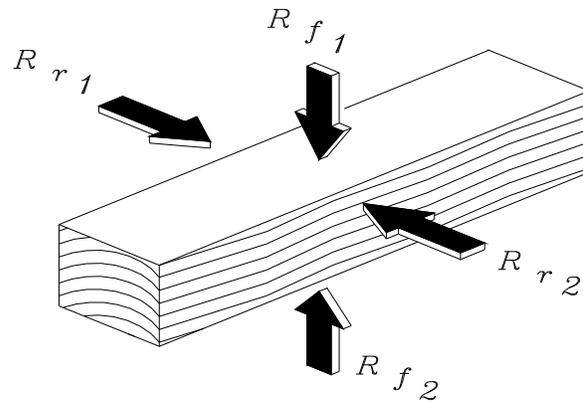
La forma de aplicar la carga que introduce la esfera en el ensayo de dureza paralela es la indicada en la Figura 2.18. y 2.19



**Figura 2.19 Ensayo de Dureza Paralela**

❖ **Dureza Normal ( $R_{dn}$ ):**

Es un parámetro que indica la resistencia que ofrece la madera a la penetración en sentido perpendicular a la dirección de las fibras. Se expresa como el promedio aritmético de la resistencia obtenida en las caras tangenciales y radiales de la probeta, de acuerdo a lo indicado en la Figura 2.20

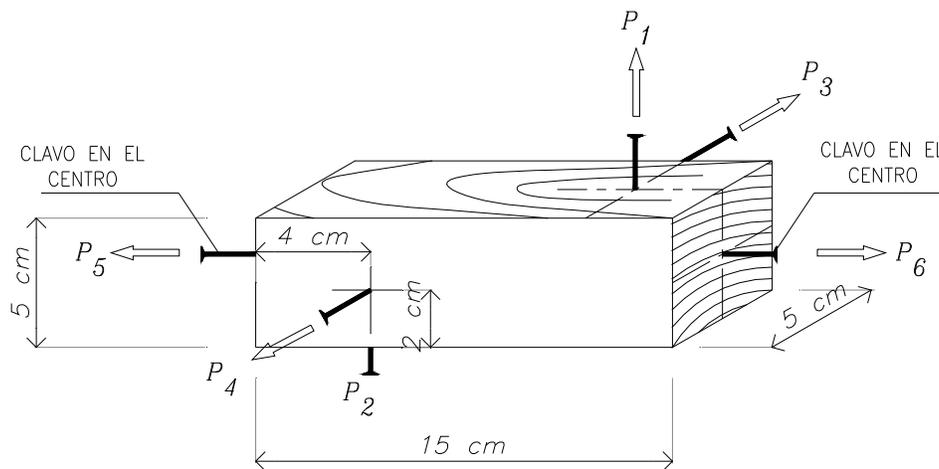


**Figura 2.20 Ensayo de Dureza Janka Normal a la Fibra.**

### 2.7.7 Extracción de Clavo

Esta propiedad mecánica tiene por objeto entregar una medida indicativa del grado de sujeción existente entre la madera y los elementos de unión más usados, como es el clavo. Esta resistencia se mide por la fuerza necesaria para extraer un clavo de la madera.

Las especificaciones que regulan este ensayo están dadas en la Norma Chilena NCh 979, respecto a la geometría de la probeta y a la ubicación de los clavos. Se especifica lo indicado en la figura 2.21



**Figura 2.21 Forma y Dimensiones de la Probeta de Extracción de Clavo.**

Igual que en otros, en este caso se distinguen dos tipos de sollicitaciones dependiendo de la orientación del clavo respecto a las fibras de la probeta.

#### ❖ **Resistencia Normal a las Fibras ( $R_{cnf}$ )**

Este parámetro indica la resistencia que opone la madera a la extracción de un clavo ubicado en su eje en el sentido perpendicular a la dirección de las fibras.

Para obtener este valor se realiza la extracción del clavo en cada una de las cuatro caras de la probeta  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , y  $P_4$  y el valor de extracción Normal será el promedio aritmético de estas cuatro resistencias.

#### ❖ **Resistencia Paralela a las Fibras ( $R_{cpf}$ )**

Indica la resistencia que opone la madera a la extracción de un clavo ubicado en su eje en el sentido paralelo a la dirección de las fibras.

La determinación de este parámetro se realiza obteniendo la resistencia a la extracción paralela en ambos cabezales de la probeta, luego la resistencia representativa de esta probeta se obtendrá promediando aritméticamente los valores resultantes para cada cabezal  $P_5$ ,  $P_6$

## **2.8 Propiedades Mecánicas de Especies Madereras Crecidas en Chile**

Las propiedades mecánicas de especies madereras crecidas en Chile, en estado verde, son las incluidas en la Tabla 2.13.

Las propiedades mecánicas de especies madereras crecidas en Chile, en estado seco, son las incluidas en la Tabla 2.14

La relación entre las propiedades mecánicas y los usos específicos que las maderas pueden tener se señalan en la Tabla 2.15

## 2.9 Factores que afectan las Propiedades Mecánicas

La madera tiene una compleja estructura natural diseñada para servir las necesidades funcionales de una planta en vida. No siempre resulta evidente el por qué las probetas de una especie maderera determinada, extraídas de diferentes árboles o de un mismo árbol muestran una pronunciada diferencia en su densidad y en su resistencia. La variabilidad entre árboles y de la misma especie responde a diferencia genéticas, de ambiente o de ambas.

En un mismo árbol el crecimiento es irregular. Existe además, diferencias en las propiedades mecánicas, debido al tratamiento de la madera durante su elaboración. Los factores que inciden sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas son:

- a) **Defectos** : Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico – química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente, una limitación en su uso o aplicación. Los defectos que mayormente inciden sobre las propiedades mecánicas o resistentes de la madera son: Nudos, grietas, rajaduras, granos o fibra desviada, pudrición, perforación y colapso. Otros defectos que inciden en la resistencia, pero, en menor grado, son: Bolsillo de corteza o resina, acebolladuras, alabeos, médula y canto muerto.

Debido a lo anterior es que la determinación de las propiedades mecánicas se realiza en probetas libres de defectos.

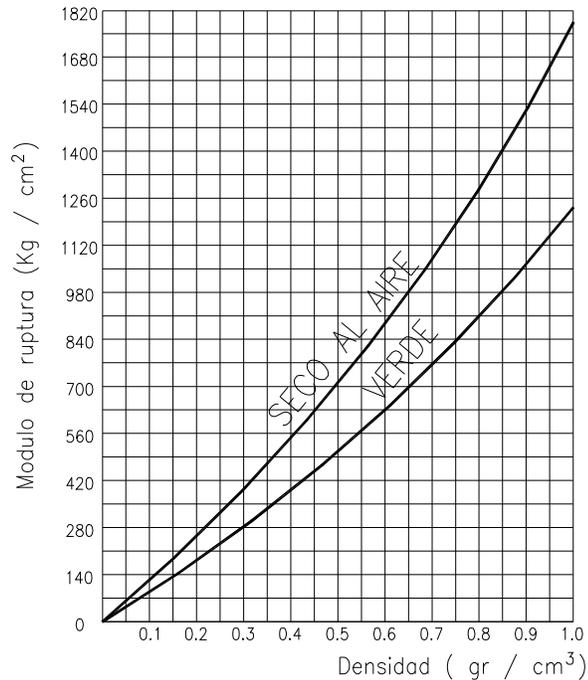
- b) **Densidad**: Aparte de los ensayos de resistencia, la densidad o peso específico de una pieza de madera, es el criterio más satisfactorio para determinar su resistencia. Las células que constituyen finalmente la madera, están ligadas por la lignina. La pared celular está compuesta principalmente por celulosa, encontrándose además holocelulosa y lignina. Las diferencias de composición, entre especies y dentro de ellas, es la primera causa de la variación de la densidad. El grosor de las paredes celulares y el tamaño de las porosidades también es variable, añadiendo una nueva causa de variabilidad. La densidad de la madera varía aún dentro del mismo árbol. En la Figura 2.22 se indican dos relaciones en propiedades mecánicas y densidad.

Tabla 2.13 Propiedades Mecánicas de Especies Madereras Chilenas En Estado Verde

Especie	Peso Específico Kg/m <sup>3</sup>	FLEXION			TENACIDAD			COMPRESION				TRACCION NORMAL			DUREZA			CIZALLE			CLIVAJE			EXTRACCION CLAVO	
		Tensión en el Límite Proporc.	Modulo de Ruptura	Modulo de Elasticidad	Resist. Máx.	Tang. encial	Resist. Máx.	R <sub>r</sub>	Paralela		Normal	Tangencial	Radial	Normal	Paralela	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial	Normal	Normal	Carga Máx.	Paralela	
									Tensión Límite Proporc.	Tensión Máx.															Tensión Límite Proporc.
ALERCE	424	380	649	57.7	1598	1359	293	435	39.7	76	121	15	15	200	220	220	36	55	55	36	36	76	53		
ALGARROBO	690	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ARAUCARIA	474	282	450	83.8	2880	4196	170	230	67.2	42	85	24	256	264	264	50	72	58	50	32	75	55			
AVELLANO	-	236	407	68.0	-	-	151	194	98.0	26	-	-	208	227	227	-	64	48	-	-	-	-			
ALAMO	302	188	353	50.6	2898	2443	78	162	68.5	17	40	35	100	129	129	42	48	40	42	33	-	-			
CANELO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
CIPRES DE LA CORDILLERA	435	266	422	50.7	2596	2587	177	223	58.7	46	75	28	255	344	344	32	67	61	32	31	86	46			
COIGUE	493	315	522	83.3	3187	3641	198	258	92.5	108	160	54	397	394	394	75	98	75	75	65	109	74			
COIGUE DE MAGALLANES	-	-	560	95.9	-	-	-	46	-	-	-	-	240	299	299	-	73	62	-	-	-	-			
EUCALYPTUS GLOBULUS	624	386	778	120.2	-	-	242	363	141.6	74	178	84	365	408	408	95	128	98	95	72	-	-			
LAUREL	400	225	392	66.0	-	-	147	189	81.8	21	-	24	200	220	220	-	55	55	-	-	-	-			
LENGA	464	252	497	79.4	-	-	159	216	87.9	35	71	39	255	317	317	51	74	63	51	37	76	38			
LINGUE	493	294	505	81.5	2504	1811	180	231	100.0	42	-	45	310	340	340	-	71	71	-	-	-	-			
LUMA	1050	800	1150	160.0	-	-	397	496	214.8	230	-	80	-	-	-	-	160	140	-	-	-	-			
MANIO DE HOJAS CORTAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
MANIO DE HOJAS LARGAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
MANIO DE HOJAS PUNZANTES	418	285	495	79.6	1546	1481	177	227	98.2	40	-	34	298	328	328	-	70	70	-	-	-	-			
OLIVILLO	406	280	480	77.0	2219	2376	173	222	96.3	38	-	32	280	320	320	-	68	68	-	-	-	-			
PINO RADIATA	448	190	357	65.5	2725	2551	86	149	66.2	28	-	26	149	178	178	35	51	44	35	29	44	21			
PINO OREGON	358	296	451	69.7	3405	2561	144	204	39.7	32	59	15	182	242	242	24	60	58	24	25	47	23			
RAULI	405	365	579	82.1	3355	3480	196	288	82.7	49	-	45	283	339	339	84	62	62	53	-	113	81			
ROBLE	447	359	531	87.7	2102	2548	157	263	110.9	97	-	57	428	410	410	89	67	67	65	-	132	101			
TAMARUGO	875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
TEPA	420	256	524	81.9	2633	2732	162	214	85.5	41	84	42	250	322	322	71	59	59	55	40	88	47			
TINEO	584	-	-	-	2102	1675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
ULMO	507	366	663	104.2	4081	4212	184	301	116.1	56	126	50	253	334	334	64	94	84	64	64	115	103			

Tabla 2.14 Propiedades Mecánicas de Especies Madereras Chilenas En Estado Seco

Especie	Peso Específico Kg/m <sup>3</sup>	FLEXION			COMPRESION				TRACCION NORMAL			DUREZA			CIZALLE			CLIVAJE		EXTRACCION CLAVO		
		Tensión en el Límite Proporc.	Módulo de Ruptura	Módulo de Elasticidad	Paralela		Normal	Tensión Rotura	Tensión Máx	Radial	Tensión Rotura	Tensión Máx	Paralela	Tensión Rotura	Tensión Máx	Radial	Tensión Rotura	Tensión Máx	Radial	Tensión Rotura	Normal	Paralela
					Tensión Límite Proporc.	Tensión Límite Proporc.																
ALERCE	444	398	610	82.0	498	51.5	132	135	31	31	23	257	404	108	87	-	-	38	102	102	97	
ALGARROBO	730	471	910	-	627	-	-	-	-	-	-	935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ARALUCARIA	518	473	772	116.7	424	106.7	81	150	75	41	41	310	412	127	90	48	70	48	70	109	90	
AVELLANO	-	410	625	85.0	368	102.0	49	-	-	-	-	268	324	102	94	-	-	-	-	-	-	
ALAMO	381	297	536	77.7	306	80.2	31	67	49	36	36	139	224	70	62	45	34	45	34	-	-	
CANELO	463	577	706	94.4	372	97.3	52	108	85	31	31	154	155	109	86	76	42	76	42	-	-	
CIPRES DE LA CORDILLERA	604	515	761	73.4	428	71.2	90	117	21	12	12	252	486	113	99	21	24	21	24	90	77	
COIGUE	-	-	776	105.5	453	111.5	92	198	96	66	66	431	491	126	96	122	78	122	78	112	84	
COIGUE DE MAGALLANES	-	-	708	103.1	83	-	-	-	-	-	-	315	425	139	119	-	-	-	-	-	-	
EUCALYPTUS GLOBULUS	720	775	1198	160.0	698	170.3	120	-	70	70	70	700	745	130	130	-	-	-	-	-	-	
LAUREL	495	531	762	113.9	518	124.3	68	125	78	48	48	242	330	131	108	92	75	92	75	-	-	
LENGA	520	464	879	101.3	430	105.0	71	135	59	43	43	364	533	114	93	73	53	73	53	117	74	
LINGUE	535	645	990	126.2	514	135.0	100	166	-	-	-	264	330	125	104	84	72	84	72	-	-	
LUMA	1150	660	1300	210.0	786	273.2	200	-	120	120	120	442	643	266	254	-	-	-	-	-	-	
MANÍO DE HOJAS CORTAS	-	320	534	71.0	496	101.8	96	160	44	22	22	186	290	103	95	56	43	56	43	-	-	
MANÍO DE HOJAS LARGAS	-	508	934	105.6	565	127.3	123	187	62	42	42	359	468	133	124	64	45	64	45	-	-	
MANÍO DE HOJAS PUNZANTES	463	430	697	83.8	521	105.7	107	196	48	30	30	257	383	135	111	58	42	58	42	-	-	
OLIVILLO	500	490	720	98.5	428	118.3	68	-	39	39	39	382	460	106	106	-	-	-	-	-	109	
PINORADIATA	448	373	657	85.3	370	93.8	71	135	41	24	24	207	290	76	68	44	33	44	33	40	28	
PINO OREGON	408	492	788	93.6	380	102.3	62	115	18	12	12	270	424	80	85	26	25	26	25	85	34	
RAULI	448	516	784	99.8	365	123.1	70	-	55	55	55	415	505	111	111	-	-	-	-	107	87	
ROBLE	624	634	937	123.6	476	130.5	70	-	62	62	62	465	505	120	120	-	-	-	-	102	83	
TAMARCO	975	762	1633	-	803	-	-	-	-	-	-	2248	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TEPA	494	465	791	98.0	417	100.8	69	141	50	30	30	348	553	99	81	67	50	67	50	104	79	
TINEO	681	451	901	121.0	484	114.2	88	186	68	44	44	318	424	130	108	83	60	83	60	158	148	
ULMO	648	513	887	112.5	654	169.9	91	163	63	62	62	283	439	143	131	70	74	70	74	156	155	



**Figura 2.22 Relación Densidad – Resistencia.**

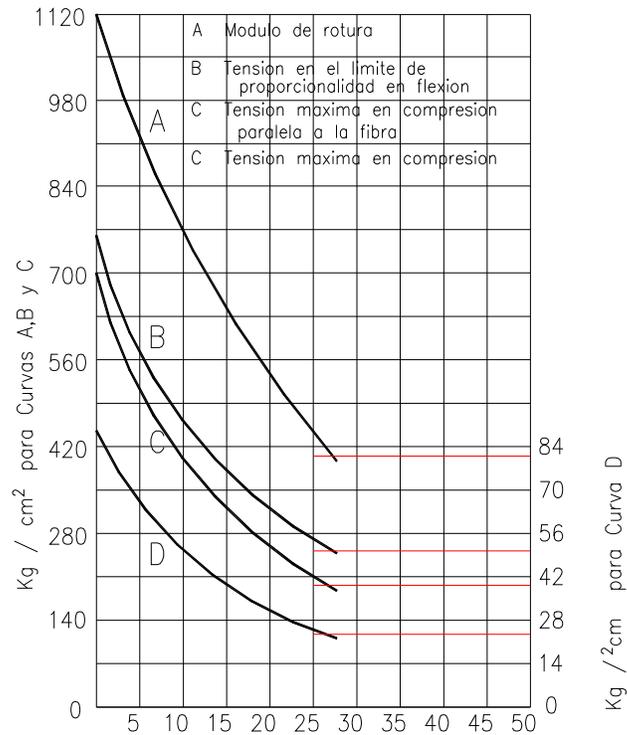
Los métodos prácticos para estimar la densidad y, por lo tanto, la resistencia, son:

- Pesando un trozo de madera y determinando su volumen. Se debe evitar madera con nudos, bolsillos con resina o corteza.
- Determinando la cantidad de madera de primavera. A mayor proporción de madera de verano, mayor densidad, más resistencia mecánica.
- Velocidad de crecimiento por unidad de longitud, mayor densidad, mejor resistencia.

**c) Contenido de humedad.**

Cuando la madera pierde agua bajo el Punto de Saturación de la Fibra, cada célula se compacta cada vez más. Debido a ello las fibras se ponen más rígidas y fuertes, resultando de lo anterior que una pérdida del contenido de humedad de la madera, va acompañada de un incremento de la resistencia. Por sobre el Punto de Saturación de las Fibras, un aumento del contenido de la

humedad no tiene efectos sobre la resistencia. La relación general sobre el contenido de la humedad y la resistencia, se señalan en la figura 2.23



**Figura 2.23 Relación entre la Resistencia y Contenido de Humedad en probetas de Madera**

#### d) Temperatura

En general las propiedades mecánicas de la madera decrecen cuando ella se calienta y aumenta cuando la madera se enfría. La relación entre la resistencia de la madera y la temperatura de exposición es aproximadamente lineal siempre que su contenido de humedad permanezca constante y las temperaturas sean inferiores a 150° C . Los efectos de la temperatura sobre la resistencia y propiedades elásticas de la madera pueden clasificarse como temporales y permanentes.

Efectos temporales son aquellos que existen sólo a una temperatura en particular y son independientes del período de exposición y los efectos permanentes son aquellos que permanecen después que la madera ha sido llevada a la temperatura normal (20° C) y dependen de la duración de la exposición más que del valor de temperatura involucrado.

#### **e) Albura y Duramen.**

La albura, aparte de su función de soporte, es de importancia vital en la vida de un árbol, pues por sus tejidos se conduce la savia desde el suelo hasta las hojas. En la primera etapa de vida del árbol, toda su sección transversal es albura. A medida que el árbol crece, parte de la albura se transforma en duramen. La función de este es sólo de sujeción o soporte mecánico. Numerosas experiencias han demostrado que, en general no existe diferencia significativa entre las propiedades mecánicas de madera de albura y duramen. Existen sí, algunas excepciones a esta regla, las cuales dependen fundamentalmente de la densidad de ambas zonas y de los defectos que prevalecen en ellas.

#### **f) Temporada de Corte.**

Existe la creencia que la temperatura de corte, influye sobre las propiedades de una especie maderera. Se asigna, a la madera cortada en invierno, ciertas ventajas sobre la que se corta en otra estación : Mayor durabilidad, mejor color y aún una mayor resistencia. Esta creencia no esta respaldada por investigación alguna creada con este fin. Lo que se reconoce es que las condiciones climáticas a que puede quedar expuesta la troza, una vez cortada, son distintas y ellas tienen influencia sobre la madera que se obtiene. Si el árbol se tala en cualquier estación o temporada y se procesa inmediatamente después del corte, procediendo posteriormente a un secado en horno, con un método estandarizado, la madera que así se obtiene no tiene diferencias en sus distintas propiedades, derivada de la temporada de corte.

#### **g) Tratamiento de la Madera.**

Numerosas investigaciones afirman, que los efectos de los tratamientos de la madera, sobre la resistencia de ella, se deben principalmente al método de aplicación del preservante y no a las sales de impregnación usadas. El debilitamiento que se origina en la resistencia se debe a las altas temperaturas y presiones inherentes a algunos procesos de tratamientos, a fin de obtener una satisfactoria impregnación. Esto es particularmente crítico cuando se usa prolongados periodos de alta temperatura, con grandes presiones, en maderas refractarias o difíciles de impregnar. Sin embargo, es posible usar temperaturas y periodos de aplicación moderada, usando técnicas complementarias al proceso de impregnación.

## **2.10 Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chile según sus Propiedades Mecánicas.**

El agrupamiento de las especies madereras según sus propiedades mecánicas es una etapa necesaria para posteriormente asignar las Tensiones Admisibles a las maderas que se usan en la construcción.

El agrupamiento de maderas destinadas a fines estructurales, consiste en crear un conjunto de especies madereras hipotéticas, caracterizadas por determinadas propiedades resistentes, de modo que cualquier madera puede identificarse dentro de tal conjunto, como equivalente a una de tales especies madereras hipotéticas.

A fin de proporcionar valores de resistencia unitaria a nuestras maderas, aun cuando sea en forma aproximada y provisoria y mientras se implemente y desarrolle un sistema moderno de clasificación mecánica, la norma NCh 1989 propone un procedimiento basado en el método australiano para agrupar las maderas que crecen en el país, de acuerdo a sus propiedades mecánicas.

La aplicación del método especificado en la norma NCh 1989, usando los datos con que se cuentan a la fecha para las diferentes especies madereras crecidas en el país, da como resultado la agrupación, según resistencia, señalada en la Tabla 2.16

**TABLA 2.16 Agrupamiento de las Maderas Crecidas en Chile**

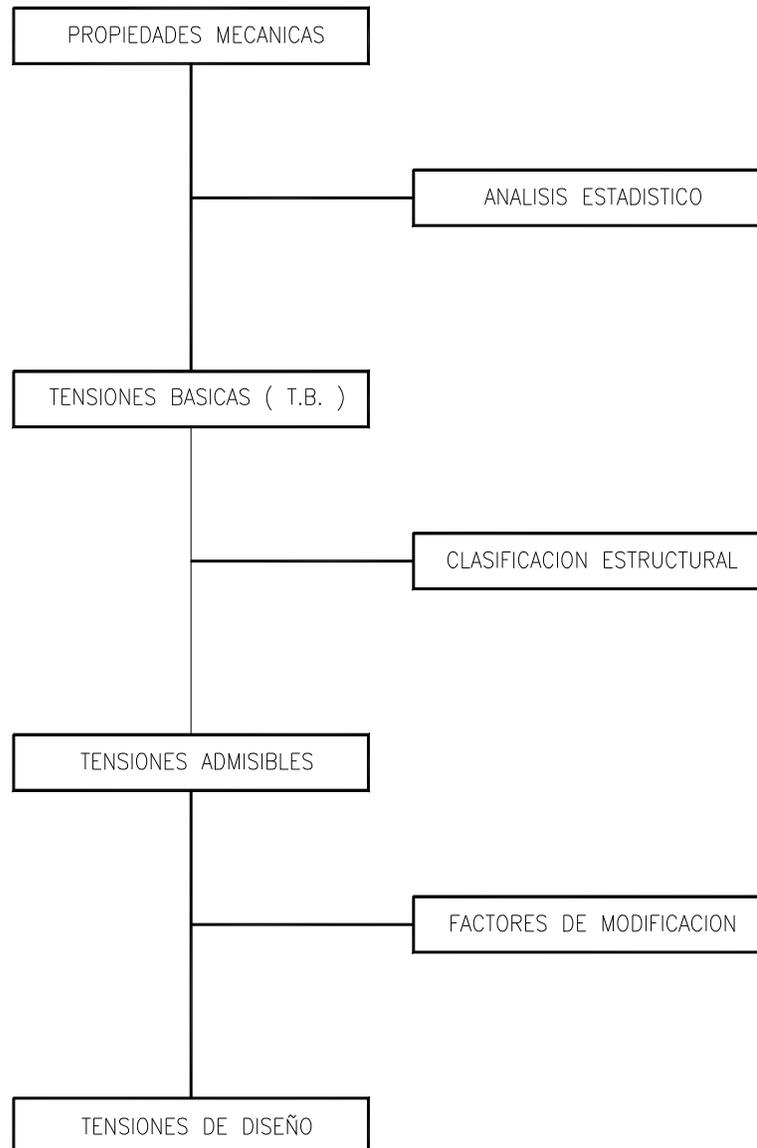
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA</b>			
<b>Verde (H ≥ 30 %)</b>		<b>Seco (H = 12%)</b>	
<b>Grupo</b>	<b>Especie Maderera</b>	<b>Grupo</b>	<b>Especies Maderera</b>
<b>E 2</b>	<b>Eucalipto</b>	<b>ES 2</b>	<b>Eucalipto</b>
<b>E3</b>	<b>Aromo australiano Ulmo</b>	<b>ES 3</b>	<b>Aromo australiano Lingue</b>
<b>E4</b>	<b>Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Coigüe (Magallanes) Raulí Roble Roble (Maule) Tineo Renoval de raulí</b>	<b>ES 4</b>	<b>Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Laurel Lenga Maño hojas largas Roble Roble (Maule) Tineo Ulmo</b>
<b>E5</b>	<b>Alerce Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Ciprés de las Guaitecas Laurel Lenga Lingue Maño macho Olivillo Pino Oregón Tepa</b>	<b>ES 5</b>	<b>Alerce Canelo Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Coigüe (Magallanes) Maño macho Olivillo Pino radiata (*) Pino oregón Raulí Tepa Renoval de Raulí</b>
<b>E6</b>	<b>Alamo Pino radiata Sequoia</b>	<b>ES 6</b>	<b>Alamo Ciprés de las guaitecas Maño hembra Sequoia</b>

### 3 TENSIONES

#### 3.1 Tensiones de Diseño de la Madera.

Las tensiones que se usan en el diseño estructural de una construcción en madera son conocidas como “tensiones de diseño”.

La obtención de los valores de las tensiones de diseño, para las diferentes especies madereras, involucra una serie de etapas que serán revisadas a continuación y que se resumen en la figura siguiente



### 3.1.1 Propiedades Mecánicas.

El punto de partida del proceso es la obtención de las resistencias de probetas libres de defectos, de tamaño estandarizado, sometidas a ensayos normalizados. Según párrafo 2.7

### 3.1.2 Tensiones Básicas:

Las propiedades resistentes de la madera, como las de otros materiales estructurales, tienen una alta variabilidad. Como consecuencia de lo anterior, en lugar de tomar como base los valores medios de las propiedades resistentes para obtener las tensiones de diseño de las maderas, se ha establecido un valor mínimo bajo el cual se espera la ubicación de no más de 5 % de la población de estudio. Este valor límite de la resistencia se denomina "límite inferior con exclusión del 5%" y los métodos para su determinación están normalizados en ASTM D 2555. Este límite asegura, con una certeza de 95 en 100, que la resistencia de una pieza de madera es superior al límite inferior de resistencia elegido como base.

Los valores que se obtienen para el límite con exclusión del 5% son los de flexión, compresión paralela a las fibras, tracción paralela a las fibras y cizalle. Estos y los valores medios de compresión normal y módulo de elasticidad en flexión, son luego divididos por un factor de ajuste "n" que incluye una corrección para considerar la aplicación de una carga de duración prolongada (10 años) y un factor de seguridad. Los resultados de estos cálculos proporcionan las tensiones básicas (T. B) que sólo son aplicable a madera libre de defectos.

Los valores de "n" son incluidos en la Tabla 3.1

**TABLA 3.1 Factores de Ajuste (n) a ser Aplicados a Las Propiedades Obtenidas en Madera Libre de Defectos.**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>CONIFERAS</b>	<b>LATIFOLIADAS</b>
<b>Flexión</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>
<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>0,94</b>	<b>0,94</b>
<b>Tracción Paralela</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>
<b>Compresión Paralela</b>	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>
<b>Cizalle</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>
<b>Tensión en el Límite de Proporcionalidad en Compresión Normal</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>

### 3.1.3 Tensiones Admisibles.

La madera estructural muy rara vez se presenta libre de defectos. Por el contrario ella contiene nudos, desviación de fibra, grietas y otras características reductoras de la resistencia.

A fin de agrupar piezas de madera con características estructurales semejantes, se procede con una clasificación visual, basada en reglas o especificaciones que determinan la magnitud admisible de los defectos que un grupo o grado determinado puede aceptar.

### 3.1.4 Defectos de la Madera.

Los defectos a considerar en una clasificación estructural visual, de piezas de madera aserradas o cepilladas quedan especificados en la norma NCh 992.

#### 3.1.4.1 Definiciones Generales:

- Defecto: Cualquier irregularidad física o química o físico-química de la madera que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitación en su uso o aplicación.
- Clasificación: Separación y ordenación de las piezas de madera en grupos que cumplen con los requisitos de cada grado establecido.
- Arista: Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes de una pieza de madera.
- Cabeza: Sección transversal de cada extremo de una pieza
- Cantos: Superficies planas menores y normales a las caras, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.
- Caras: Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.
- Borde de una Cara: Zona de la superficie de la cara que abarca todo el largo de una pieza y que queda limitada, en el ancho, por una arista y por una línea imaginaria paralela a la arista y a una distancia de ésta igual a la cuarta parte del ancho de la pieza.
- Zona Central de una Cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza y que queda comprendido entre los bordes de la cara. (El ancho de esta zona es igual a la mitad del ancho de la pieza).
- Escuadría: Expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal de una pieza.

- Ancho: Dimensión mayor de la escuadría.
- Espesor: Dimensión menor de la escuadría.
- Longitud: Distancia entre las cabezas de una pieza.

#### **3.1.4.2 Términos Relativos a Defectos.**

- Acebolladura: Separación del leño entre dos anillos consecutivos.
- Agujero: Abertura de sección aproximadamente circular, originada principalmente por el desprendimiento de un nudo.
- Alabeo: Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos a la vez.
- Acanaladura: Alabeo de las caras en la dirección transversal.
- Arqueadura: Alabeo de las caras en la dirección longitudinal.
- Encorvadura: Alabeo de los cantos en la dirección longitudinal.
- Torcedura: Alabeo helicoidal de la pieza en torno a su eje longitudinal.
- Arista Faltante: Falta de madera en una arista de una pieza; se conoce también por “canto muerto”.
- Bolsillo de Resina: Presencia de una cavidad bien delimitada y que contiene resina o tanino.
- Bolsillo de Corteza: Presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en el leño.
- Cepillado Desgarrado: Levantamiento de las fibras en las superficies cepilladas causado por un trabajo defectuoso. Ocurre con mayor frecuencia al procesar madera verde.
- Cepillado Incompleto: Aquellas áreas de las superficies cepilladas de una pieza, que quedan sin cepillar.
- Cepillado Ondulado: Depresiones sucesivas dejadas por las cuchillas sobre la superficie de una pieza cepillada.

- Colapso: Reducción de las dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado sobre el Punto de Saturación de las Fibras y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares.
- Depresión por Cepillado: Concavidad producida durante el cepillado de una pieza.
- Escuadría Irregular: Variación de la escuadría nominal de una pieza. producida por la desviación del plano de corte durante el aserrado; puede manifestarse también en una pérdida de ortogonalidad de la sección transversal de la pieza.
- Grano Inclinado o Fibra Desviada: Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de la pieza.
- Grieta: Separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.
- Mancha Biológica: Cambio de color de la madera producido por hongos no xilófagos
- Manchas de Procesamiento: Cambio de color que puede producirse en la madera durante los procesos de aserrado, cepillado, estacionamiento y/o almacenamiento.
- Marca de Astillamiento: Depresión en las caras cepilladas causadas por desprendimiento de fibras.
- Marca de Sierra: Depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal.
- Médula: Parte central del tronco constituidas especialmente por tejidos parenquimatoso y blando
- Nudo: Tejido leñoso dejado por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes a los de la madera.
- Nudo Firme: Aquel que está adherido solidariamente al leño circundante.
- Nudo Suelto: Aquel que provoca una discontinuidad en las fibras de la madera y que además puede encontrarse rodeado de corteza.
- Nudo en el Canto: Aquel que aparece ubicado totalmente entre las aristas del canto de una pieza.

- Nudo en la Cara: Aquel que aparece ubicado totalmente entre las aristas de la cara de una pieza. Puede ser nudo en el borde de la cara o nudo en la zona central de una cara.
- Nudo en la Arista: Aquel cortado por una arista que lo divide en dos partes cada una de las cuales aparece, respectivamente, en el canto y cara que concurren a dicha arista.
- Nudos en Grupo: Dos o más nudos individuales que se encuentran agrupados en una superficie cuadrada de lado igual al ancho de la pieza, siendo cada uno de ellos una unidad separada y totalmente rodeada por las fibras de la madera.
- Nudos en Racimo: Dos o más nudos agrupados como una unidad que queda totalmente rodeada por fibras del leño que la circunda.
- Perforación: Galería u otro tipo de orificios, producidos por diferentes especies del reino animal.
- Pudrición: Descomposición de la madera producida por la acción de hongos xilófagos, acompañada de un proceso gradual de cambios de características físicas, químicas y mecánicas.
- Quemado: Carbonización de la madera ocurrida durante su procesamiento y producida por la fricción de la herramienta.
- Rajadura: Separación de las fibras de la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

### 3.1.4.3 Esquematación y Cuantificación de los Defectos en La Madera

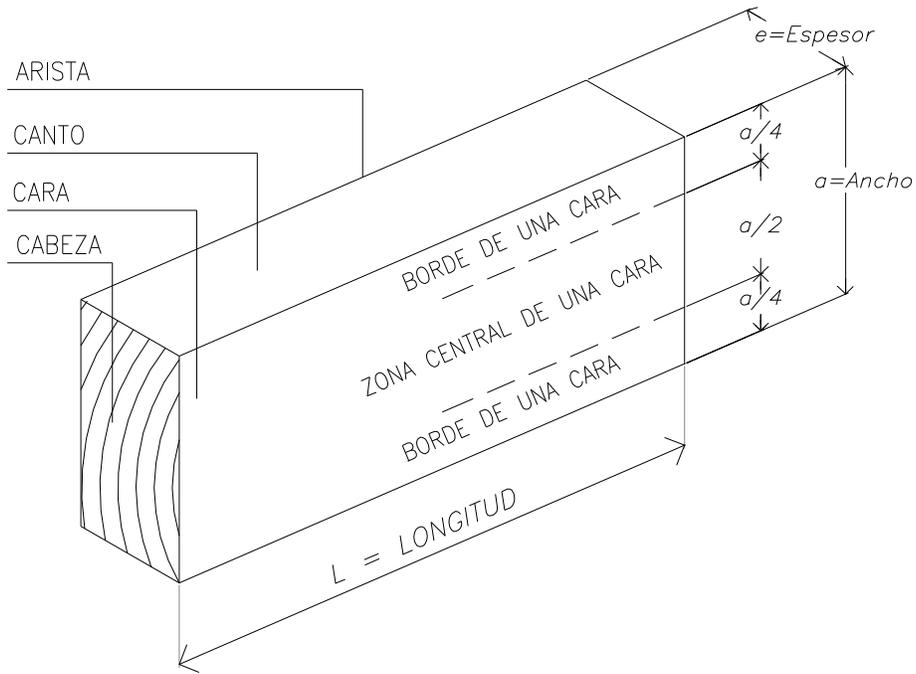


Figura 3.1 Términos relativos a la geometría de la pieza de madera

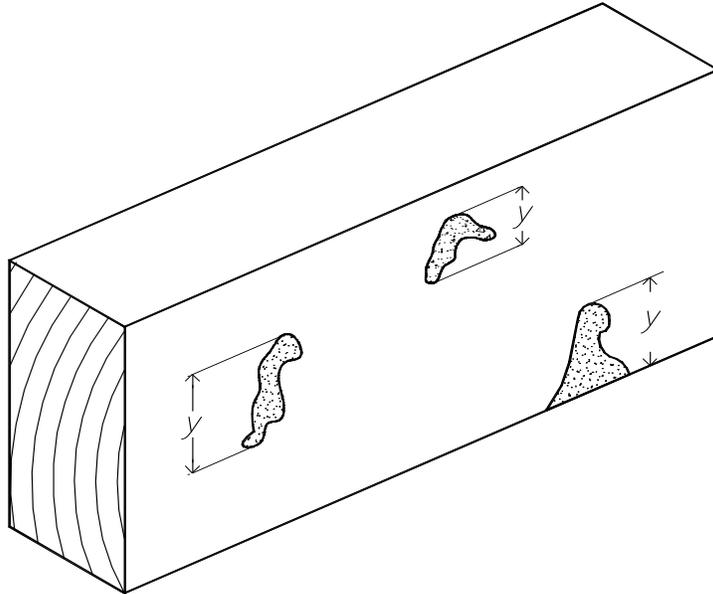
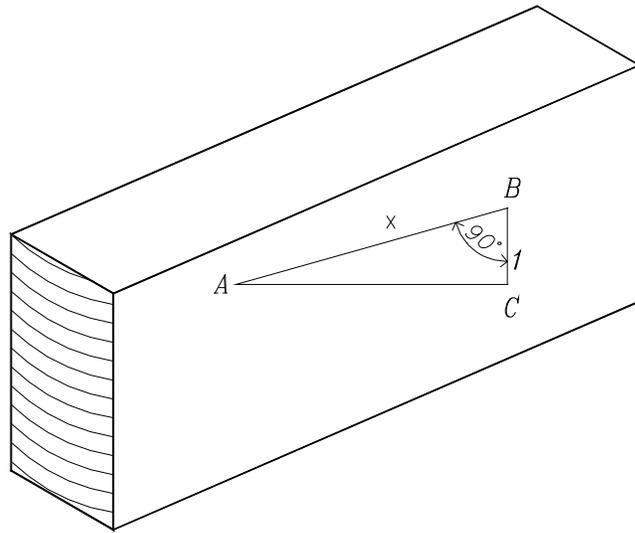
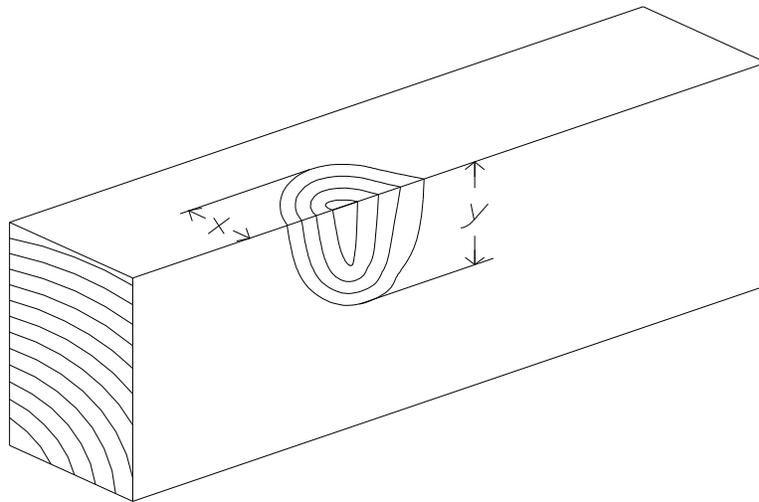


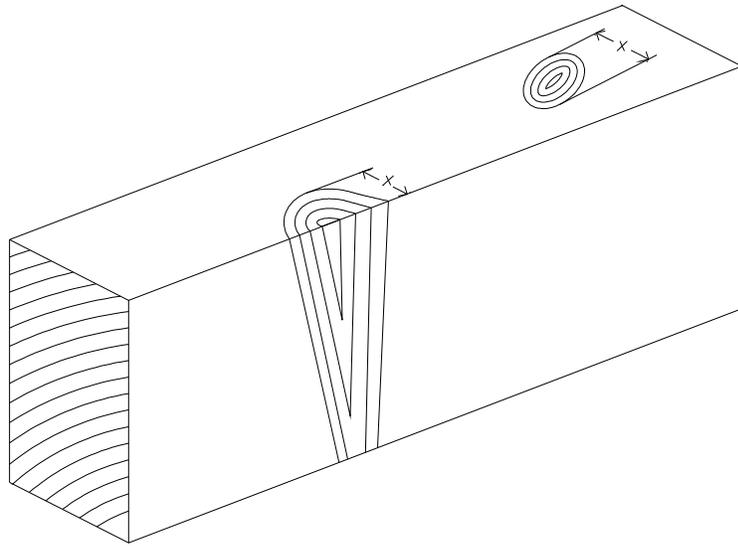
Figura 3.2 Medición de bolsillos de corteza y resina



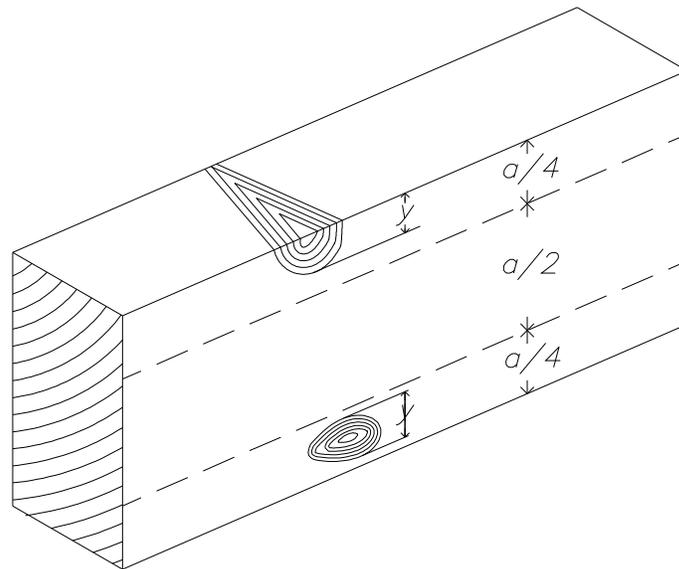
**Figura 3.3 Medición del grano inclinado.**



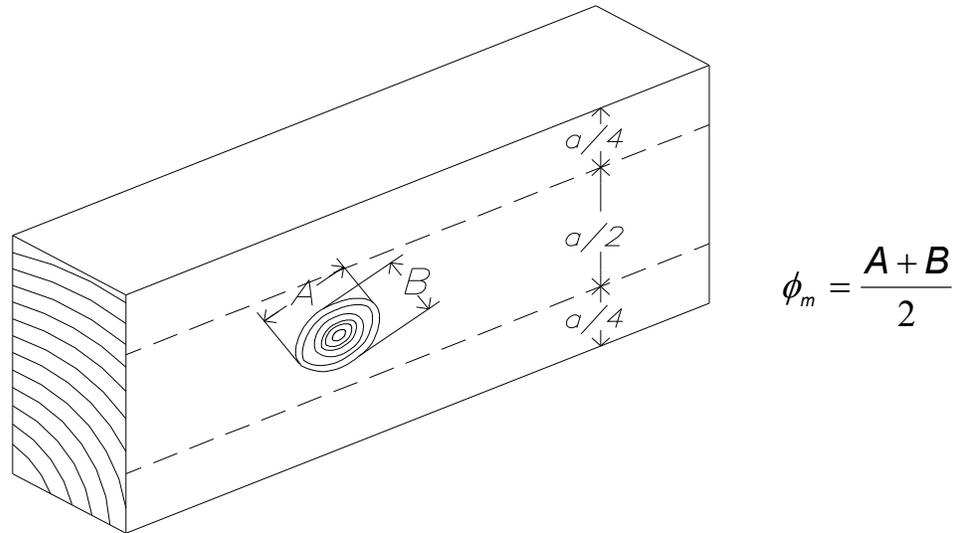
**Figura 3.4 Medición de nudo en la arista**



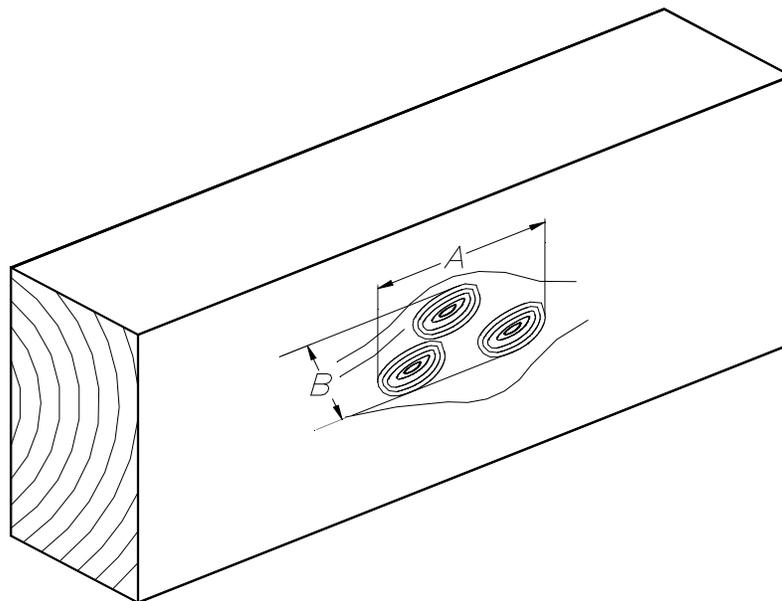
**Figura 3.5 Medición de nudo en el canto**



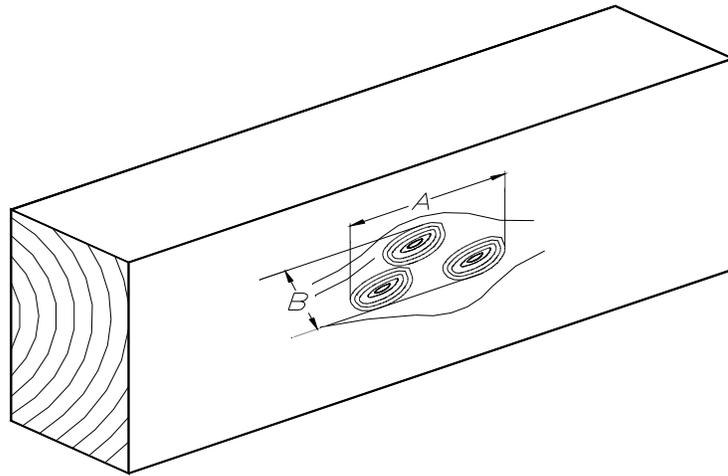
**Figura 3.6 Medición de nudo en el borde de una cara**



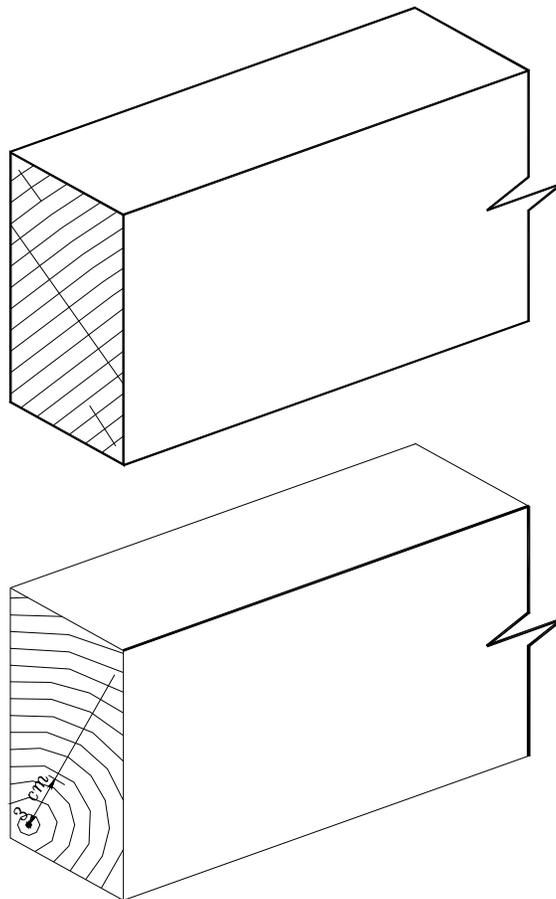
**Figura 3.7 Medición de nudo en la zona central de una cara**



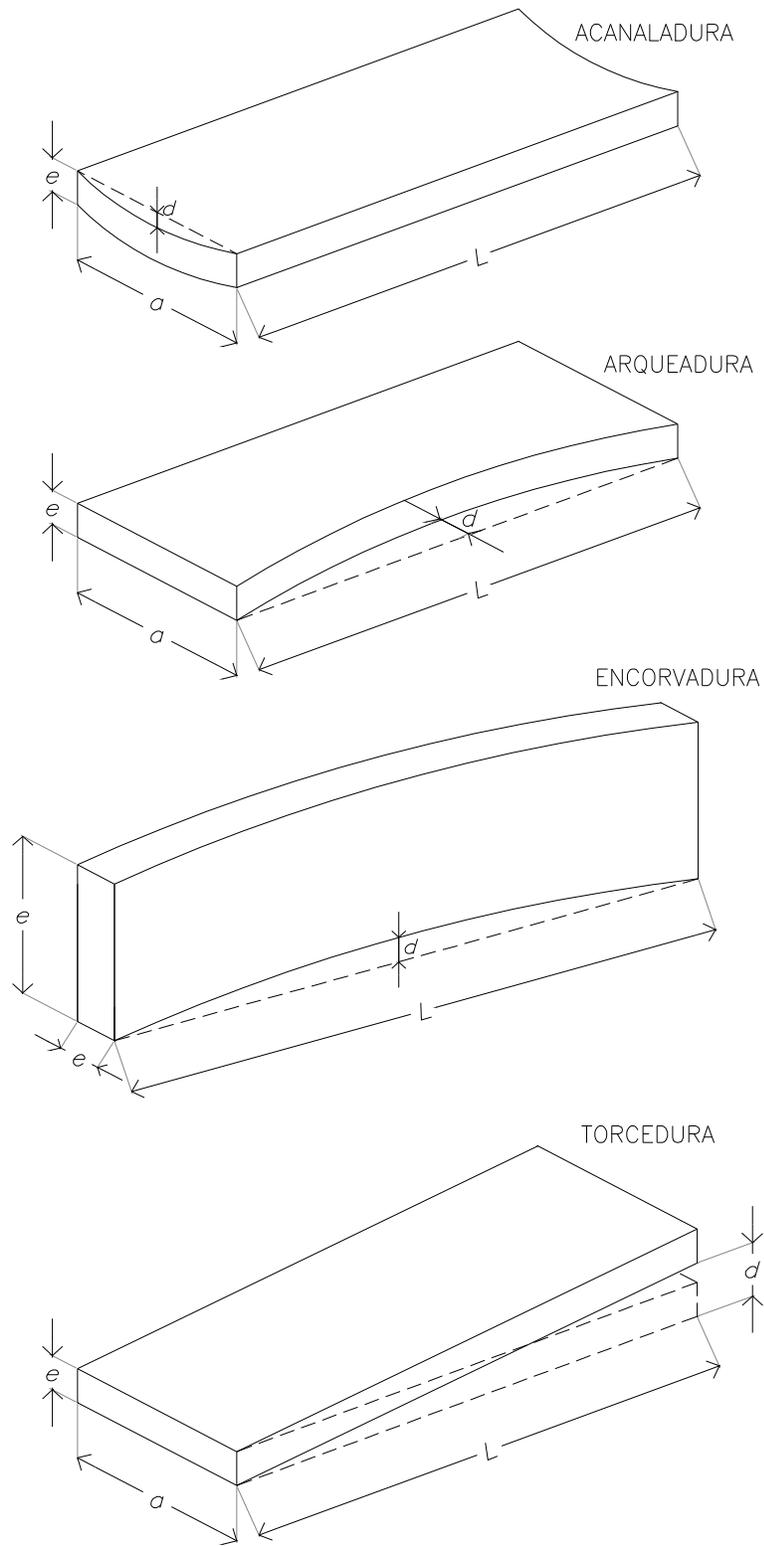
**Figura 3.8 Medición de nudos en grupo.**



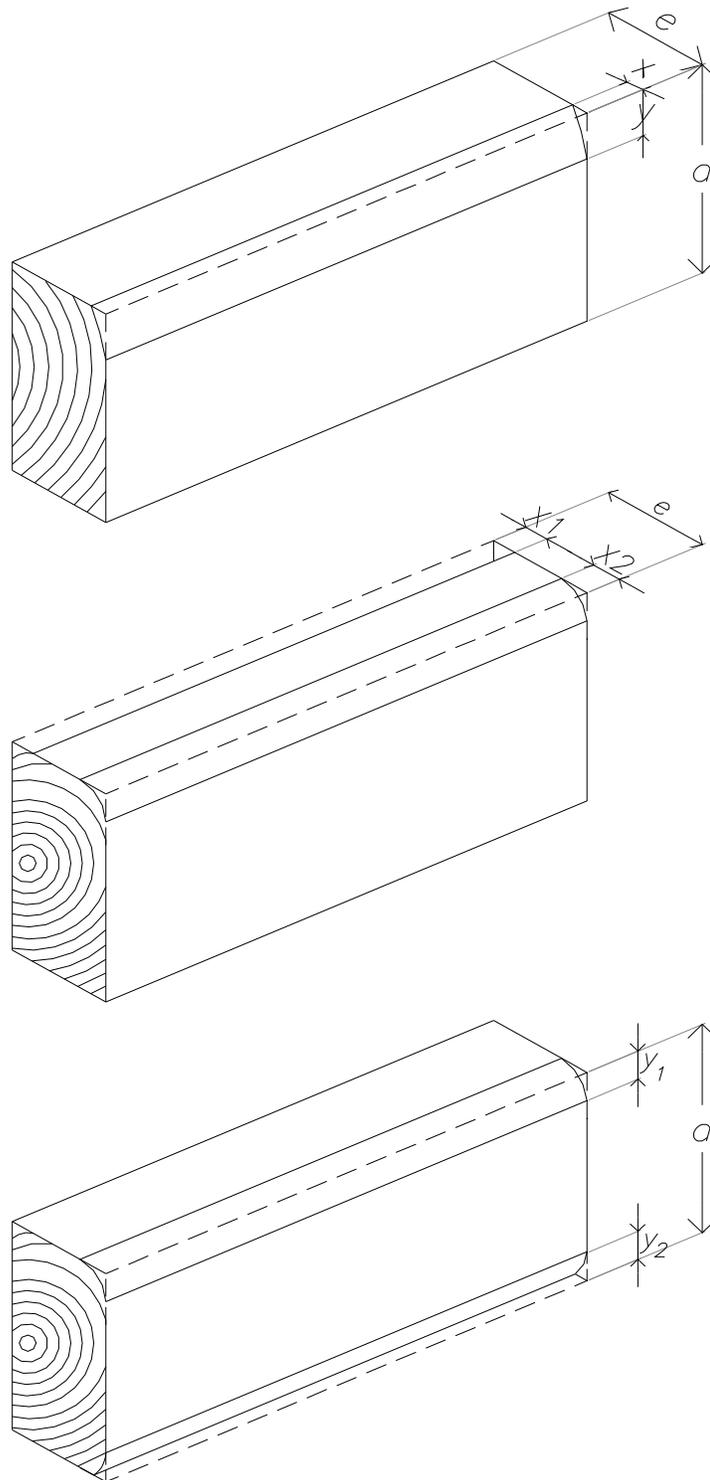
**Figura 3.9** Medición de nudos en racimo



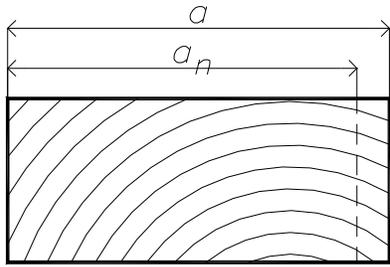
**Figura 3.10** Medición de la velocidad del crecimiento



**Figura 3.11 Medición de Alabeos**

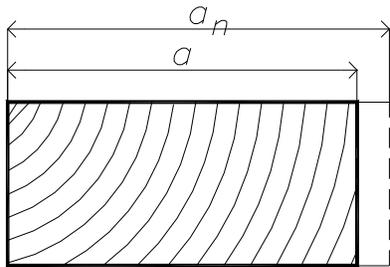


**Figura 3.12 Medición de arista faltante**



Sobredimensión =

$$\frac{a - a_n}{a_n}$$



Subdimensión =

$$\frac{a_n - a}{a_n} * 100$$



Perdida de ortogonalidad =

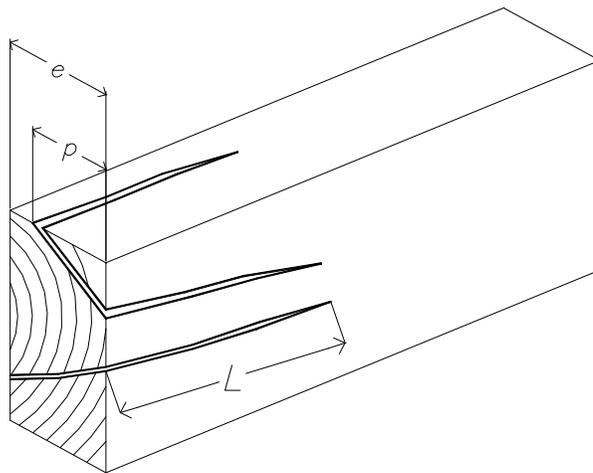
$$\frac{d}{a_n} * 100$$

$A$  = *dimensión real*

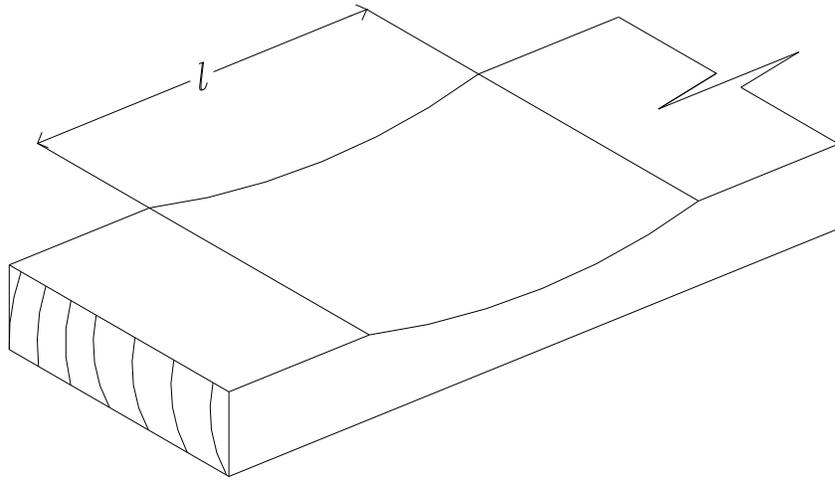
$a_n$  = *dimensión nominal*

$d$  = *desviación*

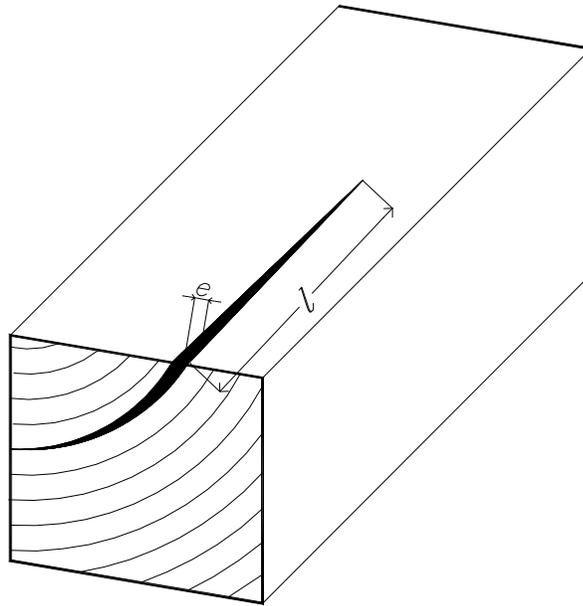
**Figura 3.13** Determinación de tolerancias en la escuadría irregular



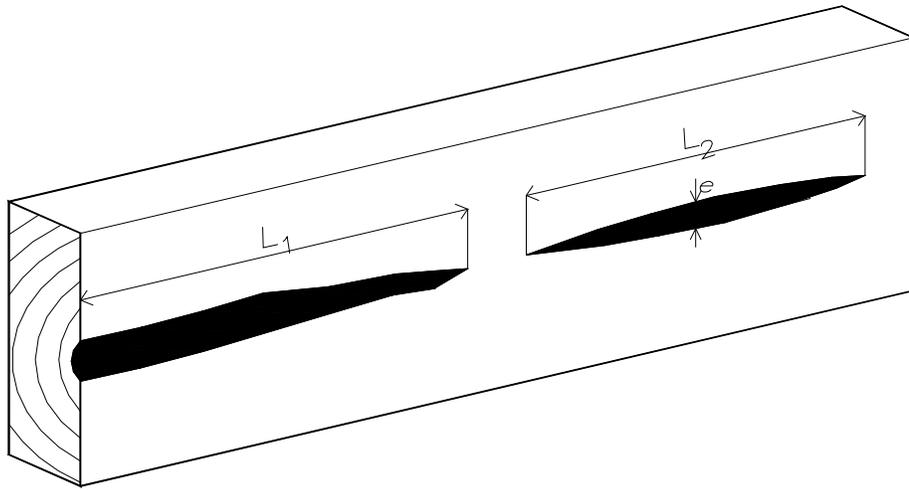
**Figura 3.14** Medición de rajaduras



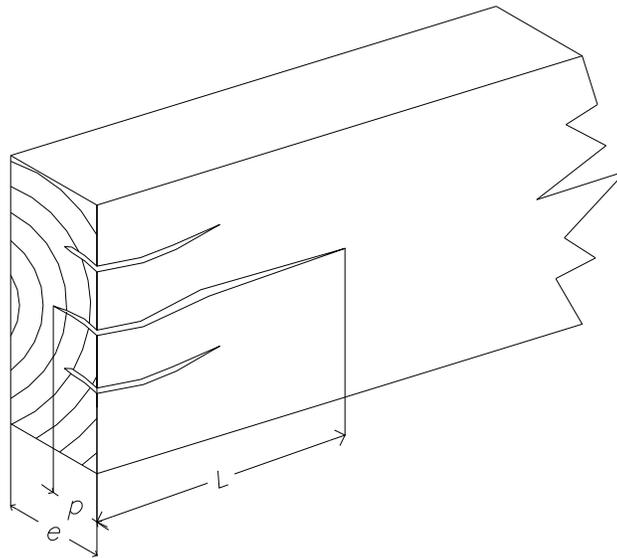
**Figura 3.15** Medición de depresión por cepillado



**Figura 3.16** Medición de Acebolladura



**Figura 3.17** Medición de la médula en la madera



**Figura 3.18** Medición de grietas en la madera

### 3.1.5 Razón de Resistencia (RR)

Para transformar la resistencia de la madera libre de defecto (Tensiones Básicas) en resistencia aplicable a un grado específico, se usa el concepto Razón de Resistencia (RR) definido como: “la hipotética razón entre la resistencia de un elemento estructural y la resistencia que ese elemento tendría si estuviese libre de toda característica reductora de su resistencia” . Por ejemplo un grado estructural con “razón de resistencia” igual a 0,55 (RR=0,55) señala que en una pieza de madera que clasifica en dicho grado se espera una resistencia de a lo menos un 55% de la resistencia que esa pieza tendría si ella no tuviera defectos.

La norma americana ASTM D 245 entrega Tablas para diferentes razones de resistencia en las cuales aparecen las magnitudes máximas admisibles de nudos, grietas, desviaciones de fibra, etc, que son aceptadas en un grado al cual se le ha preasignado una razón de resistencia.

### 3.1.6 Clasificación de la madera

Como primera etapa hay que establecer, si la clasificación que se desea es por aspecto o resistencia, lo cual quedará definido de acuerdo al uso que se hará de la madera.

#### 3.1.6.1 Clasificación por Aspecto

En una clasificación de este tipo se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Determinar los defectos que interesa separar o que deban delimitarse en la clasificación.
- Seleccionados los defectos, fijar el número de grados que se desea establecer.
- Determinar en cada grado y para cada defecto, el nivel o valor admisible del defecto, de modo que convenga al uso a que se destinará la madera que resulte clasificada en cada grado.
- Seleccionar los niveles o valores admisibles, para cada defecto, tomando en cuenta la especie, el defecto y el grado que se considera.

**NOTA:** Es necesario destacar que los niveles o valores admisibles que se establecen en la norma NCh 993 no corresponden a grados de calidad. Para un mismo grado podrán delimitarse los defectos mediante la combinación de diferentes niveles.

### 3.1.6.2 Clasificación por Resistencia

En una clasificación por resistencia se deben seguir las siguientes etapas:

- Fijar el número de grados que se desea establecer.
- Asignar una razón de resistencia a cada uno de los grados establecidos, de acuerdo a las características de la especie maderera que se clasifica.
- Considerar, para cada grado, la totalidad de los defectos incluidos en la Tabla 2 de la norma NCh 993.
- De acuerdo a la razón de resistencia asignada en cada grado, tomar para todos los defectos de ese grado, los valores admisibles establecidos en la Tabla 2 de la norma NCh 993, para la razón de resistencia elegida.
- Cuando en una clasificación por resistencia interesa también limitar algunos defectos que no están incluidos en la Tabla 2 de la NCh 993, por cuanto ellos pueden afectar al aspecto o a la lineabilidad de los elementos estructurales, se debe aplicar, en general el procedimiento descrito para una clasificación por aspecto.

### 3.1.6.3 Normas Nacionales

Actualmente, en Chile, existen las siguientes normas de clasificación:

- **NCh 178 Madera aserrada de Pino insigne –Clasificación por aspecto.**

Norma que establece tres grados de calidad para clasificar, por aspecto, la madera aserrada de Pino insigne, de acuerdo con los defectos que se registren en el momentos de efectuar la clasificación.

- **NCh 1969. Madera – Especies Latifoliadas y Alerce. Clasificación por despiece o aprovechamiento.**

Norma que establece el procedimiento y proporciona los antecedentes necesarios para clasificar madera aserrada que para su uso será reaserrada a dimensiones menores, basándose en el aprovechamiento de elementos rectangulares menores libres de defectos que se pueden obtener de ella.

#### i) Clasificación por resistencia o estructural

- **NCh 1207. Pino radiata. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad.**

Establece los requisitos que debe cumplir la madera aserrada o cepillada, seca (H<18%), de Pino radiata, destinada a un uso estructural, cuyas dimensiones no resultan mayores a 38 mm de espesor y 63 mm de ancho y que se clasifica con un procedimiento visual.

- **NCh 1970/1 Maderas – Parte 1 : Especies Latifoliadas –Clasificación visual para uso estructural . Especificaciones de los grados de calidad.**

Establece los requisitos que debe cumplir la madera aserrada o cepillada seca (H<20%) proveniente de especies Latifoliadas, destinadas a un uso estructural y que se clasifica mediante un proceso visual.

- **NCh 1970/2. Maderas –Parte 2: Especies Coníferas. Clasificación visual para uso estructural . Especificaciones de los grados de calidad.**

Norma que establece los requisitos que debe cumplir la madera aserrada o cepillada seca (H < 20%), provenientes de especies Coníferas, destinada a uso estructural y que se clasifica con un procedimiento visual.

En Chile se han definido cuatro grados estructurales cuyas designaciones y razones de resistencia se incluyen en la Tabla 3.2. Las especificaciones de tales grados aparecen en la norma NCh 1970/1 para las Latifoliadas, en la norma NCh 1970/2 para las coníferas y en la norma NCh 1207 para el Pino radiata. Ver Tabla 3.3

Las tensiones admisibles se obtienen mediante el producto formado por la tensión básica y la razón de resistencia asignada al grado para el cual ellas se están calculando.

$$T_{Adm.} = T_{Básica} * R. R.$$

Estos valores se definen como la resistencia unitaria que puede soportar elásticamente un elemento estructural, con defectos controlados por el grado al cual él pertenece y sometido a sollicitaciones de acción prolongada.

La norma chilena NCh 1990 define doce Clases Estructurales para las tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y módulo de elasticidad en flexión (Ef), las cuales se presentan en la Tabla 3.4

La tensión admisible para compresión normal, de una determinada especie maderera, depende del Grupo al cual ella pertenece y su valor se incluye en la Tabla 3.5

**TABLA 3.2 Grado Estructurales Definidos para las Maderas Nacionales.**

GRADO ESTRUCTURAL	RAZON DE RESISTENCIA	ESPECIFICACIÓN		CLASIFICACION
		Latifoliadas	Coníferas	
Nº 1	0,75	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Nº 2	0,60	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Nº 3	0,48	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Nº 4	0,38	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual

El Pino radiata cuenta con su propia norma (NCh 1207 ), en donde se definen los Grados GS, G1, G2.

**TABLA 3.3 Tensiones Admisibles para el Pino Radiata Seco (H=12%) según NCh 1207**

GRADO ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES MPa					MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Compresión Normal	Cizalle	(MPa)
GS	11,0	8,3	6,6	2,5	0,9	10,500
G1	7,5	5,6	4,5	2,5	0,7	9,000
G2	4,0	4,0	2,0	2,5	0,4	7,000

**TABLA 3.4 Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad en Flexión Para Madera Aserrada, Mpa**

CLASE ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES DE				MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION $E_f$
	FLEXION	COMPRESIÓN PARALELA	TRACCIÓN PARALELA	CIZALLE	
	$F_f$	$F_{cp}$	$F_{tp}$	$F_{cz}$	
F34	34,5	26,0	20,7	2,45	18.150
F27	27,5	20,5	16,5	2,05	15.000
F22	22,0	16,5	13,2	1,70	12.600
F17	17,0	13,0	10,2	1,45	10.600
F14	14,0	10,5	8,4	1,25	9.100
F11	11,0	8,3	6,6	1,05	7.900
F8	8,6	6,6	5,2	0,86	6.900
F7	6,9	5,2	4,1	0,72	6.100
F5	5,5	4,1	3,3	0,62	5.500
F4	4,3	3,3	2,6	0,52	5.000
F3	3,4	2,6	2,0	0,43	4.600
F2	2,8	2,1	1,7	0,36	4.350

**TABLA 3.5 Tensiones Admisibles de Compresión Normal para Madera Aserrada, (MPa.)**

AGRUPACIÓN MADERA EN ESTADO		TENSIÓN ADMISIBLE PARA
VERDE ( $H \geq 30$ )	SECO ( $H = 12\%$ )	COMPRESIÓN NORMAL $F_{cn}$
	ES1	9,0
	ES2	7,4
	ES3	6,1
E1	ES4	5,0
E2	ES5	4,1
E3	ES6	3,4
E4	ES7	2,8
E5		2,3
E6		1,9
E7		1,6

El Módulo de Elasticidad característico inherente a la percentila del 5%  $E_{fk}$ , se puede estimar como  $0,67 E_f$

La asignación de tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y módulo de elasticidad a piezas de madera aserrada con:

- a) Contenido de humedad igual o mayor que 20% de cualquier espesor y espesor del elemento superior a 100 mm, cualquiera sea su condición de humedad, se realiza mediante la relación entre:

La agrupación de la madera para el estado verde.  
El grado estructural especificado según su razón de resistencia, y usando la interrelación establecida en la Tabla 3.6.

**TABLA 3.6 Relación Entre El Agrupamiento de Especies, La Clase Estructural y La Clasificación Visual de la Madera en Estado Verde.**

CLASIFICACION VISUAL		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES						
IDENTIFICACIÓN DEL GRADO	RAZON DE RESISTENCIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
		CLASE ESTRUCTURAL						
Grado Estructural N°1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N°2	0,60	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
Grado Estructural N°3	0,48	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4
Grado Estructural N°4	0,38	F14	F11	F8	F7	F5	F4	F3

- b) Contenido de humedad igual o menor que 12% y de espesor menor o igual a 100 mm, se realiza mediante la relación entre:

- I. La agrupación de la madera para el estado seco.
- II. El grado estructural especificado según su razón de resistencia, y
- III. Usando interrelación establecida en Tabla 3.7.

**TABLA 3.7 Relación Entre El Agrupamiento De Especies, La Clase Estructural y La Clasificación Visual de la Madera En Estado Seco (H = 12%).**

CLASIFICACION VISUAL		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES						
IDENTIFICACIÓN DEL GRADO	RAZON DE RESISTENCIA	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		CLASE ESTRUCTURAL						
Grado Estructural N°1	0,75	-	F34	F27	F22	F17	F14	F11
Grado Estructural N°2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Grado Estructural N°3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural N°4	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5

(c) Espesores menores o iguales a 100 mm y que se construye con un contenido de humedad comprendido entre 12% y 20%, el que no será excedido durante el servicio.

Se realiza por interpolación lineal entre los valores de tensión admisible para madera en estado verde (Tabla 3.6), y madera en estado seco (Ver Tabla 3.7), la cual se puede lograr aplicando sobre la tensión admisible en condición seca ( $H = 12\%$ ) el factor modificado por corrección de humedad,  $K_H$  de acuerdo al procedimiento que se describirá más adelante.

Para valores del contenido de humedad menores de 12% se asume, la resistencia correspondiente al 12% de contenido de humedad.

Las piezas con espesor mayor que 100 mm se deben suponer siempre con un contenido de humedad superior a 20%, en el momento de la construcción, salvo que un estudio específico pruebe otra condición.

La madera que se clasifica, fabrica o instala con un contenido de humedad superior al 20%, pero que en servicio tendrá un contenido de humedad no superior al 12% puede ser considerada en el ítem 2 de la Tabla 3.8 sólo cuando:

- a) El espesor de la madera no exceda 50 mm.
- b) La carga total de diseño no se aplique antes que la madera se haya secado a un contenido de humedad no superior al 12%; y
- c) Las tensiones debidas a: la carga de peso propio, los procedimientos de construcción y cualquier otra sollicitación aplicada antes que la madera se haya secado a un contenido de humedad no superior a 12%, no deben originar tensiones efectivas superior a la tensión admisible para la condición verde.

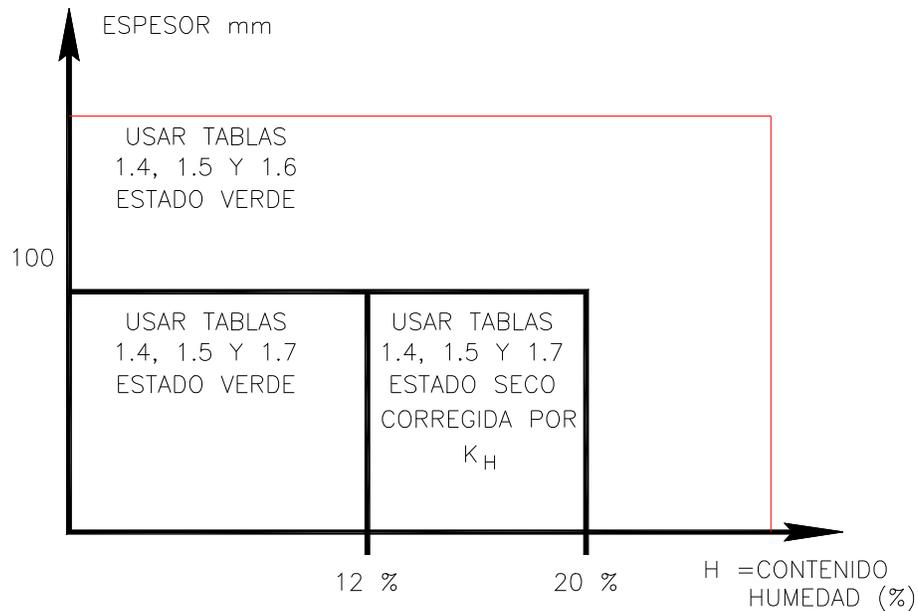
**TABLA 3.8 Condiciones Que Se Deben Asumir en La Determinación de Tensiones Admisibles y Módulo De Elasticidad.**

ITEM	CONDICION DE HUMEDAD DE LA MADERA		CONDICION ASUMIDA PARA LA MADERA EN LA DETERMINACIÓN DE SU (S)	
	Durante la Construcción	En Servicio	Tensiones Admisibles	Módulo de Elasticidad
1	$H_c \geq 20\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Verde
2	$H_c \geq 20\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca (H = 12%)	Seca (H = 12%)
3	$H_c \leq 12\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca (H = 12%)	Seca (H = 12%)
4	$H_c \leq 12\%$	$H_c \geq 20\%$	Verde	Seca (H = 12%)

$H_c$  = Humedad de construcción

$H_s$  = Humedad de servicio

“La madera debe ser usada con un contenido de humedad igual al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicios.” No obstante cuando por razones técnicamente justificadas no se puede cumplir con este requisito, las tensiones admisibles y módulos elásticos de la madera se deben determinar considerando el contenido de humedad que la madera tiene en el momento de la construcción y el que alcanzará en servicio, de acuerdo al procedimiento establecido en la Tabla 3.8 y la figura 3.20.



**Figura 3.19 Asignación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad**

La asignación de tensiones admisibles puede realizarse también sobre la base de ensayos de resistencia en piezas de madera a escala real. Se supone que tales valores son más exactos y confiables que los deducidos de los resultados de ensayos en probetas pequeñas, libre de defectos.

Los ensayos a escala real permiten determinar directamente la clase estructural de la madera y por consiguiente, en la asignación de tensiones admisibles no intervienen el grupo de la especie ni el grado estructural obtenido por una clasificación visual.

### 3.1.7 Obtención de las Tensiones de Diseño.

En el proceso de obtención de las tensiones admisibles a partir de la tensión de rotura, se han hecho suposiciones de carácter muy general con respecto a las condiciones de carga y servicio a que se verá sometido el elemento, lo que se traduce en valores de la tensión admisible que a menudo resultan muy conservadoras y que dan origen a diseños antieconómicos.

Por otro lado, en muchos casos el calculista al diseñar un elemento determinado conoce de antemano las condiciones en que se desempeñará dicho elemento y por consiguiente es posible modificar el valor de la tensión admisible para conseguir una mejor aproximación de la realidad, impuesta por condición de carga y servicio bien determinadas y específicas.

El factor o los factores que expresan esta modificación se conoce con el nombre de “Factores de Modificación”.

### 3.1.7.1 Factores de Modificación

Se distinguen dos clases de Factores de Modificación:

- A Factores de Modificación de Aplicación General
- B Factores de Modificación de Aplicación Particular

### 3.1.7.2 Factores de Modificación de Aplicación General

#### i) Por Contenido de Humedad, $K_H$

Las tensiones admisibles en estado seco corresponden a un contenido de humedad de 12%.

Si la humedad de equilibrio del lugar donde se usará la estructura es menor que 20%, pero mayor que 12%, y la pieza de madera aserrada tiene un espesor menor o igual a 100 mm, se deberá corregir las tensiones admisibles para madera en estado verde (Tabla 3.5 y 3.6) y madera en estado seco (Tablas 3.4 y 3.6), lo cual se puede obtener aplicando sobre la tensión admisible en condición seca ( $H = 12\%$ ) el Factor de Modificación siguiente:

$$K_H = (1 - \Delta H * \Delta R)$$

En que:

$K_H$  = Factor de modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico, definido para un contenido de humedad de 12% (Tabla 3.3, 3.4 y 3.5)

$\Delta H$  = Diferencia del contenido de humedad de servicio (H) y 12%

$\Delta R$  = Variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad. Ver Tabla 3.9.

**TABLA 3.9 Variación ( R ) de las Propiedades Resistentes para una Variación del Contenido de Humedad Igual al 1%.**

<b>SOLICITACIÓN</b>	<b>VARIACIÓN (<math>\Delta R</math>) DE LA RESISTENCIA PARA <math>\Delta H = 1\%</math></b>
<b>Flexión</b>	<b>0,0205</b>
<b>Compresión paralela a las fibras</b>	<b>0,0205</b>
<b>Tracción Paralela a las fibras</b>	<b>0,0205</b>
<b>Cizalle</b>	<b>0,0160</b>
<b>Compresión Normal a las fibras</b>	<b>0,0267</b>
<b>Módulo de elasticidad en flexión</b>	<b>0.0148</b>

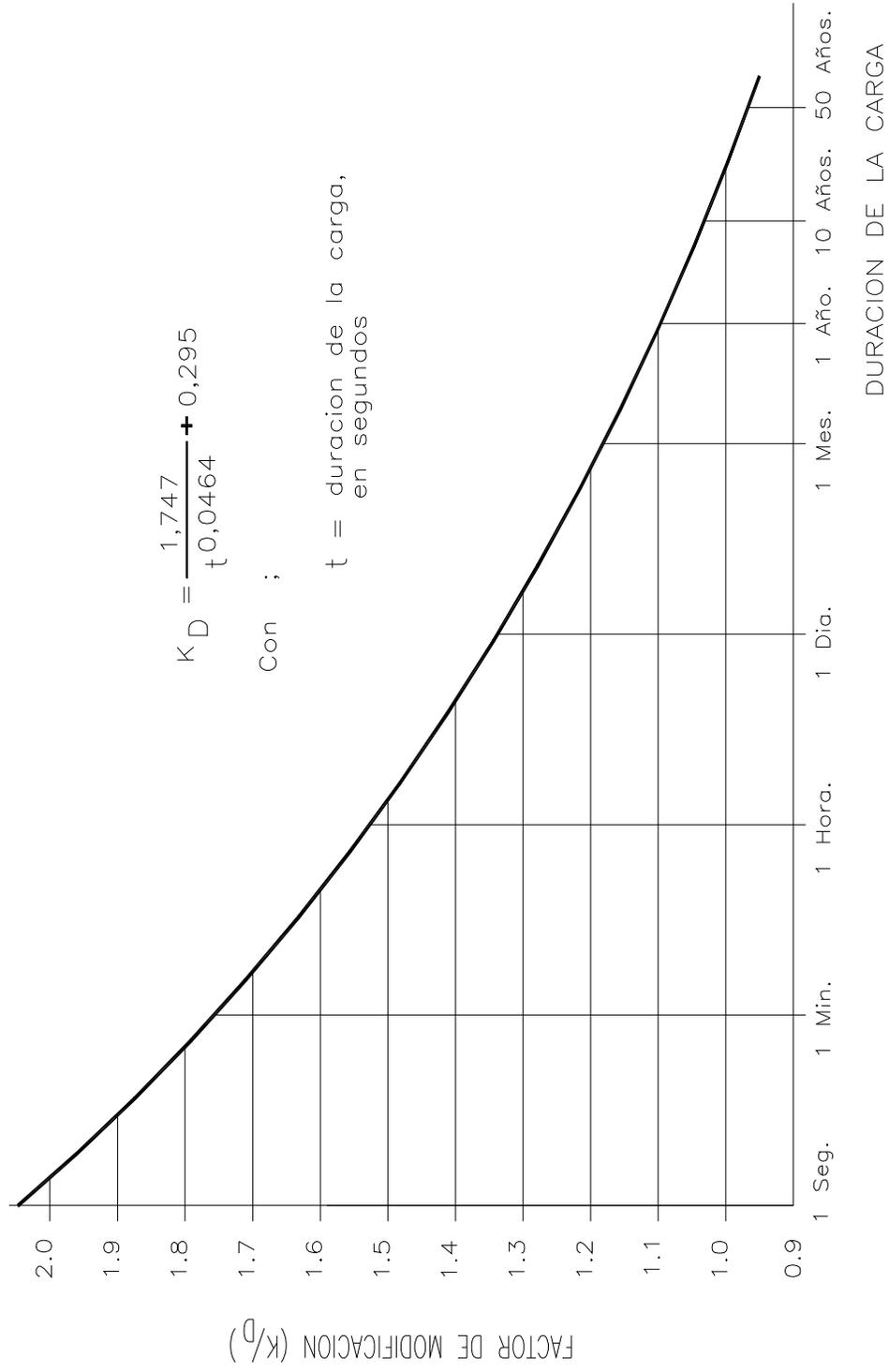
**ii) Por Duración de Carga,  $K_D$ .**

La resistencia de la madera varía en forma inversamente proporcional a la duración de la carga. Las tensiones admisibles han sido establecidas considerando cargas cuya duración es del orden de 10 años. Al diseñar elementos que soportan cargas de duración distintas a la indicada, tendrá que adaptarse una tensión de diseño igual al producto de la tensión admisible por el factor de modificación correspondiente a la duración real obtenida en la Figura 3.22 o en la Tabla 3.10.

**Este factor de modificación no afecta al módulo de elasticidad en flexión ni a la tensión admisible de compresión normal a la fibra.**

En aquellos casos en que se aplique simultáneamente cargas de duración distinta, en general será suficiente diseñar con el total de las cargas y utilizar el factor de modificación correspondiente a la carga de menor duración. Sin embargo, al utilizar este procedimiento es posible que el elemento resulte mal diseñado al ser sometido a la acción de las cargas de mayor duración. Para prevenir la situación anterior se recomienda proceder de la siguiente manera:

- a) Determinar los factores de modificación de las cargas individuales que pueden actuar sobre la estructura.
- b) Computar la magnitud de todas las combinaciones posibles de cargas.
- c) Dividir el total de cada combinación por el factor de modificación correspondiente a la carga de menor duración en dicha combinación.
- d) El mayor cociente así obtenido indica cuál es la combinación crítica
- e) Utilizar el factor de modificación correspondiente a la combinación crítica de cargas para aplicarlo en un cálculo de la tensión de diseño.



**Figura N° 3.20 Factor de Modificación por duración da la Carga**

**TABLA 3.10 Factores de Modificación por Duración de la Carga  $K_D$**

<b>DURACIÓN DE LA CARGA</b>	<b><math>K_D</math></b>	<b>DURACIÓN DE LA CARGA</b>	<b><math>K_D</math></b>
<b>1 Segundo</b>	<b>2,042</b>	<b>1 hora</b>	<b>1,490</b>
<b>5</b>	<b>1,916</b>	<b>5</b>	<b>1,404</b>
<b>10</b>	<b>1,865</b>	<b>10</b>	<b>1,369</b>
<b>15</b>	<b>1,836</b>	<b>15</b>	<b>1,349</b>
<b>20</b>	<b>1,815</b>	<b>20</b>	<b>1,335</b>
<b>25</b>	<b>1,800</b>	<b>1 día</b>	<b>1,326</b>
<b>30</b>	<b>1,787</b>	<b>5</b>	<b>1,252</b>
<b>35</b>	<b>1,776</b>	<b>10</b>	<b>1,221</b>
<b>40</b>	<b>1,767</b>	<b>15</b>	<b>1,204</b>
<b>45</b>	<b>1,759</b>	<b>20</b>	<b>1,192</b>
<b>50</b>	<b>1,752</b>	<b>25</b>	<b>1,183</b>
<b>55</b>	<b>1,746</b>	<b>1 mes</b>	<b>1,175</b>
<b>1 minuto</b>	<b>1,740</b>	<b>3</b>	<b>1,131</b>
<b>5</b>	<b>1,636</b>	<b>6</b>	<b>1,105</b>
<b>10</b>	<b>1,593</b>	<b>9</b>	<b>1,090</b>
<b>15</b>	<b>1,569</b>	<b>1 año</b>	<b>1,079</b>
<b>20</b>	<b>1,552</b>	<b>5</b>	<b>1,023</b>
<b>25</b>	<b>1,539</b>	<b>10</b>	<b>1,000</b>
<b>30</b>	<b>1,529</b>	<b>20</b>	<b>0,977</b>
<b>35</b>	<b>1,520</b>	<b>30</b>	<b>0,965</b>
<b>40</b>	<b>1,512</b>	<b>40</b>	<b>0,956</b>
<b>45</b>	<b>1,506</b>	<b>50</b>	<b>0,949</b>
<b>50</b>	<b>1,500</b>		
<b>55</b>	<b>1,495</b>		

**iii) Por Trabajo Conjunto,  $K_c$**

Las tensiones admisibles para elementos estructurales que conforman un sistema que comparte la carga, consistente en tres o más elementos paralelos distanciados en no más de 610 mm. y dispuestos de tal forma que en conjunto pueden soportar la carga aplicada, deben ser multiplicadas por el Factor de Modificación por Trabajo en Conjunto ( $K_C$ ), de acuerdo a la Tabla 3.11.

**TABLA 3.11 Factor de Modificación por Trabajo Conjunto,  $K_c$**

TENSIÓN ADMISIBLE AFECTADA	MADERA ASERRADA CUYA MENOR DIMENSIÓN EN mm, ES	
	Menor que 114 mm	114 mm ó más
Flexión	1,15	1,15
Cizalle longitudinal	1,15	1,10
Compresión paralela a las fibras	1,10	1,10
Compresión normal a las fibras	1,10	1,10
Tracción paralela a las fibras	1,00	1,00
Módulo de elasticidad en flexión	1,00	1,00

Otros Factores de Modificación de Aplicación General son:

**iv) Por Tratamiento Químico y Por Temperatura.**

Estos factores no son aplicables en Chile debido a que en muy raras ocasiones la madera queda expuesta a tratamientos y temperaturas que afectan su resistencia mecánica.

**3.1.7.3 Factores de Modificación de Aplicación Particular**

Los factores de modificación de aplicación particular serán tratados más adelante, conjuntamente con el estudio de la sollicitación respectiva.

**3.1.8 Tensiones y Módulo de Elasticidad de Diseño.**

La **tensión de diseño** queda definida como la carga por unidad de superficie que resulta de multiplicar la tensión admisible por el o los factores de modificación que resulten pertinentes, sean estos de aplicación general y/o de aplicación particular.

Las tensiones de diseño se definirán más adelante cuando se estudie cada sollicitación.

El **módulo de Elasticidad de Diseño** ( $E_{f, dis}$ ) se determina con el producto del módulo de elasticidad en flexión ( $E_f$ ) que se incluye en la Tabla 3.4 por los factores de modificación que resulten pertinentes y que se definen cuando se estudie cada sollicitación.

Las tensiones y módulos de elasticidad de diseño para el Pino radiata, se obtienen con las tensiones y módulos elásticos admisible que se incluyen en la Tabla 3.3.

## 4. GEOMETRÍA DE LA MADERA

### 4.1 Dimensiones de la Madera Aserrada y Cepillada.

Las esquadras, dimensiones, tolerancias, unidades de medida y forma de especificar la madera aserrada y cepillada serán, preferentemente, las establecidas en la norma chilena NCh 174, la cual prescribe lo siguiente:

#### 4.1.1 Contenido de Humedad de Referencia.

Las dimensiones nominales dadas por esta norma NCh se entienden aplicables a piezas de madera con un contenido de humedad de referencia igual al 20%, sean ellas de coníferas o latifoliadas.

#### 4.1.2 Unidades.

Las dimensiones nominales del **espesor** y del **ancho** de una pieza de madera se expresan en **milímetros** enteros.

La **longitud** nominal de una pieza de madera se expresa en **metros** con dos decimales.

El **volumen** de una pieza de madera se expresa en **metro cúbicos** con cinco decimales, siendo el quinto una aproximación a la cien milésima más cercana.

#### 4.1.3 Dimensiones Nominales.

- I. Los **espesores** y anchos nominales para la madera aserrada (cepillada) son los señalados en la Tabla 4.1.
- II. Las **longitudes** son desde 1,20 m hasta 6,00 m con incrementos de 0,30 m, es decir: 1,20; 1,50; 1,80;...5,70; 6,00 m.

#### 4.1.4 Tolerancias.

I **Espesor:** Las piezas de madera con un contenido de humedad igual al 20% no deben tener un espesor menor que el espesor nominal especificado en la Tabla 4.1.

II. **Ancho:** Las piezas de madera con una humedad igual al 20% no deben tener un espesor menor que el espesor nominal especificado en la Tabla 4.1. Se acepta una tolerancia de 5 % con un máximo de 5 mm por sobre dicho ancho nominal.

**TABLA 4.1 Espesores y Anchos Nominales para Madera Aserrada (Cepillada)**

Ancho (mm) Espesor (mm)	50 (45)	63 (58)	75 (70)	100 (95)	125 (120)	150 (145)	175 (170)	200 (195)	225 (220)	250 (245)	275 (270)	300 (295)
12 (9)	X	X	X									
19 (16)	X	X	X	X								
25 (22)	X	X	X	X	X	X	X	X				
32 (28)	X	X	X	X	X	X	X	X				
38 (34)	X	X	X	X	X	X	X	X				
45 (41)	X	X	X	X	X	X	X	X				
50 (45)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
63 (58)		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
75 (70)			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
100 (95)				X	X	X	X	X	X	X	X	X

**NOTA.** Entre paréntesis se señalan las dimensiones de la madera cepillada.

#### 4.1.5 Especificaciones.

Para cada pieza de madera se deben especificar las siguientes características:

- a) Especie
- b) Grado
- c) Dimensiones Nominales
- d) Tipo de Elaboración
- e) Contenido de Humedad; y
- f) Preservación (penetración y retención).

La **especie** se debe identificar por su nombre científico y su nombre común.

El **grado** se debe identificar por el tipo de clasificación (por aspecto, estructural, por despiece, etc.) al cuál él pertenece y por su nombre de identificación.

Las **dimensiones** nominales se deben representar en el orden: espesor, ancho y longitud. Por ejemplo: 50 x 100 x 4,00 significa que la pieza tiene las dimensiones nominales siguientes: 50 mm de espesor, 100 mm de ancho y 4,00 m de longitud.

El **contenido de humedad** se debe especificar en porcentaje con una cifra decimal.

Si la pieza se especifica **impregnada** debe cumplir con la normalización vigente en cuanto al método de preservación. En tal caso se debe dar el valor de penetración del preservante, en porcentaje, y el de retención, en Kg/m<sup>3</sup>.

## **4.2 Dimensiones de la Madera Aserrada y Cepillada de Pino radiata**

En el año 2002, el Instituto Nacional de Normalización, (INN), estudió la norma NCh 2824 “Maderas – Pino radiata – Unidades, dimensiones y tolerancias”, la cual establece unidades de medida, dimensiones y tolerancias para las piezas de madera de Pino radiata aserrada (verde y seca) y cepillada (seca).

### **4.2.1 Contenido de Humedad de Referencia.**

Las dimensiones indicadas en esta norma se entienden aplicables a piezas de madera de Pino radiata con un contenido de humedad igual a 12% tanto para madera aserrada como cepillada.

Las dimensiones indicadas para madera aserrada verde corresponden a la humedad de referencia del Punto de Saturación de la Fibra, que en términos prácticos equivale a, aproximadamente, un 30%.

### **4.2.2 Unidades**

Para el Pino radiata se usarán las unidades establecidas en el párrafo 4.1.2.

### **4.2.3 Espesor y Ancho**

La Tabla 4.2 siguiente incluye las dimensiones de la madera aserrada del Pino radiata en estado verde.

**Tabla N° 4.2 Espesores y Anchos Nominales para la Madera Aserrada de Pino radiata en Estado Verde. (H=30%)**

<b>Ancho (mm)</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>73</b>	<b>86</b>	<b>98</b>	<b>123</b>	<b>148</b>	<b>173</b>	<b>200</b>	<b>223</b>	<b>248</b>
<b>11</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>18</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>22</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>38</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>48</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>60</b>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>73</b>			X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>86</b>				X	X	X	X	X	X	X	X
<b>98</b>					X	X	X	X	X	X	X
<b>TOLERANCIAS: Espesor : (0; +3) mm      Ancho: (0; +3mm)</b>											

La Tabla 4.3, que sigue, incluye las dimensiones de la Madera Aserrada del Pino radiata en estado seco (H=12%).

**Tabla 4.3 Espesores y Anchos Nominales para la Madera Aserrada del Pino radiata en Estado Seco (H = 12 %)**

<b>Ancho (mm)</b>	<b>45</b>	<b>57</b>	<b>69</b>	<b>82</b>	<b>94</b>	<b>118</b>	<b>142</b>	<b>166</b>	<b>190</b>	<b>214</b>	<b>235</b>
<b>10</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>17</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>21</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>36</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>45</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>57</b>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>69</b>			X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>82</b>				X	X	X	X	X	X	X	X
<b>94</b>					X	X	X	X	X	X	X
<b>TOLERANCIAS: Espesor : (0; +3) mm      Ancho: (0; +3mm)</b>											

En la Tabla 4.4 se incluye las dimensiones de la Madera Cepillada del Pino radiata en estado seco (H=12%).

**Tabla N° 4.4 Espesores y anchos nominales para la madera cepillada de pino radiata en estado seco. (h = 12 %).**

Espesor (mm)	Ancho (mm)											
	41	53	65	78	90	114	138	162	185	210	230	
8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
33	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
41	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
53		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
65			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
78				X	X	X	X	X	X	X	X	X
90					X	X	X	X	X	X	X	X
<b>TOLERANCIAS: Espesor : (0; +1) mm      Ancho: (0; +2mm)</b>												

#### 4.2.4 Longitudes.

**4.2.4.1** La longitud mínima que debe tener la pieza de madera aserrada corresponde al largo nominal de esta. Los largos nominales para las piezas de Pino radiata son: 2,40 m; 3,00 m; 3,20m; 3,60 m, 4,00 m y 4,80 m.

**4.2.4.2** La longitud máxima admisible es la establecida por la medida nominal más 0,10m.

**Tabla 4.5. Sobredimensiones que se Recomiendan en Madera Verde para Compensar las Contracciones y Colapso, según Grupo de Especies.**

DIMENSION NOMINAL A 20% CONTENIDO DE HUMEDAD mm	SOBREDIMENSION EN ESTADO VERDE SEGÚN GRUPO DE ESPECIES mm		
	1	2	3
12	+1	+1	+1
19	+2	+2	+1
25	+3	+2	+1
32	+3	+2	+1
38	+4	+3	+2
45	+4	+3	+2
50	+5	+3	+2
63	+6	+4	+2
75	+7	+5	+3
100	+9	+6	+3
125	+11	+8	+4
150	+13	+9	+5
175	+15	+11	+5
200	+18	+12	+7
225	+20	+14	+7
250	+22	+16	+8
275	+24	+17	+9
300	+27	+19	+10
GRUPO 1 : COIGUE – EUCALIPTO- ROBLE – TINEO GRUPO 2 : LINGUE – OLIVILLO – RAULI – ULMO GRUPO 3 : ALERCE – ARAUCARIA – LAUREL – MAÑIO PINO RADIATA -TEPA			

#### 4.3. Dimensiones a Considerar de Acuerdo a la Humedad de la Madera en el Momento de la Construcción y Puesta en Servicio.

Las dimensiones de la sección transversal de una pieza de madera, que se deben considerar en la determinación de las Tensiones de Trabajo, deben estar de acuerdo al contenido de humedad que la pieza tenga en el momento de la construcción y puesta en servicio, siendo consecuente con el procedimiento establecido en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6 Dimensiones Transversales a Considerar de Acuerdo a la Humedad de la Madera en el Momento de la Construcción y Puesta en Servicio**

CONDICION DE LA HUMEDAD, H , DE LA MADERA ASERRADA		DIMENSIONES NOMINALES ESTABLECIDAS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE 20 % EN LA NORMA NCh 174 / 1		
DURANTE LA CONSTRUCCION	EN SERVICIO	SIN OTRA RESTRICCION	CON LA ADECUADA CONSIDERACION DE LA CONTRACCION ENTRE	
			20 % y H <sub>s</sub> 1)	20 % y 12 % 1)
H <sub>c</sub> ≥ 20 %	H <sub>s</sub> ≥ 20 %	X		
	20 % > H <sub>s</sub> > 12%		X	
	12 % ≥ H <sub>s</sub>			X
20 % ≥ H <sub>c</sub>	Cualquier H <sub>s</sub>			X

NOTA : H<sub>c</sub> = humedad de construcción H<sub>s</sub> = humedad de servicio

1)  $\Delta H = 20 - H_s$

2)  $\Delta H = 20 - 12$

#### **4.3.1. Sobredimensiones para la Madera Aserrada en Estado Verde.**

Para obtener el espesor y ancho nominal al 20 % de contenido de humedad se debe sobredimensionar la pieza en el momento de ser aserrada a fin de considerar las contracciones que en ella se desarrollan.

Las sobredimensiones que se recomiendan en el momento de aserrar madera verde, destinada a compensar el efecto combinado de la contracción y el colapso, son las señaladas en la Tabla 4.5.

#### **4.4. Dimensionamiento de Piezas Estructurales de Madera Aserrada y/o Cepillada.**

##### **4.4.1. Consideraciones Generales de Diseño**

##### **4.4.1.1. Secciones Transversales Mínimas.**

Las piezas estructurales individuales simples deben tener un espesor mínimo de 25 mm y una sección transversal mínima de 15 cm<sup>2</sup> salvo que las especificaciones de los elementos de unión exijan dimensiones mínimas superiores.

Los enTablados deben tener un espesor mínimo de 16 mm y una sección transversal mínima de 11000 mm<sup>2</sup>.

##### **4.4.1.2. Debilitamiento de Sección Transversal.**

Las aristas faltantes (canto muerto) que respeten los límites especificados en NCh 1970/1, NCh 1970/2 y en NCh 1207, no se consideran como debilitamientos.

En la verificación de las tensiones que se originan en las barras traccionadas y en la zona traccionadas de piezas solicitadas en flexión se deben considerar todos los debilitamientos de sección transversal producidos por perforaciones, rebajes y otros similares.

En la verificación de tensiones que se originan en barras comprimidas no afectas a inestabilidad general y de la zona comprimida de piezas solicitadas en flexión, se deben considerar sólo aquellos debilitamientos (perforaciones, rebajes, etc.) que no queden completamente rellenos o cuyo material de relleno tenga un módulo de elasticidad menor que el de la pieza debilitada.

En el cálculo se deben considerar los efectos de excentricidad de las fuerzas, inducidos por el debilitamiento de la sección transversal.

## 5 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PIEZAS SIMPLES.

### 5.1 Elementos en Flexión

#### 5.1.1. Generalidades.

La luz efectiva: de elementos de un tramo, sometidos a flexión, se debe considerar igual a la distancia entre las caras interiores de los apoyos más la mitad de la longitud mínima de apoyo requerido en cada extremo.

En vigas continuas la luz corresponde a la distancia entre dos centros de apoyo contiguos.

➤ EnTablados y Tablones: Los enTablados y tablones de madera aserrada dispuestos en forma de vigas continuas se deben considerar, en la práctica, como una serie de vigas simplemente apoyadas. En cubiertas de techumbre se puede incorporar en el cálculo el efecto de continuidad, cuando los empalmes queden perfectamente especificados en los planos.

➤ Las reacciones de apoyo de vigas continuas y de costaneras con varios apoyos se pueden determinar analizándolas como vigas simplemente apoyadas, siempre que la relación entre las luces de tramos vecinos varíe entre  $2/3$  y  $3/2$ . Se excluyen de esta práctica las vigas continuas de dos tramos.

➤ Empalmes: En los puntos de empalmes se debe asegurar el traspaso de los esfuerzos internos por medio de cubrejuntas y elementos de unión. Las cubrejuntas deben poseer, a lo menos, las propiedades estáticas de la pieza flexionada en el punto de empalme. En cordones comprimidos de vigas de alma llena, el momento de inercia requerido debe ser reemplazado por el de las cubrejuntas, pudiendo diseñarse los elementos de unión para la mitad de la fuerza de compresión, siempre que la unión de tope esté ajustada y materializada según un plano normal al eje del cordón.

Si se desarrolla la verificación para neutralizar la carga concentrada correspondiente al peso de un hombre (  $1 \text{ K N}$  ), se puede incorporar en el cálculo el ancho colaborante (t) de cubierta de techumbre o de piso, considerando como ancho de aplicación de carga los siguientes valores de t:

- a) En cubiertas de techumbres y pisos constituidos de Tablas y tablones unidos entre sí por machiembrado o semejantes, independientemente del ancho de la pieza individual.....t = 35 cm.
- b) Para Tablas o tablones no interconectados.....t = 16 cm.

## 5.1.2 Flexión en Vigas Simples

En el diseño de elementos simples de madera aserrada sometidos a flexión, se debe verificar.

- Tensiones
- Deformación
- Volcamiento

### 5.1.2.1 Verificación de las Tensiones

Se debe cumplir que :

$$\frac{f_{f, tr}}{F_{f, dis}} \leq 1 \qquad \frac{f_{cp, tr}}{F_{cp, dis}} \leq 1$$

En donde:

$f_{f, tr}$  = Tensión de trabajo en flexión en la fibra extrema.

$$\frac{E_{cz, tr}}{f_{cn, tr}} \leq 1 \qquad \frac{f_{cn, tr}}{F_{cn, dis}} \leq 1$$

$f_{cz, tr}$  = Tensión de trabajo de cizalle longitudinal

$f_{cp, tr}$  = Tensión de trabajo de compresión paralela a las fibras.

$f_{cn, tr}$  = Tensión de trabajo de compresión normal a las fibras

$F_{ft, dis}$  = Tensión de diseño en la zona flexotraccionada

$F_{fcp, dis}$  = Tensión de diseño en la zona flexocomprimida

$F_{cz, dis}$  = Tensión de diseño de cizalle longitudinal

$F_{cn, dis}$  = Tensión de diseño de compresión normal a las fibras

El cálculo de las tensiones de trabajo señaladas anteriormente se realiza de la siguiente forma.

i) Tensión de trabajo por flexión.

$$f_{f, tr} = \frac{M_{m \ a \ x}}{W_n}$$

En que :

M máx. = Momento máximo de flexión , ( Kg. /cm)

W<sub>n</sub> = Módulo de flexión de la sección transversal neta, determinado con respecto al eje neutro. (cm<sup>3</sup>)

ii) Tensión de trabajo por cizalle.

$$f_{cz, tr} = \frac{Q * S}{b * I}$$

En que:

Q = Esfuerzo de corte, (kg.)

S = Momentos estáticos de la sección transversal superior de la viga. (cm<sup>3</sup>)

b = Espesor o base de la viga (cm)

I = Momento de inercia de la sección transversal, respecto al eje neutro (cm<sup>4</sup>)

$$f_{cn, tr} = \frac{R_i}{A_{a \ p \ l \ a \ s \ t}}$$

ii) Tensión de trabajo por compresión normal.

En que:

R<sub>i</sub> = Reacción de la viga en apoyo (valor mas desfavorable).

A<sub>aplast.</sub> = Area de aplastamiento (cm<sup>2</sup>)

Las tensiones de diseño corresponden a:

Tensión de diseño en zona flexo – comprimida.

$$F_{fcp,dis} = F_f * K_H * K_D * K_T * K_C * K_Q * K_V$$

En que:

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$ , ya han sido definidos en párrafos 3.1.4.2.

$K_V$  = Factor de Modificación por Volcamiento según párrafo 5.1.2.3 a)  
ii) Tensión de diseño en zona flexo – traccionada

$$F_{ft,dis} = F_f * K_H * K_D * K_T * K_C * K_Q * K_{hf}$$

En que :

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$  ya han sido definidos en párrafos 3.1.4.2.

$K_{hf}$  = Factor de Modificación por Altura según párrafo 5.1..2.4

Tensión de diseño de Cizalle Longitudinal Horizontal (Cizalle)

$$F_{f,cz,dis} = F_{cz} * K_H * K_D * K_T * K_C * K_Q * K_r$$

En que :

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$  ya han sido definido en párrafo 3.1.4.2.

$K_r$  = Factor de Modificación por Rebaje según párrafo 5.1.2.5

Tensión de diseño en Compresión Normal a las Fibras.

$$F_{f,cn,dis} = F_{cn} * K_H * K_D * K_T * K_C * K_Q$$

En que:

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$  ya han sido definidos en párrafo 3.1.4.2

Módulo de Elasticidad en Flexión de Diseño

$$E_{f,dis} = E_f * K_H * K_T * K_C * K_Q * K_{hf}$$

En que :

$K_H, K_T, K_C, K_Q$  ya han sido definidos en párrafos 3.1.4.2

$K_{hf}$  = Factor de Modificación por Altura según párrafo 5.1.2.4

### 5.1.2.2 Verificación de la Deformación.

Se debe cumplir que :

$$\frac{\delta_{c a l c}}{\delta_{m a x , a d m}} \leq 1$$

En que:

$\delta_{Calc.}$  : Deformación de Cálculo

$\delta_{Máx, adm}$  : Deformación máxima admisible según Tabla 5.1

La deformación de una viga se calcula considerando su luz efectiva, condiciones de apoyo, tipo y magnitud de las cargas aplicadas, usando el análisis estructural.

La deformación máxima admisible de un elemento sometido a flexión se debe fijar, en general de acuerdo al tipo de estructura, teniendo en cuenta la posibilidad de daño de los materiales de recubrimiento (tabiques, cielos, terminaciones, etc) y las exigencias estéticas y funcionales. En ausencia de requisitos especiales para la deformación máxima admisible, se deben adoptar los valores entregados en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1 Deformaciones Máximas Admisibles en Vigas de Madera**

TIPOS DE VIGA	DEFORMACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE	
	SOBRECARGA	PESO PROPIO + SOBRECARGA
1.VIGA DE TECHO		
1.1 Construcciones Industriales	L/360	L/200
1.2 Oficinas o Construcciones Habitacionales		
❖ Con cielos enyesados		L/200
❖ Sin cielos enyesados o similares		L/200
2. VIGAS DE PISO		
2.1 Construcciones en general	L/360	L/200
2.2 Puentes carreteros	L/360	L/200

L = Luz efectiva de la viga

### 5.1.2.3 Verificación por Volcamiento

(a) Determinación del Factor de Modificación por Volcamiento,  $K_v$

❖ El volcamiento depende de la razón  $h/b$

Todos los elementos estructurales sometidos a flexión deben estar apoyados lateralmente en sus extremos con el propósito de impedir desplazamientos laterales y rotacionales.

**Para elementos estructurales solicitados en flexión que se apoyan lateralmente de acuerdo a la Tabla 5.2, se acepta un factor de modificación por volcamiento igual a la unidad ( $K_v = 1,0$ ).**

**Tabla 5.2 Grado de Sujeción Lateral para Diferentes Razones Máximas h/b de Una Viga Simple de Madera**

GRADO DE SUJECIÓN LATERAL	RAZÓN MÁXIMA h/b
Sólo los extremos cuentan con apoyos laterales	3
El elemento tiene sus extremos apoyados lateralmente y su desplazamiento lateral en el tramo es impedido por riostras, tirantes o costaneras sobre él.	4
El elemento tiene sus extremos apoyados lateralmente y el desplazamiento del canto comprimido en el tramo es impedido por enTablados o vigas distanciadas en no más de 610 mm entre si, apoyadas contra las caras de las vigas	5
El elemento cumple con el caso c) y además dispone de puntales laterales separados a una distancia que no excede de 8 veces la altura de la viga.	6
El elemento tiene sus extremos apoyados lateralmente y además se impide el desplazamiento lateral de ambos cantos (comprimido y traccionado).	7

h = altura de la viga; b = ancho de la viga.

**Para los elementos estructurales solicitados en flexión, que no tienen apoyos laterales a lo largo de su luz, se acepta un factor de modificación por volcamiento ( $K_v$ ) igual a la unidad si la razón formada por la altura (h) de la viga y su ancho (b) no excede del valor 2.**

**Para los elementos estructurales solicitados en flexión, que no cuentan con apoyos laterales señalados en la Tabla 5.2 y cuya razón formada por la altura (h) de la viga y su ancho excede el valor 2, se debe calcular el factor de modificación por volcamiento ( $K_v$ ) de acuerdo al siguiente procedimiento:**

- a) Cálculo de la Longitud efectiva de Volcamiento ( $l_v$ )

Para calcular la Longitud efectiva de volcamiento se emplea la siguiente Tabla:

Tabla 5.3 Valores de la Longitud Efectiva,  $L_v$ , de Elementos Sometidos a Flexión

TIPO DE VIGA	LONGITUD EFECTIVA DE VOLCAMIENTO $L_v$
<b>VIGAS SIMPLES APOYADAS CON:</b>	
1. Cualquier carga	$1,84 * l_a * :$ Si $\frac{l_a}{h} > 14,3$ $1,63 * l_a + 3 * h$ Si $\frac{l_a}{h} \leq 14,8$
2. Carga uniforme distribuida	$1,63 * l_a + 3 * h$
3. Carga concentradas en el centro	$1,37 * l_a + 3 * h$
4. Carga concentradas en L/3	$1,43 * l_a + 3 * h$
5. Carga concentradas en L/4	$1,31 * l_a + 3 * h$
6. Carga concentradas en L/5	$1,43 * l_a + 3 * h$
7. Carga concentradas en L/6	$1,47 * l_a + 3 * h$
8. Carga concentradas en L/7	$1,51 * l_a + 3 * h$
9. Carga concentradas en L/8	$1,56 * l_a + 3 * h$
10. Momentos iguales y de distintos signo en los extremos.	$1,84 * l_a$
<b>VIGAS EN VOLADIZO CON:</b>	
- Cualquier carga	$1,84 * l_a ;$ Si $\frac{l_a}{h} > 14,3$ $1,63 * l_a + 3 * h ;$ Si $\frac{l_a}{h} \leq 14,3$
carga uniforme distribuida	$0,90 * l_a + 3 * h$
- carga concentrada en extremo libre	$1,44 * l_a + 3 * h$

Cálculo de la esbeltez de volcamiento ( $\lambda_v$ )

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{h * l_v}{b^2}}$$

En que:

h = altura de la viga, en mm

b = ancho de la viga, en mm

$l_v$  = longitud efectiva de volcamiento, en mm, evaluada según Tabla 5.3

Si sólo se cuenta con apoyos laterales en los extremos, la distancia entre apoyos laterales ( $l_a$ ) es igual a la luz de la viga o en el caso de voladizo, a la longitud del mismo.

Si existen costanera unidas a la viga de tal forma que constituyen apoyos que impiden el desplazamiento lateral de su canto flexo – comprimido, la distancia entre apoyos laterales ( $l_a$ ) equivale a la máxima distancia existente entre costanera.

Si el canto flexo – comprimido de la viga es impedido a desplazarse lateralmente en toda su extensión, la distancia entre apoyos laterales ( $l_a$ ) se considera nula. Los elementos de la cubierta que origina esta acción deben ser fijados al elemento flexionado y además entre si, de modo que se conforme un diafragma rígido.

Verificar que el valor de la esbeltez de volcamiento,  $\lambda_v$  no exceda de 50

$$\lambda_v \leq 50$$

Con el valor de la esbeltez de volcamiento ( $\lambda_v$ ) se determina el factor de modificación por volcamiento de acuerdo con la Tabla 5.4, siguiente.

**Tabla 5.4 Factor de Modificación por Volcamiento ( $K_v$ )**

Si	VALOR DE $K_v$	EN QUE
$\lambda_v \leq 10$	$K_v = 1,0$	$\lambda_{vo} = 0,775 \sqrt{\frac{E_{f,dis}}{F'_{fc,dis}}}$ $\lambda_v = \sqrt{\frac{h * l_v}{b^2}}$
$10 < \lambda_v \leq \lambda_{vo}$	$K_v = 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_{vo}} \right)^4$	
$\lambda_{vo} < \lambda_v \leq 50$	$K_v = \frac{0,4 * E_{f,dis}}{\lambda_v^2 * F'_{f,dis}}$	

$\lambda_{vo}$  = Esbeltez característica de volcamiento

$\lambda_v$  = Esbeltez de volcamiento

$E_{f,dis}$  = Módulo de elasticidad de diseño

$F'_{f,dis}$  = Tensión de diseño en flexión, excluyendo el factor de modificación por altura.

$$F'_{fc,dis} = F_f * K_H * K_D * K_C$$

$$F_{fc,dis} = F'_{fc,dis} * K_v$$

#### 5.1.2.4 Factor de modificación por altura ( $K_{hf}$ )

Cuando la altura de una viga rectangular excede de 50 mm, la tensión admisible de flexión ( $F_f$ ) debe ser multiplicada por el factor de modificación determinado en la siguiente expresión :

$$K_{hf} = \left[ \frac{50}{h} \right] \left( \frac{1}{9} \right)$$

en que :

$h$  = altura de la viga, en mm

Para piezas de Pino radiata de altura superior a 90 mm, el factor de modificación por altura, se debe calcular con la expresión:

$$K_{hf} = \left[ \frac{90}{h} \right]^{(1/5)} \leq 1,0$$

Además, el módulo de elasticidad que se asigna a tales vigas de Pino radiata se debe corregir por altura, aplicando el factor de modificación:

$$K_{hf} = \left[ \frac{h}{180} \right]^{(1/5)} \leq 1,0$$

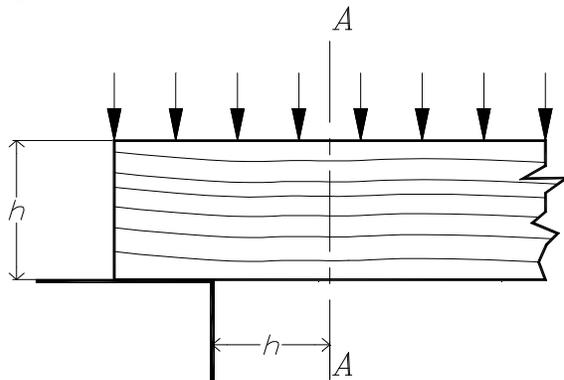
En ambas expresiones,  $h$  corresponde a la altura de la sección transversal, expresada en mm.

#### 5.1.2.5. Verificación de las tensiones de Cizalle.

Dado que la falla en piezas flexionadas de madera se alcanzará siempre por cizalle longitudinal y nunca por cizalle vertical, no es necesario calcular o verificar la resistencia de cizalle transversal.

#### Determinación de esfuerzo de corte, $Q$ .

En vigas soportadas por medio de un apoyo completo sobre un canto y con carga aplicadas sobre el canto opuesto, se pueden despreciar todas las cargas ubicadas a una distancia no superior a la altura ( $h$ ) de la pieza flexionada. Ver Figura 5.1.



**Las cargas ubicadas a la izquierda de A - A pueden ser sometidas.**

**Figura 5.1 Determinación del Esfuerzo de corte,  $Q$ .**

En el caso de una única carga móvil considerablemente mayor a las restantes, tal carga móvil se debe ubicar a distancias (medidas desde cada apoyo) iguales a la altura de la pieza flexionada, manteniendo las restantes en sus posiciones habituales. Cuando existan dos o más cargas móviles, similares en magnitud y próximas en ubicación, dichas fuerzas se deben ubicar en posición que produzca el máximo esfuerzo de corte Q, despreciando el efecto de cualquier carga ubicada a una distancia de los apoyos no superior a la altura de la pieza.

### 5.1.2.6 Factor de Modificación por Rebaje.

El factor de modificación por rebaje  $K_r$ , que se entrega en la Tabla 5.5 se aplica en vigas rectangulares que tienen sus cantos inferiores rebajados en forma recta o inclinada y en las cuales la razón de entalladura  $a/h$  no excede el valor 0,50 según lo señalado en la Figura 5.2.

Estos rebajes no se aceptan con profundidades (a) superiores a 0,50 h.

**Tabla 5.5 Cálculo del Factor de Modificación por Rebaje**

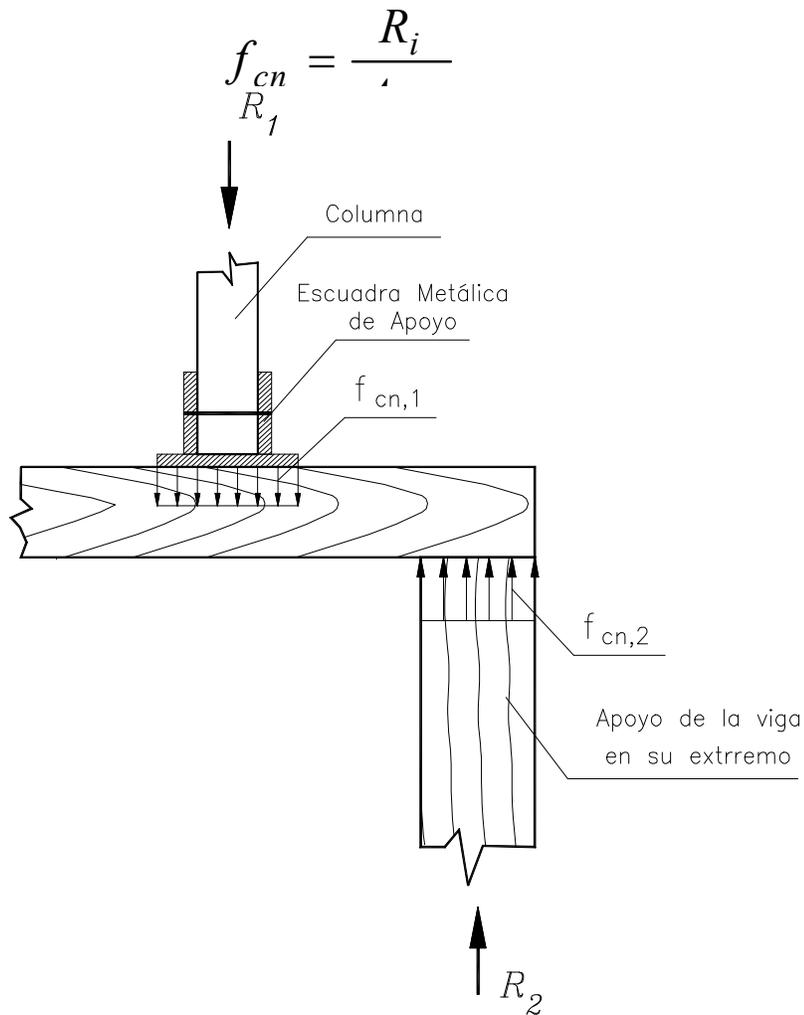
TIPO DE REBAJE INFERIOR	VALOR DEL FACTOR DE MODIFICACION POR REBAJE INFERIOR .	CONDICION
Recto	$K_r = \left( \frac{h_r}{h} \right)^2$	$a \leq 0,5 * h$
Inclinado	$K_{ri} = (h_r / h)$	

## 5.2 Elementos Sometidos a Compresión Normal.

Verificación de las tensiones de compresión normal.

Las tensiones de compresión normal a las fibras (aplastamiento) en una viga de madera pueden ocurrir en los apoyos de la viga o en puntos donde descargan otros elementos estructurales sobre la viga Ver figura 5.3

La tensión de trabajo de compresión normal ( $f_{cn}$ ) se calcula dividiendo la reacción (R) por el área de contacto ( $A_{apl}$ ) existentes entre los dos elementos.



**Figura 5.3 Compresión normal a las fibras en vigas.**

Cuando las tensiones de aplastamiento tienen una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la fibra de la pieza (Ver figura 5.4), la tensión de trabajo por aplastamiento se debe cumplir:

$$\frac{f_{c,\theta}}{F_{c,\theta,dis}} < 1.0$$

Con :

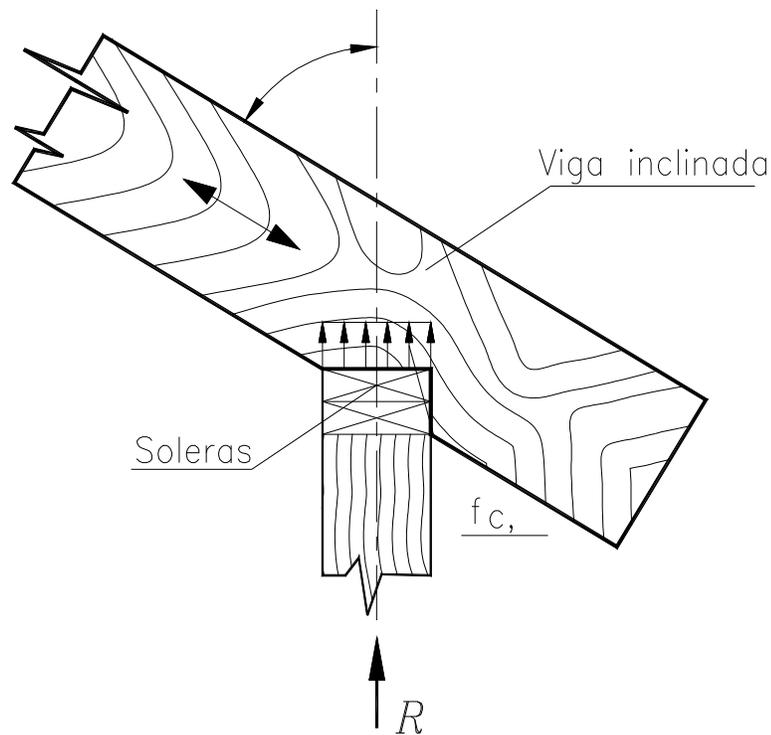
$$f_{c,\theta} = \frac{R}{A_{apl,\theta}}$$

$F_{c, \theta, dis}$  = Tensión de diseño por compresión en una dirección que forma un ángulo  $\theta$ , con la fibra de la madera.

$F_{c, \theta}$  = Tensión de diseño por aplastamiento en una dirección que forma un ángulo  $\theta$ , con la fibra de la pieza.

$R$  = Reacción o carga aplicada.

$A_{apl, \theta}$  = Area de aplastamiento.



**Figura 5.4** Aplastamiento en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la fibra.

- La tensión de diseño de compresión normal ( $F_{cn, dis}$ ) y de compresión inclinada respecto a la fibra ( $F_{c, \theta, dis}$ ) se calculan de acuerdo a los procedimientos señalados anteriormente.

## 5.3 Elementos en Compresión Paralela a las Fibras

### 5.3.1 Generalidades

Las especificaciones que siguen son aplicable sobre piezas estructurales solicitadas en forma centrada (con respecto a su eje longitudinal) por fuerzas de compresión orientadas según la dirección de la fibra.

### 5.3.2 Longitud efectiva de pandeo, $l_p$

La longitud efectiva de pandeo,  $l_p$ , debe considerarse como la distancia entre dos puntos de inflexión adyacentes, entre los cuales el elemento comprimido se deforma adoptando una curvatura simple.

Para piezas comprimidas rectas, sujetas en sus extremos por medio de elementos de unión mecánicos (clavos, conectores, pernos, etc) los valores " $l_p$ " pueden adoptarse de la Tabla 5.6 en la cual la longitud real de la pieza de madera se ha designado como L.

### 5.3.3 Esbeltez, $\lambda$

Se define como la razón entre la longitud efectiva de pandeo ( $l_p$ ) y el radio de giro ( $i$ ) que condiciona el pandeo, es decir :

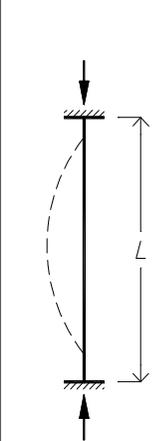
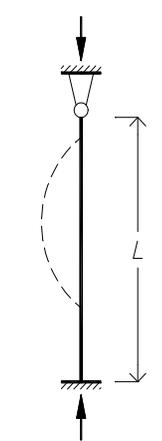
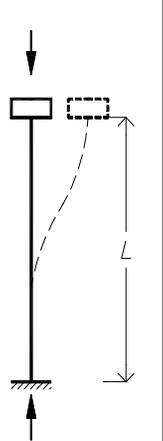
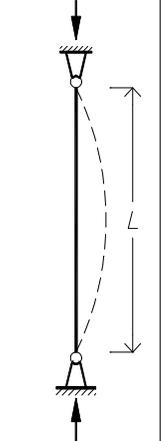
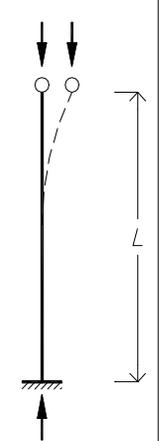
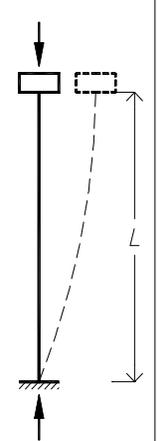
$$\lambda = \frac{l_p}{i}$$

la esbeltez debe cumplir las siguientes restricciones:

$\lambda \leq 170$  Para piezas principales.

$\lambda \leq 200$  Para elementos constituyentes de sistemas de arriostramientos que quedan comprimidos solo bajo los efectos del viento y sismo.

**Tabla 5.6 Longitudes Efectivas de Pandeo,  $L_p$ , de Piezas Comprimidas.**

CONFIGURACION PARA PANDEO						
VALORES PARA	0,70	0,85	1,50	1,0	2,50	2,50
CONDICIONES DE APOYO	 : Impedimento de giros y desplazamientos  : Libertad de giro , impedimento de desplazamiento  : Impedimento de giro , libertad de desplazamiento  : Libertad de giros y desplazamientos					

### 5.3.4 Compresión Paralela en Piezas Simples.

#### 5.3.4.1 Verificación de tensiones

Para una columna simple solicitada en compresión paralela a la fibra debe verificarse que:

$$\frac{f_{cp}}{F_{cp,\lambda,dis}} \leq 1,0$$

Con :  $f_{cp}$  = Tensión de trabajo de compresión paralela.  
 $F_{cp,\lambda,dis}$  = Tensión de diseño en compresión paralela, considerando pandeo

La tensión de trabajo en compresión paralela ( $f_{cp}$ ) se determina con la expresión:

$$f_{cp} = \frac{N}{A}$$

En que:

N = carga axial aplicada

A = área de la sección transversal

La tensión de diseño de compresión paralela ( $F_{cp, \lambda, dis}$ ) se calcula con la expresión:

$$E^{cb, y, q, r, z} = E^{cb} * K^H * K^D * K^L * K^C * K^{\bar{O}} * K^y$$

Con:  $F_{cp}$  = tensión admisible de compresión paralela.

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$  = factor de modificación de aplicación general.

### 5.3.4.2 Factor de Modificación por Esbeltez, $K_\lambda$

Para elementos estructurales solicitados en compresión paralela, tales que:

$\lambda < 5$ : Se acepta un factor de modificación por esbeltez igual a la unidad ( $K_\lambda = 1.0$ ).

$\lambda \geq 5$ : Se presentan problemas de inestabilidad lateral (pandeo) por lo que se debe calcular el factor de modificación por esbeltez, utilizando la expresión:

$$K_\lambda = \left[ A - \sqrt{A^2 - B} \right]$$

Con :

$$A = \frac{B * c(1 + \lambda / 200) + 1}{2 * c}$$

$$B = \frac{4 * E_{f, dis}}{c * \lambda^2 * F'_{cp, dis}}$$

Con :  $c$  = coeficiente de proporcionalidad y cuyos valores se obtienen de la Tabla 5.7

$E_{f,dis}$  = módulo de elasticidad de diseño

$F'_{cp,dis}$  = tensión de diseño de compresión paralela y que no incluye el factor de modificación  $K_{\lambda}$ , ni el factor de modificación por trabajo conjunto  $K_C$

**Tabla 5.7 Valores de Coeficiente de Proporcionalidad, C**

CLASIFICACIÓN VISUAL		COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD
GRADO ESTRUCTURAL	RAZON DE RESISTENCIA	
Nº 1	0,75	0,85
Nº 2	0,60	0,85
Nº 3	0,48	0,80
Nº 4	0,36	0,80

NOTA: Para Pino radiata  $c=0,80$

## 5.4 Elementos en Tracción Según la Dirección de la Fibra.

### 5.4.1 Verificación de Tensiones

Para elementos solicitados en tracción, según la dirección de la fibra, se debe controlar:

$$\frac{f_{tp}}{F_{tp,dis}} \leq 1,0$$

En que:

$F_{tp}$  = tensión de trabajo en tracción paralela a las fibras

$F_{tp, dis}$  = tensión de diseño de tracción paralela a las fibras

La tensión de trabajo en tracción paralela a las fibras ( $f_{tp}$ ) se determina con la expresión.

$$f_{tp} = \frac{P}{A_n}$$

En donde :

P = sollicitación en tracción paralela a la fibra

$A_n$  = área neta, que en ningún caso debe ser inferior al 75% de la sección transversal bruta.

La tensión de diseño en tracción paralela a la fibra ( $f_{tp, dis}$ ) se determina con la expresión :

$$F_{tp, dis} = F_{tp} \times K_h \times K_d \times K_t \times K_c \times K_q \times K_{ct}$$

En que :

$F_{tp}$  = tensión admisible en tracción paralela a la fibra.

$K_{ct}$  = factor de modificación por concentración de tensiones, determinado según 5.3.2

Los restantes factores de modificación han sido explicados en 3.1.4.2.

#### **5.4.2 Factor de Modificación por Concentración de Tensiones**

Este factor de modificación considera el efecto de las concentraciones de tensiones en regiones traccionadas de madera con perforaciones, vaciados, entalladuras, etc. Los valores de este factor de modificación se pueden obtener de la Tabla xx.

**Tabla 5.8 Factor de Modificación por Concentración de Tensiones,  $K_{ct}$**

TIPOS DE DEBILITAMIENTO	$K_{ct}$
Perforaciones pequeñas y uniformes distribuidas (clavos)	0,8
Perforaciones individuales mayores (pernos)	0,7
Conectores de anillos	0,5
Ranuras longitudinales con espesores no mayores que 5 mm	0,8
Ranuras longitudinales con espesores no mayores que 10 mm	0,7

## 5.5. Dimensionamiento de Piezas sometidas a Esfuerzos Combinados.

### 5.5.1. Flexión de dos Ejes Principales de Inercia

Los elementos sometidos a esfuerzos de flexión en dos planos principales de inercia se diseñan de modo que se verifique la expresión siguiente:

$$\frac{f_{f,x}}{F_{f,dis,x}} + \frac{f_{f,y}}{F_{f,dis,y}} \leq 1,0$$

En que :

$f_{f,x}; f_{f,y}$  = Tensiones de trabajo en flexión referidas a los ejes x-x e y-y, respectivamente.

$F_{f,dis,x}; F_{f,dis,y}$  = Tensiones de diseño de flexión, referidas a los ejes x-x e y-y,

### 5.5.2. Flexión y Tracción Axial

Las piezas solicitadas simultáneamente por flexión y tracción axial se dimensionan de modo que se cumplan las expresiones siguientes:

Para la zona traccionada:

$$\frac{f_{tp}}{F_{tp,dis}} + \frac{f_f}{F_{f,dis}} \leq 1,0$$

Para la zona comprimida:

$$\frac{f_f - f_{tp}}{F_{fv,dis}} \leq 1,0$$

En que :

$f_{tp}$  = tensión de trabajo por tracción paralela.

$f_f$  = tensión de trabajo por flexión

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción paralela.

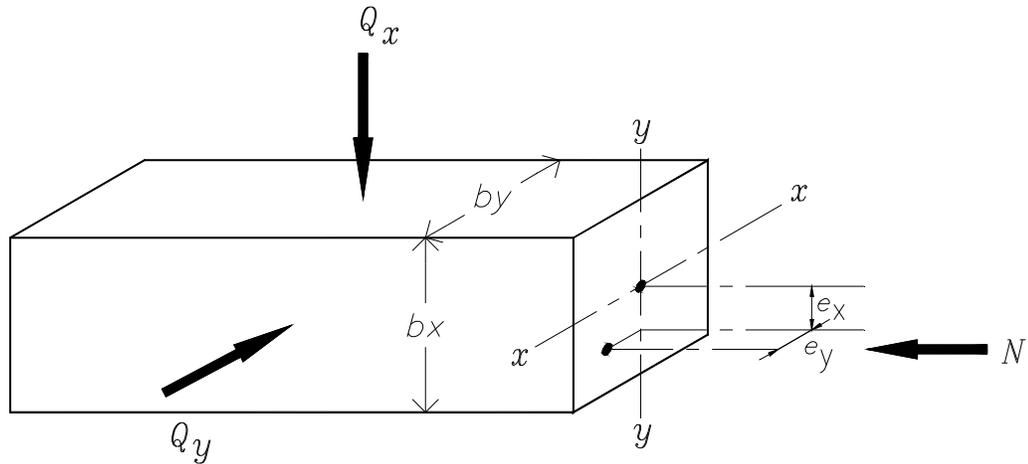
$F_{ft,dis}$  = tensión de diseño en flexión en el borde traccionado.

$F_{fv,dis}$  = tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad.

### 5.5.3. Flexión y Compresión Paralela.

Las piezas sometidas simultáneamente a flexión y compresión paralela a la fibra, según se ilustra en la Figura 5.4 , se dimensionan de manera que se verifique la siguiente expresión.

$$\frac{f_{cp}}{F_{cp,\lambda,dis}} + \frac{f_{f,x} + f_{cp} \left(6 + 1,5 * J_x\right) \left(\frac{e_x}{b_x}\right)}{F_{f,dis,x} - J_x * f_{cp}} + \frac{f_{f,y} + f_{cp} \left(6 + 1,5 * J_y\right) \left(\frac{e_y}{b_y}\right)}{F_{f,dis,y} - J_y * f_{cp}} \leq 1,0$$



**Figura 5.4. Flexión bi-axial y compresión excéntrica.**

$f_{cp}$  = Tensión de trabajo por compresión paralela a la fibra

$f_{f,x}$  ;  $f_{f,y}$  = Tensiones de trabajo por flexión, según ejes x-x e y-y respectivamente.

$F_{cp,dis}$  = Tensión de diseño en compresión paralela.

$F_{f,dis,x}$ ;  $F_{f,dis,y}$  = Tensiones de diseño según ejes x-x e y-y respectivamente

$e_x$  ,  $e_y$  = Excentricidades la carga axial (N) perpendiculares a los ejes x-x e y-y , respectivamente.

$b_x$ ,  $b_y$  = Dimensiones de la escuadría (sección transversal) perpendiculares a los ejes x-x e y-y respectivamente.

$J_x$  ,  $J_y$  = Según Tabla 5.9.

En que :

$f_{tp}$  = tensión de trabajo por tracción paralela

$f_f$  = tensión de trabajo por flexión.

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción paralela

$F_{ft,dis}$  = tensión de diseño en flexión en el borde traccionado.

$F_{fv,dis}$  = tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad

**Tabla 5.9 Procedimiento para el cálculo de  $J_x$  ,  $J_y$**

SI	VALOR DE $J_i$ ( $i=x,y$ )	CON
$\lambda_i \leq 35$	$J_i = 0$	$\lambda_0 = \sqrt{(E_{f,dis} / F_{cp,dis})}$ $\lambda_i = I_p / I_i$ $(i = x, y)$
$35 < \lambda_i \leq \lambda_0$	$J_i = \frac{\lambda_i - 35}{\lambda_0 - 35}$	
$\lambda_0 \leq \lambda_i$	$J_i = 1$	

En que :

$\lambda_0$  = esbeltez característica.

$\lambda_f$  = esbeltez

$E_{f,dis}$  = módulo de elasticidad de diseño, según 2.4.6.

$F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, no incluido el factor de modificación por esbeltez,  $k_\lambda$  , según 3.3.2.1.b).

## 6. Dimensiones de Piezas Estructurales de Sección Transversal Circular.

### 6.1. Generalidades.

Si se emplean piezas de sección transversal circular, constantes o variables, como elementos estructurales, sin otra elaboración que el descortezado, como es el caso de postes, pilotes o componentes de una estructura, el procedimiento de diseño debe ser el establecido en el párrafo 4.2.

Las piezas estructurales de sección transversal circular se considerarán en estado seco o verde, de acuerdo al contenido de humedad que ellas tengan en el momento de la fabricación o instalación y a la humedad que alcancen en servicio, según lo establecido en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Condición Asumida para la Determinación de Tensiones, Módulo de Elasticidad, Diseño de Uniones y Dimensiones de Piezas con Sección Circular.**

<b>CONDICION DE LA MADERA EN LA ELABORACIÓN O INSTALACIÓN</b>	<b>CONDICION DE LA MADERA EN SERVICIO</b>	<b>CONDICION ASUMIDA PARA LA DETERMINACION DE TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO ELASTICO</b>	<b>CONDICION ASUMIDA PARA EL DISEÑO DE LAS UNIONES</b>	<b>DIMENSIONES A USAR EN EL DISEÑO (O DIMENSIONES REALES)</b>
<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>
<b>VERDE</b>	<b>SECO</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE</b>
<b>SECO</b>	<b>SECO</b>	<b>SECO</b>	<b>SECO</b>	<b>SECO</b>
<b>SECO</b>	<b>VERDE</b>	<b>VERDE (para el módulo elástico) y seco para las tensiones</b>	<b>VERDE</b>	<b>SECO</b>

## 6.2. Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad.

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad a usar en piezas con sección transversal circular son las incluidas en la Tabla 6.2

**Tabla 6.2. Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad para Piezas Estructurales de Sección Transversal Circular Usadas en su Forma Natural y en Estado Verde, en Mpa.**

ESPECIE MADE RERA	TENSIÓN ADMISIBLE DE					MODULO DE ELASTICIDAD
	Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Cizalle	Compresión Normal	
Pino radiata	13,8	8,3	5,4	0,71	2,45	6,423
Eucalipto	32,5	19,5	17,7	1,73	8,47	12,425

## 6.3. Propiedades Geométricas.

Las propiedades geométricas de las secciones circulares de madera son las incluidas en la Tabla 6.3.

## 6.4. Factor de Modificación.

### 6.4.1. De Aplicación General.

Se deben aplicar los factores de modificación por duración de carga ( $K_C$ ) y por tratamientos químicos ( $K_Q$ ).

### 6.4.2. De Aplicación Particular.

Se aplicarán los siguientes:

#### a) Factor de modificación por desbastado o alisaduras ( $K_d$ ):

Cuando una pieza de madera de sección circular es transformada de su forma natural a una forma cilíndrica o cónica mediante un proceso mecánico (alisado o desbastado) o cuando se extrae material de la pieza para obtener una superficie plana, las tensiones admisibles y el módulo elástico deben multiplicarse por el valor que aparece en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.3. Propiedades Geométricas de las Secciones Circulares.**

DIAMETRO		SECCION TRANSVERSAL (cm <sup>2</sup> )	MOMENTO DE INERCIA (cm <sup>4</sup> )	MODULO DE FLEXION (cm <sup>3</sup> )	RADIO DE GIRO (cm)
(Pulgadas)	(cm)				
4	10,2	81,1	523,1	103,0	2,5
4½	11,4	102,6	837,8	146,6	2,9
5	12,7	126,7	1.277,0	201,1	3,2
5½	14,0	153,3	1.869,6	267,7	3,5
6	15,2	182,4	2.647,9	347,5	3,8
6½	16,5	214,1	3.647,2	441,8	4,1
7	17,8	248,3	4.905,7	551,8	4,4
7½	19,1	285,0	6.464,7	678,7	4,8
8	20,3	324,3	8.368,8	823,7	5,1
8½	21,6	366,1	10.665,5	988,0	5,4
9	22,9	410,4	13.405,2	1.172,8	5,7
9½	24,1	457,3	16.641,8	1.379,3	6,0
10	25,4	506,7	20.431,7	1.608,8	6,3
10½	26,7	558,6	24.8634,9	1.862,4	6,7
11	27,9	613,1	29.914,1	2.141,3	7,0
11½	29,2	670,1	35.735,2	2.446,8	7,3
12	30,5	729,7	42.367,2	2.780,0	7,6
12½	31,8	791,7	49.882,1	3.142,2	7,9
13	33,0	856,3	58.355,0	3.534,5	8,3
13½	34,3	923,5	67.864,1	3.958,2	8,6
14	35,6	993,1	78.490,5	4.414,5	8,9
14½	36,8	1.065,4	90.318,5	4.904,6	9,2
15	38,1	1.140,1	103.435,5	5.429,7	9,5
15½	39,4	1.217,4	117.932,0	5.991,0	9,8
16	40,6	1.297,2	133.901,3	6.589,6	10,2
16½	41,9	1.379,5	151.440,0	7.226,9	10,5
17	43,2	1.464,4	170.647,7	7.904,0	10,8
17½	44,5	1.551,8	191.627,1	8.622,1	11,1
18	45,7	1.641,7	214.483,9	9.382,5	11,4
18½	47,0	1.734,2	239.327,0	10.186,3	11,7
19	48,3	1.829,2	266.268,1	11.034,7	12,1
19½	49,5	1.926,8	295.422,3	11.929,0	12,4
20	50,8	2.026,8	326.907,4	12.870,4	12,7
20½	52,1	2.129,4	360.844,6	13.860,0	13,0
21	53,3	2.234,6	397.358,0	14.899,1	13,3
21½	54,6	2.342,3	436.574,7	15.988,8	13,7

**Tabla 6.4. Factor de Modificación por Desbastado o Alisadura ( $K_d$ ).**

APLICAR A TENSIÓN ADMISIBLE DE	VALOR DE $K_d$	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	0,75	0,85
Compresión Paralela	0,90	0,92
Compresión Normal	1,00	1,00
Cizalle	1,00	1,00
Tracción Paralela	0,75	0,85
Módulo de Elasticidad en Flexión	0,90	0,95

**b) Factor de modificación por preservación que involucre tratamiento a vacío y presión ( $K_{pv}$ ):**

Las tensiones admisibles y el módulo elástico de piezas que sean tratadas con métodos de preservación que involucre tratamientos a vacío y presión deben ser afectados por el factor que se entrega en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5. Factor de Modificación por Preservación con Tratamiento a Vacío y Presión ( $K_{pv}$ ).**

APLICAR A TENSIÓN ADMISIBLE DE	VALOR DE $K_{pv}$	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	0,85	0,75
Compresión Paralela	0,90	0,80
Compresión Normal	0,90	0,80
Cizalle	0,90	0,80
Tracción Paralela	0,85	0,75
Módulo de Elasticidad en Flexión	0,95	0,90

**c) Factor de modificación por uso en estado seco ( $K_s$ ):**

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad de piezas de sección transversal circular utilizadas en estado seco, deben quedar afectadas por los factores que entregan en la Tabla 6.6.

**Tabla 6.6. Factor de Modificación por uso en Estado Seco.**

APLICAR A TENSIÓN ADMISIBLE DE	VALOR DE K <sub>s</sub>	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	1,25	1,25
Compresión Paralela	1,25	1,25
Compresión Normal	1,25	1,25
Cizalle	1,12	1,06
Tracción Paralela	1,25	1,25
Módulo de Elasticidad en Flexión	1,12	1,12

### 6.5. Diseño de Elementos de sección Circular en Flexión.

La tensión de trabajo efectiva de flexión ( $f_f$ ) para piezas de sección transversal circular se determina para el punto de momento máximo con la expresión:

$$f_f = \frac{M_{m a x}}{W_o} = \frac{M_{m a x}}{\left( \frac{\pi * D^3}{32} \right)} = \frac{32 * M_{m a x}}{\pi * D^3}$$

$$P e r o : \quad C = \pi * D \Rightarrow \quad D^3 = \frac{C^3}{\pi^3}$$

$$f_f = \frac{32 * \pi^2 * M_{m a x}}{C^3}$$

En que :

$f_f$  = tensión de trabajo efectiva en flexión

D = Diámetro del poste en la sección transversal con momento máximo.

C = Perímetro del poste en la sección transversal con momento máximo.

$M_{máx}$  = Momento de flexión máximo que para un poste empotrado en terreno compactado se supone actuando a  $\frac{1}{4}$  de la profundidad de empotramiento bajo la línea de tierra. Para un poste empotrado en hormigón, el momento máximo se considera actuando en la línea de tierra (superficie superior del hormigón).

## 6.6. Elementos de Sección Circular en Compresión.

Deben ser verificadas las tensiones en el extremo superior y en la sección crítica del poste.

La tensión de trabajo efectiva en compresión paralela ( $f_{cp}$ ) en el extremo superior del poste debe satisfacer la condición:

$$F_{cp} = \frac{P}{A_{ES}} \leq F'_{cp,dis}$$

En donde:

$P$  = Carga axial aplicada

$A_{es}$  = Sección transversal en el extremo del poste

$F'_{cp,dis}$  = Tensión de diseño en compresión paralela, calculada con los factores de modificación especificados en 6.4

La tensión de trabajo crítica en compresión paralela ( $f'_{cp}$ ), será calculada mediante la expresión:

$$f'_{cp} = \frac{P}{A_{crit}}$$

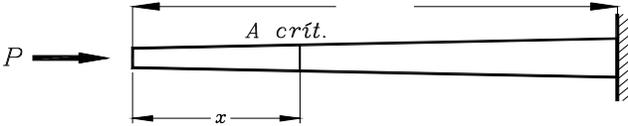
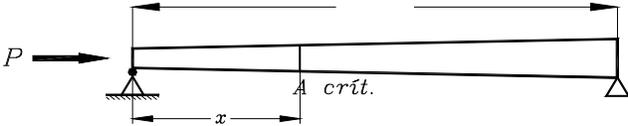
Con:

$P$  = Carga axial aplicada.

$A_{crit}$  = sección transversal crítica de un poste. Si él tiene inercia constante, corresponde a su sección; si tiene inercia variable, ver Tabla 6.7.

La tensión de trabajo crítica en compresión paralela a las fibras ( $f_{cp}$ ) debe cumplir con lo establecido en la Tabla 6.8

**TABLA 6.7. Ubicación de la Sección Transversal Crítica ( $A_{crit}$ ) en Postes de Sección Transversal Circular.**

TIPO DE SECCION	TIPO DE APOYO	UBICACION X
VARIABLE		0,6
		0,43
	OTRA CONDICION	0,33
CONSTANTE	CUALQUIERA	DETERMINACION POR EL ANALISIS ESTRUCTURAL

**Tabla 6.8. Verificación de Tensiones en la Sección Crítica de un Poste de Sección Transversal Circular.**

CONDICION DE	TIPO DE COLUMNA	VERIFICAR QUE
$\lambda \leq 10$	CORTA	$\frac{f'_{cp}}{F'_{cp,dis}} \leq 1,0$
$10 < \lambda \leq \lambda_0$	INTERMEDIA	$\frac{f_{cp}}{F'_{cp,\lambda,dis}} \leq 1,0$ <i>Con:</i> $F'_{cp,\lambda,dis} = F_{cp,dis} \left[ 1 - \left( \frac{1}{3} \right) \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^4 \right]$
$\lambda_0 < \lambda \leq 44$	LARGA	$\frac{f_{cp}}{F'_{cp,\lambda,dis}} \leq 1,0$ <i>Con:</i> $F'_{cp,\lambda,dis} = 0,225 * \frac{E f_{,dis}}{\lambda^2}$

En que :

$F'_{cp,dis}$  = definida en 5.6.1

$$\lambda = \frac{l_p}{D}$$

En donde :

= Esbeltez.

$L_p$  = Longitud de pandeo.

D = Diámetro de la sección crítica.

$$\lambda_0 = 0,58 * \sqrt{\frac{E f_{,dis}}{F'_{cp,dis}}} \quad \text{Con:} \quad \lambda_0 = \text{esbeltez característica.}$$

## 7. Uniones en la Madera Estructural.

### 7.1 Generalidades.

Un elemento mecánico de unión es aquel que, al quedar sometido por fuerzas de cizalle, admite corrimientos relativos entre piezas conectadas y cuyas magnitudes dependen de la fuerza solicitante.

Estos corrimientos se originan como consecuencia de las deformaciones por aplastamiento de la madera en la zona de contacto con el elemento de unión.

### 7.2 Factores que Requieren ser Considerados:

- La Especie Maderera (Densidad)
- Sección transversal crítica y tensiones de cizalle.
- Dirección de la carga respecto a la fibra de la Madera
- Espaciamientos
- Excentricidad
- Acción en grupos de elementos de unión
- Factores de modificación.

### 7.3 Factores de Modificación

TIPO DE ELEMENTO DE UNION	FACTOR DE MODIFICACION							
	K <sub>D</sub>	K <sub>UH</sub>	K <sub>Q</sub>	K <sub>T</sub>	K <sub>S</sub>	K <sub>u</sub>	K <sub>cm</sub>	K <sub>PP</sub>
Barra de acero	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Pernos	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Tornillos	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Tirafondos	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Conectores de Anillo	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Clavos	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Placa metálica	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO

### En que:

$K_D$  = F. M por duración de carga.

$K_{UH}$  = F.M por contenido de humedad.

$K_Q$  = F.M por tratamiento químico.

$K_T$  = F.M por temperatura.

$K_S$  = F.M por espaciamiento.

$K_U$  = F.M por longitud de hilera.

$K_{CM}$  = F.M por cubrejuntas metálicas.

$K_{PP}$  = F.M por profundidad de penetración.

### 7.4. Cargas de Diseño.

$$P_{dis} = P_{adm} \cdot K_D \cdot K_{UH} \cdot K_Q \cdot K_T \cdot K_S \cdot K_U \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}$$

en que:

$P_{adm}$  = Carga admisible obtenida con la fórmula de cada elemento de unión.

$P_{dis}$  = Carga de diseño.

### 7.5 Uniones con Clavos.

Las especificaciones que siguen a continuación son para uniones clavadas en construcciones de madera y rigen para el empleo de los tipos de clavos fabricados según NCh 1269.

Las dimensiones que especifica esta norma, son las que se incluyen en la Tabla 7.1.

**Tabla 7.1 Dimensiones y Tolerancias de los Clavos.**

DESIGNACION mm*mm	LARGO $L_c$ mm	DIAMETRO $D_c$ mm*mm	CANTIDAD DE CLAVOS POR KILOGRAMO
150 * 5,6	150	5,6	24
125 * 5,1	125	5,1	37
100 * 4,3	100	4,3	66
90 * 3,9	90	3,9	103
75 * 3,5	75	3,5	145
65 * 3,1	65	3,1	222
50 * 2,8	50	2,8	362
50 * 2,2	50	2,2	405
45 * 2,2	45	2,2	559
40 * 2,2	40	2,2	647
30 * 2,0	30	2,0	1195
25 * 1,7	25	1,7	2042
20 * 1,5	20	1,5	3362
15 * 1,3	15	1,3	6026

La tolerancia del largo ( $l_c$ ), del clavo es  $\pm d_c$ . La tolerancia para el diámetro,  $d_c$  del clavo es:

- \*  $\pm 0,1$  mm para diámetros  $d_c > 3$  mm
- \*  $\pm 0,05$  mm para diámetros  $d_c < 3$  mm

en que :

$d_c$  = diámetro del clavo, en mm.

$\rho_{o,k}$  = densidad anhidra característica basada en masa y volumen anhidro, en  $kg/m^3$ .

## 7.6 Solicitaciones De Extracción Lateral.

La capacidad admisible de carga de una superficie de cizalle de un clavo solicitado perpendicularmente a la dirección de su eje,  $P_{cl,adm}$ , se calcula independientemente del ángulo que forma la dirección de la carga con la fibra de la madera, a través de la expresión:

$$P_{cl,adm} = 3,5 \cdot d_c^{1,5} \cdot \rho_{o,k}^{0,5}$$



En general se exige la presencia de al menos cuatro clavos en cada uno de los planos de cizalle que se presenten en una unión clavada de dos o más piezas de madera.

La expresión anterior exige respetar un espesor mínimo, en las maderas que se unen, igual a  $7 d_c$

En todo caso, para elementos constituyentes de uniones estructurales, se deben usar espesores mayores o iguales a 18 mm.

#### **7.6.1 Uniones de Cizalle Simple.**

La expresión establecida para  $P_{cl,adm}$  es aplicable cuando la penetración efectiva del clavado,  $p$ , satisface la condición :

$$p > 12 d_c$$

Penetraciones efectivas,  $p$ , menores que  $6 d_c$  no se aceptan en uniones estructurales de cizalle simple.

Cuando la penetración efectiva,  $p$ , es tal que:

$$6 d_c < p < 12 d_c$$

la capacidad admisible de carga,  $P_{cl,adm}$  de la superficie de cizalle adyacente a la punta del clavo debe ser afectada por el Factor de Modificación  $K_{pcs}$ , siguiente

$$K_{pcs} = p / 12 d_c$$

### 7.6.2 Uniones de Cizalle Múltiple.

En uniones de cizalle múltiple la capacidad admisible de cada clavo,  $P_{clm,adm}$ , se calcula de acuerdo con la expresión:

$$P_{clm,adm} = (m - 0,25) * P_{cl,adm}$$

Con :  $m$  = número de planos de cizalle que atraviesa el clavo, y

$P_{cl,adm}$  = capacidad admisible de carga de una superficie de cizalle del clavo, según expresión anterior.

Se exige para estos efectos que la penetración efectiva,  $p$ , en la pieza que recibe la punta del clavo sea mayor que  $8 d_c$ . Si la penetración efectiva es menor que  $4 d_c$ , la superficie de cizalle más cercana a la punta del clavo no debe ser considerada en los cálculos.

Si la penetración efectiva,  $p$ , cumple con :

$$4 d_c < p < 8 d_c$$

la capacidad de carga admisible de la superficie de cizalle más cercana a la punta del clavo, debe ser afectada por el Factor de Modificación,  $K_{pcd}$ , siguiente:

$$K_{pcd} = p / 8 d_c$$

En este caso la capacidad de carga de cada clavo se debe evaluar con:

$$P_{clm,adm} = P_{cl,adm} * (m - 1) + 0,75 * K_{pcd}$$

El espaciamiento mínimo de clavos de diámetro  $d_c$  debe ser el señalado en la Tabla 7.2

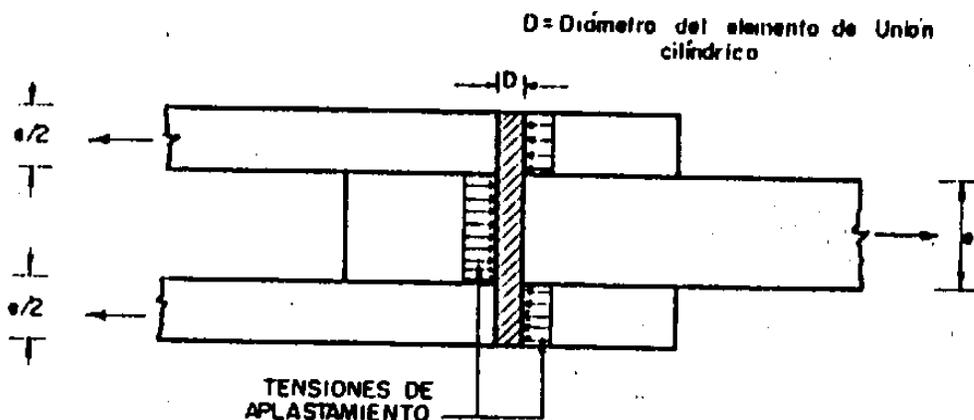
Tabla 7.2 Espaciamientos Mínimos de Clavos de Diámetro  $D_c$ , En Milímetros .

Separación Mínima		CLAVADO SIN PERFORACION GUIA			
		$0 \leq \alpha < 30^\circ$		$30^\circ \leq \alpha 90^\circ$	
		$d_c \leq 4,2$	$d_c > 4,2$	$d_c \leq 4,2$	$d_c > 4,2$
Entre clavos	// a las fibras	$10 d_c$	$12 d_c$	$10 d_c$	$12 d_c$
	Normal a las fibras	$5 d_c$	$5 d_c$	$5 d_c$	$5 d_c$
Desde el Borde Cargado	// a las fibras	$15 d_c$	$15 d_c$	$15 d_c$	$15 d_c$
	Normal a las fibras	$5 d_c$	$7 d_c$	$7 d_c$	$10 d_c$
Desde el Borde Descargado	// a las fibras	$7 d_c$	$10 d_c$	$7 d_c$	$10 d_c$
	Normal a las fibras	$5 d_c$	$5 d_c$	$5 d_c$	$5 d_c$

### 7.7. Uniones con Barras de Acero y Pernos.

Las especificaciones que siguen son aplicables sobre elementos de unión cilíndricas que atraviesan perpendicularmente los planos de cizalle de la unión y que quedan solicitados en flexión.

#### 7.7.1 Cargas Admisibles de Uniones Apernadas



### Cizalle doble :

La capacidad de carga admisible de un perno solicitado a cizalle doble en una unión constituida de tres piezas de la misma especie, con las piezas laterales paralelas entre si y cuyo espesor es igual a la mitad del espesor de la pieza central, "e", es el menor valor de las siguiente expresiones:

$$P^1_{adm} = F_{ap} \cdot \lambda_u \cdot D^2$$

$$P^2_{adm} = Z \cdot D^2$$

en que:

$$F_{ap} = \frac{0.00065 \cdot \rho_{12,k} \cdot (100 - D)}{\eta \cdot (2,75 \cdot \text{sen}^2\theta + \text{cos}^2\theta)} \quad (\text{MPa})$$

con:

$\rho_{12,k}$  = densidad normal característica de la especie maderera,  
en  $\text{kg/m}^3$ .

D = diámetro del perno, en mm.

$\eta$  = factor de reducción a la zona elástica.

$\theta$  = desangulación entre las direcciones de la fuerza y de la fibra.

$\lambda_u = \frac{e}{D}$  = esbeltez de la pieza central.

$$Z = 1,15 \cdot (F_{ap} \cdot F_Y / \eta)^{0.5} \quad (\text{MPa})$$

$F_Y = 240 \text{ MPa}$  = tensión de fluencia del acero.

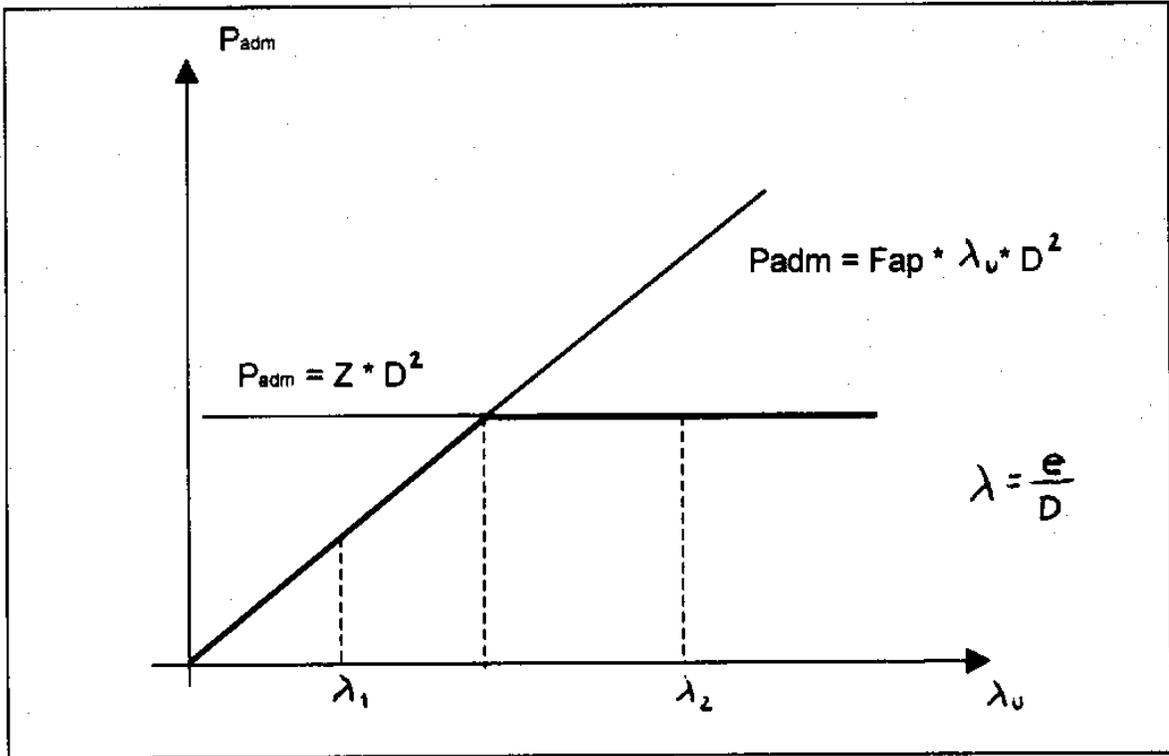


Tabla 7.3. Valor del Parámetro  $\eta$ .

DENSIDAD ANHIDRA PROMEDIO	$\eta$ factor de reducción a la zona elástica
< 550	2,2
$\geq 550$	2,5

**Tabla 7.4. Dimensiones de Pernos Estructurales Y de sus Respectivas Golillas.**

<b>DIAMETRO DEL PERNO D Mm</b>	<b>ESPEJOR DE LA GOLILLA mm</b>	<b>DIAMETRO EXTERNO (Golilla circular) mm</b>	<b>LADO (Arandela Cuadrada) mm</b>
<b>10</b>	<b>3</b>	<b>45</b>	<b>40</b>
<b>12</b>	<b>4</b>	<b>55</b>	<b>50</b>
<b>16</b>	<b>4</b>	<b>65</b>	<b>60</b>
<b>20</b>	<b>5</b>	<b>75</b>	<b>65</b>
<b>D &gt; 20</b>	<b>6</b>	<b>85</b>	<b>70</b>

**Tabla 7.5. Espaciamientos entre Pernos y Barras de Acero.**

<b>ESPACIAMIENTO MINIMO</b>	<b>DIRECCION DEL ESPACIAMIENTO RESPECTO A LAS FIBRAS</b>	<b>PARA DIAMETRO (D) DEL PERNO O LA BARRA</b>	
		<b>D &gt; 20 mm</b>	<b>D &lt; 20 mm</b>
<b>ENTRE ELEMENTOS VECINOS</b>	Paralela (Sp)	7 D	6D
	Normal (Sn)	4D	3,5D
<b>AL BORDE CARGADO</b>	Paralela (Sp)	7D	7D
	Normal (Sn)	4D	4D
<b>AL BORDE DESCARGADO</b>	Paralela (Sp)	6D	El mayor valor entre 4D y 80 mm
	Normal (Sn)	4D	3,5D



## 7.8 Uniones con Conectores de Anillo.

### 7.8.1 Generalidades:

Las especificaciones que siguen se aplican solo a uniones con conectores que tengan la forma de anillo abierto, con las dimensiones especificadas en la Tabla siguiente y que sean fabricados a partir de tubos metálicos rectificadas en sus bordes y cortados según una generatriz.

**Tabla 7.6. Dimensiones de Conectores de Anillos.**

CONECTOR			PERNO	TAMAÑO MINIMO DE LA GOLILLA	
DIAMETRO EXTERIOR De (mm)	ESPESOR e (mm)	ALTURA h (mm)	DIAMETRO D (mm)	DIAMETRO O LADO (mm)	ESPESOR t (mm)
66,5	3,5	19	12	50	4
108,5	4,5	25	16	75	5

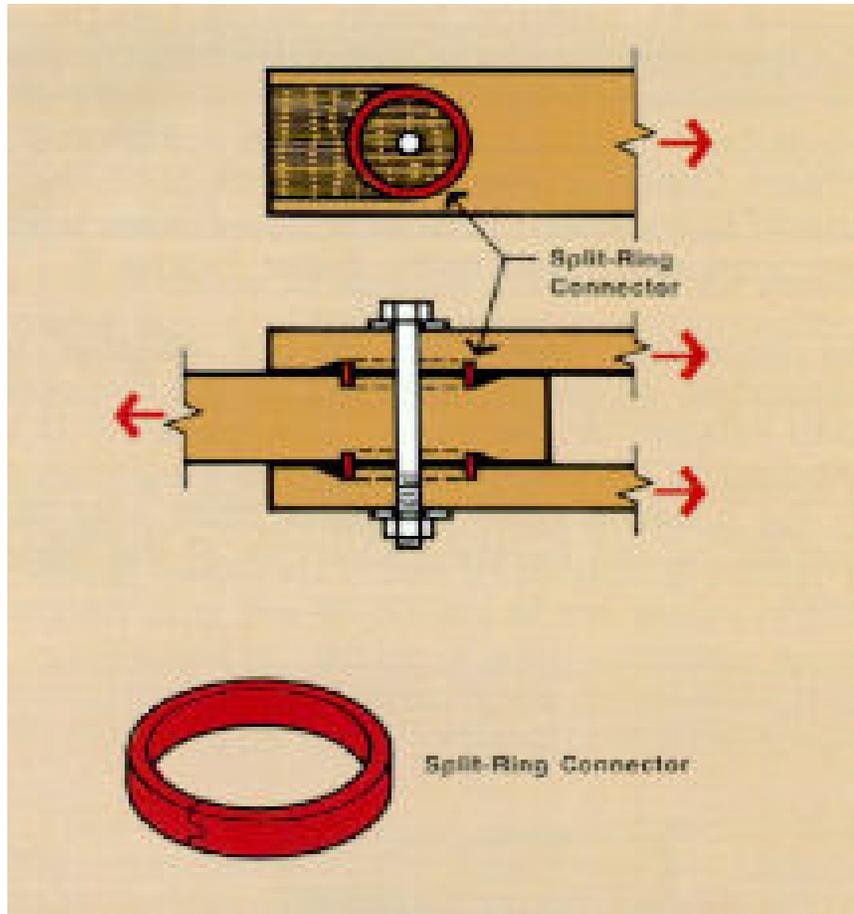


Tabla 7.7. Capacidades Admisibles de Carga de un Conector de Anillo Abierto en Uniones de Simple, en Newtons

DIAMETRO	DIMENSIONES MINIMAS DE LAS PIEZAS			CARGA ADMISIBLE			
	ANCHO	ESPEJOR PIEZAS		Pcp,adm	Pcn,adm	Pcp,adm	Pcn,adm
EXTERIOR	(mm)	LATERALES	CENTRAL	GRUPOS ES6 a ES5		GRUPOS ES4 a ES2	
		(mm)	(mm)	(newtons)		(newtons)	
<b>66,5</b>	90	20	32	6 100	2 300	10 600	3 700
		20	45	6 550	2 750	11 400	4 450
		32	70	8 000	3 700	13 900	6 000
		>45	> 90	9 850	3 700	<b>15 550</b>	6 000
<b>108,5</b>	140	32	45	12 400	-	19 200	-
		32	70	19 100	7 100	29 100	10 200
		> 45	> 90	20 500	8 950	31 550	13 100

**Tabla 7.8. Espaciamientos Mínimos a los Bordos Medidos desde el Centro, en la Dirección de la Fibra.**

DIAMETRO EXTERIOR de (mm)	EN DIRECCION PARALELA A LA FIBRA (mm)		EN DIRECCION NORMAL A LA FIBRA (mm)	ENTRE CONECTORES VECINOS (mm)
	AL BORDE CARGADO	AL BORDE DESCARGADO		
66,5	70	$65 + \alpha/18$	45	90
108,5	90	$85 + \alpha/18$	70	130

$\alpha$  = ángulo formado por las direcciones de la fuerza y la fibra , en grados sexagesimales.

## 8. MADERA LAMINADA.

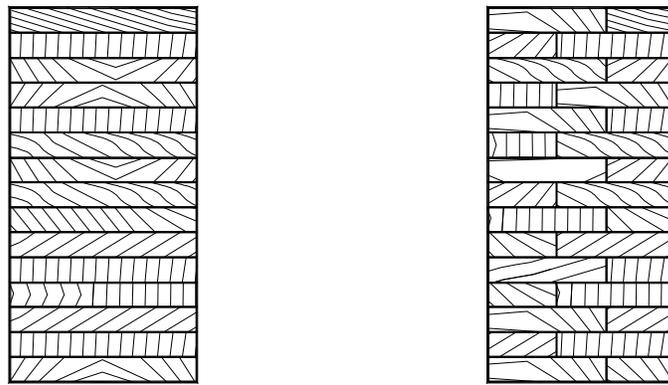
### 8.1. Generalidades

#### 8.1.1. Definición y Tipos de Laminados.

Madera laminada es la unión de Tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo y que funciona como una sola unidad estructural.

Dependiendo del elemento de unión, se tendrá diferentes tipos de madera laminada. Si el elemento de unión es clavo, será madera laminada clavada; si es perno, será madera laminada apernada y si es por medio de cola adhesivo, ésta se denominará madera laminada encolada, la cual es más conocida sólo como “madera laminada” y es a la que nos referiremos.

Los elementos de madera laminada están formados por un determinado número de láminas, ubicadas paralelamente al eje del elemento. A su vez, las láminas están compuestas por una o más Tablas de maderas unidas por su canto, cuya fibra es paralela al largo de la pieza. Por razones de secado y economía fundamentalmente, se ha llegado a la conclusión que el espesor de las láminas no debe ser inferior a 19 mm, ni sobrepasar los 50 mm. Ver figura 8.1.

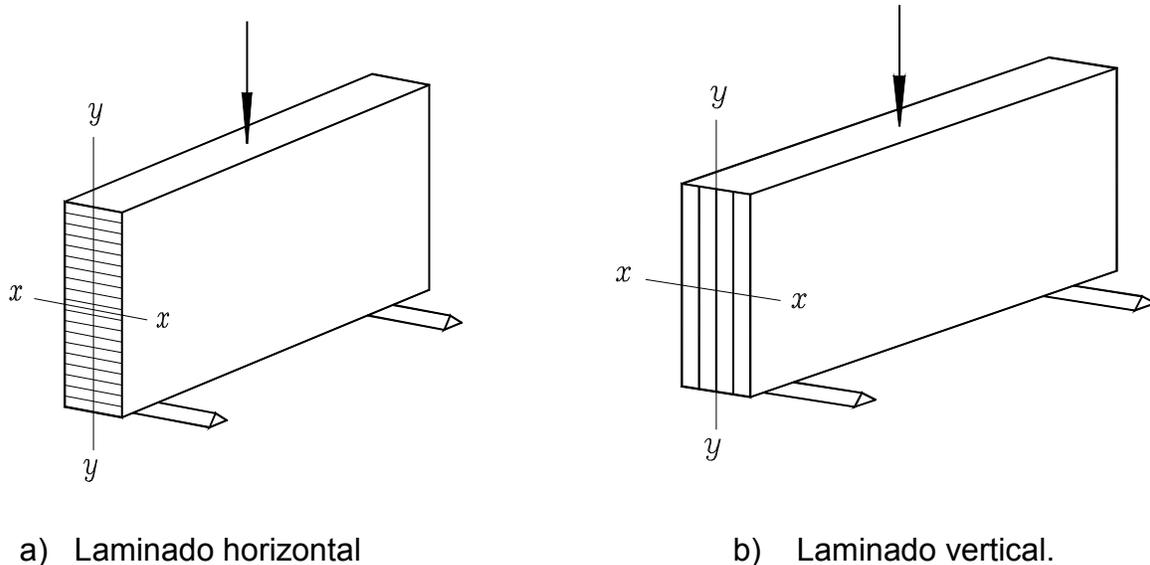


a ) El ancho de la lámina está formado por una Tabla.

b ) El ancho de la lámina está formado por dos Tablas.

**Figura 8.1. Conformación de la sección transversal de una viga laminada encolada.**

Si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento, se dice que la laminación es “horizontal” y, cuando éstas son normales al plano neutro de flexión, se dice que la laminación es “vertical”. De esta forma, se distinguen dos tipos de laminación: laminación horizontal y laminación vertical. Ver figura 8.2.



**Figura 8.2 Tipos de laminados en vigas rectas.**

### 8.1.2. Reseña Histórica.

En el mundo, la técnica de laminar ha sido utilizada durante muchos años en la fabricación de muebles, artículos deportivos y otros productos. Sin embargo, su aplicación en estructuras data de 1909, año en que fue erigida la primera, por el señor Hetzer en Suiza. Actualmente, las estructuras de madera laminada constituyen un importante elemento de construcción, especialmente para edificios de gran luz, apto para una extensa gama de aplicaciones, ya que permite la creación de estructuras estéticamente agradables y de grandes posibilidades de diseño arquitectónico y buena construcción.

La historia de la madera laminada está íntimamente ligada con el avance de la técnica, en lo que adhesivos se refiere. La caseína, en su forma actual, fue introducido alrededor del año 1900, aportando muy poco para esta nueva industria. Posteriormente, en 1912, fue introducido el fenol – formaldehído, produciéndose un gran auge en este tipo de estructuras usadas en forma intensiva hasta la II Guerra Mundial, época en que apareció el resorcinol – formaldehído (1943).

En Chile, en el año 1964, con el propósito de introducir en el país nuevas aplicaciones para la madera, el Instituto Forestal realizó la primera construcción, científicamente controlada, de una estructura de madera laminada. Para iniciar y desarrollar estos trabajos el Instituto contó con la colaboración de dos consultores de la FAO. Uno de ellos supervisó la fabricación de arcos de madera laminada, dando instrucciones y demostraciones al personal de todas las etapas de construcción y, en la preparación del equipo necesario para la fabricación. El otro asesor FAO tuvo a su cargo los cálculos y especificaciones de dichos arcos. Para lograr los objetos propuestos, se montó la fábrica en los talleres de la Sociedad Agrícola y Forestal Copihue S.A de Talca.



**Foto 8.1 Primera Estructura Laminada fabricada en Chile**

### **8.1.3. Ventajas de la Madera Laminada.**

- ❖ El adhesivo permite el uso de Tablas cortas y angostas que, unidas eficientemente, pueden conformar piezas estructurales de cualquier espesor, largo, ancho y de forma no restringidas.
- ❖ El espesor de las Tablas, menor que 50 mm, permite secarlas fácilmente, al contenido de humedad deseado, antes de usarlas, con menos defectos de secado y, por lo tanto de la estructura misma.
- ❖ El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de baja resistencia con la consiguiente economía, y utilizar madera de mejor calidad sólo en las zonas de mayor sollicitación (mayor esfuerzo unitario). Además, es posible usar combinaciones de distintas especies.

❖ La madera laminada permite diseñar elementos que son prácticos y artísticos, en los cuales la sección transversal puede variar con los esfuerzos a que queda sometido el elemento. El elemento terminado no necesita estar oculto o tener una caja de ubicación, como es el caso de otras construcciones debido a que es estéticamente agradable.

❖ Sus grandes dimensiones en la sección transversal, la hacen más resistentes al fuego. Estas construcciones se queman más lentamente y resisten la penetración de calor. Esto no significa que la madera laminada no sea combustible, el avance de la carbonización es muy lento (0,8 mm/min.).

❖ Los elementos laminados tienen una baja razón peso / resistencia., por lo cual pueden ser levantados y puestos en servicio con un bajo costo, además de necesitar muy poco de la sección transversal para autoportarse.

#### **8.1.4. Desventajas de la Madera Laminada.**

❖ Muy a menudo son muy pesadas respecto al uso que se les da.

❖ Comparadas con la madera sin laminar, son más costosas, especialmente en vigas rectas; en vigas curvas no hay comparación. El factor económico comprende tres rubros: Adhesivo, Mano de Obra y Madera. Lo más caro es la madera, luego está la mano de obra y, por último el adhesivo.

❖ El factor pérdida durante su fabricación es bastante elevado, alrededor de 50%, tanto en madera como en adhesivo, debido a las uniones de extremos, terminaciones y consideraciones de diseño.

❖ El adhesivo debe estar condicionado al uso que se le va a dar al elemento. Así, los adhesivos que se requieren para estructuras que van al exterior son de elevado costo. En Chile hay que importarlos.

❖ Se necesita, para su fabricación, de equipos y técnicas especiales. Los equipos son caros. Se debe conocer el proceso de fabricación y contar con mano de obra especializada.

❖ No siempre se pueden producir en obra, lo cual implica un costo adicional para transporte que, a veces, llega a ser elevado, especialmente cuando los elementos son grandes.

❖ Elementos de gran longitud y gran curvatura son difíciles de manipular, embarcar y transportar lo que incide en el costo final del elemento de madera.

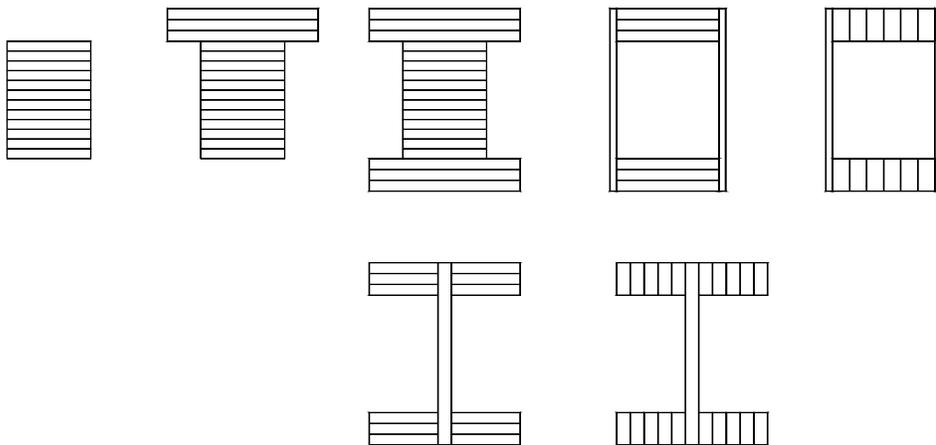
### 8.1.5. Aplicaciones.

Las principales aplicaciones son: vigas rectas, arcos y marcos, aptos para ser aplicados a escuelas, gimnasios, teatros, iglesias, galpones, etc.

#### a) Vigas Rectas.

La viga recta de sección transversal uniforme de madera laminada es la más barata de producir, independiente de la forma de la sección transversal, sea esta rectangular, te, doble t, cajón (ver figura 8.3), como asimismo los pilares laminados de sección constante.

Con vigas rectas de sección constante es posible llegar hasta 30 m de luz.



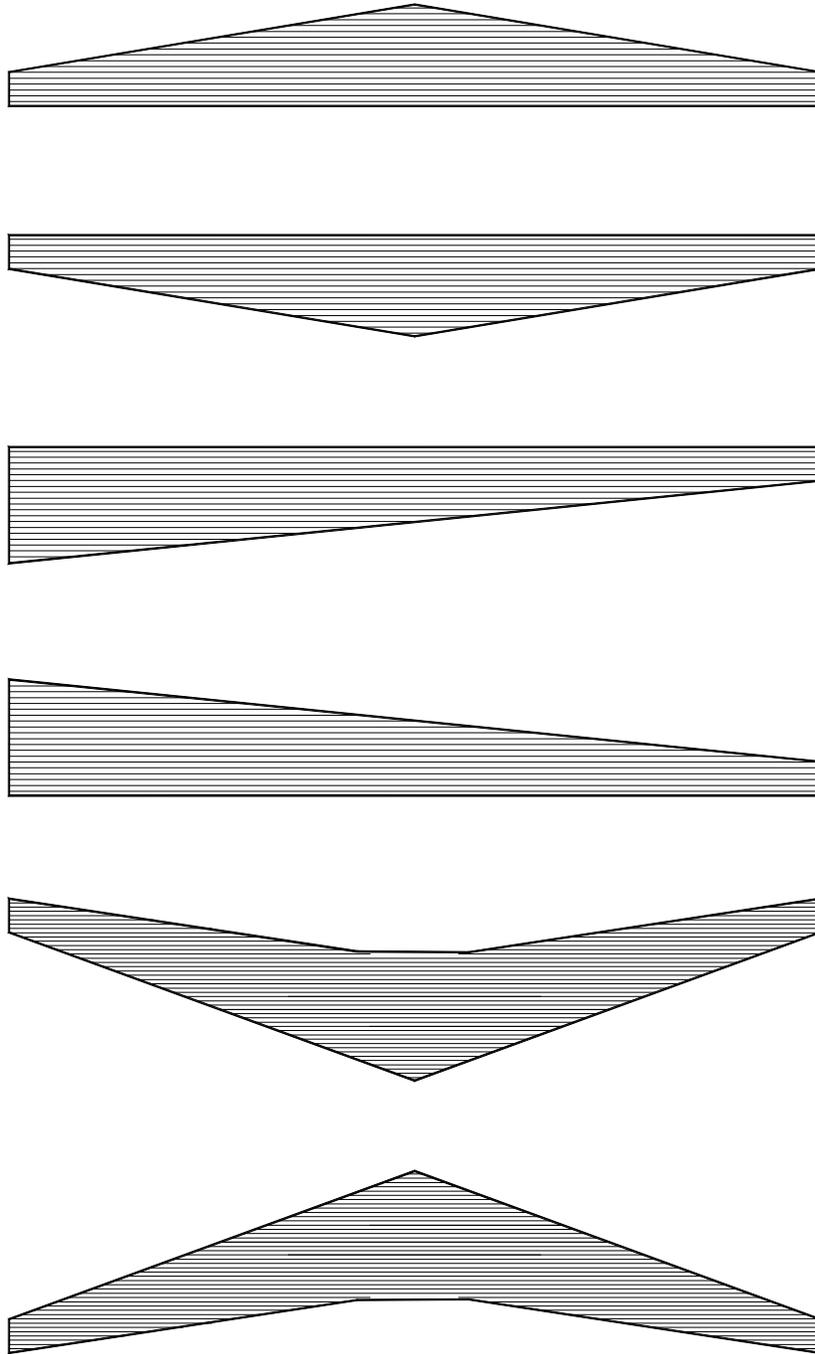
**FIGURA 8.3 Secciones transversales de vigas rectas de madera laminada.**

Las vigas de sección transversal variable, son de aspecto agradable, desde el punto de vista arquitectónico y prácticas, desde el punto de vista estructural, ya que la sección transversal se puede hacer variar, de acuerdo a los esfuerzos a que estará sometida la viga. (Ver figura 8.4).

Como ejemplo se puede citar un puente en Canadá cuyas vigas principales son de madera laminada, con una luz de 18 metros y una sección de 300\*1250 mm.



**Foto 8.2 Viga Recta de Madera Laminada trabajando como Pasarela en Valparaíso.**



**FIGURA 8.4 Vigas de madera laminada.**

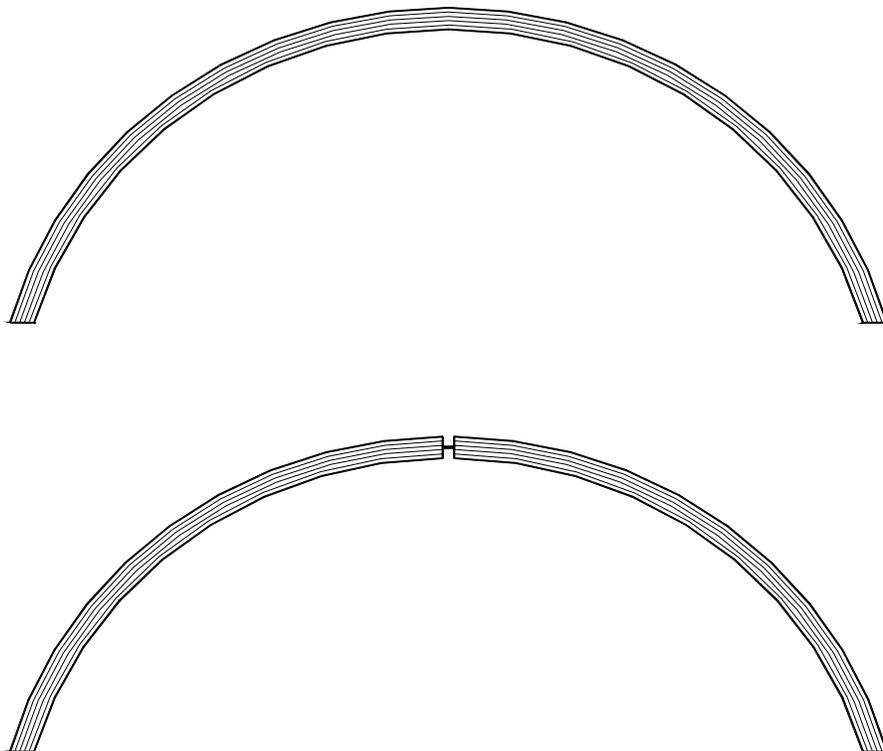
**b) Arcos.**

La gran ventaja que ofrece el encolado para este tipo de estructuras, es que hace posible la construcción de arcos muy eficientes, partiendo de láminas delgadas. Estas no tienen competencia en cuanto a esbeltez, belleza y luz.

Resultan elementos esbeltos, ya que su forma asemeja mucho al diagrama de momentos flector.

Tomando en cuenta la dificultad de transporte y la luz del arco, ellos se diseñan en una, dos, tres o más partes. De acuerdo a esto, los de una unidad se denominan bi-articulados; los de dos unidades, triarticulados; los de 3 ó 4 partes, reciben el nombre de arcos de 3 ó 4 secciones, respectivamente. Las uniones entre unidades se hacen por medio de planchas metálicas (Ver figura 8.5).

En Estados Unidos se han construido edificios con arcos de madera laminada, que cubren más de 100 m de luz.



**FIGURA 8.5 Arcos de madera laminada**



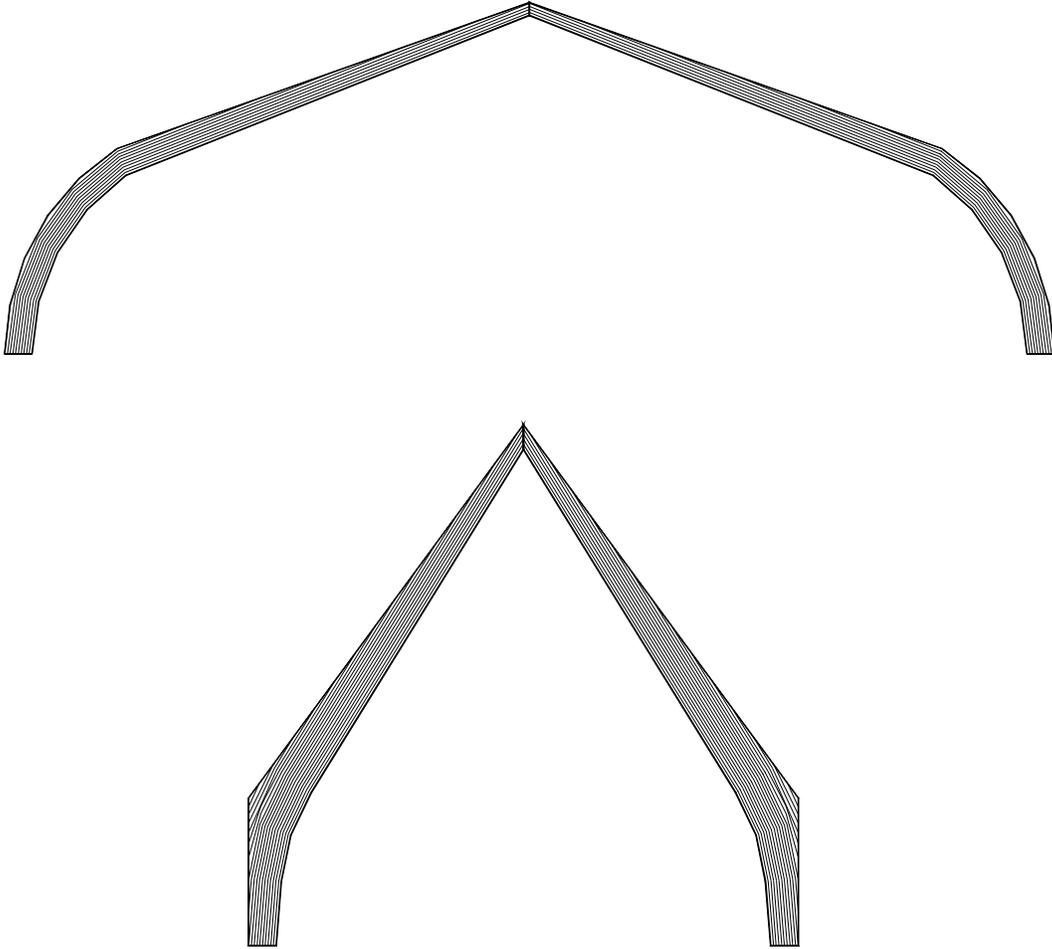
**Foto 8.3 Pasarela sostenida por un Arco**

**c) Marcos.**

Los más frecuentes son los marcos – tri – articulados, constituyendo una aplicación muy atractiva de la madera laminada, desde el punto de vista arquitectónico. Es, por supuesto, corrientemente más caro que un arco, debido a que el marco rígido tiene que tomar mayores esfuerzos de flexión, esfuerzos que son comparativamente pequeños en los arcos.

Debido a razones arquitectónicas, es muy probable que el marco tri – articulado mantenga siempre su popularidad. En los países anglosajones, este tipo de marco tri – articulado es usado para iglesias y es llamado, corrientemente, marco Tudor. En este último caso, debe darse importancia al peligro de pandeo lateral cuando se diseñe la estructura. (Ver figura 8.6).

Con este tipo de estructura es posible alcanzar hasta los 60 m de luz.



**FIGURA 8.6 Marcos de madera laminada.**



**Foto 8.4 Estructura Tipo Marco**

### **8.1.6. Componentes de la Madera Laminada.**

#### **a) Madera**

En general, cualquier especie maderera es susceptible de ser usada en madera laminada. Las características principales que se deben considerar son: Su resistencia, su apariencia estética, facilidad para secar, costo, disponibilidad, etc. La elección dependerá, finalmente, de las exigencias que se requerirán en servicio.

Las especies madereras más usadas en la fabricación de madera laminada, son las coníferas. Algunas latifoliadas se han empleado en madera laminada, seleccionadas por su valor estético, durabilidad o por su resistencia, sólo en grado limitado, por lo cual no es posible garantizar su adaptabilidad para propósitos estructurales, o sus características para ser encoladas.

La razón del mayor uso de las coníferas es la abundancia de estas especies en casi todos los países desarrollados del mundo. En nuestro país se usa el Pino radiata, atendiendo a su mayor producción como madera aserrada y considerando su bajo costo.

Además, en las estructuras de madera laminada que se han fabricado en nuestro país, se ha empleado esta especie, dando buenos resultados a través de los años.

#### **b) Adhesivos. Clasificación de los adhesivos.**

Los adhesivos para madera se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea atendiendo a sus características o a la naturaleza de su componente principal.

En cuanto al primer aspecto, se debe indicar que en las normas norteamericanas ASTM aparece una clasificación importante basada en la temperatura de fraguado. Por su parte, las normas británicas BS dan una clasificación basada en la durabilidad del adhesivo medida según métodos de ensayo normalizados.

##### **❖ Clasificación basada en la temperatura de fraguado (ASTM)**

Según esta clasificación los adhesivos se dividen en:

- ❖ Adhesivos de fraguado en frío (temperatura de fraguado inferior a 20°)
- ❖ Adhesivos de fraguado a temperatura ambiente (20° C a 30° C).
- ❖ Adhesivos de fraguado a temperatura intermedia (31° C a 99° C).
- ❖ Adhesivos de fraguado en caliente (mayor de 100° C).

❖ **Clasificación basada en la durabilidad (BS).**

Según esta clasificación se establecen los siguientes tipos de adhesivos:

❖ **Clase WBP: A prueba de intemperie y agua hirviendo.**

A esta clase pertenecen aquellos adhesivos que, a través de ensayos sistemáticos, han demostrado ser altamente resistentes a la intemperie, micro – organismos, agua fría e hirviendo, vapor y calor seco. Tales colas son más durables que la madera misma. Ejemplo: Adhesivos a base de fenol – formaldehído y resorcinol –formaldehído.

❖ **Clase BP : Resistentes al agua hirviendo**

Los adhesivos de esta clase tienen buena resistencia a la intemperie y al agua hirviendo pero fallan bajo prolongadas condiciones de completa exposición a la intemperie, para las cuales los adhesivos WBP son satisfactorios. Soportan el agua fría durante mucho tiempo y son altamente resistentes al ataque de microorganismos. Ejemplo: Adhesivos a base de melamina - formaldehído y algunas variedades de adhesivos a base de urea – formaldehído.

❖ **Clase MR: Resistentes a la humedad (agua) y moderadamente resistentes a la intemperie.**

A este grupo pertenecen aquellos adhesivos que soportan la exposición completa a la intemperie durante unos pocos años, el agua fría durante un largo periodo y el agua caliente durante un tiempo limitado, pero fallan al ser sometidos a la acción del agua hirviendo. Los adhesivos MR son altamente resistentes al ataque de micro – organismos. Ejemplo: Las variedades corrientes de adhesivos a base de urea –formaldehído.

❖ **Clase INT : interior.**

Los adhesivos que pertenecen a esta clase son aquellos que soportan la acción del agua fría durante un período limitado de tiempo y no son siempre resistentes al ataque de micro – organismos. Ejemplo : Cola animal, cola caseínica, adhesivo a base de acetato de polivinilo, etc.

❖ **Clasificación basada en la naturaleza del componente principal**

La clasificación que parece ser la más adecuada es aquella que se atiende a la naturaleza del componente principal del adhesivo. Esta clasificación, que ha sido adoptada universalmente, es la siguiente:

#### 8.6.1.1 De base albuminosa.

- a) **Colas de glutinas** : Fabricadas a base de productos de animales que tienen la glutina como componente principal. Ejemplo: Cola de piel extraída de cueros sin curtir, tendones, etc. Cola de cuero extraída de cueros curtidos, cola de huesos previamente desgrasados, etc.
- b) **Cola de albúmina de sangre** : Fabricada a base de la albúmina contenida en la sangre usándose para esto, preferentemente, sangre de vacuno y equino.
- c) **Cola de caseína** : Fabricada con caseína disuelta en un medio alcalino (lechada de cal).
- d) **Cola de soya** : Extraída del poroto de soya y basada en la albúmina vegetal de este producto.
- e) **Cola de gluten** : Extraída de la albúmina del trigo y conocida también por el nombre de cola de Viena.

#### 8.6.1.2 A base de hidratos de carbono.

- a) **Engrudos** : Fabricados de almidón o de productos de imbibición o hinchamiento del almidón.
- b) **Dextrinas** : Fabricada de subproductos de la fermentación del almidón

#### 8.6.1.3. Adhesivos a base de resinas sintéticas.

##### a) A base de resina sintéticas termofraguables.

Urea formaldehído, fenol – formaldehído, resorcinol – formaldehído, melamina – formaldehído.

##### b) A base de resinas sintéticas termoplásticas.

Actualmente la única cola de este tipo es aquella a base de emulsiones de acetato de polivinilo (PVA).

### **c) Combinaciones de adhesivos, extensores y agregados.**

En la actualidad, una tendencia que se ha advertido notoriamente en el perfeccionamiento de los adhesivos, es la de utilizar combinaciones de ellos con el fin de aprovechar las mejores propiedades de cada uno de los componentes. Las primeras aplicaciones de estas combinaciones fueron las colas de urea – melamina formaldehído y fenol – resorcinol - formaldehído, hoy ampliamente usadas en países de gran desarrollo forestal, tales como Estados Unidos e Inglaterra. Actualmente ya se cuenta con combinaciones de adhesivos naturales con adhesivos a base de resina sintética, y adhesivos a base de resinas termoplásticas con adhesivos a base de resinas termofraguables. Los adhesivos combinados no tienen necesariamente las mismas propiedades que sus diversos constituyentes.

Otra práctica corriente es la de “extender” los tipos de adhesivos particulares con un material más barato. Las resinas de urea, por ejemplo, son frecuentemente extendidas con harina de cereales. Es necesario si dejar constancia de la diferencia existente entre los “fillers”, material fabricado especialmente por el fabricante del adhesivo para ser agregados sea durante el proceso de elaboración o en el momento de la preparación para uso, y los extensores que los agrega el consumidor “motu – propio”. La ventaja de los extensores es simplemente el abaratamiento del producto, a cambio de un retardo en el fraguado de la cola y una reducción de la resistencia a la intemperie del adhesivo. Un exceso en la cantidad de extensor (sobre 25% en peso de la cantidad de adhesivo) hace propensa una línea de encolado al ataque de micro – organismos.

Como medio de proteger las colas del ataque de micro – organismos, se agregan a la mezcla materias tóxicas, lográndose con esto, resultados parcialmente buenos. Los consumidores de adhesivos deberán juzgar las limitaciones de lo que puede hacerse en este sentido. De acuerdo con la experiencia actual, el agregar sustancias tóxicas a las colas de caseína, animal y de albúmina de sangre, no las hace tan inmune como son los adhesivos a base de resinas sintéticas y si el ataque es severo, los adhesivos fallarán. En la práctica, cuando el ataque de micro – organismos es moderado o de corta duración, los tóxicos proporcionan una protección real valiosa. Otras sustancias que se agregan a los adhesivos son pigmentos colorantes o tiza, con el fin de dejar una coloración adecuada a la línea de encolado.

**d) Los adhesivos y la responsabilidad de los consumidores.**

Aunque la reputación general de las colas, como un agente de unión en la madera, es extremadamente satisfactoria, se han registrado diversos casos de fallas. Una parte de estos se pueden atribuir, sin duda alguna, a colas defectuosas, vale decir, a la baja calidad y a la dosificación incorrecta de las materias primas componentes, pero la mayor parte de ellos se deben indudablemente al uso de tipos inadecuados de adhesivos. Como un ejemplo obvio, se puede decir que el encolado de terciados para uso exterior con cola animal, sólo puede llevar a un desastre. Sin embargo, la falta no radica en la cola misma sino en aquellos responsables de su elección para ese objetivo.

Una razón menos obvia de fallas de cola, y que es a menudo difícil de ubicar, es la administración incorrecta del adhesivo por parte del consumidor. La elección de la palabra “consumidor” es internacional, por cuanto las dificultades no sólo se presentan en las operaciones de mezclado, aplicado y prensado. La confección de una unión satisfactoria incluye factores tales como: La selección de un adhesivo adecuado al tipo de madera a unir, la elaboración de la madera y control de su contenido de humedad, la adquisición del equipo apropiado y el acondicionamiento de las uniones después del encolado. Un buen encolado depende, tanto del adhesivo como de la técnica; y consumidor y fabricante deben colaborar a fin de obtener los mejores resultados.

**e) Adhesivos usados en madera laminada.**

Los adhesivos usados en madera laminada son : El resorcinol – formaldehído, fenol – formaldehído, melamina – formaldehído, urea – formaldehído y caseína.

Los adhesivos de resorcinol y de fenol – formaldehído son los más durables e indestructibles. Se recomiendan para estructuras que estarán al exterior o en ambientes de condiciones severas. Por lo general son de color oscuro.

Los adhesivos de melamina y urea son de menor duración, siendo ésta un poco más alta en los de melamina.

Ambos se aplican adecuadamente para servicios de interior, en donde no están sometidos a exposiciones prolongadas de intemperie ni a condiciones de humedad. Se les conoce como del tipo de termo – fraguables, a pesar de que fraguan a la temperatura de ambiente, debido a que no se pueden “refundir” o ablandar con el color, una vez curados”.

Recientes investigaciones han revelado que es posible usar adhesivos a base de caucho natural o sintético en madera laminada encolada. Sin embargo, se deberá esperar hasta que se tengan resultados concretos de su efectividad.

## **8.2 Fabricación de la madera laminada.**

La producción de elementos de madera laminada requiere de una fábrica especialmente organizada para tal propósito. Su diseño y organización puede estar influenciado por el tipo de productos que se fabrica. Por ejemplo : La industria de construcción de barcos tiene un tipo de moldes que es diferente de aquel que usa la fábrica que confecciona elementos estructurales.

Cuando se proyecta una fábrica de madera laminada, se deberá partir de una planificación completa, que permita, posteriormente, aumentar la superficie de trabajo con facilidad, de acuerdo a las necesidades que se presenten. Otro aspecto muy importante y que es necesario cuidar, es el costo del traslado dentro de la fábrica, motivo por el cual la ubicación de maquinaria en los lugares de trabajo, deberá ser utilizada de tal manera que presente facilidades para el transporte interno y externo del elemento que se fabrica. Es posible fabricar madera laminada en espacios reducidos, aunque tiene la desventaja de que los costos resultan elevados y, además se presentan limitaciones en la manufactura de ciertos tipos.

La mayoría de las fábricas se organizan en tres secciones de áreas. Las cuales son:

- **AREA DE PRE – ENCOLADO.**
- **AREA DE ENCOLADO, PRENSADO Y FRAGUADO**
- **AREA DE TERMINACIONES.**

Para cada una de las secciones mencionadas se necesita una superficie más o menos similar. Las dos últimas, deberán ser equipadas con grúas, destinadas a mover piezas pesadas de gran tamaño. Un requerimiento necesario en una fábrica de madera laminada bien organizada, es el control de la temperatura y humedad relativa ambiental, a fin de asegurar que la madera se mantenga, durante la fabricación, a un contenido de humedad adecuado. Una temperatura comprendida entre 16 a 20° C y una humedad relativa entre 55 y 65 % , aseguran que ello sea posible.

Es difícil fijar el exacto tamaño de una fábrica de laminados, pero, como guía razonable, se recomienda que el largo y el ancho de cada una de las tres secciones, no debe ser menor que la longitud del elemento más largo que se pretende fabricar.

### 8.2.1. Area de Pre – Encolado.

❖ **Almacenamiento** : El proceso de fabricación de la madera comienza con el almacenamiento de la madera seca. La fábrica puede contar con sus propios secadores, lo cual sin duda, es más conveniente, ya que se podrá secar la madera a la humedad óptima para cada elemento. En tal caso, el secado se agrega como una actividad más al proceso de fabricación. Lo ideal es que la madera a usar sea secada artificialmente, en la fábrica y sea almacenada de modo que no se produzca un cambio apreciable en su contenido de humedad.

❖ **Clasificación** : La clasificación a realizar en la madera aserrada destinada a madera laminada, es una clasificación estructural (por resistencia) para laminados, incluyendo algunas veces otros defectos propios de la clasificación por aspectos.

La clasificación debe hacerse de acuerdo a las normas o especificaciones que se han establecido con anticipación. Esta se podrá realizar en forma visual, o bien en forma mecánica. Las Tablas deben salir con un timbre, en el cual se registre el grado en el cual ellas se han ubicado.

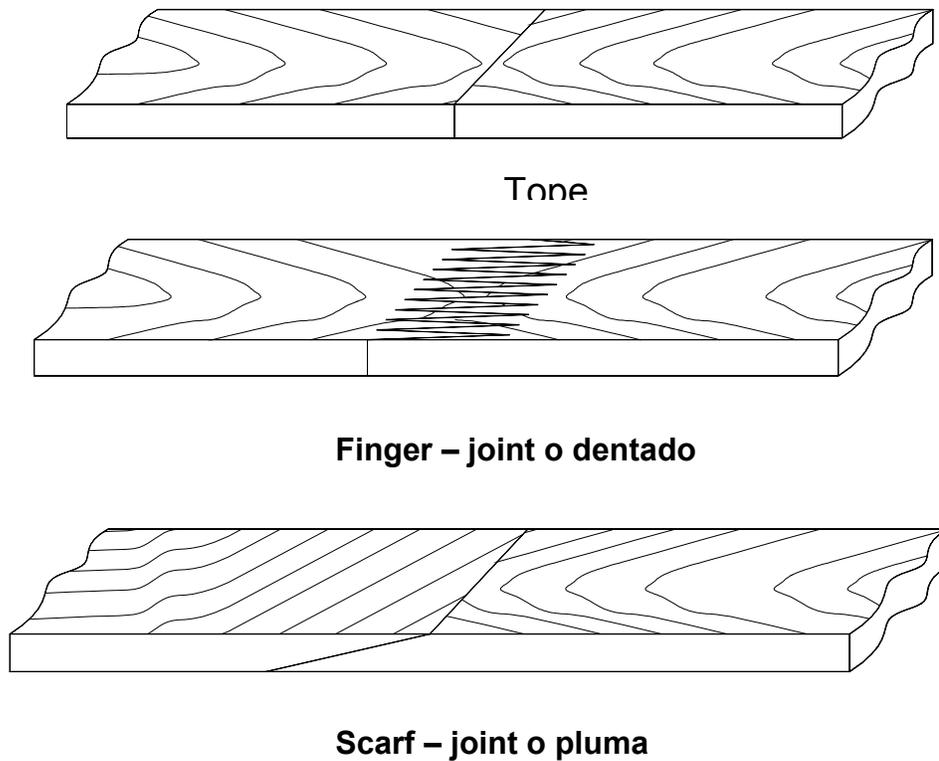
❖ **Determinación del Contenido de Humedad** : El contenido de humedad óptimo es aquel que produce la unión encolada más resistente y que al ser incrementado por el agua del adhesivo, se acerque lo más posible al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el elemento laminado, cuando esté en servicio.

En todo caso, el contenido de humedad de la madera destinada a madera laminada no debe ser superior al 16% en el momento del encolado.

Además, entre láminas adyacentes no debe existir una diferencia de humedad superior a 3% y, entre la lámina más húmeda de una sección transversal y la más seca, tal diferencia no debe sobrepasar del valor 5%.

Si las Tablas con las cuales se construirán las láminas tienen diferentes contenidos de humedad, debe procederse a la homogenización de ellas. De otra forma, se producirá un juego en la madera que redundaría en la delaminación de las líneas de encolado. El control del contenido de humedad se efectúa con un xilohigrómetro y se debe realizar a cada Tabla.

❖ **Uniones de extremos** : Estas uniones se realizan para lograr elementos cuya longitud sea superior al largo que es posible obtener en la madera comercial. Pueden ser de tope, biseladas y empalmes endentados (finger – joints y hooked scart – joints). Ver figura 8.7. El tipo de unión más usado en madera laminada es la unión endentada, dada la calidad de la unión que se obtiene. Cualquiera sea el tipo de unión de extremos que se confeccione, debe ser hecho con precisión, correctamente alineada y fraguada con eficiencia. Cuando se haga necesario obtener piezas de anchos mayores que los usuales, es decir, cuando el ancho de la madera comercial sea inferior al ancho de la estructura requerida, se deben realizar uniones de canto. Estas uniones pueden ser de tope machihembrados.

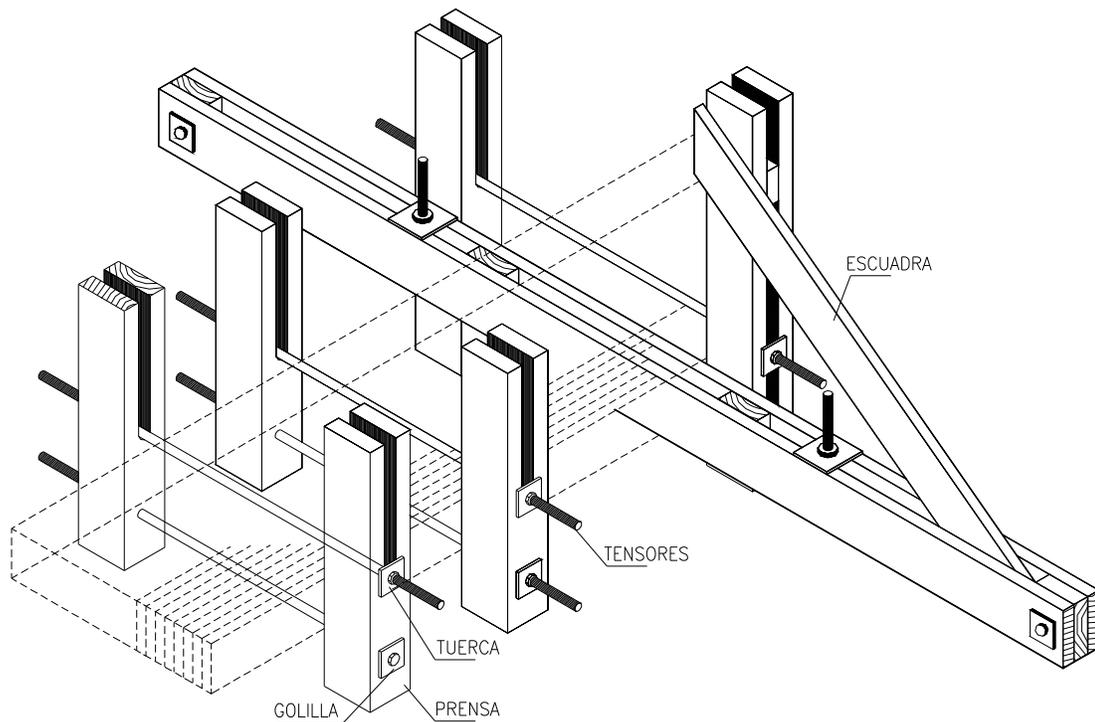


**FIGURA 8.7 Tipos De Uniones De Extremo**

- ❖ **Elaboración de las láminas :** Una de las actividades de esta etapa es el establecimiento de un espesor constante de las láminas. La madera que se usa para la fabricación de elementos laminados, generalmente se restringe a 50 mm de espesor. La razón de esta limitación es la dificultad y costo del secado de Tablas mas gruesas que 50 mm, a la humedad requerida para el laminado. Posteriormente, es necesario preparar las superficies de las láminas para el encolado, para lo cual se requiere cepillarlas. Se ha demostrado que un buen cepillado, realizado 24 horas antes del encolado, produce líneas de encolado de buena calidad y resistencia.
- ❖ **Ensamble en seco :** En general consiste en ubicar las láminas como mejor cumplan con las especificaciones y exigencias que se le imponen al elemento que se pretende fabricar, colocándolas tal como van a quedar, pero sin adhesivo. El ensamble en seco se debe realizar de modo que la última lámina a colocar debe ser la primera que se pase por la encoladora. El realizar esta operación, hace que el encolado sea más rápido.

### 8.2.2. Area de Encolado, Prensado y Fraguado.

❖ **Preparación de moldes y prensas :** El tipo de molde y prensas a usar debe ser tal, que el elemento laminado a fabricar resulte de la forma deseada. La forma y método de prensado depende del tipo de producción, del espacio útil disponible en la fábrica del rendimiento o producción que se espera obtener. El sistema de molde y prensas está constituido, en su forma más simple, por un determinado número de escuadras que también se usan como prensas y están firmemente fijada al piso dando forma al elemento laminado. Las láminas encolada por su cara se colocan sobre ellas se presan hasta que la línea de encolado haya fraguado. Ver figura 8.8.



**Figura 8.8 Escuadras y prensas de madera**

Los moldes y prensas pueden construirse tanto de acero como de madera. Ambos materiales resultan igualmente eficientes. En el proceso mismo de fabricación, se deben dejar los bloques, tensores, tuercas, golillas, etc, conveniente dispuestos, de tal forma que éstos sean puestos lo más rápidamente posible, una vez que se haya colocado la ultima lámina del elemento que se está fabricando.

Los elementos de madera requieren reemplazos más frecuentes y debe cuidarse durante el proceso de prensado, que el adhesivo que escurre de las uniones no se adhiera a ellos. Los moldes de acero se construyen con perfiles C. Las prensas de madera consiste en bloques de madera dura, con orificios de 25 mm de diámetro, apernadas y convenientemente empotradas. El prensado se

obtiene con tensores unidos a los bloques cuyo diámetro es, por lo general, 25 mm pudiendo ser menor, lo cual dependerá de las dimensiones del elemento a encolar. En un extremo de los tensores va una tuerca soldada y en el otro, una tuerca con golilla cuadrada.

Es conveniente preparar una plantilla de elemento a fabricar, con su forma final, en un material que no se desforme. Si el elemento debe llevar perforaciones para uniones, ellas también deben ir en las plantillas. La plantilla se usa para ubicar el molde y las respectivas prensas en la posición deseada. Es usual el empleo de una plantilla repartidora de presión, que se ubica entre las prensas y la primera lámina del elemento que se fabrica por, lo que el espesor de este elemento debe de tenerse en cuenta para la ubicación de las prensas. Las placas deben ser de un espesor tal que den una presión uniforme y no aplasten la pieza. A veces se ponen placas en ambos lados. Si se fabrican elementos curvos, las prensas se ubicarán por el interior, de modo que sostengan las láminas de menor espesor. En la práctica, se ha demostrado que en un elemento con un determinado número de láminas delgadas, se obtiene una menor alteración de la forma, en comparación con un número de láminas más gruesas. Los moldes deben estar firmemente asegurados al piso. Cualquiera sea el método que se utilice, debe asegurarse que, durante las operaciones de prensado y de curado, no exista alteración de la forma del elemento laminado que se fabrica, hasta que el adhesivo haya fraguado.

El espaciado entre prensas depende del tamaño y naturaleza del equipo. Cuando se usan bloques de prensado, placas repartidoras y tensores, es normal espaciar las escuadras a intervalos de 60 cm y ubicar cada bloque de prensado entre dos escuadras, aunque es mejor establecer un intervalo definitivo entre las prensas y que no sea mayor de 22 cm para elementos rectos.

❖ **Preparación del adhesivo** : El adhesivo especificado debe mezclarse correctamente, siguiendo las instrucciones del fabricante. La mezcla del adhesivo debe hacerse con la suficiente anticipación, de modo que, al iniciar el proceso de laminación, el adhesivo ya esté apto para su uso. El realizar esta operación hace que el encolado sea más rápido.

❖ **Esparcido** : Existen diferentes métodos para realizar el esparcido del adhesivo: brocha, rodillo manuales, pistola o esparcidores mecánicos. Se entiende por esparcido a la cantidad de adhesivo colocado en una unidad de superficie, expresándola en  $g/m^2$ . Generalmente varía entre 250 a 450  $gr/m^2$  Para cada tipo de adhesivo, existe un esparcido óptimo con el cual se obtiene el mayor rendimiento y resistencia. Existen dos tipos de esparcido: simple y doble. En el esparcido simple, se encola una cara de la unión y, en el esparcido doble, se encolan ambas caras. Para determinar la cantidad de adhesivo que aplica un esparcidor mecánico, se debe usar una Tabla de espesor igual de las láminas a encolar. Se mide su área y se pesa antes de encolar. Después de aplicar el adhesivo en ambas caras, se vuelve a pesar, deduciendo de ambas pesadas la cantidad de adhesivo aplicado. Dividiendo este valor por el área se tendrá el

esparcido doble. Esto se puede hacer repetidamente, hasta ajustar el esparcidor mecánico al valor requerido. Se debe tener particular cuidado al sacar las láminas del esparcidor y colocarlas en los moldes, pues un trato descuidado puede romperlas, lo cual implica un retraso en el resto de la operación, pudiendo provocar a la vez, el fraguado del adhesivo esparcido.

❖ **Prensado** : Una vez encoladas, las láminas deben ser colocadas en las prensas. Al aplicar la presión, con pernos y tuercas, un operador debe fijar la tuerca móvil, con una llave de torque u otro elemento adecuado. Cuando la presión es aplicada con métodos neumáticos, sólo bastará fijar la presión en un manómetro que esté en buenas condiciones.

La presión recomendable debe ser tal que provoque un escurrimiento parejo del adhesivo, a lo largo de toda la línea de encolado. Es recomendable, para las coníferas, una presión comprendida entre 5 y 7 kg/cm<sup>2</sup> y para las latifoliadas: entre 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>.

❖ **Reapriete** : Después de 10 a 15 minutos de haber aplicado la presión, es necesario comprobar que no ha existido una pérdida de la presión aplicada, la cual puede ser causada, entre otras razones, por el escurrimiento del adhesivo, debido a la presión aplicada. Si esto ha sucedido, se deberá proceder a un reapriete. Los tiempos entre reaprietes serán cada vez mayores y dependen de la calidad de los materiales que componen el elemento.

❖ **Tiempo de prensado** : Es esencial que el elemento laminado ensamblado permanezca en los moldes, sometido a presión, bajo la temperatura ambiental y humedad relativa requerida, por un período de tiempo tal, que asegure una resistencia suficiente de la línea de encolado. Sólo una vez que exista la certeza de que esto haya ocurrido, se procederá desmoldar la pieza. El tiempo prensado dependerá de la temperatura de fraguado de las líneas de encolado, del tipo de adhesivo usado y del catalizador.

Es común que el período de prensado sea aplicado durante la noche, a fin de aprovechar la jornada diaria. Los tiempos de prensado para los diferentes adhesivos son recomendados por los fabricantes. Aún cuando muchos adhesivos producen excelentes líneas de encolado cuando fraguan a temperaturas ambientales, el período de prensado puede ser ampliamente reducido si se aplica calor a las diferentes líneas de encolado. Para tal efecto la temperatura se debe controlar, con instrumental, a fin de impedir que la madera se seque, se contraiga y produzca una línea de encolado pobre.

❖ **Maduración** : Una vez que el elemento se ha removido de la prensa, él debe quedar inmóvil por un período determinado, antes que se proceda a su procesamiento final. Este período se denomina “tiempo de maduración”. La resistencia total no se logra durante el período de prensado. Durante él y hasta la extracción de las prensas, el adhesivo sólo ha fraguado pero, se necesita un período de tiempo para desarrollar totalmente la resistencia de la unión, por lo

cual es conveniente dejarlo un tiempo en reposo, a una temperatura adecuada. El tiempo de maduración dependerá del tipo de adhesivo, de la temperatura ambiental donde se ha almacenado el elemento y puede tener una duración comprendida entre una a dos semanas.

### 8.2.3. Area de Terminaciones.

❖ **Elaboración** : Consiste en un despunte, canteado, cepillado y pulido del elemento laminado cuando él tiene ya sus líneas de encolado fraguadas. Se procede a limpiar el adhesivo que ha escurrido a causa del prensado, se corta al largo requerido (despunte), se cepilla a las dimensiones especificadas, se efectúan las perforaciones para las uniones (cuando son ejecutadas en fábrica) y se pulen las superficies. Es posible efectuar el recorte y el cepillado del elemento con equipos portátiles. Estos emplean más tiempo y no realizan un trabajo tan seguro ni tan preciso, pero, a veces, es la única alternativa para proceder con la elaboración de elementos laminados de grandes dimensiones. Una combinación de ambos sistemas es ventajosa, pues con el equipo portátil se remueve el adhesivo que ha escurrido, antes de colocar el elemento en la cepilladora fija.

❖ **Dimensiones y Tolerancias** : Las dimensiones y forma de la madera laminada se deben acordar entre usuario y productor, antes del proceso de fabricación.

#### i) Tolerancias

Las tolerancias que establece la norma NCh 2148 en el producto terminado son:

<b>Ancho</b>	: $\pm 2$ mm
<b>Altura</b>	: + 1%
	- 0,5%, con un máximo de 3 mm
<b>Longitud</b>	: si $L \leq 6$ m: $\pm 2$ mm
	si $L > 6$ m : $\pm 0,03$ %

#### ii) Curvatura y Rectitud.

En este caso la tolerancia es aplicable al final del proceso de fabricación, sin tomar en cuenta la deformación por peso propio.

La tolerancia para una longitud (L) en metros es :

<b>Si : <math>L \leq 6</math> m</b>	: $\pm 6$ mm
<b><math>L &gt; 6</math> m</b>	: $\pm [ 6 + 0,5 * (L - 6) ]$ mm,
	con un máximo de 20 mm.

Las tolerancias se aplican a elementos rectos o ligeramente curvados. No son aplicables a elementos curvos tales como arcos.

### iii) Ortogonalidad de la sección transversal.

La Ortogonalidad se determina ajustando un lado de una escuadra sobre la cara inferior o superior del elemento laminado y midiendo la desviación de la cara vertical respecto a la escuadra.

La tolerancia admisible es :

$\pm 1$  % de la altura especificada, a menos que se estipule una sección transversal con forma especial.

❖ **Clasificación :** Esta operación consiste en una clasificación por aspecto del elemento laminado terminado. La clasificación por aspecto se circunscribe a las superficies o caras del elemento laminado e involucra las operaciones de elaboración que se realizan en ellas no así a los elementos propios de la laminación, pinturas, barnices u otros recubrimientos protectores. La norma NCh 2148 especifica las clases definidas para una clasificación por aspecto de elementos laminados estructurales, las cuales son las siguientes :

I. **Arquitectónica:** Cada elemento de esta clase debe presentar sus cuatro caras cepilladas y lijadas. Los huecos que aparecen en las caras deben ser rellenados. Los parches se fabrican con igual color, colocándose con sus fibras paralelas a las del elemento laminado. Las láminas externas deben estar libres de nudos sueltos y de agujeros y ser elegidas con cuidado de modo que coincidan en color y dirección de la fibra en las uniones de extremos.

Esta clase es recomendada para usos en los cuales el aspecto es de primera importancia. Los elementos arquitectónicos son aptos para pulirlos y barnizarlos.

II. **Comercial:** Cada elemento debe presentar sus caras cepilladas. Los daños y manchas en las superficies no necesitan ser mejorados. Las láminas exteriores deben estar libres de nudos sueltos y de agujeros. Se recomienda esta clase de usos en los cuales el elemento queda a la vista, pero donde el aspecto no es importante. No se recomienda pulir o barnizar las superficies. Una terminación aceptable es con pintura, la que no debe ser aplicada antes que el elemento sea inspeccionado por calidad.

III. **Industrial :** El elemento de esta clase se usa tal como sale de prensa. Los daños y manchas en las caras no necesitan ser mejorados. Se recomienda esta clase en usos en los cuales el elemento queda oculto, o donde el aspecto no tiene importancia.

❖ **Protección y Preservación** : Los elementos laminados deben ser adecuadamente recubiertos con líquido a prueba de agua (pinturas y barnices), a fin de impedir que la humedad alcance las líneas de encolado de adhesivos para interiores. De esta forma se evita que la madera absorba agua. Esta protección debe hacerse cualquiera sea el adhesivo o especie maderera usada.

Con el fin de darle mayor vida útil a la madera laminada, se deberá proteger, especialmente, contra la pudrición, ataques de micro – organismos e insectos y contra la acción del fuego.

❖ **Inspección y Ensayos** : El control del proceso de fabricación de elementos laminados estructurales tienen como finalidad asegurar que ellos cumplan con los requerimientos de la norma NCh 2148. Los procedimientos de inspección y ensayos que se deben realizar, para lograr tal objetivo, son:

a) **Por parte del fabricante:**

**Control diario de la producción, incluyendo :**

Comprobaciones en la línea de producción, las que se deben orientar hacia aquellas variables que pueden afectar la calidad del producto.

b). **Por parte de una Entidad de Certificación** : Será la encargada de emitir los certificados solicitados por usuarios o fabricantes de elementos laminados estructurales, de un determinado número de productos (lotes o partidas) de características previamente definidas. El procedimiento es el siguiente :

➤ **Toma de Muestras** : El número de ensayos se incluye en la Tabla 8.2.

➤ **Verificación de la Calidad** : De acuerdo a los ensayos especificados en la norma NCh 2148. y que se resumen en la Tabla 8.2.

➤ **Otorgamiento del certificado de conformidad** : Válido sólo para el conjunto de unidades inspeccionadas. cada una de ellas, se debe colocar un distintivo de la Entidad de Certificación, que acredite esta inspección.

**Tabla 8.1 Resumen De Los Ensayos Físicos Para El Control Diario De La Producción**

ENSAYOS A REALIZAR	NUMERO DE MUESTRAS POR DIA	NUMERO MINIMO DE PROBETAS POR MUESTRA	IDENTIFICACION DEL ENSAYO EN EL ANEXO A DE LA NCh 2148	REQUISITOS	
				PARA	EN NCh 2148
En uniones de láminas y/o canto 2)	1	6 <sup>1)</sup>	A.1 " Ensayo de cizalle a través del adhesivo " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia</li> <li>➤ Falla de madera</li> </ul>	A.1.8.1
En uniones de láminas y/o cantos con adhesivo de uso exterior	1	1	A.2 " Ensayo de ciclo de delaminación " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Delaminación</li> </ul>	A.2.8
U N I O N E S D E E X T R E M O S	1 por cada 200 uniones de extremos con un mínimo de 2 muestras.	10	A.3 " Ensayo de flexión para uniones de extremos " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia</li> <li>➤ Falla de madera</li> </ul>	A.3.8.1 y A.5
			A.4 " Ensayo de tracción para uniones de extremos " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia</li> <li>➤ Falla de madera</li> </ul>	A.4.8.1 y A.5
E X T R E M O S	1	6	A.3 " Ensayo de flexión para uniones de extremos " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia</li> <li>➤ Falla de madera</li> </ul>	A.3.8.1 y A.5
			A.4 " Ensayo de tracción para uniones de extremos " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia</li> <li>➤ Falla de madera</li> </ul>	A.4.8.1 y A.5
En uniones de extremos con adhesivos de uso exterior.	1	1	A.2 " Ensayo de ciclo de delaminación " .	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Delaminación</li> </ul>	A.2.8

1 ) Ver Tabla 8.3

2 ) Cuando la unión de canto sea un requerimiento estructural.

3 ) Siempre que durante el día no se fabriquen uniones de extremos a ubicar en el 10 % exterior de zonas traccionadas.

**TABLA 8.2 Resumen de los Ensayos Necesarios para la Verificación de la Calidad por Parte de la Entidad de Certificación.**

ENSAYOS A REALIZAR	NUMERO DE MUESTRAS	NUMERO MINIMO DE PROBETAS	IDENTIFICACION DEL ENSAYO EN EL ANEXO A DE LA NCh 2148	REQUISITOS	
				PARA	EN NCh 2148
En uniones de láminas y/o canto 2)	3	18 <sup>1)</sup>	A.1 " Ensayo de cizalle a través del adhesivo " .	- Resistencia - Falla de madera	A.1.8.1
En uniones de láminas y/o cantos con adhesivo de uso exterior	2	5	A.2 " Ensayo de ciclo de delaminación " .	- Delaminación	A.2.8
U N I O N E S D E	40	25	A.3 " Ensayo de flexión para uniones de extremos " .	- Resistencia - Falla de madera	A.3.8.1 y A.5
		15	A.4 " Ensayo de tracción para uniones de extremos " .	- Resistencia - Falla de madera	A.4.8.1 y A.5
E X T R E M O S	25	15	A.3 " Ensayo de flexión para uniones de extremos " .	- Resistencia - Falla de madera	A.3.8.1 y A.5
		10	A.4 " Ensayo de tracción para uniones de extremos " .	- Resistencia - Falla de madera	A.4.8.1 y A.5
En uniones de extremos con adhesivos de uso exterior.	30	30	A.2 " Ensayo de ciclo de delaminación " .	- Delaminación	A.2.8
Inspección visual.	Según lo establecido en 9 . 1 . 2 . )				

1 ) Ver Tabla 8.3

2 ) Cuando la unión de canto sea un requerimiento estructural.

**TABLA 8.3 Número de Probetas a Ensayos.**

<b>Número de líneas de encolado del elemento</b>	<b>Número de líneas de encolado a ensayar</b>
Igual o menor que 6	Las dos líneas de encolado exteriores y una línea de encolado central
Sobre 6	No menos que seis líneas de encolado, distribuidas en el elemento, incluyendo las líneas de encolado exteriores y una central.

➤ **Empaque y Despacho** : El empaque debe ser realizado de tal manera que no origine en su interior las condiciones de las cuales se debe proteger al elemento. A menudo, y con el fin de proteger la madera laminada durante su transporte, se utiliza polietileno de un espesor conveniente, sellándolo en ambos extremos. Luego, se coloca otra protección exterior, que puede ser lona o también polietileno. Estas protecciones también se deben considerar en el montaje de la obra, para prevenir daños del elemento laminado, por posibles lluvias u otras inclemencias climáticas.

### **8.3. Especificaciones.**

#### **8.3.1. Especificaciones de Fabricación**

Estas especificaciones se aplican a elementos laminados que sean fabricados con maderas de coníferas y encolados de modo que las direcciones de la fibra de las láminas que se unen sean paralelas entre sí y al eje del elemento. Además, el elemento debe tener a lo menos 4 láminas.

Las especificaciones de fabricación deberán incluir, como mínimo, los siguientes puntos:

- Identificación de la especie maderera a usar en la confección de las láminas, señalándola por su nombre comercial y científico.
- El contenido de humedad de cada lámina no deberá ser superior a 16% y lo más cercano posible al contenido de humedad promedio que alcanzará la estructura en servicio. La variación del contenido de humedad de las láminas adyacentes, no deben exceder de  $\pm 3\%$  entre láminas y el rango de variación de todas las láminas que constituyen un mismo elemento no debe ser mayor de un 5%.

- Calidad de la madera a usar en el elemento estructural y ubicación de las piezas con diferentes grados de calidad en dicho elemento, en caso de usar más de una calidad (grado) de madera.
- Dimensiones de las láminas y el número necesario de ellas para cada elemento estructural, datos que deberán figurar, además, en los correspondientes planos de estructuras.
- Espesor de las láminas. Este no debe exceder de 45 mm. Si el ancho de la pieza es mayor de 150 mm no se podrá usar un espesor mayor que 37 mm. En caso que la estructura vaya a estar expuesta a grandes variaciones de humedad debe utilizarse un espesor menor que 37 mm, independiente del ancho de la pieza. Para laminados curvos, el espesor queda gobernado por los requisitos de diseño y cálculo.
- Indicación de tiempo que debe mediar entre el cepillado y el encolado de las láminas, el cual deberá ser, como plazo máximo, igual o menor a 24 horas y de 12 horas en el caso de las láminas impregnadas.
- Preservación: En el caso de impregnar la madera, se permite la preservación de las láminas cuando se use resorcinol – formaldehído, o sus mezclas, siempre que el preservante no sea creosota u otro líquido que contenga aceite. No se permite el uso de retardadores de fuego antes del encolado. Cuando se use resorcinol – formaldehído o fenol – formaldehído es posible preservar los elementos ya terminados.
- Tipos de unión de extremo a usar con las características y requisitos que especifica la norma NCh 2148.
- Identificación del adhesivo a usar : En la selección del adhesivo, se debe tener en cuenta las recomendaciones de laboratorios de investigación autorizados y del fabricante del adhesivo. En general, la elección dependerá de las variaciones del contenido de humedad y de la probable humedad máxima que prevalecerá en la estructura en servicio.
- Cantidad de adhesivo en las líneas de encolado. Se debe seguir exactamente las instrucciones del fabricante.
- Estado de las superficies a encolar. Deberán ser superficies suaves, cepilladas sin lijado, libres de fibras levantadas u otras desviaciones de plano que puedan interferir en el buen contacto entre las láminas. En el instante del encolado las superficies deben estar limpias, libres de polvo, aceite, resina u otro elemento que pueda afectar la resistencia de la línea de encolado.

- Temperatura de la madera en el momento del encolado : Esta no debe ser inferior a 10° C en la madera, además, se debe evitar, en lo posible, encolar a temperatura superior a 25° C.
- Aplicación de la presión : La aplicación de la presión debe ser lo más uniforme posible, para lo cual las prensas no deben distanciarse a más de 30 cm en elementos rectos, ni más de 22 cm, en los elementos curvos. La presión a aplicar será la especificada por el fabricante, pero en ningún caso menor a 7 kg/cm<sup>2</sup>,8 debiéndose verificar a los 15 minutos después de haberse aplicado la presión inicial, a fin de asegurar que no exista reducción de ella.
- Transporte de la madera laminada al área de terminaciones : No se permite el transporte hasta que haya finalizado el período de maduración.
- Indicaciones del grado de terminación : Se debe indicar el grado de terminación que las piezas de madera laminada requieran. Para los elementos laminados se debe definir un grado, según una clasificación por aspecto. El grado definido no modifica las normas de fabricación.
- Tolerancia: Se deben indicar las tolerancias máximas y mínimas de la sección transversal, al igual que las tolerancias del largo. Ver NCh 2148
- Protecciones: Se debe recomendar una protección para su transporte, almacenamiento y montaje, además del uso de un barniz transparente y repelente al agua y de un adecuado envoltorio. Estas protecciones deberán ser extremadamente cuidadosa cuando no se ha usado resorcinol o fenol – formaldehído.
- Ensayos : Se debe indicar la cantidad de vigas de las cuales se extraerán las probetas para realizar los ensayos. Sin embargo, es conveniente realizarlos a todos los elementos laminados que se fabriquen.
- Control de Calidad: Será realizado por personal calificado, perteneciente a un Organismo Oficial el cual será elegido por el mandante. Los funcionarios encargados de la inspección deberán tener libre acceso a la fábrica con facultades plenas de control e inspección. Estos deberán marcar los elementos de madera laminada terminada que cumplan con las especificaciones, de tal forma que el aspecto no sea dañado, indicándose el nombre de la fabricante y tipo de adhesivo usado.

### 8.3.2. Especificaciones de Diseño Arquitectónico.

Una de las ventajas de la madera laminada es la factibilidad de diseñar elementos que son prácticos y artísticos. Además, las estructuras pueden ser de cualquier espesor, largo, ancho y de formas no restringidas. Los elementos curvos quedan gobernados por su radio de curvatura, el cual dependerá del espesor de la lámina. Como guía general, las láminas hechas de coníferas pueden ser curvadas hasta un radio de curvatura de, aproximadamente, 200 veces su espesor ( $R > 200 * e$ ). Así, una lámina cepillada de 20 mm de espesor, puede curvarse con un radio de curvatura no menor de 4 metros, sin que exista una pérdida apreciable de su resistencia. Este valor puede ser más pequeño. Para láminas más delgadas puede incrementarse hasta llegar a 250 veces el espesor de la Tabla. El espesor más aconsejable para laminar Pino radiata es de 20 mm a 34 mm y se usa con la relación de  $R = 200 * e$ .

### 8.3.3. Predimensionamiento.

Solamente con el objetivo de predimensionar los elementos en la etapa de diseño arquitectónico, es posible usar las recomendaciones de la Tabla 1.4, en la cual, según la estructura y la pendiente, se indican las luces más usuales y la altura de la viga en función de la luz. El espesor se puede determinar en base a la relación espesor / altura.

$$b / h = 1 / 4 \text{ a } 1 / 8$$

En que :

b = espesor de la viga

h = altura de la viga

La relación óptima es 1/8, para todos los tipos de estructuras. El distanciamiento puede variar entre 3 y 10 metros, distancia que puede ser salvada con costaneras laminadas.

**Tabla 8.4 Distancia entre Estructuras A Eje de 3 a 10 M de Luz**

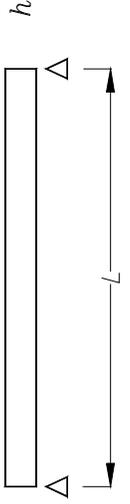
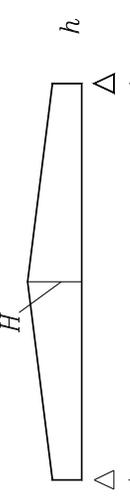
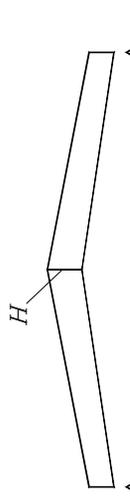
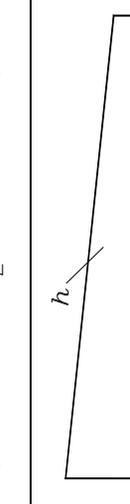
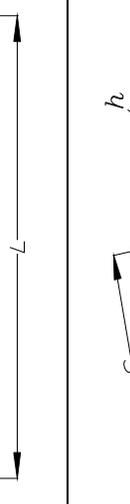
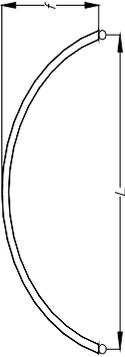
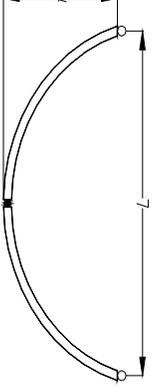
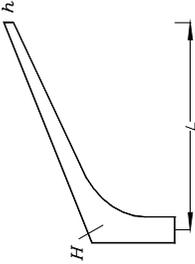
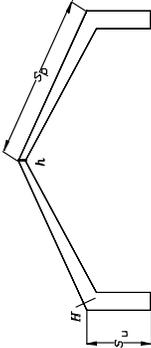
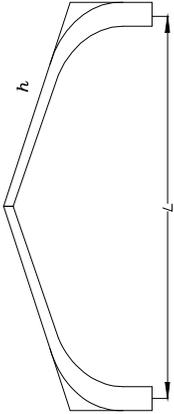
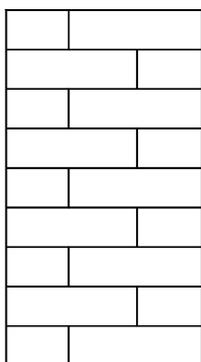
SISTEMA ESTÁTICO	TIPO ESTRUCTURA	PENDIENTE APROPIADA EN GRADOS	LUCES USUALES EN METROS	ALTURA MÁXIMA ESTRUCTURA
	Viga recta, de sección uniforme, simplemente apoyada.	0	10 – 30	
	Viga de sección variable, simplemente apoyada.	3 – 15	10 – 30	
	Viga tijeral, simplemente apoyada.	13 – 15	10 – 30	
	Viga de sección variable, simplemente apoyada.		10 – 30	
	Viga tijeral, de sección uniforme, simplemente apoyada.	> 12	15 - 30	

Tabla 8.4 Distancia entre Estructuras A Eje de 3 a 10 M de Luz (Continuación)

SISTEMA ESTÁTICO	TIPO ESTRUCTURA	PENDIENTE APROPIADA EN GRADOS	LUCES USUALES EN METROS	ALTURA MAXIMA ESTRUCTURA
	Arco bi-articulado	$f = 0,135 L$	20 – 60	
	Arco tri-articulado	$f = 0,135 L$	20 – 100	
	Marco Simple	0 – 10	5 – 15	
	Marco bi-articulado	0 – 60	15 – 60	
	Marco tri-articulado		15 – 30	





Ejemplo : Espesor no terminado :  $75 + 100 = 175$  mm  
 Espesor del elemento terminado = 160 mm

**Alturas** del elemento laminado

$$h = n \times e$$

Con ello se podría normalizar las alturas de la siguiente manera:

Si **“e” de lámina es 34 mm**, las secciones transversales serían :

**TABLA 8.4 a. Dimensiones recomendadas para fabricación de madera laminada.**

Nº Láminas	b x h	b x h	b x h	b x h	b x h
2	48 x 68	60 x 68			
3	48 x 102	60 x 102	85 x 102		
4	48 x 136	60 x 136	85 x 136	105 x 136	135 x 136
5	48 x 170	60 x 170	85 x 170	105 x 170	135 x 170
6	48 x 204	60 x 204	85 x 204	105 x 204	135 x 204
7	48 x 238	60 x 238	85 x 238	105 x 238	135 x 238
8	48 x 272	60 x 272	85 x 272	105 x 272	135 x 272
9	48 x 306	60 x 306	85 x 306	105 x 306	135 x 306
10	48 x 340	60 x 340	85 x 340	105 x 340	135 x 340

Con este criterio se podría saber de antemano las **PROPIEDADES GEOMÉTRICAS – PESOS POR UNIDAD DE LONGITUD – COSTOS.**

Esta es una etapa que en CHILE aún no está normalizada y que debe ser atacada con la ayuda de fabricantes y usuarios.

Esta normalización permitirá al calculista o diseñador escoger siempre, con facilidad, la sección transversal más económica.

## **8.5. Cálculo Estructural de los elementos Laminados**

### **8.5.1. Tensiones Unitarias.**

Las diferentes tensiones unitarias que se consideran en un cálculo estructural con elementos de madera laminada se señalan en la figura 8.9.

Las propiedades mecánicas de los elementos laminados se obtienen en base de ensayos de probetas fabricadas a escala real. Tales valores toman el nombre de “propiedades experimentales”.

Realizando los correspondientes análisis estadísticos de las propiedades experimentales se obtienen las “Tensiones básicas”.

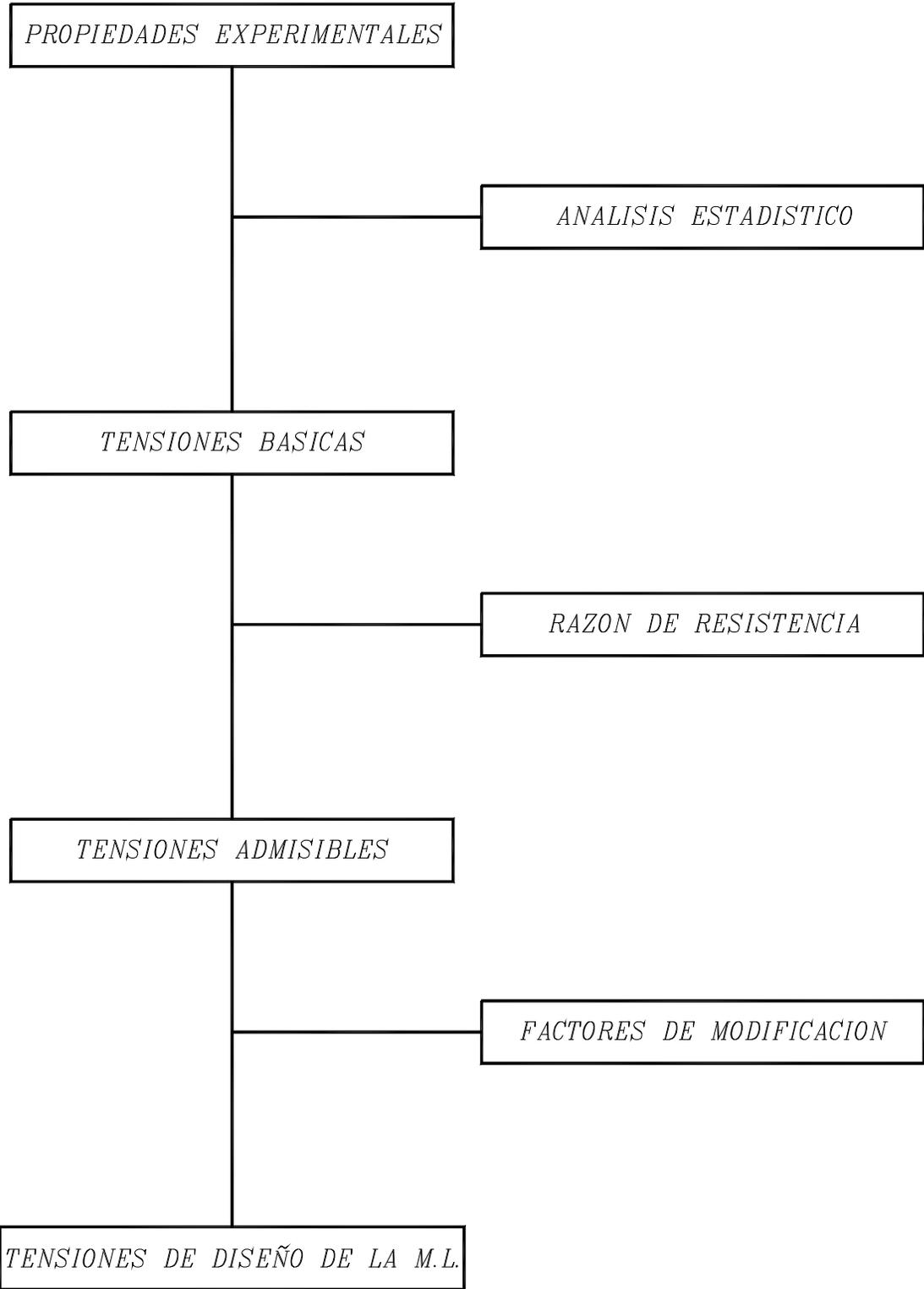
Es posible definir las Tensiones básicas como las tensiones unitarias aplicables a elementos laminados con dimensiones normalizadas, fabricados con madera “libre de defectos”.

Esta es una definición que solo ayuda a encasillar el proceso de obtención de las tensiones admisibles en un procedimiento similar al aplicado a la madera aserrada. En la práctica no existe la madera “libre de defectos”. Los valores teóricos así calculados se incluyen en la Tabla 8.5.

El procedimiento resumido en la figura 8.9 señala una clasificación estructural de la madera aserrada que se ocupará en la fabricación de las láminas y en la definición de la correspondiente “Razón de resistencia”. El producto de dicha razón de resistencia por la Tensión básica permite obtener la “Tensión admisible” para cada grado de calidad de las láminas, en cada solicitud.

Las reales condiciones de trabajo de la estructura se deben considerar a través de los “Factores de modificación” que correspondan.

**Figura 8.9 Tensiones Unitarias en la madera laminada**



**Tabla 8.5 Tensiones Básicas a Utilizar en el Cálculo de las Tensiones Admisibles de Elementos de Pino RADIATA. CONDICIONES DE USO SECO**

GRADO	FLEXION RESPECTO EJE X - X						FLEXION RESPECTO EJE X - X						CARGA AXIAL		
	Horizontal : A las caras de Las láminas.						Vertical : A las caras de Las láminas						COMPRESION PARA LELA	TRACCION PARA LELA	MODULO DE ELASTICIDAD
	FLEXION $F_{b,f}$ (Mpa)	CIZALLE $F_{b,cz}$ (Mpa)	TRACCION NORMAL $F_{b,m}$ (Mpa)	COMPRESION NORMAL $F_{b,cn}$ (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD $E_{L,b,f}$ (Mpa)	FLEXION $F_{b,f}$ (Mpa)	CIZALLE $F_{b,cz}$	TRACCION NORMAL $F_{b,tn}$	COMPRESION NORMAL $F_{b,cn}$	MODULO DE ELASTICIDAD $E_{L,b,y}$	COMPRESION PARA LELA $F_{b,cp}$	TRACCION PARA LELA $F_{b,tp}$	MODULO DE ELASTICIDAD $E_{L,b}$		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)		
A	19.8	1.3	8.43	2.8	11.000	19.0	1.06	8.36	2.8	10.000	13.0	5.6	10.000		
B	19.8	1.3	8.43	2.8	9.000	14.0	1.06	8.36	2.8	8.000	13.0	6.3	8.066		

**NOTAS :**

- ( 1 ) Grado de la madera aserrada a ser usada en la fabricación de las láminas, clasificadas según NCh 2150
- ( 2 ) Valores deducidos de ensayos de vigas laminadas de 300 mm de altura. Las vigas que se diseñan con los valores tabulados y se ensayan de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D 198 darán resistencias tales que el percentil de 5 % de exclusión de la muestra formada por estas resistencias (  $R_{f,k}$  ), excederá 2,1 veces la tensión básica tabulada :  $R_{f,k} = 2.1 - F_{b,k}$

## NOTAS :

Grado de la madera aserrada a ser usada en la fabricación de las láminas clasificadas según NCh 2150.

Valores deducidos de ensayos de vigas laminadas de 300 mm de altura. Las vigas que se diseñan con los valores tabulados y se ensayan de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM 198 darán resistencias tales que el percentil de 5% de exclusión de la muestra formada por estas resistencias ( $R_{f,k}$ ), Excederá 2,1 veces la tensión básica tabulada :  $R_{f,k} = 2,1 F_{b,f}$ .

Basada en el percentil de 5 % de exclusión (dividido por el factor 4,1) de la muestra formada por las resistencias de probetas normalizadas, libres de defectos.

Considerado como 1/3 del valor de tensión básica de cizalle

Determinada con el promedio de la carga en el límite de proporcionalidad (dividido por el factor 1,5), de las resistencias de probetas normalizadas, libres de defectos.

Determinado del ensayo de vigas laminadas horizontalmente, de 300 mm de altura.

Valor obtenido de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D 3737 – 91.  
Id. (7).

Considerado como 1/3 del valor de tensión básica de cizalle  
Id (5)

Valor promedio para el grado que se indica.

Valores deducidos de ensayos de elementos laminados de 30\*240 mm de escuadría.

Valores deducidos de ensayos de elementos laminados de 45\*204 mm de escuadría.

Id (11)

## 9. Grados de Calidad de la Madera Aserrada Destinada a la Fabricación de Elementos Estructurales Laminados.

La norma NCh 2150 establece una clasificación para la madera aserrada de Pino radiata destinada a la fabricación de elementos estructurales laminados encolados.

Esta norma entrega dos métodos alternativos de clasificación:

- **El mecánico**, basado en la determinación del módulo de elasticidad de cada pieza de madera aserrada.
- **El visual**, basado en la inspección ocular de los defectos que aparecen en cada pieza.

La clasificación debe efectuarse en madera aserrada de Pino radiata con un contenido de humedad no mayor que 16%.

### 9.1. Grado de Calidad.

La madera de Pino radiata, destinada a la fabricación de madera laminada, se clasifica en dos grados que se denominan : **GRADO A y GRADO B**, identificando a la madera de mejor calidad con el Grado A.

Las especificaciones de la Norma NCh 2150 son válidas tanto para elementos con laminación horizontal como para elementos con laminación vertical. En la Tabla 9.2 se incluyen las especificaciones comunes a los grados definidos en este párrafo, cualquiera sea el método de clasificación (mecánico o visual).

#### 9.1.1. Clasificación Estructural Mecánica.

En la Tabla 9.1 se incluyen los módulos de elasticidad para cada uno de los grados de una clasificación estructural mecánica de madera aserrada, a ser usada en la fabricación de elementos laminados.

**TABLA 9.1 Módulo De Elasticidad Para Los Grados Definidos al usar una Clasificación Estructural Mecánica.**

GRADO	MODULO DE ELASTICIDAD APARENTE DE CADA PIEZA Ef, en Mpa
A	$E_f > 9\ 000$
B	$9.000 > E_f > 4\ 000$

**NOTA :** Ef : Módulo de elasticidad aparente de cada pieza de madera siguiendo las especificaciones de la norma NCh 2149.

**TABLA 9.2 Especificaciones Comunes a los Grados de Calidad Definido  
para Madera Aserrada Destinada a la Fabricación de Laminados  
Estructurales.**

CARACTERÍSTICAS O DEFECTOS 1)		ESPECIFICACIÓN		
2) ALABEO	ACANALADA	Se acepta con las magnitudes máximas siguientes :		
		ESPESOR NOMINAL mm	ACANALADURA MÁXIMA ADMISIBLE mm	
			ANCHO NOMINAL mm	
			100 o mas	150
	25 38 50	Ninguna Ninguna Ninguna	1 1 Ninguna	3 2 1
ARQUEADURA, ENCORVADURA Y TORCEDURA	Se acepta con una magnitud máxima de 1,2 cm en 360 cm de longitud.			
CONTENIDO DE HUMEDAD		No mayor que 16%		
MANCHAS Y MEDULA		Se acepta la mancha azul y la presencia de médula sólo en el Grado B con excepción de dos láminas externas, en ambos cantos de la pieza.		
PUDRICIÓN Y PERFORACION		No se aceptan		
RESINA		No se aceptan piezas con alto contenido de resina en la superficie a encolar.		
AGUJEROS, NUDOS SUELTOS Y NUDOS FIRMES		Si estos defectos quedan ubicados en el 20% extremo de la longitud de la pieza deben cumplir con las especificaciones de la Tabla 9.3.		

- 1) Las definiciones y la forma de cuantificar los defectos se debe hacer de acuerdo a la norma NCh 992.
- 2) Para láminas más delgadas (menor de 25 mm) estos requerimientos pueden rebajarse cuando se dispone de un adecuado sistema de prensado que elimine la distorsión durante el ensamblado.

### **9.1.2. Clasificación Estructural Visual.**

En la Tabla 9.3 se incluyen las especificaciones para cada uno de los grados de una clasificación estructural visual de madera aserrada, destinada a la fabricación de elementos laminados. Las etapas que se deben seguir en la clasificación estructural visual, son las siguientes.

- Inspeccionar la pieza visualmente y clasificar las superficies (caras, cantos y cabezas) de acuerdo a los defectos que ellas presenten.
- Ubicar, visualmente, el defecto de mayor incidencia y determinar en base a él, la correspondiente clasificación, según Tabla 2.3.
- Asimilar los defectos no especificados en la Tabla 2.3 que puedan encontrarse en las piezas de madera, según sus características, a los demás defectos que sirven la base para la clasificación de ellas.

**Tabla 9.3 Especificaciones para los Grados Definidos al usar una  
Clasificación Estructural Visual.**

CARACTERÍSTICA O DEFECTO (1)	ESPECIFICACIONES PARA EL		OBSERVACIÓN
	GRADO A	GRADO B	
Agujeros – Nudos sueltos y Nudos firmes	La suma de las magnitudes de todos los nudos contenido en cada longitud de 300 mm tomada en intervalo de 60 mm no debe exceder.		a = Ancho de la cara
	35% del ancho de la cara (0,36 a)	De ½ del ancho de la cara (0,50 a)	
Alabeos	Ver Tabla 9.5		Ver llamado 2) al pie de Tabla 9.5
Arista faltante (canto muerto)	Se acepta en un canto a lo largo de la pieza. Si la magnitud máxima del defecto es 4mm la cual debe desaparecer cuando el elemento cepillado sea laminado		
Bolsillos	Se acepta en un canto a lo largo de la pieza. Si la magnitud máxima del defecto es 3 mm y con una longitud igual al ancho de la pieza siempre que ellos aparezcan ocasionalmente.		
Contenido de humedad	No mayor a 16%		
Desviación de la fibra	Menor que 1:10	Menor que 1:8	
Grietas y Rajaduras	Las piezas deben estar sin grietas. Rajaduras o acebolladuras que formen un angulo menor o igual a 45° con la cara de la pieza		
Manchas	Ver Tabla 9.5		
Pudrición y Perforación	No se aceptan		
Resina	Ver Tabla 9.5		
Velocidad de crecimiento	Más de 0,8 anillo o cada centímetro	Más de 0,7 anillo por cada centímetro.	

- 1) Las definiciones y la forma de cuantificar los defectos se debe hacer de acuerdo con la norma chilena NCh 992.

## **9.2. Tensiones Admisibles para los Elementos Laminados Estructurales**

La Norma chilena NCh 2149 especifica los procedimientos mediante los cuales se pueden obtener las tensiones admisibles para los dos grados de calidad establecidos (Grado A y B), considerando las distintas situaciones.

Un trabajo de investigación realizado en el Area de Madera del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de ingeniería de la Usach, permitió tabular las Tensiones Admisibles señaladas anteriormente conociendo el número de láminas que se necesitan o se definen para elementos laminados en forma horizontal o verticalmente, solicitados en flexión, compresión paralela, tracción, cizalle, etc.

### **9.2.1. Laminación Horizontal – Clasificación Visual – Grado A y B**

- Tensión Admisible de Flexión: Tabla 9.4
- Módulo de Elasticidad en Flexión: Tabla 9.5
- Tensión Admisible Compresión Paralela: Tabla 9.7
- Tensión Admisible Cizalle: Tabla 9.17
- Tensión Admisible de Tracción: Tabla 9.9

### **9.2.2. Laminación Horizontal – Clasificación Mecánica – Grado A y B**

- Tensión Admisible de Flexión: Tabla 9.6
- Módulo de Elasticidad en Flexión: Tabla 9.5
- Tensión Admisible Compresión Paralela: Tabla 9.8
- Tensión Admisible Cizalle: Tabla 9.17
- Tensión Admisible de Tracción: Tabla 9.10

### **9.2.3. Laminación Vertical - Clasificación Visual – Grado A y B**

- Tensión Admisible de Flexión: Tabla 9.11
- Módulo de Elasticidad en Flexión: Tabla 9.16
- Tensión Admisible Compresión Paralela: Tabla 9.9
- Tensión Admisible Cizalle: Tabla 9.17
- Tensión Admisible de Tracción: Tabla 9.15

### **9.2.4. Laminación Vertical – Clasificación Mecánica – Grado A y B**

- Tensión Admisible de Flexión: Tabla 9.12
- Módulo de Elasticidad en Flexión: Tabla 9.16
- Tensión Admisible Compresión Paralela: Tabla 9.14
- Tensión Admisible Cizalle: Tabla 9.17
- Tensión Admisible de Tracción: Tabla 9.16

**Tabla 9.4. Tensiones Admisibles en Flexión (Kg/cm<sup>2</sup>) . Laminación Horizontal. Clasificación Visual. Grado A y B.**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
1 - 11	88,8	80,8
12 -19	78,4	71,3
20	80,1	71,3
21	81,2	71,3
22	82,3	71,3
23	83,4	71,3
24	84,3	71,3
25	85,2	71,3
26	86,0	71,8
27	86,8	72,7
28	86,9	73,5
29	86,9	75,1
≥30	86,9	75,5

**Tabla 9.5. Módulos de Elasticidad Admisibles Laminación Horizontal. Clasificación Visual y Mecánica Grado A y Grado B (Kg/cm<sup>2</sup>)**

Módulo de Elasticidad Admisible	Grado A	Grado B
		104.500

**Tabla 9.6. Tensiones Admisibles en Flexión (Kg/cm<sup>2</sup>).  
Laminación Horizontal. Clasificación Mecánica. Grado A y B**

Números de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
1-11	88,8	80,8
12-14	71,3	71,3
15	72,8	71,3
16	74,5	71,3
17	76,1	71,3
18	77,5	71,3
19	78,9	71,3
20	80,1	71,3
21	81,3	71,3
22	82,3	71,3
23	83,4	71,3
24	84,3	71,3
25	85,2	71,3
26	86,0	71,6
27	86,8	72,7
28	87,6	73,5
29	88,3	74,3
30	89,0	75,0
31	89,6	75,8
32	90,2	76,4
33	90,8	77,1
34	91,4	77,7
35	91,9	76,2
36	92,4	78,8
37	92,9	79,4
38	93,4	79,9
39	93,8	80,4
40	94,3	80,9

**Tabla 9.7 Tensiones Admisibles en Compresión Paralela  $\text{Kg/cm}^2$  Laminación Horizontal. Clasificación Visual. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
$n > 3$	96,2	59,3
$n \leq 3$	84,5	65,0

**Tabla 9.8 Tensiones Admisibles en Compresión Paralela ( $\text{Kg/cm}^2$ ) Laminación Horizontal. Clasificación Mecánica. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
Cualquiera	96,2	59,3

**Tabla 9.9 Tensiones Admisibles en Tracción Paralela ( $\text{Kg/cm}^2$ ) Laminación Horizontal. Clasificación Visual. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
Cualquiera	56,7	32,0

**Tabla 9.10 Tensiones Admisibles en Tracción Paralela ( $\text{Kg/cm}^2$ ) Laminación Horizontal. Clasificación Mecánica. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
Cualquiera	60,0	32,0

**Tabla 9.11 Tensiones Admisibles en Flexión Laminación Vertical. Clasificación Visual. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Grado B ( $\text{Kg/cm}^2$ )
2	80.75	46.62
3	98.04	58.10
4	110.39	66.64
$\geq 5$	115.90	73.36

**Tabla 9.12 Tensiones Admisibles en Flexión Laminación Vertical. Clasificación Mecánica Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisible	
	Grado A ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Grado B ( $\text{Kg/cm}^2$ )
2	80.75	46.62
3	98.04	58.10
4	110.39	66.64
$\geq 5$	119.70	73.36

**Tabla 9.13 Tensiones Admisibles en Compresión Paralela . Laminación Vertical. Clasificación Visual. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado B (Kg/cm <sup>2</sup> )
2	81,6	64,7
3	90,7	68,8
4	93,0	70,5
5	95,3	72,2
6	96,2	73,3
7	96,2	73,8
≥8	96,2	75,0

**Tabla 9.14 Tensiones Admisibles en Compresión Paralela. Laminación Vertical. Clasificación Mecánica. Grado A y B.**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado B (Kg/cm <sup>2</sup> )
2	81,6	64,7
3	90,7	68,8
4	93,0	70,5
5	95,3	72,2
6	96,2	73,3
7	96,2	73,8
≥8	96,2	75,0

**Tabla 9.15 Tensiones Admisibles en Tracción Paralela (Kg/cm<sup>2</sup>) Laminación Horizontal. Clasificación Visual. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
Cualquiera	56,7	46,5

**Tabla 9.16 Tensiones Admisibles en Compresión Paralela (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Laminación Vertical. Clasificación Mecánica. Grado A y B**

Número de Láminas	Tensiones Admisibles	
	Grado A	Grado B
Cualquiera	60,5	46,5

**Tabla 9.17 Tensión Admisible de Cizalle, Clasificación Visual y Mecánica  
Grado A y B**

Nº de Láminas	Lam. Horizontal (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lam. Vertical (Kg/cm <sup>2</sup> )
2	13.00	8.10
3	13.00	9.00
≥4	13.00	9.45

**Tabla 9.18 Módulos de Elasticidad Admisibles. Laminación Vertical.  
Clasificación Visual y Mecánica Grado A y B. (Kg/cm<sup>2</sup>).**

Módulo de Elasticidad Admisible	Grado A	Grado B
	95.000	76.000

## 10. Factores de Modificación para la Madera Laminada

Los factores de modificación a considerar en la determinación de las tensiones de diseño que se deben asignar a los elementos estructurales de madera laminada, son los siguientes.

### 10.1. Por Contenido de Humedad, $K_{HL}$

Si las condiciones de servicio implican que la humedad de la madera alcance valores iguales o mayores que 16%, se considera que el elemento laminado estará en condiciones húmedas en tales casos se usará los factores de modificación incluidos en la siguiente Tabla:

TENSIÓN ADMISIBLE	FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA CONDICIONES DE SERVICIO HUMEDO
Flexión	0,800
Compresión paralela a la fibra	0,730
Tracción paralela a la fibra	0,800
Módulo de Elasticidad	0,833
Cizalle	0,875
Compresión Normal a la fibra	0,667
Tracción normal a la fibra	0,875

### 10.2. Por Duración de Carga, $K_D$ calculado con la expresión

$$K_D = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295 \quad (t = \text{en segundos})$$

En que  $t$  = Duración de la carga en segundos.

En aquellos casos en que se combinan cargas diferentes duración, se debe utilizar el Factor de Modificación correspondiente a la carga de menor duración.

### 10.3. Por Temperatura, $K_T$

Cuando por razones excepcionales las condiciones de servicio de una estructura de madera determinen temperaturas ambientales marcadamente superiores a las normales, se deberá modificar el valor de las propiedades mecánicas admisibles, pudiéndose adoptarse para estos efectos, los factores de corrección establecidos en la Tabla 1.12.

**TABLA 10.1 Incrementos o Decremento de los Valores de Resistencia por Cada Grado de Variación de Temperatura**

PROPIEDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	INCREMENTO POR ENFRIAMIENTO BAJO 20	DECREMENTO POR CALENTAMIENTO SOBRE 20
Módulo de Elasticidad	0	+0,0007	-0,0007
	20	+0,0027	-0,0038
Otras Propiedades	0	+0,0031	-0,0031
	12	+0,0058	-0,0088

La expresión algebraica  $K_T$ , es :  $(1 \pm \Delta T * C_t)$

Con :  $\Delta T$  = variación de la temperatura respecto a 20°C

### 10.4. Por Tratamiento Químico, $K_Q$

Cuando la madera debe ser sometida a proceso de ignifugación que incrementen su higroscopicidad, debiliten su integridad física o alteren sus propiedades mecánicas, se deberá modificar el valor de las tensiones admisibles, pudiendo adoptarse para estos efectos, el valor corrección:

$$K_Q = 0,90$$

### 10.5. Por Volcamiento, $K_V$

El valor de Factor de Modificación por volcamiento,  $K_V$ , se calcula de acuerdo al procedimiento descrito en el punto 5.1.2.3.

### 10.6. Por Esbeltez, $K_\lambda$

Aplicable a la Tensión Admisible de compresión paralela y evaluado con la expresión:

$$K_\lambda = A - \sqrt{A^2 - B}$$

Con :

$$B = \frac{4 * E_{L,dis}}{C * \lambda^2 * F'_{cp,dis}}$$

$$A = \frac{B * c * (1 + \lambda / 300) + 1}{2 * c}$$

En que:

C = Coeficiente de proporcionalidad = 0,85

$E_{L,dis}$  = Módulo de elasticidad de diseño en flexión, MPa Ver NCh 1198

$F'_{cp,dis}$  = Tensión de diseño en compresión paralela, excluyendo el factor de modificación por trabajo conjunto, MPa.

### 10.7 Por Condición de carga, $K_{ql}$

Aplicable a la Tensión Admisible en flexión de vigas rectas simplemente apoyadas y que dependen de las condiciones de carga, de acuerdo a la Tabla 10.2.

**Tabla 10.2 Factor de Modificación por Condición de Carga**

CONDICION DE LA CARGA EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS	Kgl
Carga concentrada en el centro de la luz	1,078
Carga uniformemente distribuida	1,000
Carga concentrada en los tercios de la luz	0,968

### 10.8. Por razón luz/altura, $K_{L/h}$

Aplicable solo a la Tensión Admisible en flexión de vigas rectas cuya razón luz / altura es distinta al valor 21. Se calcula de acuerdo a los valores incluido en la Tabla 10.3.

**Tabla 10.3. Factor de Modificación por Razón Luz/Altura  
Diferente del Valor 21,  $K_{L/h}$ .**

RAZON LUZ / ALTURA l/h *	$K_{L/h}$
7	1,063
14	1,023
21	1,000
28	0,984
35	0,972

- Para valores intermedios interpolar linealmente.

### 10.9. Por Concentración de Tensiones, $K_{CT}$

Aplicable sólo a la Tensión Admisible de tracción paralela a la fibra. Considera el efecto de las concentraciones de tensiones en zonas traccionadas de la madera con perforaciones, vaciados, entalladuras, etc. Se obtiene de la Tabla 10.4

**Tabla 10.4 Valores del Factor de Modificación por Concentración de  
Tensiones,  $K_{ct}$ .**

TIPO DE DEBILITAMIENTO	$K_{CT}$ (Para madera laminada)
➤ Perforaciones pequeñas y uniformes distribuidas.	0,90
➤ Perforaciones individuales mayores (pernos).	0,80
➤ Conectores de anillos.	0,60
➤ Ranuras longitudinales : espesores $\leq 5$ mm.	0,85
➤ Ranuras longitudinales : espesores $\leq 10$ mm.	0,80

### 10.10. Por Curvatura, $K_{cl}$

Debido a las tensiones que se inducen al doblar las láminas para llevarlas a la curvatura deseada, las Tensiones Admisibles en flexión deben modificarse por medio del factor:

$$K_{CL} = 1 - 2000 * (e/R)^2$$

En que :

e = espesor de la lámina, mm

R = radio de curvatura, mm

### 10.11. Factor de Modificación por Altura.

#### 10.11.1 Para piezas con laminación horizontal, $K_{hfl}$

Cuando la altura de una viga de sección transversal rectangular exceda 300 mm la Tensión Admisible en flexión y en tracción deberá afectarse por el factor de modificación  $K_{hfl}$  determinado por la siguiente expresión:

$$K_{hfl} = (300/h)^{1/9}$$

Donde :

h = Altura de la sección transversal de la pieza, en mm

El factor de modificación por altura establecido, es aplicable sobre vigas simplemente apoyadas, solicitadas por una carga uniforme distribuida y con relación luz/altura de 21. Este factor puede, en consecuencia, ser aplicado con razonable precisión sobre la mayoría de las situaciones prácticas habituales.

Cuando se desee llevar a cabo un diseño o una verificación que considere con mayor exactitud otras dimensiones y condiciones de carga, deben aplicarse las especificaciones que para estos efectos se establece en la norma NCh 1198.

#### 10.11.2. Para piezas con laminación vertical, $K_{hf,lv}$

Cuando la altura de una viga de sección transversal rectangular exceda 90 mm, la Tensión Admisible en flexión y tracción deberá afectarse por el factor de modificación por altura  $K_{hf,lv}$ , determinado por la siguiente expresión :

$$K_{hf,lv} = (90/h)^{1/5}$$

Donde :

h = Altura de la sección transversal de la pieza , en mm

Para el modulo de Elasticidad de laminación vertical

$$K_{hf} = \left( \frac{h}{180} \right)^{1/5} \leq 1,0$$

## 11. Tensiones de Diseño para Elementos Laminados

Las Tensiones de Diseño se determinan como el producto de la Tensiones Admisibles por los Factores de Modificación que resultan pertinentes y que han sido definidos anteriormente.

El Módulo de Elasticidad de Diseño ( $E_{f, dis}$ ) se determina como el producto del Modulo de elasticidad Admisible en flexión,  $E_f$ , por los factores de modificación que resulten pertinentes.

**Tabla 11.1 Factores de Modificación para la Madera Laminada Horizontalmente.**

FACTOR DE MODIFICACIÓN		AFECTA TENSIÓN ADMISIBLE Y/O PROPIEDADES						
NOMBRE	SÍMBOLO	$F_F$	$F_{cp}$	$F_{cn}$	$F_{tr}$	$F_{tnr}$	$F_{cz}$	$F_f$
Por duración de Carga	$K_D$	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO
Por altura (a)	$K_{hf}$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por razón l/h (b)	$K_{l/h}$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por condición de carga en vigas simplemente Apoyadas	$K_q$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por curvatura	$K_{CL}$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por Volcamiento (a)	$K_V$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por tratamiento Químico	$K_Q$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Por interacción de Tensiones (a)	$K_I$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por forma	$K_{fm}$	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Por temperatura	$K_T$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Por esbeltez	$K_\lambda$	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO

A. : Estos Factores no siempre son acumulativos

B. : Afecta sólo a  $K_{hf}$  y se usan cuando se desea un cálculo exacto de él

## 12. Procedimiento a seguir en un Cálculo Estructural de Elementos Laminados

### 12.1 Método de Cálculo para Estructuras de Madera Laminada.

#### a. Cálculo De Las Tensiones De Trabajo

DATOS : M; Q; N; S<sub>t</sub>; W; I;

FLEXIÓN :  $f_{f,i} = M/W$

COMPRESION PARALELA :  $f_{cp,i} = \frac{N_{cp}}{S_t}$

TRACCION PARALELA :  $f_{tp,i} = \frac{N_{tp}}{S_t}$

CALCULO DE LA DEFORMACIÓN :  $\delta_{calc} = f(M,L,E_f,I)$

#### b. Cálculo De Las Tensiones De Diseño

FLEXION :  $F_{f,i,dis} = \pi (K_i) * F_{f,i}$

COMPRESION PARALELA

$F_{cp,i,dis} = \pi (K_j) * F_{cp,i}$

TRACCION PARALELA

$F_{tp,i,dis} = \pi (K_j) * F_{tp,i}$

MODULO DE ELASTICIDAD

$E_{f,i,dis} = \pi (K_j) * f_{f,i}$

CIZALLE :  $F_{cz,i,dis} = (K_j) * F_{CZ,i}$

COMPRESION NORMAL :

$F_{cn,i,dis} = \pi (K_j) * F_{cn,i}$

En que :

$\pi (K_j) =$  Producto de los Factores de Modificación a que halla lugar

### c. Verificación de las Tensiones

Se debe controlar:

Para **FLEXION** :

$$f_{f,i} / F_{f,i,dis} \leq 1$$

$$f_{cz,i} / F_{cz,i,dis} \leq 1$$

$$f_{cn,i} / F_{cn,i,dis} \leq 1$$

$$\delta_{cal} / \delta_{m\acute{a}x,adm.} \leq 1$$

Para **COMPRESIÓN PARALELA** :

$$f_{cp,i} / F_{cp,i,\lambda,dis}$$

Para **TRACCIÓN PARALELA**

$$f_{tp,i} / F_{tp,i,dis} < 1$$

Para **FLEJO – COMPRESIÓN** :

$$\frac{f_{f,i}}{F_{f,i,dis}} + \frac{f_{cp,i}}{F_{cp,i,dis}} < 1$$

Para **FLEJO – TRACCIÓN** :

$$\frac{f_{f,i}}{F_{f,i,dis}} + \frac{f_{tp,i}}{F_{tp,i,dis}} < 1$$

## 12.2 Ejemplo de Cálculo Galpón Triarticulado de Madera Laminada

### 12.2.1 Memoria de Cálculo

#### Marco Formado por Elementos Curvos de Sección Variable

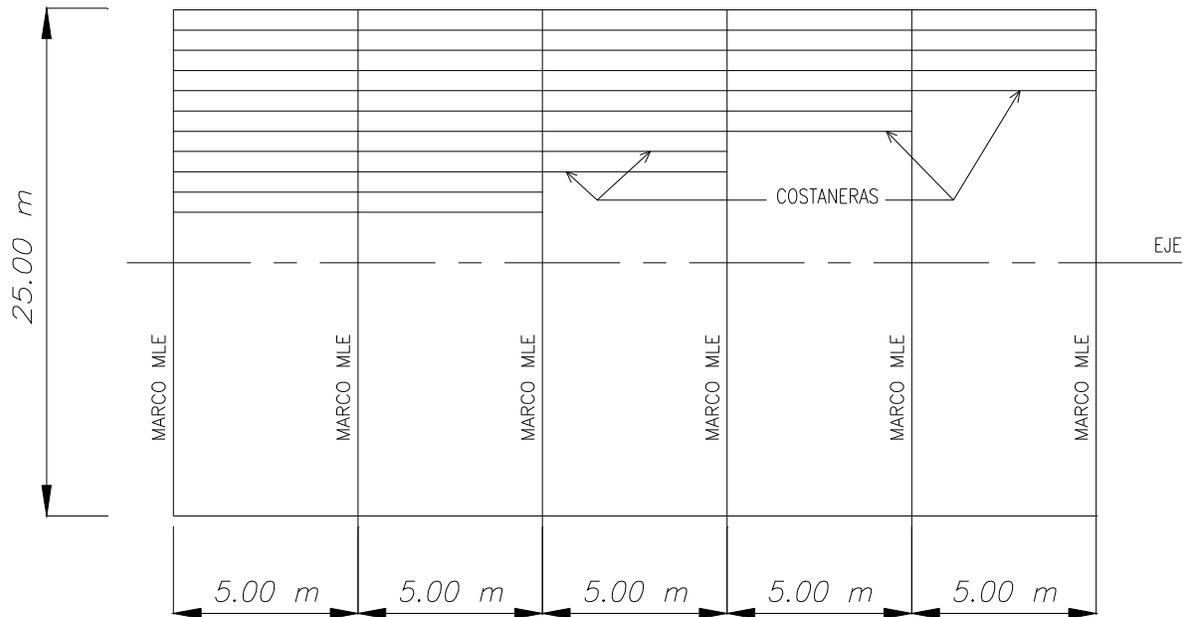
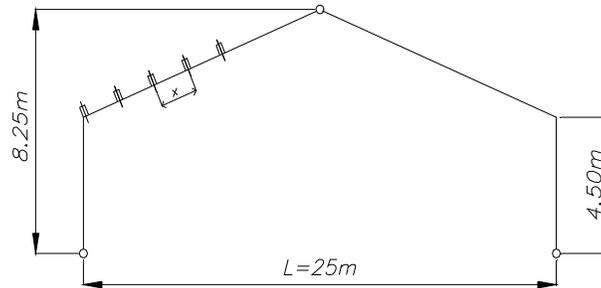
##### Datos Generales del Marco

Luz del Marco (m)	=25
Altura de la Cumbre (m)	=8.25
Altura al Codo (m)	=4.5
Pendiente de Techo (%)	=30

##### Cargas Solicitantes

Peso Propio	
Suma de Cargas de Peso Propio (kg/m <sup>2</sup> )	=29.23
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	=1.00
Sobrecarga de Uso	
Sobrecarga de Uso (Kg/m <sup>2</sup> )	=30.00
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	=1.00
Nieve	
Sobrecarga de Nieve (Kg/m <sup>2</sup> )	= 25.00
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	= 1.49
Montaje	
Carga de Montaje aplicada en la mitad de la luz del Marco (Kg)	=100.0
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	= 1.43
Sismo	
Carga de Sismo aplicada en Codo del elemento curvo (Kg)	=1457.8
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	= 1.76
Coefficiente Sismico C	= 0.14
Viento	
Presión básica del Viento (Kg/m <sup>2</sup> )	= 17.36
Factor de Modificación por duración de la Carga K <sub>d</sub>	= 1.42

### 12.2.2 Elevación y Planta del Galpón a Calcular



### 12.2.3 Diseño de las Costaneras

#### COSTANERAS DE MADERA LAMINADA

Longitud de las costaneras (m)	= 5.0
Separación entre Costaneras (m)	= 1.0
Porcentaje de Humedad de la Madera (%)	= 12.0
Tratamiento Químico	= No
Grado Estructural de la Madera . Clasificación Visual	= B
Espesor de las Láminas (mm)	= 34.0
Número total de Láminas	= 7
Ancho de la Costanera (cm)	= 7.5
Alto de la Costanera (cm)	= 23.8
Deformación Admisible (cm)	=1.67
Combinación de Carga más desfavorable =Peso Propio + Sobrecarga de uso	
Factor de Modificación por Duración de la Carga Con cadenetas en la mitad de la Luz.	= 1.00

#### Tensiones Admisibles

Para Laminación Horizontal	
Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	= 80.75
Cizalle (Kg/cm <sup>2</sup> )	=13.00
Módulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )	=85500
Para Laminación Vertical	
Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	=73.36
Cizalle(Kg/cm <sup>2</sup> )	=9.45
Módulo de Elasticidad(Kg/cm <sup>2</sup> )	=76000

#### Factores de Modificación

Por Duración de la Carga K <sub>d</sub>	=1.000
Por Tratamiento Químico K <sub>q</sub>	=1.00
Por Humedad	
Flexión K <sub>Hf</sub>	=1.000
Cizalle K <sub>Hcz</sub>	=1.000
Modulo de Elasticidad K <sub>He</sub>	=1.000
Para Laminación Horizontal	
Por Razón Luz / Altura K <sub>lh</sub>	=1.000
Por Altura K <sub>hfl</sub>	=1.000
Por Volcamiento K <sub>v</sub>	=0.966
Para Laminación Vertical	=0.975
Por Razón Luz/Altura K <sub>l/h</sub>	=0.975
Por Altura K <sub>hfl</sub>	=1.000
Por Volcamiento K <sub>v</sub>	=1.000

## Tensiones de Diseño

Para Laminación Horizontal

Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	=78.02
Cizalle (Kg/cm <sup>2</sup> )	=13.00
Módulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )	=85500

Para Laminación Vertical

Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	=71.50
Cizalle (Kg/cm <sup>2</sup> )	=9.45
Módulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )	=76000

## Tensiones de Trabajo

Flexión en el centro de la Luz eje x (Kg/cm <sup>2</sup> )	=32.21
Flexión en el centro de la Luz eje y (Kg/cm <sup>2</sup> )	=11.69
Cizalle eje x(Kg/cm <sup>2</sup> )	=0.73
Cizalle eje y (Kg/cm <sup>2</sup> )	=0.53
Deformación Total en el Centro de la Luz (cm)	=0.74

## Geometría de I a sección

Ancho de la Costanera (cm)	=7.5
Alto de la Costanera(cm)	=23.8
Area (cm <sup>2</sup> )	=178.5
Inercia en eje x (cm <sup>4</sup> )	=8426
Inercia en eje y (cm <sup>4</sup> )	=837
Módulo de Elasticidad eje x (cm <sup>3</sup> )	=708.1
Módulo de Elasticidad eje y (cm <sup>3</sup> )	=223.1
Radio de Giro eje x (cm)	=6.87
Radio de Giro eje y (cm)	=2.17

## Verificación de Tensiones

Flexión F <sub>x</sub> / F <sub>xDis</sub> + f <sub>y</sub> /F <sub>yDis</sub>	=0.58
Cizalle F <sub>cz</sub> /F <sub>czDis</sub>	=0.04
Deformación D <sub>tot</sub> /d <sub>Adm</sub>	=0.44

### 12.2.4 Diseño del Marco

Luz del Marco (m)	=25.0	
Radio de curvatura del codo (m)		=4.8
Separación entre Marcos (m)		=5.0
Especie Maderera		=Pino Radiata
Porcentaje de Humedad de la Madera (%)		=12.0
Tratamiento Químico		=No
Grado Estructural de la Madera	=B	
Clasificación Visual		
Espesor de las Láminas (mm)		=19.0
Deformación Admisible en la mitad del Marco (cm)		=12.50

### Coordenadas de los Puntos Analizados

Se consideran los puntos de la fibra neutra del Marco

El origen de las coordenadas de los puntos está hecha con respecto al punto 1.

Punto	X(m)	Y(m)
1	0.00	0.00
2	0.00	0.97
3	0.94	3.80
4	3.39	5.52
5	6.25	6.38
6	9.38	7.31
7	12.50	8.25

### Reacciones en los apoyos para las diferentes Cargas

Se consideran positivas las reacciones horizontales hacia la derecha y las reacciones Verticales, hacia arriba.

#### Peso Propio

Reacción vertical en apoyo izquierdo (Kg)	=3331.3
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=3331.3
Reacción horizontal en apoyo izquierdo (Kg)	=2523.7
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=2523.7

#### Sobrecarga de Uso(Kg)

Reacción vertical en apoyo izquierdo(Kg)	=1875.0
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=1875.0
Reacción horizontal en apoyo izquierdo(Kg)	=1420.5
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=-1420.5

### Sobrecarga de Nieve

Reacción vertical en apoyo izquierdo(Kg)	=1562.8
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=1562.5
Reacción horizontal en apoyo izquierdo(Kg)	=1183.7
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=-1183.7

### Carga de Montaje

Reacción vertical en apoyo izquierdo(Kg)	=50.0
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=50.0
Reacción horizontal en apoyo izquierdo(Kg)	=75.8
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=-75.8

### Sismo

Reacción vertical en apoyo izquierdo(Kg)	=-262.4
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=262.4
Reacción horizontal en apoyo izquierdo(Kg)	=-1060.2
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=-397.6

### Viento

Reacción vertical en apoyo izquierdo(Kg)	=-70.9
Reacción vertical en apoyo derecho (Kg)	=-269.7
Reacción horizontal en apoyo izquierdo(Kg)	=-384.1
Reacción horizontal en apoyo derecho (Kg)	=-196.9

### **Esfuerzos críticos en cada uno de los puntos**

i) Esfuerzos en los puntos dados por la combinación crítica para el Momento y la Carga Axial

Combinación crítica : Peso Propio + Sobrecarga de Uso

Factor de Modificación por duración de la carga  $K_d$  =1.000

Punto	Momento (Kg*m)	A	axial (Kg)
1	0.0		5206.3
2	3809.5		5206.3
3	10287.3		6217.6
4	6516.7		4868.7
5	739.5		4525.8
6	-1664.0		4151.8
7	0.0		3777.8

ii) Esfuerzos críticos para el corte

Combinación crítica : Peso Propio + Sobrecarga de Uso  
 Factor de Modificación por duración de la carga  $K_d = 1.000$

Punto	Corte (Kg)
1	-3944.2
2	-3944.2
3	-290.1
4	2502.9
5	1360.0
6	113.3
7	-1133.4

**Propiedades Geométricas en cada punto**

Ancho del Marco (cm) 13.5

Punto	Número de Láminas	Alto Sección (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )
1	18	34.2	461.7
2	31	58.9	795.1
3	45	85.5	1154.3
4	37	70.3	949.0
5	21	39.9	538.6
6	23	43.7	590.0
7	17	32.3	436.0

Punto	Ix(cm <sup>4</sup> )	Wx (cm <sup>3</sup> )	ix(cm)
1	45002	2631.7	9.87
2	229879	7805.7	17.00
3	703155	16448.1	24.68
4	390857	11119.7	20.29
5	71461	3582.0	11.52
6	93885	4296.8	12.62
7	37911	2347.4	9.32

Punto	Iy(cm <sup>4</sup> )	Wy(cm <sup>3</sup> )	iy(cm)
1	7012	1038.8	3.90
2	12076	1789.1	3.90
3	17530	2597.1	3.90
4	14414	2135.4	3.90
5	8181	1212.0	3.90
6	8960	1327.4	3.90
7	6623	981.1	3.90

### Tensiones Admisibles

Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )	=75.52
Cizalle (Kg/cm <sup>2</sup> )	=13.00
Compresión paralela(Kg/cm <sup>2</sup> )	=65.19
Tracción paralela (Kg/cm <sup>2</sup> )	=46.50
Normal Radial(Kg/cm <sup>2</sup> )	=4.33
Módulo de Elasticidad(Kg/cm <sup>2</sup> )	=85.500

### Factores de Modificación

Por Duración de la Carga K <sub>d</sub>	=1.000
Flexión y Compresión	=1.000
Por Tratamiento Químico K <sub>q</sub>	=1.0
Por Humedad	
Flexión K <sub>Hf</sub>	=1.000
Cizalle K <sub>Hcz</sub>	=1.000
Compresión Paralela K <sub>Hcp</sub>	=1.000
Tracción Paralela K <sub>Htp</sub>	=1.000
Modulo de Elasticidad K <sub>He</sub>	=1.000
Por Curvatura (Punto 3) K <sub>cl</sub>	=0.968

### De Aplicación Particular

Punto	Por Volcamiento	Por Esbeltez(Kλ)
1	--	1.000
2	0.938	0.402
3	0.974	1.000
4	0.985	0.485
5	1.000	0.204
6	1.000	0.238
7	1.000	0.140

### Tensiones de Diseño

Punto	F <sub>f,dis</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>cp,dis</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>cz,dis</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
8	--	65.19	13.00
2	70.81	26.19	13.00
3	71.20	65.19	13.00
4	74.39	31.64	13.00
5	71.25	13.29	13.00
6	71.25	15.54	13.00
7	80.75	9.10	13.00

### Tensiones de Trabajo

Punto	ff(Kg/cm <sup>2</sup> )	fcp(Kg/cm <sup>2</sup> )	fcz(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.00	11.28	0.00
2	48.80	6.55	7.44
3	62.54	5.39	0.38
4	58.60	5.13	3.96
5	20.65	8.40	3.79
6	38.73	7.04	0.29
7	0.00	8.66	3.90

### Verificación de Tensiones

Punto	ff/Ffdis	fcp/Fcpdis	ff/Ff,Dis+fcp/Fcpdis
1	0.00	0.17	0.17
2	0.69	0.25	0.94
3	0.88	0.08	0.96
4	0.79	0.16	0.95
5	0.29	0.63	0.92
6	0.54	0.45	1.00
7	0.00	0.95	0.95

Punto	fcz/Fczdis	ftp/Ftpdis
1	0.00	0.00
2	0.57	0.00
3	0.03	0.00
4	0.30	0.00
5	0.29	0.00
6	0.02	0.00
7	0.30	0.00

### Cálculo y Verificación de la Tensión Normal Radial en el Codo

Tensión Normal Radial de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	=4.33
Tensión Normal Radial de Trabajo (Kg/cm <sup>2</sup> )	=2.81
Verificación de la Tensión (fr,dis)	=0.649

### Determinación de la Deflexión

Deflexión en el punto medio de la luz del Marco (cm)	=0.50
Deflexión Admisible (cm)	=12.50
Verificación de la Deflexión (d-tot/d-adm)	= 0.040

## 13. Secado de Madera

### 13.1 Introducción.

El principal objetivo del secado de la madera es llevarla a un estado o condición tal, que la haga más apta para los usos que se le piensa dar.

En revestimientos, muebles, pisos y otros, el secado permite que la madera logre una estabilidad dimensional que impide posibles movimientos en el producto terminado o instalado.

Un árbol recién cortado contiene una considerable cantidad de agua, cuyo peso es a veces superior al peso de la sustancia maderera que lo conforma. Esta agua puede estar libre o absorbida en las paredes celulares. Cuando existen las dos posibilidades se dice que la madera está en estado verde, término que describe a la madera que no ha sido sometida a secado y que contiene una gran proporción de su humedad original.

La madera es higroscópica, de modo que cuando se la expone a la humedad ambiental, ella absorbe o pierde contenido de humedad hasta llegar a un equilibrio con la humedad del espacio que la rodea. Al contenido de humedad de la madera que permite este equilibrio con la humedad atmosférica circundante se le denomina “**humedad de equilibrio**”. Ella puede variar con el valor de la temperatura ambiental y con la humedad relativa del lugar.

Las variaciones diarias de la humedad relativa no tienen un gran efecto como las que se producen mensualmente o en períodos de tiempo mayores. Sin embargo, la madera siempre esta cambiando su contenido de humedad, a fin de ponerse en equilibrio con la humedad ambiental

Estos cambios originan variaciones dimensionales conocidas como “**juego de la madera**”, al cual se debe prestar atención a fin de minimizar sus efectos. Una forma de lograr lo anterior, es usar la madera con un contenido de humedad similar a la humedad de equilibrio del lugar donde la madera prestará servicio, y , además proveerla de protecciones a fin de mantener una adecuada estabilidad dimensional.

### 13.2. Razones para Secar la Madera

El secado es la etapa más importante en el proceso de preparación de madera o de productos derivados de ella, tales como: Madera aserrada, chapas, maderas redondas, tableros de contrachapado, de partículas, de fibras, etc.

Las razones que aconsejan el secado de la madera son :

- **Reducción de peso:** Con el secado se provoca una disminución de peso propio, se abarata el transporte y la manipulación de las piezas o elementos de madera.
- **Mejoramiento de la resistencia mecánica :** La madera seca es más resistente que la madera verde, a excepción de algunos casos de impacto y extracción de clavo.
- **Aumento de la resistencia contra el ataque de pudrición y mancha :** La madera que se mantiene a contenido de humedad inferiores de 20%, generalmente no tiene peligro de pudrición al no estar infectada.
- **Mejora la capacidad de la madera de ser correctamente pintada.**
- **Mejora la resistencia de las uniones de la madera encolada.**
- **Mejora, en la madera, las propiedades de aislación térmica, eléctrica y acústica.**
- **Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.**
- **Mejora el poder calorífico de la madera,** lo cual interesa al usarla como combustible.
- **Mejora su estabilidad dimensional:** Las contracciones toman lugar antes que la madera sea elaborada.
- **Aumenta la capacidad de retención de clavo**

Por otra parte, se debe evitar un secado más allá de lo estrictamente necesario, pues, además de los gastos que ello involucra, se producen problemas derivados de la expansión de la madera, o sea, de aumento de sus dimensiones.

Para entender correctamente el mecanismo del proceso de secado deben tenerse presente los siguientes conceptos : Contenido de Humedad de la madera, Punto de Saturación de la Fibra (P:S:F.), Medición del contenido de Humedad de la Madera, Gradientes de Humedad, Higroscopicidad, Humedad de Equilibrio, Contracciones y Expansiones, Colapso, Juego de la Madera, etc.

### 13.3. Secado de la Madera.

La madera se seca por el movimiento de la humedad interior, ya sea en forma líquida o de vapor, a través de los mecanismos conocidos como capilaridad y difusión. Esto, desde el centro hacia la superficie, en respuesta a la gradiente de humedad. La contribución que al secado realiza la capilaridad y difusión difiere con las distintas especies y con los estados de humedad de la madera.

Al igual que otros fenómenos en la madera, el movimiento del agua conviene dividirlo en dos etapas, antes de llegar al P.S.F., y, después de sobrepasarlo.

➤ Cuando el contenido de humedad de la madera es superior al P.S.F., la humedad se mueve principalmente como:

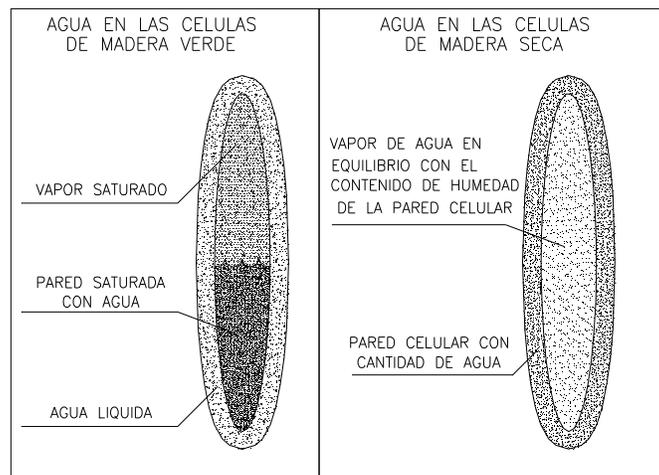
- Agua líquida, por capilaridad, debido a las fuerzas de tensión superficial.

- Vapor de agua, por difusión, dentro y a lo largo del tejido celular.

➤ Cuando el contenido de humedad está bajo P.S.F., la humedad se mueve como:

- Vapor de agua por difusión.

- Agua líquida, que ha permanecido vinculada a las fibrillas de las paredes celulares y que se traslada, por difusión hacia las zonas con distintos contenidos de humedad de la madera. La energía que se requiere para este movimiento es mucho mayor que la necesaria para mover el mismo volumen de agua libre.



**Figura 13.1 Forma del agua presente en la fibra.**

El mecanismo para el movimiento de agua en el interior de la madera no es simple. Se reconoce que en un momento dado, cualquiera de los métodos señalados puede predominar, dependiendo de la etapa alcanzada en el proceso de secado, de la influencia de las características de la madera y de las condiciones de secado que se aplican.

Así el secado de la madera queda influenciado por las características inherentes a la madera y por las condiciones externas que pueden ser aplicadas.

El comportamiento al secado de una **especie maderera**, esto es, el tiempo requerido para secarse, la tolerancia que ella presenta y la calidad de la madera que se obtiene después del proceso depende de varios factores importantes que son:

- Su densidad
- Sus características de contracción
- Su susceptibilidad a colapsarse
- Su resistencia, especialmente de tracción normal a la fibra
- La presencia o ausencia de fibra en espiral, fibra desviada, etc.
- La tendencia a mancharse o pudrirse
- El efecto de las condiciones de secado (temperatura y humedad relativa) sobre sus características físicas.

El comportamiento al secado de una **pieza de madera** es afectado, además, por:

- Sus dimensiones, particularmente su espesor y en menor grado, su ancho y longitud
- La forma en la cual ha sido aserrada o extraída de la troza. Esto es, si “cuarteada” (mayor dimensión paralela al radio de la troza) o “floreada” (mayor dimensión tangente a los anillos de crecimiento).
- Su origen. Es decir, si proviene de madera de albura o de duramen.
- Su proximidad a la médula o a la albura.

Los factores enumerados anteriormente influyen en la intensidad de las tensiones de secado que se desarrollan durante el proceso. Algunos tienden a debilitar la madera y a reducir su tolerancia a las tensiones y otras contribuyen en alabearla durante el secado y a originar distintos comportamientos en zonas adyacentes. No es raro, entonces, que las diferentes especies varíen notoriamente en lo concerniente a velocidad de secado, a tendencia al agrietamiento y al alabeo, etc. Algunas secan rápidamente, lográndose una calidad final excelente y otras son refractarias e intolerante al proceso de secado.

#### 13.4. Defectos de Secado y Modo de Evitarlos.

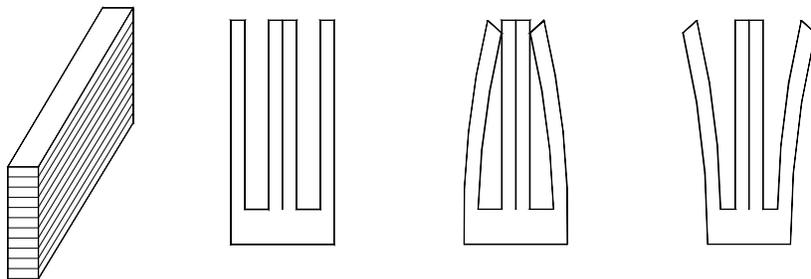
En madera sometida a secado pueden producirse diferentes defectos:

- Contenido de Humedad desigual
- Tensiones
- Grietas
- Colapso
- Alabeos
- Flujo de resina y aflojamiento de nudos, y
- Mancha azul y otros defectos de coloración.

Si estos defectos ocurren con mucha frecuencia o en forma muy severa, pueden reducir notablemente el valor de la madera y causar considerables pérdidas en su utilización final.

En la madera seca, siempre se observa una pequeña diferencia en el contenido de humedad entre superficie y el interior de la pieza, ya que por naturaleza del proceso de secado, se produce una gradiente de humedad entre la superficie y el interior.

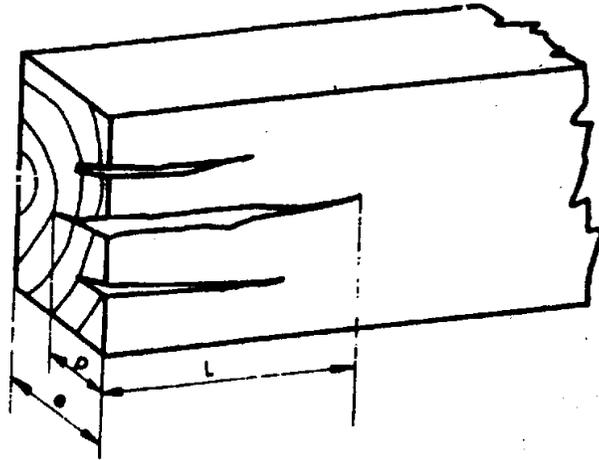
Las tensiones de la madera son el resultado de la gradiente de humedad entre la superficie y el interior de la pieza, durante el secado. Cuando la superficie se seca, tiende a contraerse y como el interior permanece húmedo, aquella sufre una tracción. Cuando el interior, en un estado posterior de secado, empieza a contraerse y la superficie secada anteriormente bajo tracción se opone a este encogimiento libre, se producen esfuerzos de compresión en la superficie y esfuerzos de tracción en el interior.



**Figura 13.2 Tensiones de secado de la madera**

Las tensiones de secado pueden producir deformaciones de la madera cuando ésta se elabora para su aplicación final. Estas tensiones pueden comprobarse aserrando una delgada lámina de madera en franjas angostas mediante una sierra huincha. Mientras mayores sean las tensiones, mayor es el arqueamiento de estas franjas.

El agrietamiento de la madera ocurre cuando las tensiones de secado se hacen mayores que la resistencia a la tracción de la madera. Si los esfuerzos de tracción en la superficie de la madera, durante la primera parte del secado, son muy grandes, la superficie se agrietará. Las grietas angostas en la superficie frecuentemente pueden cerrarse mediante la vaporización después del secado, de tal manera que se eleva el contenido de humedad de la superficie y, por lo tanto, se disminuyen los esfuerzos. Sin embargo, las grietas permanecen y pueden motivar pérdidas en la elaboración posterior.



**Figura 13.3 Grietas producidas durante el secado de la madera.**

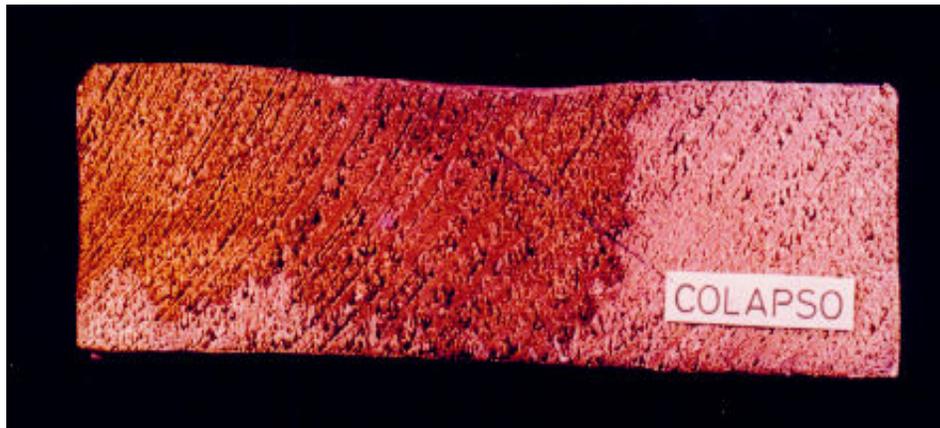
Si se continúa el secado, habiendo sido secada la superficie bajo severos esfuerzos de tracción, se impide el libre encogimiento de las partes interiores de la madera, lo que puede provocar “grietas internas” y pueden echar a perder la madera en un gran porcentaje. El agrietamiento interno se produce con mayor frecuencia en maderas latifoliadas de secado difícil. Por ejemplo: Coigüe y Encina.

La evaporización del agua es mucho más rápida desde los extremos (cabezas) de la madera que desde otras superficies. Esto causa frecuentemente un agrietamiento de las puntas, el que hace desmerecer la calidad de los extremos de la pieza. Con el fin de evitarlo, en el secado al aire, se utilizan, a veces, en los extremos del castillo, separadores mas anchos (75 a 100 mm) que en otros lugares. Estos separadores se colocan en tal forma que sobresalen de las puntas de la madera aproximadamente 25 a 37 mm.

También se suelen cubrir los extremos de la madera con productos químicos en formas de pinturas o pastas, a fin de reducir la evaporación por estos extremos y así eliminar las grietas. El agrietamiento es, como se ha dicho, motivado por tensiones excesivas en la madera y, en consecuencia, las medidas para evitarlo son las mismas que para evitar las tensiones. La

gradiente de humedad se limita el uso de temperaturas relativamente altas y pequeñas diferencias psicrométricas.

El colapso, que consiste en una severa distorsión o aplastamiento de las células de la madera, es un fenómeno que se evidencia durante el secado, y que puede causar muchas pérdidas, especialmente porque ocurre en especies muy valiosas. Cuando es leve, puede ser difícil, si no imposible, de descubrir. Cuando es pronunciado, se manifiesta con ranuras o corrugaciones en la superficie de la madera. Se produce exclusivamente sobre P. S. F. Cuando se seca la madera a temperaturas relativamente altas, maderas de especies con tendencia a colapsar.



**Figura 13.4 Colapso en la madera.**

Entre otras especies, el Eucalipto, la Encina y el Coigüe tienen especial tendencia al colapso. La madera de eucalipto puede colapsar fuertemente, incluso con secado al aire.

Las medidas contra el colapso consisten en el uso de temperaturas relativamente bajas, especialmente cuando el contenido de humedad está sobre el P.S.F. En las especies con esta tendencia, los mejores resultados se obtienen, generalmente, con un secado al aire y a continuación uno en secador.

El alabeo o deformación de la madera es, de hecho, no tanto un defecto del secado, sino simple causa del uso de la madera de calidad inferior o mal elaborada.

Tanto la torcedura como la arqueadura de la madera se deben, generalmente, a la existencia de la madera de compresión: fibra desviada o madera mal aserrada con la fibra no paralela al eje de la pieza. Se manifiesta usualmente en las capas altas de la pila, mientras las capas intermedias y bajas se mantienen derechas debido al peso de la carga.

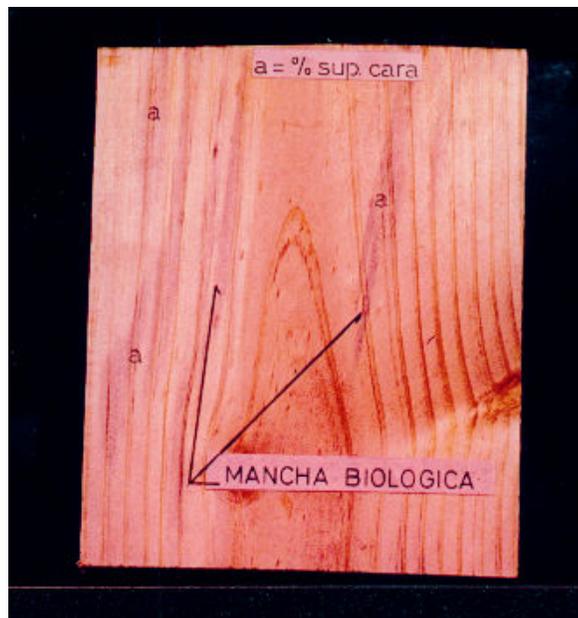
Algunas veces se utilizan pesos, por ejemplo, trozos de rieles sobre la parte superior de la pila de madera, con el fin de evitar la deformación de las

capas superiores. El uso de pesos de concreto es, sin embargo, más adecuado, ya que el hierro puede en algunos casos, causar graves manchas en la madera.

La inadecuada colocación de los separadores pueden motivar arqueadura, especialmente en las capas inferiores de la pila. En general, se puede decir que las deformaciones son evitables, en gran parte, mediante el uso de métodos adecuados de apilamiento.

En madera normal, con nudos firmes el flujo de resina se produce principalmente por los extremos, los que pueden ser cortados después del proceso. El flujo de resina de los nudos muertos en combinación con los esfuerzos del secamiento, puede motivar el aflojamiento de los nudos. Sin embargo, esto no es problema cuando existen nudos vivos. El flujo de resina de las coníferas es difícil de evitar totalmente y exigirá el uso de temperaturas bajas. Afecta sólo a su estética y no al valor de la madera como materia prima.

La mancha azul es una decoloración de la madera causada por el ataque de hongos. Generalmente es negro – azulado o gris – azulado, pero puede ser café o morada, según sea el hongo responsable. En casos graves, la mancha penetra toda la albura. La mancha azul no debilita necesariamente la madera, pero hace desmerecer su apariencia y reduce su valor comercial. Las coníferas, especialmente el Pino radiata, son más susceptibles a la mancha que las latifoliadas.



**Figura 13.5 Presencia de la mancha azul o mancha biológica en la madera.**

La mancha azul puede producirse durante el secado y es motivada por el uso de temperaturas demasiado bajas. Si la temperatura de la madera es inferior a 40° C y si el contenido de humedad de la superficie de la madera se encuentra sobre el P.S.F. , existe peligro de mancha azul. Esto se puede evitar mediante el uso de bajas humedades del aire al iniciar el secado, con el fin de disminuir rápidamente la humedad de la superficie bajo el P.S.F. El último método es, sin embargo, algo peligroso y puede motivar pronunciadas gradientes de humedad entre la superficie y el interior, que causan tensiones de secado y, en casos extremos, agrietaduras.

Algunas veces, la madera que se desea secar es tratada con productos químicos antimanchas, con el fin de hacer posible el uso de bajas temperaturas de secado. Este es un método muy seguro, pero representa, por supuesto, un pequeño costo adicional.

Cuando la circulación del aire en un secador es pobre e irregular, siempre existe el peligro de mancha azul, mientras que en un secador con una eficiente circulación de aire, la madera no se mancha. La madera secada en secador tiene, en general un color ligeramente más oscuro que la secada al aire, siendo esta diferencia mayor mientras más alta sea la temperatura utilizada. En el secado a alta temperatura (más de 100° C) la decoración es más notoria. Si la madera se seca primero al aire, bajo el P.S.F. y luego en secador, la decoloración es muy leve.

La calidad del equipo del secador influye mucho en los resultados que pueden lograrse. Sin embargo, el factor humano es siempre el más importante y, por consiguiente, un operador experimentado e inteligente obtendrá mejores resultados con un secador relativamente simple que uno menos hábil con equipos de alta calidad.

### **13.5. Método de Secado.**

Los métodos de secado más usuales, son dos: Secado al Aire y Secado Artificial en hornos.

#### **13.5.1. Secado al Aire.**

Consiste en estacionar la madera verde en un lugar abierto durante un determinado período de tiempo, en el cual la madera entrega humedad a la atmósfera y tiende a llegar al punto de equilibrio higroscópico con el ambiente.

El secado al aire libre es la forma más sencilla y en muchos casos la más barata entre los métodos de secado.

Algunas veces, el objeto es bajar el contenido de humedad de la madera a su nivel de equilibrio con las condiciones climáticas. Otras, es secar la madera lo suficiente como para permitir un transporte más económico, o como presecado para posteriores procesos de secado. En todos los casos, la

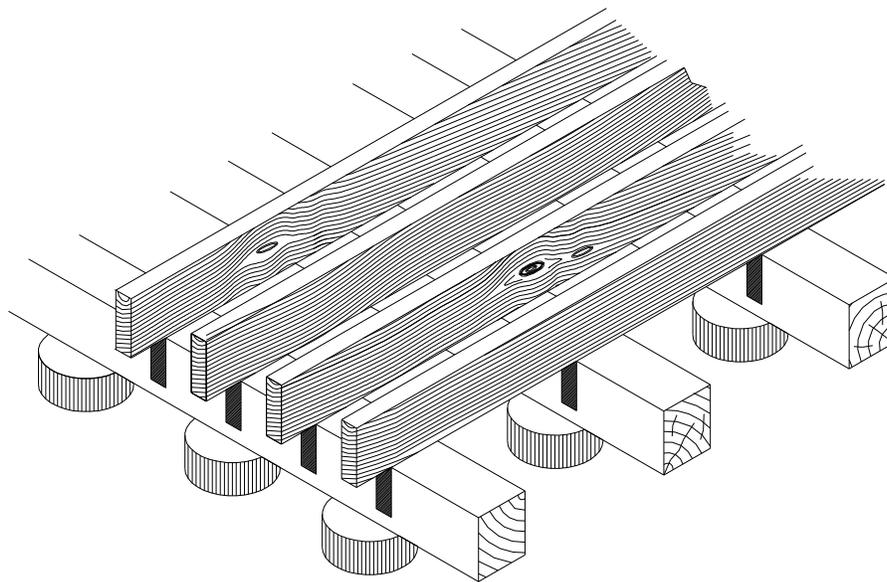
intención es secar la madera aserrada en el tiempo más breve posible y con un mínimo de deterioro.

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire de la madera son:

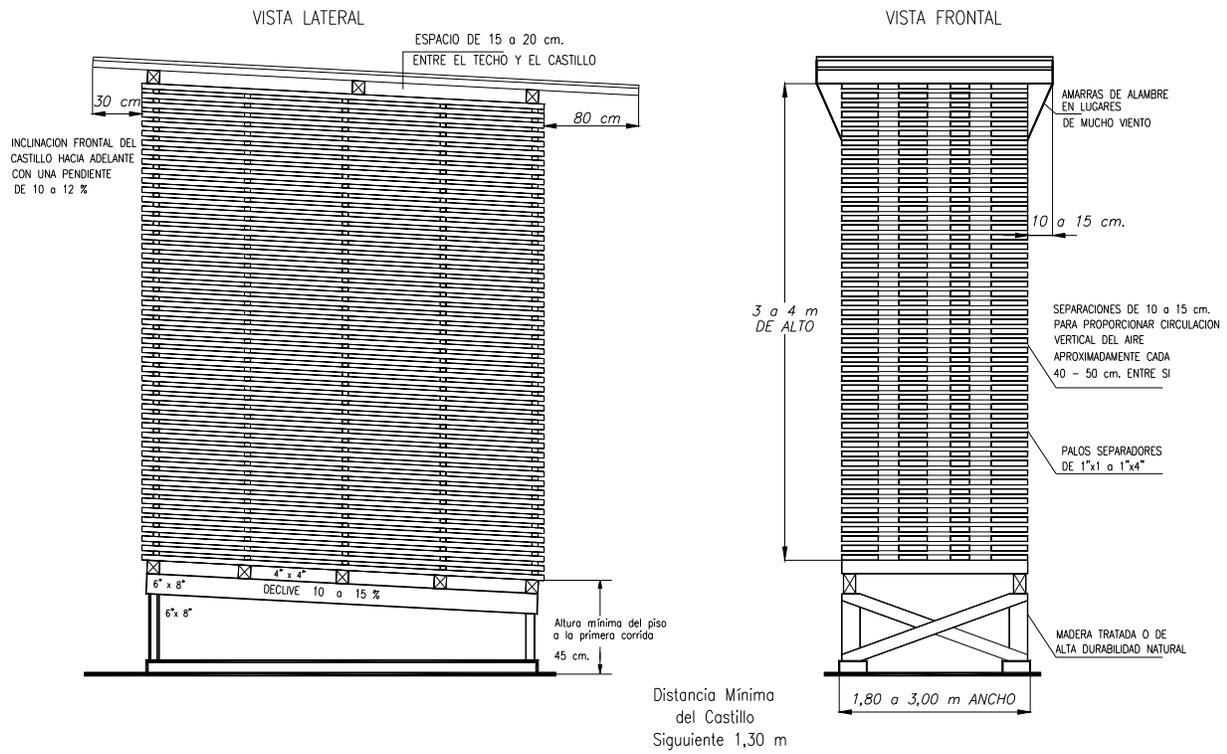
- Contar con un lugar adecuado (patio o cancha) para exponer la madera al aire.
- El apilado, que debe ser efectuado de tal modo, que el aire circule alrededor de cada una de las piezas de madera.

El mejor método de apilar o encastillar madera para un secado rápido, con el mínimo de agrietamiento y alabeos, es el apilado plano u horizontal. Sin embargo, maderas que se secan con facilidad y no se agrietan ni tuercen mucho, se pueden apilar en forma sencilla por el método “en caballete o V invertida”, apilado en pie”, y “apilado plano en triángulo o rectángulo”.

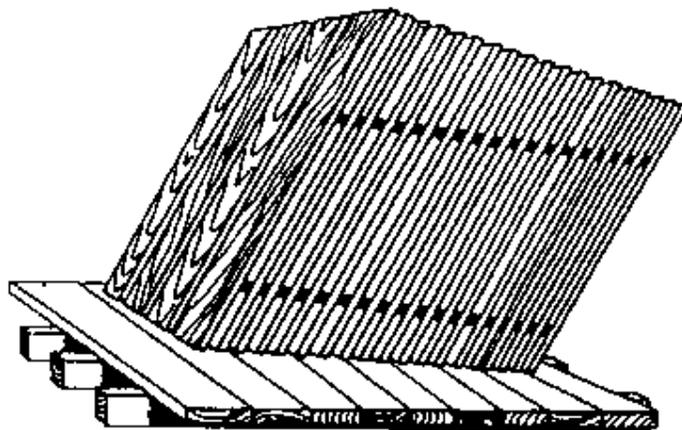
Los métodos de secado al aire que se mencionan se señalan en las Figuras siguientes.



**Figura 13.6 Base para apilado horizontal de un secado al aire.**



**Figura 13.7** Detalles constructivos de un apilado horizontal.



**Figura 13.8** Apilado en pie

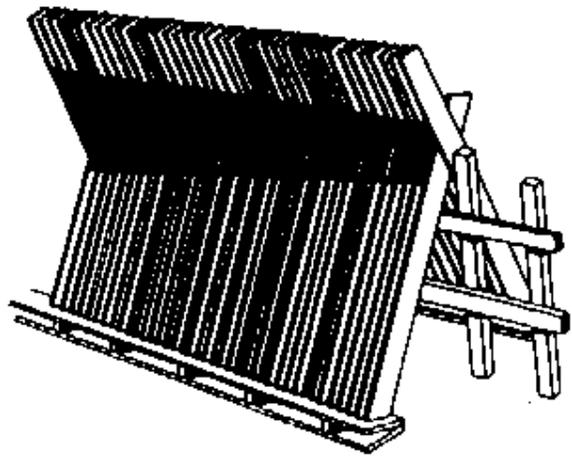


Figura 13.9 Apilado en caballete.

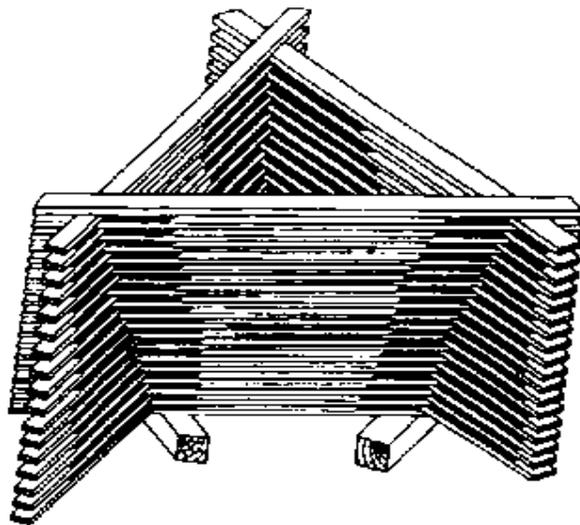


Figura 13.10 Apilado en triangulo.

### **13.5.2. Secado Artificial.**

Consiste en estacionar la madera en un lugar cerrado, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, durante un período de tiempo previamente establecido.

Las ventajas de éste método son :

- Es más rápido que el método de secado al aire.
- No es afectado por las condiciones climáticas.
- La mancha azul y otras pueden ser totalmente evitadas, si la madera se somete a secado inmediatamente después de aserrada.
- El espacio destinado a manipulación de la madera se reduce notablemente en comparación con el secado al aire. Con esto se facilita la supervisión y la protección contra incendios.
- Posibilidad de utilizar los desperdicios de madera para generar calor y fuerza para el secador.
- Da posibilidades de obtener contenidos de humedad bajos, necesarios para la fabricación de muebles, paneles, pisos de parquet, etc.

A un secado artificial se le debe exigir las siguientes condiciones:

El contenido de humedad de la madera seca debe corresponder al contenido de humedad de equilibrio que tendrá el producto final. Las variaciones de humedad entre las diferentes piezas de madera, así como las diferentes partes de una misma pieza, deben ser lo más pequeño posible.

El proceso de secado se debe conducir en tal forma que no se produzcan defectos, los que rebajan la calidad de la madera y pueden causar pérdidas en su posterior aplicación.

El secado debe ser lo más rápido y económico posible.

El sistema de secado debe ser flexible, teniendo la posibilidad de ser modificado según las características de la madera (especie, escuadría, humedad inicial, etc.) y de los requisitos de calidad que se persiguen.

El secador debe ser fácil de manejar, sin mediciones complicadas y de construcción sencilla, para poder efectuar las reparaciones localmente.

### 13.5.3. Proceso de Secado Artificial.

La madera es un material higroscópico, esto es, cuando está seca absorbe humedad del aire que la rodea y cuando está húmeda, entrega humedad. Por lo tanto, existirán ciertas condiciones bajo las cuales la madera alcanza un contenido de humedad que queda en equilibrio con las condiciones ambientales.

En el secado al aire, la velocidad con la cual la madera alcanza esta humedad de equilibrio depende, principalmente de las condiciones climáticas del lugar donde ella se encuentre encastillada, mientras que en el secado artificial es posible aumentar o disminuir la velocidad del secado controlando la temperatura y humedad ambiental del secador, de acuerdo a las condiciones que tengan las piezas de madera en proceso de secado.

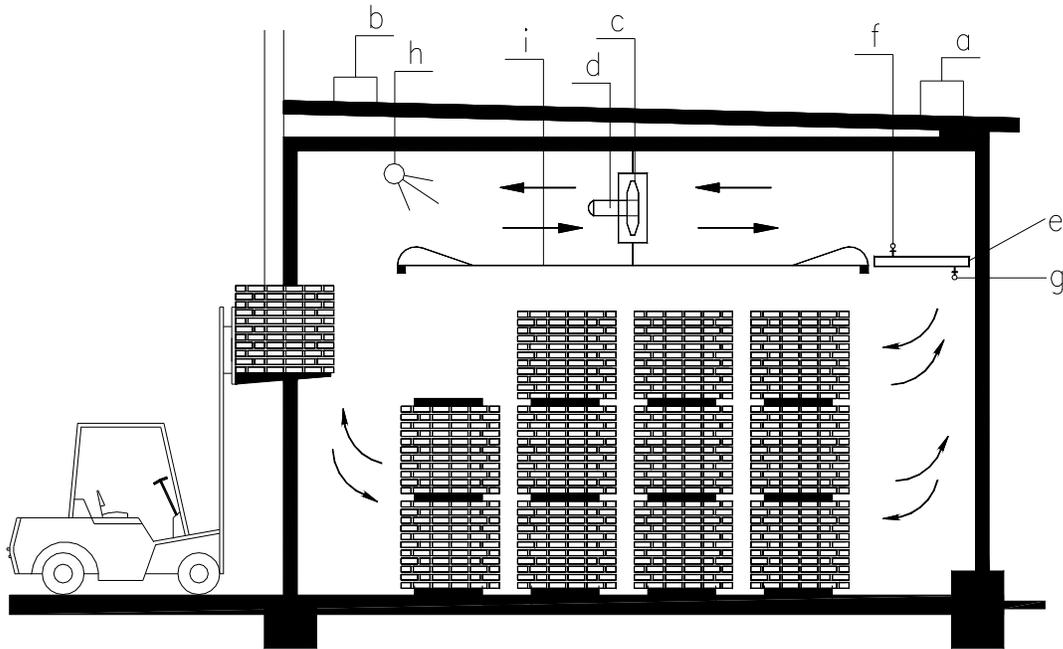
Dos son los factores involucrados en el proceso de secado artificial de la madera:

- Desplazamiento de la humedad desde el centro de la pieza a la superficie.
- Evaporación de la humedad desde la superficie.

Con el fin de evitar una gradiente de humedad muy pronunciada y con ello la introducción de tensiones severas, es deseable que se mantenga la velocidad de desplazamiento de la humedad (desde el centro de la pieza), aproximadamente igual a la velocidad de evaporación de la humedad desde la superficie. El aumento de temperatura (calor) acelera ambos factores, resultando una velocidad de evaporación superior a la del desplazamiento de humedad desde el centro de la pieza a la superficie.

Esto se traduce en capas superficiales con menos humedad que las interiores (mayor gradiente de humedad), presencia de tensiones y probables grietas superficiales. Para evitar lo anterior, el aire del secador debe mantenerse húmedo, esto es, debe conservarse con una cierta humedad interior con el fin de reducir, en las superficies de las piezas de la madera, la velocidad de evaporación.

Para una temperatura específica, la velocidad de evaporación de la humedad depende de la humedad relativa del aire ambiental a mayor humedad relativa, menor velocidad de evaporación.



- a) Ventilleta aire entrante    c) Ventilador    e) Calefactor    g) Cañería retorno  
 b) Ventilleta aire saliente    d) Motor    f) Cañería entrada    h) Vaporizado  
 i) Entretecho

**Figura 13.11 Esquema de una Cámara de Secado.**

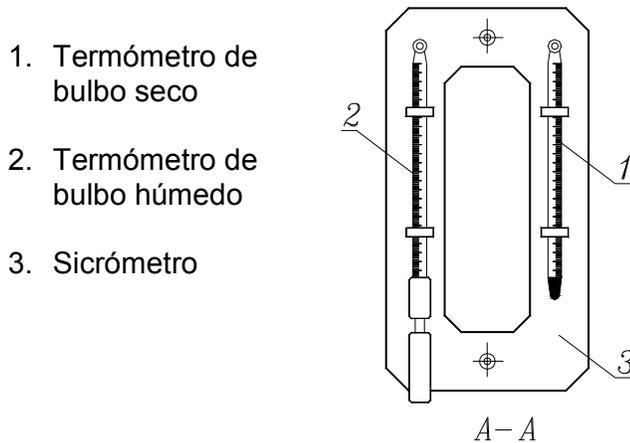
En resumen, la humedad ambiental controla la velocidad de evaporación de la humedad superficial de la madera y la temperatura del aire controla la velocidad de desplazamiento de la humedad desde el centro a la superficie de la pieza.

Por otra parte, es necesario que al iniciar el proceso de secado, exista un gradiente de humedad en la pieza puesto que la humedad se desplaza, a través de la madera, sólo desde una zona más húmeda a otra más seca. Deberá controlarse la magnitud de esta gradiente pues, valores excesivamente altos provocarán tensiones en la superficie de la pieza.

La medición de la temperatura ambiental del secador se realiza con un termómetro de bulbo seco, que consiste en un termómetro común y corriente que registra el calor existente en el interior del secador, en un momento

determinado. La humedad ambiental se puede obtener mediante un “termómetro de bulbo húmedo”.

Este consiste en un termómetro corriente cuyo bulbo se envuelve con un material capaz de absorber agua, permanentemente, de un depósito dispuesto para tal efecto, de modo que el aire que rodea el bulbo permanezca siempre saturado. Al leer las temperaturas en ambos termómetros, los cuales se ubican, uno al lado del otro en la corriente del aire que circula en el secador, se obtiene un registro del descenso de temperatura originado por la evaporación que satura el material que envuelve el bulbo del termómetro.



**Figura 13.2 Sicrómetro (Termómetro de bulbo seco y De Bulbo Húmedo)**

$$\text{Descenso del bulbo} = \text{Temp. Bulbo seco} - \text{Temp. bulbo húmedo.}$$

Si el aire del secador está totalmente saturado (humedad relativa = 100%), no se producirá evaporación y por lo tanto el descenso del bulbo húmedo será nulo. En otras palabras: a menor humedad relativa, mayor será el valor del “descenso del bulbo húmedo” puesto que disminuirá notoriamente la temperatura de bulbo húmedo a causa del enfriamiento que se origina con la evaporación. Ver Tabla 13.1.

La circulación del aire en el interior del secador es fundamental puesto que sin un flujo de aire uniforme y vigoroso, actuando sobre la carga de madera, no se producirá el secado de ésta. Es necesario que el aire circule a través de cada rincón del secador y que se contacte con todas las superficies de la madera sometida a secado removiendo así la humedad que ha entregado la madera. Si el aire se estaciona en alguna zona del secador provocará allí un descenso de temperatura con una consiguiente elevación de la humedad relativa.

**TABLA N° 13.1 Valores de Temperatura de Bulbo Seco, Húmedo y su Equivalencia.**

Temperatura de Bulbo		Descenso del Bulbo Húmedo ° C	Humedad Relativa Del Aire %	Humedad De Equilibrio
Seco ° C	Húmedo ° C			
92	87	5	84	16,0
92	85	7	78	14,0
102	92	10	72	12,0
112	97	15	62	10,0
122	102	20	54	8,0
132	107	25	48	6,5
142	112	30	43	5,5
*162	159	3	94	19,0

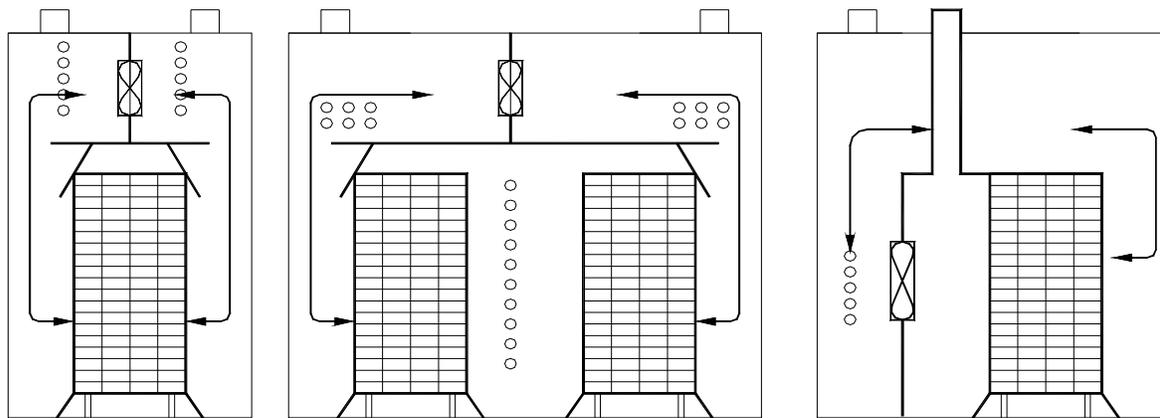
- Usada para tratamiento con alta humedad relativa.

Esto causará zonas húmedas en el secador que afectarán el secado uniforme de la carga. La circulación del aire generalmente se logra mediante el uso de ventiladores convenientemente ubicados en el interior del secador.

Para asegurar una circulación uniforme del aire a través de la carga, es necesario que:

- ❖ Las puertas se diseñen con una comprobada estanqueidad al aire.
- ❖ No exista ninguna fuga en los muros, cielos o pisos.
- ❖ Los ventiladores se mantengan funcionando a una velocidad preestablecida sin que ocurran “puntos muertos”.
- ❖ El castillo se construya técnicamente en una posición que permita la circulación del aire por todas las caras de la pieza.
- ❖ Se disponga tabique que orienten el flujo del aire a través del castillo.

Es recomendable que los ventiladores tengan la posibilidad de invertir el sentido de rotación lo que asegurará la eliminación de las zonas húmedas en el interior del castillo. Tanto la renovación del aire como la expulsión del aire húmedo se logra con ventilas o troneras, controladas adecuadamente para no bajar en exceso la temperatura interna del secador.



**Figura 13.13 Disposición de los ventiladores en la cámara de secado.**

#### **13.5.4. Programas de Secado y su Aplicación.**

El único método satisfactorio para iniciar el secado artificial es controlando las condiciones de circulación del aire, ajustándose al estado de la madera en un momento determinado.

Esto se puede lograr mediante los “**programas de secado**”, los cuales consisten en una tabulación que entrega los valores de temperatura y humedad relativa del aire, apropiados para una especie maderera.

**Tabla 13.2 Programa de Secado para las especies Olivillo, Alamo, Lengua, Laurel y Raulí.**

Contenido de humedad, % de la madera más húmeda del secador	Temperatura de bulbo seco ° C	Temperatura de bulbo húmedo ° C	Humedad de Equilibrio %
Verde	48,5	46,0	85
60	48,5	45,0	80
40	51,5	46,5	75
30	54,5	47,0	65
25	60,0	49,0	55
20	68,0	53,0	45
15	76,5	58,0	40

En rigor, ningún programa de secado es ideal para una especie maderera específica. Los factores que provocan alteraciones en el programa de secado son:

- ❖ La calidad de la madera que se seca.
- ❖ El uso que se dará a la madera seca.
- ❖ El espesor y ancho de la madera aserrada.
- ❖ La forma que se aserró la madera.
- ❖ La velocidad de circulación del aire en el tipo de secador empleado.
- ❖ La posible presencia de grietas y rajaduras en el material.

Como regla general, la madera de mayor densidad necesita un periodo más largo de secado que una madera liviana y de rápido crecimiento. Una madera muy resinosa necesita mayor tiempo de secado que una madera menos resinosa. Por otra parte, los secadores no son similares respecto a sus características a causa de la diferente eficiencia de sus equipos, por ejemplo: ventiladores y sistemas de calefacción.

Por consiguiente, los programas de secado no deben ser considerados como una solución general, sino simplemente como una regla básica que puede y debe ser frecuentemente modificada de acuerdo a las circunstancias locales, como: Tipo y eficiencia del secador, humedad inicial, densidad y otras condiciones, y también la calidad requerida para la madera seca.

Los programas de secado pueden basarse en el tiempo o en el contenido de humedad. En el primer caso, las condiciones en el secado (Temperatura y humedad relativa), se cambian después del período que determinen dichos programas. Aquellos basados en el contenido de humedad, este se dirige de acuerdo a los cambios de humedad de las muestras testigos colocados en pila de madera a secar. Las condiciones de la cámara se cambian de acuerdo al programa utilizado, cuando las muestras han alcanzado un cierto contenido de humedad.

#### **13.5.5. Tipo de Secado Convencional.**

De acuerdo a la temperatura máxima de secado se pueden dividir en .

- |                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| ❖ De Baja Temperatura       | : Menores a 50° C  |
| ❖ De Temperatura Media      | : 50° C – 80° C    |
| ❖ De Temperatura Intermedia | : 80° C – 100° C   |
| ❖ De Alta Temperatura       | : Mayores a 100° C |

### 13.5.6. Tiempo requerido en el Secado.

#### Secado al Aire.

**Madera Latifoliada:** Como guía general, las especies Latifoliadas de **25 mm de espesor**, usando pilas cubiertas y canchas o patios apropiados, demora entre:

- **3 a 5 meses** de secado al aire para ir desde el **estado verde** hasta un contenido de humedad de 25 %.
- **6 a 12 meses** para llegar a la **humedad de equilibrio** del lugar de exposición al aire.

**Maderas Coníferas:** Bajo condiciones favorables, las especies Coníferas de **25 mm de espesor**, necesitan :

- **4 a 6 semanas** para alcanzar la **humedad de equilibrio** del lugar donde están expuestas.
- **2 a 3 meses** en condiciones desfavorables.

## **14. Preservación de la Madera.**

### **14.1. Agentes Destructores de la Madera**

La desintegración de la madera puede ser producida por diferentes causas y es importante conocer, en cada caso, el principal agente causal de la destrucción para elegir el modo de protección más adecuado.

El desgaste mecánico y la descomposición por acción de los agentes químicos, por ejemplo, exigen la renovación de la madera mucho antes que se presenten en ella síntomas de pudrición. Por esto se considera pertinente exponer primero una visión de conjunto de las causas que directa o indirectamente intervienen en la destrucción de la madera.

Ellas pueden dividirse en dos grandes grupos :

- Causas biológicas y
- Causas externas.

Ambas causas pueden actuar sobre los árboles en pie o recién volteados, o bien sobre la madera encastillada o de aquella puesta en servicio.

Entre las causas biológicas, por ejemplo, hay algunos hongos e insectos que pueden invadir la madera en cualquier forma o estado en que se encuentre.

Además, se pueden mencionar los animales destructores marinos, que solamente atacan la madera sumergida en el mar o en aguas saladas. Por el contrario, entre las causas externas figuran las tormentas (huracanes y rayos), inundaciones y aludes que provocan daño especialmente en los árboles en pie, mientras que la radiación solar, los agentes atmosféricos y otros factores de orden físico-químico contribuyen especialmente a la desintegración de la madera encastillada o puesta en servicio. Ver Tabla 14.1.

#### **14.1.1. Causas Biológicas.**

Los agentes destructores biológicos necesitan, para iniciar su desarrollo en la madera, de ciertas condiciones primarias de subsistencia, que son:

- Una fuente de material alimenticio para obtener su nutrición.
- Una temperatura adecuada para su crecimiento.
- Una adecuada humedad para su desarrollo.
- Una fuente de oxígeno suficiente para la respiración, y

- La presencia de una infección, en la forma de esporas, la que actuará como una semilla o germen del cual el hongo puede desarrollarse.

El crecimiento de estos hongos y su desarrollo, sólo podrá efectuarse si cada una de estas condiciones se cumplen.

Al existir estas condiciones básicas el ataque biológico puede producir alteraciones de importancia en la resistencia mecánica de la madera o en su aspecto exterior.

CAUSAS DE  
DESTRUCCION  
DE LA MADERA

A. Causas Biológicas  
(árboles en pie y recién  
volteados, madera encastillada  
o puesta en servicio, madera  
en el agua y especialmente  
en el mar.

I ) Organismos  
Vegetales

- a) Hongos cromógenos
- b) Hongos de pudrición
- c) Bacterias que descomponen la celulosa
- d) Mohos

II ) Animales xilófagos  
(terrestres y marinos)

- a) Mamíferos
- b) Aves
- c) Insectos
- d) Moluscos
- e) Crustáceos

III ) Acción del  
hombre

- a) Desgaste mecánico
- b) Calor y frío producido artificialmente
- c) Agentes químicos incluyendo el agua
- d) Fuego

B. Causas Externas

I ) Perturbaciones  
atmosféricas  
(árboles en pie  
principalmente)

- a) Huracanes
- b) Inundaciones y aludes
- c) Efectos del rayo

II ) Desintegración  
físico-química  
de la madera  
a la intemperie

- a) Radiación solar
- b) Humedad atmosférica
- c) Efectos del hielo y deshielo
- d) Acción erosiva de la lluvia, granizo y partículas de polvo y arena arrastradas por el viento
- e) Oxidación lenta y absorción de gases ( $O_2$ ) de la atmósfera

III ) Desintegración  
de carácter mecánico  
de la madera en  
servicio  
especialmente en  
el mar

- a) Roce
- b) Acción erosiva de las corrientes, mareas y del oleaje (tempestades)

#### 14.1.1. a. Organismos Vegetales y Xilófagos.

- **Hongos cromógenos:** Los hongos cromógenos suelen alimentarse de los compuestos orgánicos fácilmente digeribles, almacenados en la madera; causan coloración que pueden clasificarse como defectos y ejercen escasa o nula influencia sobre las propiedades de la madera. No destruyen la madera, pero influyen en su predisposición para ser atacada por hongos de pudrición. Producen un cambio de color original de la madera, tomando un color azulado en la albura. El material afectado no pierde resistencia.
- **Hongos de pudrición :** Este grupo es el más importante y abarca los hongos que son capaces de desintegrar las paredes de la célula y, por lo tanto cambian las características físicas y químicas de la madera. Tal desorganización de la materia da lugar al estado llamado “pudrición”.

Se reconocen dos tipos de pudrición:

- a) **Pudrición Blanca:** Producida por hongos que atacan la lignina, dejando un residuo blanquecino.
- **Pudrición Parda:** Generada por el ataque de la celulosa dejando un residuo pardusco.
- **Bacterias que descomponen la celulosa:** La intervención de las bacterias, en la destrucción de la madera, es poco conocida debido a que tiene escasa importancia, si se compara con la de los hongos. Su acción se explica, lo mismo que en el caso de los hongos, por la actividad enzimática.

Aunque las bacterias segregan enzimas distintas a la de los hongos, no hay diferencia esencial entre los efectos de ambos microorganismos sobre la madera. Puede decirse que las bacterias que disuelven la celulosa no desempeñan, en general, un papel importante en la destrucción de la madera puesta en servicio; pero es innegable que la velocidad de pudrición puede ser aumentada por la presencia de estos organismos.

- **Mohos :** Pueden desarrollarse en la madera, produciendo proliferaciones algodonosas sobre la superficie. El comienzo y extensión de estos hongos dependen de temperaturas favorables y de la existencia de una abundante humedad.

El moho es perjudicial por el aspecto que comunica al material infectado. El moho de la superficie puede cepillarse y quitarse de la madera y el hongo causante no parece afectar a la resistencia y otras propiedades importantes, en grado considerable. Siempre existe la posibilidad de que la madera enmohecida esté atacada por la pudrición, pues, las condiciones que facilitan el crecimiento de los mohos, estimulan el desarrollo de los hongos xilófagos.

#### 14.1.1.b. Animales Xilófagos (Terrestres y marinos).

➤ **Mamíferos:** Los mamíferos que causan más daño en la madera pertenecen al orden “Rodentia”, tales como los conejos y ratones (roedores). Los conejos roen la corteza de árboles jóvenes hasta llegar a la madera, devoran los brotes tiernos de las plantaciones y desarraigan las plantillas, y en épocas de escasez de alimento atacan, incluso la madera seca. Por esto se produce una zona de madera expuesta, durante mucho tiempo, a la invasión de hongos xilófagos. Los troncos afectados por este tipo de pudrición, a causa de las roeduras, llegan a ser inservibles para el aprovechamiento maderable, en su parte inferior, hasta una altura que oscila entre 2 a 3 metros.

➤ **Aves:** El pájaro carpintero ataca a los postes de líneas de conducción eléctrica, tanto de Pino radiata sin impregnar como de Alerce. Los agujeros abiertos por él tienen forma de embudo al principio pero terminan por ser sensiblemente cilíndrico y perforan el poste, habiéndose observado en algunos postes de telégrafo hasta seis agujeros, ordenados en forma helicoidal. Los agujeros suelen estar a una altura superior al alcance de la mano del hombre.

➤ **Insectos :** Los insectos xilófagos atacan a los árboles en pie o recién volteados, a la madera encastillada, en trozas o aserradas y a la puesta en servicio. Gran parte de sus destrucciones son inevitables cuando se trata de árboles en pie aún cuando pueden indudablemente reducirse bastante por un tratamiento adecuado del bosque.

El daño producido por los insectos es debido, en general, a sus larvas y orugas, que penetran en la madera para procurarse alimento y protección abriendo en ellas galerías de características especiales. A veces, sin embargo, las formas adultas toman parte activa en la destrucción, de lo cual pueden servir de ejemplo : los Termites subterráneos, cuyos obreros son los agentes causales del daño, y los coleópteros de ambrosia, cuyas hembras perforan la madera con el fin de hacer la puesta y criar sus larvas . Las galerías producidas por los insectos no solamente afectan al aspecto de la madera, sino que, interrumpiendo la continuidad de sus fibras, reducen la resistencia mecánica de la pieza de madera invadida.

Los insectos xilófagos pueden dividirse en dos grupos :

a) **Insectos que atacan la madera antes de ser puesta en obra :** Sus daños son , en general, bien visibles en el momento del apeo del árbol y al hacer su trozado y despiece, por lo cual cuando un rollizo de madera aserrada u otras formas de manufacturas se clasifican por calidades, las piezas que presentan galerías de insectos pueden ser rechazadas, según el carácter e intensidad de uso a que se destina la madera.

b) **Insectos que atacan la madera una vez puesta en servicio:** Este grupo es con gran diferencia, el más importante en la industria de preservación de la madera, no solo porque gran parte del daño puede ser evitado mediante un tratamiento adecuado con antisépticos, sino también porque la sustitución de la madera inutilizada de una estructura supone trabajo y gastos que

sobrepasan con frecuencia al costo de adquisición de las nuevas piezas de madera.

Los insectos lignívoros, que causan mayor daño en las maderas volteadas y a las puestas en obra, comprenden :

➤ **Termitas** : Tales como termitas subterráneos, termitas de madera seca y termitas de madera húmeda.

➤ **Coleópteros** : Tales como los insectos que exigen un alto contenido de humedad en la madera ( $H > 20\%$ ) por lo cual sólo atacan ordinariamente a los árboles en pie o recién volteados, los insectos que atacan sólo maderas parcialmente secas ( $H < 18\%$ ) o recientemente secas, limitando su daño a la albura, e insectos que atacan únicamente a las maderas viejas y muy secas, por ejemplo : la carcoma.

➤ **Moluscos** : Causan gran daño en los astilleros, embarcaderos, muelles y otras estructuras fijas o flotantes, incluyendo embarcaciones, balsas, etc, establecidas en el mar o agua salobre. Existen tres géneros importantes de moluscos en el mar o en el agua salobre. Existen tres géneros importantes de moluscos perforadoras marinos de la madera : el Teredo, el Bankia y el Martesia. Los dos primeros comprenden una serie de especies de forma bastante parecida a un gusano y muy similares en sus defectos sobre la madera y en otras características. En cambio, los perforadoras del género Martesia se parecen a las almejas y se diferencian en varios aspectos de los otros dos géneros de perforadoras.

➤ **Crustáceos** : Los crustáceos perforadoras de la madera se diferencian de los moluscos en su modo de ataque y destrucción de la madera, así como en su estructura y aspecto general. A diferencia de los moluscos, estos perforadoras no quedan aprisionados en la madera sino que gozan de amplio movimiento, especialmente en las fases adultas de su desarrollo. Jóvenes y adultos horadan la madera y hacen estrechas galerías que pocas veces se extienden hasta muy lejos de la superficie. Aunque estos trabajos son más o menos superficiales, los animales atacan la madera en tal número, que la capa externa de la madera infectada queda completamente acribillada en los puntos de ataque. Las delgadas separaciones de las galerías se rompen fácilmente por la acción mecánica de las aguas y los objetos flotantes, y así una nueva superficie se ofrece a los perforadoras. La destrucción va haciéndose progresivamente más profunda y el volumen de madera queda tan reducido en un nivel determinado que la pieza es incapaz de soportar el peso impuesto. El daño causado por estos perforadoras es menos espectacular y grave que el causado por los moluscos, no sólo porque es más visible a la inspección, sino también porque la destrucción de la madera es menos rápida.

En condiciones muy favorables, los crustáceos necesitan un año al menos para utilizar un pilote de 35 mm de diámetro mientras que los moluscos pueden hacerlo en unos seis meses.

#### 14.1.1.c. Acción del Hombre.

➤ **Desgaste mecánico** : La madera sometida a condiciones de movimientos de diversas clases, está expuesta al deterioro por desgaste mecánico o por roce. Es el caso de traviesa, Tablas de pasos a nivel, bloques de madera usados en el pavimento de las calles, puentes y suelos de fábricas, andenes, canales de relave, etc. En algunos de estos usos la madera puede hacerse inservible sólo por el desgaste mecánico, pero la mayoría de las veces, la pudrición se combina con el roce para causar el deterioro.

➤ **Calor y frío producido artificialmente** : La madera experimenta variaciones en su composición y estructura cuando se somete a altas temperaturas, durante extensos períodos de tiempo incluso muy por debajo de 120° C en que empieza la destilación se observan ya alteraciones que se van intensificando a medida que aumenta el tiempo de exposición. Aunque la naturaleza de estas alteraciones no está completamente dilucida, se puede suponer que obedecen a que el calor prolongado origina un acortamiento de las cadenas de celulosa, a causa del cual la madera se hace quebradiza.

El frío no daña a la madera seca, pero si es muy intenso, las fibras leñosas se hacen quebradizas como el cristal y pierden su elasticidad. En la madera húmeda, el hielo y deshielo reiterado del agua que contiene, ocasiona la rotura de las paredes celulares.

➤ **Agentes químicos incluyendo el agua** : En los túneles de ferrocarriles se produce con frecuencia una acumulación de dióxido de azufre, procedentes de los gases de combustión de la locomotora, que al ser absorbido por el vapor de agua, pueden atacar las fibras leñosas.

La desintegración de la madera puede ser causada, en pocos años, por la acción del polvo de hierro, debido al desgaste de los rieles, el cual no sólo produce la erosión de la superficie de la madera, sino que también la rotura de las fibras leñosas.

En los edificios, la cal apagada, en estado fresco, puede ejercer efectos corrosivos si está en contacto con la madera durante mucho tiempo. Los colores ácidos empleados para teñir los entarimados pueden ocasionar en ellos una corrosión importante debido a la hidrólisis de los hidratos de carbono, que contiene la madera.

La naturaleza química de la destrucción puede ser reconocida fácilmente, en la mayoría de los casos, por un simple análisis del extracto acuoso de la madera descompuesta, si el ph de este extracto cae del lado básico, o da una acidez mayor que 2,5 no es probablemente que la destrucción sea originada por hongos y debe investigarse el agente químico que la produce.

La exposición prolongada de la madera al agua corriente, especialmente si está caliente, como en las torres de enfriamiento, puede producir en ella una erosión superficial, debido al deslavado de las partes más solubles y a la acción de desgaste del agua corriente sobre la madera.

En cuanto a la madera navegada por los ríos, o empleada en construcciones sumergida parcial o totalmente en el agua, hay opiniones contradictorias; unos creen que con ello se pierden los taninos, resinas y otras sustancias que desempeñan un cierto papel en la conservación de la madera, y otros, en cambio, estiman que esta pérdida de sustancia aumenta la duración de la madera, porque elimina algunas materias que favorecen la pudrición. Esta última aseveración no tiene una explicación clara puesto que los hongos xilófagos son aeróbicos. El lavado de las sustancias tales como taninos, etc, debido al agua dulce, disminuye la higroscopicidad por lo cual los fenómenos de contracción e hinchamientos son menos acusados en la madera lavada, que en la no sometida a este tratamiento.

➤ **Fuego** : Ningún material puede soportar indefinidamente la acción del fuego sin deteriorarse. En el caso de los edificios de madera se ha encontrado que las vigas de grandes secciones transversales sólo muestran una superficie carbonizada, de pequeña profundidad, que cubre y protege madera afectada por el fuego. La explicación de lo anterior es la baja conductibilidad térmica de la madera, a causa de lo cual se trasmite una pequeña proporción del calor hacia el interior de ella. En muchos casos, este calor es insuficiente para liberar gases inflamables, que son los que promueven el avance del fuego.

La inflamabilidad de la madera es el mayor obstáculo que se opone a la difusión de su empleo en la construcción, en competencia con materiales no inflamables. En efecto, una propaganda desmesurada y tendenciosa sobre “el riesgo de incendio” de las construcciones en madera, en provecho de otros materiales, ha conducido a adoptar una actitud injustificada contra el uso de madera en los edificios. La experiencia ha demostrado que el uso de materiales no combustibles no preserva los edificios de ser dañados e incluso destruidos por el fuego.

El combustible para la iniciación y extensión de un incendio lo proporcionan, casi siempre, otros materiales mucho más inflamables que la madera. La presencia de cortinas, muebles y otros objetos inflamables, en combinación con determinados factores tales como defectos de construcción, descuido o ignorancia de la gente y falta de medios para extinguir rápidamente las primeras llamas, constituyen riesgos de incendio más importante que las construcciones en madera.

### **Comportamiento de la madera frente a la acción del fuego**

Las diferentes etapas que se suceden en un elemento de madera expuesto a la acción del fuego son : Inflamación, Esparcido de la llama y Penetración del fuego en la madera.

**Inflamación** : Es la tendencia a iniciar el quemado con o sin la presencia de llama. Cuando la madera se somete a la acción del calor, su temperatura se eleva rápidamente hasta 100° C. En este punto se producen grietas debido a la evaporación del agua que la madera contiene.

Cuando toda la humedad se ha ido, la temperatura nuevamente se eleva lentamente, se produce un cambio químico y la madera empieza a desintegrarse. Bajo los 200 °C, sólo es visible un leve oscurecimiento de la

superficie, pero, entre 200° C y 300° C, la descomposición se torna rápida, produciendo gases inflamables y alquitrán, dejando carbón detrás de sí. El encendido de estos gases produce la inflamación de la madera.

La facilidad con que puede inflamarse una madera dependerá de la temperatura de la fuente del calor, de la especie maderera, del contenido de humedad, de la duración de la exposición, del tamaño y de los detalles constructivos.

**Esparcido de la llama :** Es la tendencia de la llama a propagarse por sobre la madera. De la velocidad de esparcido de la llama depende la posibilidad de tener tiempo para extinguir el fuego o para evacuar un edificio. El esparcido de la llama se mide observando, mediante instrumentos adecuados, el deslizamiento o incremento de avance de una llama sobre la superficie de un elemento constructivo tal como muro, cielos, vigas, etc.

El incremento del esparcido de la llama puede variar grandemente, dependiendo esto de la posición de los materiales combustibles, de la forma de aplicación del calor y la llama y de otras características externas (viento, ventilación, etc).

**Penetración del fuego :** Es el avance de la combustión desde el exterior hacia el interior de una sección transversal de un material. En la madera, el avance o penetración hacia el interior tiene una velocidad que varía entre 0,8 mm/min a 0,5 mm/min. El calor penetra, lentamente, a través de la capa de carbón exterior. La temperatura, a 6 mm hacia el interior, es de sólo 175° C. Como resultado de lo anterior, el avance del quemado se torna aún más lento, por falta de una temperatura adecuada y la sección transversal, no afectada por el fuego, sigue aportando resistencia al elemento. Este comportamiento se conoce como “resistencia al fuego de la madera”.

Los tiempos necesarios para alcanzar la falla o rotura del elemento (15 % de su resistencia inicial) son :

Aleación de aluminio .....	4 min.
Acero dulce.....	9,5 min.
Vigas de madera de 25 * 50 mmm.....	13,5 min.
Tirante de madera de 25 *50 mm.....	14,5 min.
Viga de madera de 50 *100 mm.....	24,5 min.
Tirante de madera de 50 * 125 mm.....	26,5 min.

## 14.2. Durabilidad Natural De La Madera.

Algunas especies de madera presentan una mayor resistencia al ataque de agentes destructores, en especial a los hongos xilófagos, debido a que contienen sustancias extractivas : aceites esenciales, taninos, fenoles, los que realizan cierta preservación natural.

La durabilidad depende no sólo de las especies, sino del medio ambiente en que se desarrollan, del tipo de hongo o insecto que ataca y de las condiciones ambientales donde se ubica la madera.

Las maderas muy durables se pueden utilizar con confianza para estructuras en permanente contacto con el agua o el suelo ejemplo : pilotes de muelles, durmientes, postes para cercos, etc.

**14.2.1. Principios Básicos :** Se define por durabilidad natural a la capacidad que posee la madera para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción. Una vez que se pone en servicio sin ningún tipo de tratamiento de preservación.

**14.2.2. Categorías de Maderas Comerciales Según su Durabilidad :** Según la Norma Chilena NCh 789/1, es posible definir cinco categorías de durabilidad, de acuerdo a la vida útil que se espera del duramen de una cierta especie maderera sin tratamiento.

Tipo de Categoría	Tipo de Durabilidad	Vida Util de la Madera
Categoría 1	Muy Durables	Superior a 20 años
Categoría 2	Durables	Superior a 15 años
Categoría 3	Moderadamente Durable	Superior a 10 años
Categoría 4	Poco Durable	Superior a 5 años
Categoría 5	No durable	Inferior a 5 años

**14.2.3. Clasificación de las Maderas :** Para clasificar las categorías de durabilidad natural de las maderas comerciales, se deben aceptar las normas de ensayos de laboratorios reconocidos por la autoridad competente. Esta es una clasificación provisoria por lo tanto susceptible de ser modificada.

CATEGORIA	MADERA (Nombre Común)
MUY DURABLE	Roble – Ciprés de la Guaytecas – Alerce
DURABLE	Raulí – Lenga – Lingue
MODERADAMENTE DURABLES	Canelo – Coigüe – Tineo – Ulmo
POCO DURABLES	Araucaria – Eucalipto – Laurel – Mañío
NO DURABLES	Alamo – Olivillo – Pino radiata - Tapa

**14.3. Protección de la Madera :** La protección de la madera se logra generalmente con preservadores, que son sustancias químicas que aplicadas convenientemente a la madera la hacen resistente a los ataques de los hongos, insectos y perforadores marinos. El efecto protector se consigue haciendo la madera venenosa o repelente a los elementos biológicos que la atacarían si ella no estuviera tratada.

Un buen preservante debe ser :

- Tóxico para los destructores de la madera.
- Permanentes.
- Seguros de manejar y de usar.
- No ser corrosivos para la madera y el metal.
- Abundantes y económicos.

Si la madera es usada en la construcción de artículos manufacturados ejemplo puerta, ventana, etc, el preservante debe ser además:

- Limpio, incoloro e inodoro
- Hidrófugo

#### **14.4. Tipos de Preservantes :**

**14.4.1. Preservantes Creosotados :** Consisten en preservantes que contienen alquitrán, destilados del alquitrán o ambos. Sus características son las siguientes :

- No son corrosivos y no se inflaman rápidamente a temperatura normal de tratamiento
- Son satisfactorios desde el punto de vista de permanencia y resistencia al lavado
- La madera tratada con estos preservantes no puede ser pintada satisfactoriamente o bien deben pintarse mucho tiempo después de su aplicación.
- Son aceitosos y de color oscuro, tienen un olor característico que impregna fácilmente ciertos alimentos (ejemplo : grasas, huevos), aún cuando no estén en contacto directo con ellos.
- Son apropiados para madera que va en contacto con el suelo y solamente para ciertos trabajos en interiores.
- No producen cambios en las dimensiones y formas de la madera.

**Algunos Preservantes Creosotados :** Creosota, el aceite de alquitrán, la mezcla cerosota – petróleo, Etc. Todos son de fácil ubicación en el mercado nacional.

**14.4.2. Preservantes Solubles en Líquidos Orgánicos :** Consisten en soluciones de un preservante en un solvente volátil tal como parafina o turpentina mineral, cuyas características son las siguientes.

- Son resistentes a la lixiviación con agua y apropiados para la mayoría de los trabajos, tanto en interiores como en exteriores.
- Generalmente no son posibles de impregnar con colorantes y no son corrosivos.
- Es posible pintar la madera tratada con este tipo de preservante, después de un cierto período.
- No producen cambios en las dimensiones y formas de la madera.
- Algunos son inodoros, pero no deben usarse en madera que esté en contacto con ropas o alimentos, pues son venenosos.
- Los solventes son inflamables y por lo tanto, deben guardarse las debidas medidas de seguridad en el manejo y aplicación.

**Algunos Preservantes Solubles en Líquido Orgánicos :** Son a base de clorofenoles, tal como el Pentaclorofenol. Otros son a base de Naftenatos, como el Naftenato de Cobre.

**14.4.3. Preservantes Hidrosolubles :** Consisten en soluciones de sales simples o mezclas de ella, cuyas características son las siguientes:

- Son de carácter permanente.
- No son inflamables, pero algunos corroen los metales
- Aunque algunos preservantes de este tipo colorean la madera, no impiden pintarlas o teñirlas después del proceso de protección.
- La mayoría son inodoros, pero se debe tener la precaución, con algunos de ellos, cuando la madera va a ser usada en contacto con alimentos, porque pueden ser venenosos.
- La madera impregnada con este tipo de preservante debe apilarse después del tratamiento, para permitir que se seque nuevamente.
- Es posibles que se produzcan variaciones de forma y dimensiones.

**Algunos Preservantes Hidrosolubles:** Un tipo de preservante hidrosoluble es el Sulfato de Cobre, que aún se usa en agricultura para postes, rodrigones, estacas, etc. Los preservantes más usados son :

Cobre - Cromo-Arsénico : CCA (El más usado en Chile)

Cobre –Cromo- Boro : CCB (Se usa en zonas desérticas, por su tendencia a la lixiviación).

## **14.5. Métodos de Preservación**

**14.5.1 Métodos sin presión :** Estos métodos no proporcionan una buena penetración pero son aconsejables para ciertos usos.

### **14.5.1.1. Brocha o Esparcidor:**

- Es el método más fácil, pero el menos efectivo.
- Se recomienda para preservar madera "in situ".
- Se debe usar sólo madera seca.
- La mejor penetración que se puede lograr es 2 mm de profundidad.

### **14.5.1.2. Inmersión:**

- Consiste en sumergir la madera en un baño de preservantes durante un corto periodo.
- Tiempo de Inmersión : 10 segundos a 3 minutos.
- La penetración lograda es ligeramente superior al método de la brocha o esparcidor.
- Todos los preservantes pueden usarse con este método.

### **14.5.1.3. Inmersión Prolongada :**

- La madera se sumerge en preservantes frío.
- Tiempo de inmersión : desde horas hasta días o semanas.
- Buen éxito depende de : Tipo y calidad de la madera, Tiempo de inmersión.

### **14.5.1.4. Tratamientos Baño Caliente – Frío :**

- Tiempo total del tratamiento : 24 Horas
- Es aplicable para madera permeables y a la albura.
- No se recomienda para maderas refractarias
- Toda la absorción ocurre durante el periodo de enfriamiento
- La absorción depende de : Temperatura máxima de calentamiento, de la temperatura mínima de enfriamiento y de la especie maderera
- Para madera seca se necesita : Período de calentamiento 2 a 3 horas y 4 a 5 horas de enfriamientos.
- Es esencial que la madera se mantenga sumergida completamente, ya sea con pesos o apoyos apropiados.

## **Método Baño Caliente – Frío**

El método consiste en introducir un líquido caliente que eleve la temperatura de la madera, causando la expulsión de parte del aire contenido en el interior de las células, por expansión. Esto se manifiesta en la superficie del líquido por la presencia de burbujas, que aparecen en ella, durante el período de calentamiento. Con el enfriamiento el aire contenido en las células se contraen, creando un vacío parcial en la madera, con lo cual el preservante es forzado a penetrar en ella, impulsado por la presión atmosférica que existe en el líquido.

### **14.5.1.5. Otros Tratamientos:**

- ❖ Tratamiento de Base.
- ❖ Tratamiento de Difusión.
- ❖ Tratamiento por Doble Difusión.
- ❖ Tratamiento de Vapor y Enfriamiento.
- ❖ Tratamiento de Pulverización.

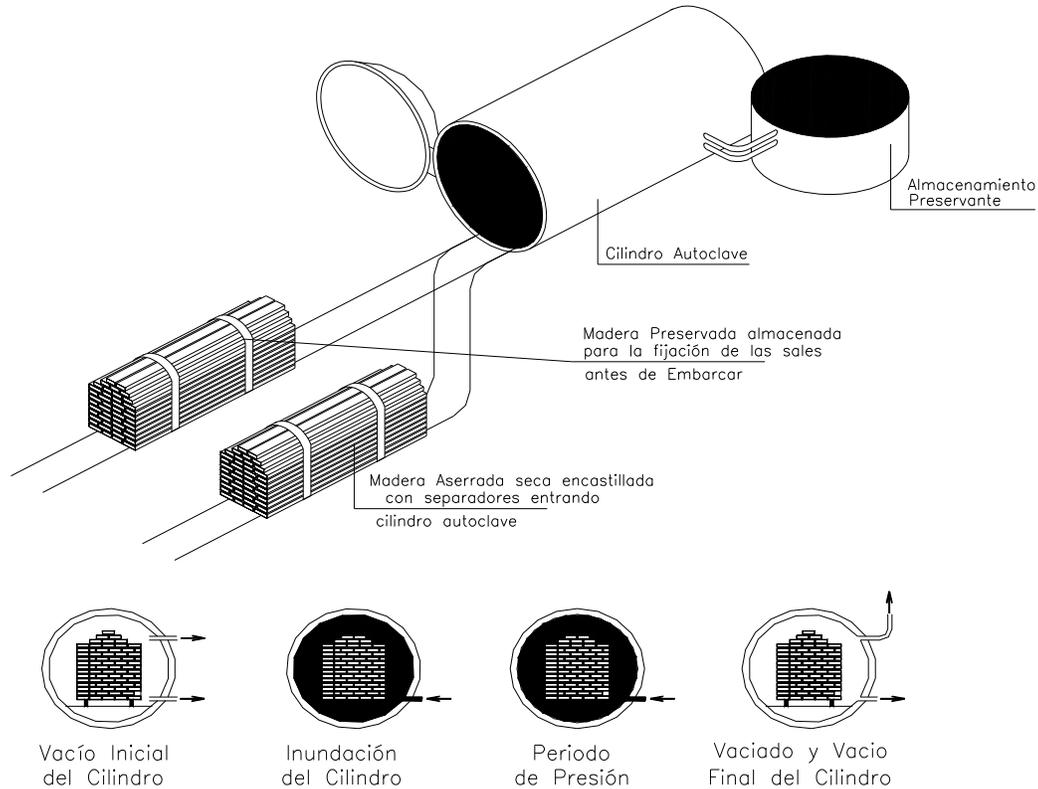
**14.5.2. Métodos con Presión :** La impregnación con presión es el método más efectivo para preservar madera que será usada en lugares con peligro de pudrición y ataque persistente de insectos xilifágos. Si bien son métodos más costosos, por las instalaciones que se requieren, con ellos se logran penetraciones profundas y uniformes del preservante, proporcionando una protección más efectiva.

Los diversos métodos a presión difieren en algunos detalles, pero en general utilizan el mismo procedimiento en todos los casos.

Consiste en introducir la madera a impregnar en cilindros o autoclaves, abiertos en uno o ambos extremos, los que se cierran herméticamente y allí se somete la madera a la acción de la sustancia preservadora, en ciclos alternados de vacío y presión, en diversas modalidades que dan origen a los diversos procesos.

Los diversos métodos a presión usados para inyectar preservadores en la madera en cilindros cerrados pueden dividirse en dos grupos principales, llamados : **Procedimiento de Célula Llena y Célula Vacía.**

## Planta de Impregnación con Sales del Tipo Hidrosolubles en Agua (C.C.A)



**Figura 14.1 Esquema Planta de Impregnación**

**14.5.2.1. Proceso de Célula Llena :** Con este proceso se trata de retener en la madera la mayor cantidad posible del preservante que se ha introducido en el período de presión, dejando así la máxima concentración de preservante en la zona tratada. Este proceso se utiliza con preservantes del tipo hidrosoluble y retardantes del fuego. Consta de las siguientes etapas:

- ❖ Introducción de la madera en el cilindro y cierre hermético de éste.
- ❖ Vacío Inicial (71 cm de Hg) por 15 minutos o varias horas, según sea la permeabilidad y espesor de la madera. Con él se saca el aire de las células de la madera, disminuyendo así la resistencia a la penetración del preservante.
- ❖ Sin romper el vacío inicial, se introduce el preservante hasta llenar el cilindro.

- ❖ Aplicación de una presión hidráulica hasta lograr una retención y penetración deseada. Este período puede durar entre 1 a 5 horas dependiendo de la permeabilidad de la especie a impregnar.
- ❖ Extracción con bombas del preservante que sobra.
  
- ❖ Aplicación de un vacío final para extraer el excedente del preservante de la superficie de la madera. Esto evita posteriores exudaciones y deja la madera más limpia para su manipulación, contribuyendo además a la economía del proceso.

#### **14.5.2.2. Otros Métodos con Presión :**

**Acondicionamiento de madera verde para someterla a preservación con presión :** Cuando, debido a la falta del tiempo necesario para secar madera, destinada a un proceso de impregnación con presión, existen dos tratamientos comúnmente usados para acondicionar dicha madera.

**Proceso de Ebullición Bajo Vacío (Proceso Boulton) :** Tratamiento para acondicionar la madera sin secar o parcialmente seca, antes de la impregnación a presión, por ebullición de agua contenida en la madera, mediante calentamiento bajo vacío de un preservante creosotado.

**Proceso de Ebullición sin Vacío :** Tratamiento preparatorio para acondicionar la madera verde para impregnación a presión, mediante ebullición de un preservante creosotado a presión atmosférica y a temperatura superior al punto de ebullición del agua.

**Proceso Boucherie :** Tratamiento por gravedad, en el cual se aplica un preservante hidrosoluble al extremo de una madera recientemente cortada sin descortezar.

**Tratamiento por Inyección :** Tratamiento por el cual se introduce, a presión un preservante en la madera.

## 14.6. Uso de madera Preservada

La madera tratada con preservantes debe ser usada dondequiera pueda existir peligro de ataque de los agentes destructores de la madera. Esto significa que debe usarse en piezas de madera que estén :

- En contacto con el suelo.
- En o bajo terreno saturado.
- Totalmente rodeada de hormigón o albañilería.
- En lugares mal ventilados.
- En zonas o lugares en los cuales la humedad de equilibrio exceda de 20%.
- Sometida a la acción de aguas marinas donde puedan existir perforadores marinos.

### 14.6.1. Algunos usos de Madera Preservada :

- Durmientes.
- Postes de cercos y rodrigones para viñas.
- Postes de transmisión eléctrica o telefónica.
- Torres de enfriamientos.
- Pilotes.
- Puentes.
- Madera para construcción.
- Madera contrachapada.
- Madera para minas.
- Maderas para muelles y puentes.

**TABLA 14.2 Descripción de los preservantes**

Tipo de preservante	Norma	Descripción
CCA	NCh 1260	Oxidos de Cobre, Cromo y Arsénico
Boro	AWPA P 5.9	Boro expresado como Oxido de Boro
CPF	AWPA P 8.11	Clorpirifos
CBA - A	AWPA P 5.17	Cobre – Azole Tipo A

**Tabla 14.3 Preservantes a usar según clasificación de riesgo de la madera en servicio.**

Elemento	Riesgo	Preservante
<b>1. Madera de uso estructural en construcciones comerciales y residenciales.</b> - Fundación en contacto con tierra o concreto - Vigas pisos - Soleras en contacto con concreto - Pie derecho zona húmeda - Pie derecho zona seca - Cerchas - Vigas entrepisos - EnTablado de piso sobre envigado - Fundación de terraza	R5 R2 R2 R2 R1 R1 R1 R2 R5 R3	CCA CCA/BORO/CBA-A CCA/BORO/CBA-A CCA/BORO/CBA-A CCA/BORO/CBA-/CPF CCA/BORO/CBA-/CPF CCA/BORO/CBA-/CPF CCA/BORO/CBA-A CCA CCA/CBA-A
<b>2. Maderas no estructurales de uso exterior en la construcción.</b> - Tapacanes - Revestimientos interiores - Moldura y carpintería exteriores	R3 R3 R3	CCA/CBA-A CCA/CBA-A CCA/CBA-A
<b>3. Aplicación agrícola</b> - Esquineros - Cabezales - Polines - Cercos - Uso agrícola sin contacto con el suelo - Pilares para invernadero	R5 R4 R4 R4 R3 R4	CCA/CBA-A CCA/CBA-A CCA/CBA-A CCA/CBA-A CCA/CBA-A CCA/CBA-A
<b>4. Otros componentes estructurales críticos</b> - Postes de distribución - Pilotes de agua dulce - Pilotes de agua marina	R5 R5 R6	CCA CCA CCA
<b>5. Juegos Infantiles, Muebles de exterior</b> - Aéreos - Empotrados en terreno	R3 R4	CCA-CBAA CCA-CBAA
NOTA – Cualquier aplicación de madera que requiera protección para aumentar su durabilidad natural en servicio y no esté especificada en esta Tabla, deberá ser preservada de acuerdo a la última versión de la norma AWPA correspondiente.		

**Tabla 14.4 Sistema de Aplicación de los Preservantes Especificados**

Preservante	Sistema de Aplicación
CCA	VACIO – PRESION
BORO – Protección Termitas	VACIO – PRESION
BORO – Protección otros insectos	DIFUSIÓN
CLORPIRIFOS	- INMERCION PROLONGADA - VACIO – PRESION - VACIO – VACIO

#### 14.6.2. Uso del Pino radiata Preservado

Los productos de madera de Pino radiata se clasifican según su uso y riesgo esperado en servicio, como se especifica en la Tabla 14.5.

**Tabla 14.5 Clasificación de la madera de Pino radiata según su uso y riesgo esperado en servicio.**

Clasificación	Uso / Agente de deterioración
Grupo 1 (R1)	Maderas usadas en interiores, ambientes secos, con riesgos de ataque de insectos solamente, incluida la termita subterránea.
Grupo 2 (R2)	Maderas usadas en interiores, con posibilidades de adquirir humedad, ambientes mal ventilados. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 3 (R3)	Maderas usadas en exteriores, sin contacto con el suelo, expuesta a las condiciones climáticas. Riesgo de ataques de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 4 (R4)	Maderas enterradas o apoyadas en el terreno, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 5 (R5)	Maderas enterradas en el suelo, componentes estructurales críticos, en contacto con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos e insectos.
Grupo 6 (R6)	Maderas expuestas a la acción de aguas marinas y para torres de enfriamiento. Riesgo de ataque de horadores marinos.

NOTA : Los términos y definiciones que se incluyen en estas Tablas se incluyen en la NCh 630.

#### 14.7. Parámetros a Considerar en Madera Tratada.

Los parámetros que regulan la preservación son la **Penetración** y la **Retención**.

Se entiende por **Penetración** a la profundidad a la cual entra el preservante en la madera en el sentido normal a las fibras. Se expresa como el porcentaje de área penetrada por el preservante, respecto a la sección transversal total.

La **Retención Neta** es la cantidad de preservante en forma de compuestos líquidos o seco, que permanece en la madera después del tratamiento. Se expresa en  $\text{Kg/m}^3$ .

La clasificación de la madera preservada de Pino radiata y los requerimientos de penetración y retención, de acuerdo a su uso y riesgos esperados de servicio, se deben extraer de la norma chilena NCh 819.

**Tabla 14.6 Retención mínima neta del preservante según norma NCh 819**

Grupo	CCA, $\text{Kg/m}^3$	Boro $\text{Kg/m}^3$	CPF $\text{Kg/m}^3$	CBA –A $\text{Kg/m}^3$
1	4,0	4,4	0,5	3,2
2	4,0	4,4	0,5	3,2
3	4,0	No se aplica	0,5	3,2
4	6,4	No se aplica	No se aplica	No se aplica
5	9,6	No se aplica	No se aplica	No se aplica
6	4,0	No se aplica	No se aplica	No se aplica

\*) Kilos de preservantes activos por metro cúbico de madera tratada.

La zona de ensayo a extraer del tarugo, es decir, la zona de madera tratada que debe contener una concentración específica de preservante, se señala en Tabla 14.7.

**Tabla 14.7 Zona de ensayo para determinar la retención de preservante en la madera.**

Producto	Clasificación de riesgo	Zona de ensayo
Madera aserrada Piezas de espesor menor o igual a 50 mm. Piezas de espesor mayor que 50 mm Madera aserrada para fundaciones permanentes (R5)	R1,R2,R3,R4  R5	15 mm desde la superficie (0,15 mm). 25 mm desde la superficie (0 – 25). 35 mm desde la superficie (0-35 mm)
Polines Polines	R4 R2,R3	25 mm desde la superficie 15 mm desde la superficie
Postes y otros elementos estructurales redondos.	R5	2,5-50 mm tarugo de 50 mm de largo, eliminado tramo de 2,5 mm exterior)
Fundación de madera redonda enterrada en suelo y/o aguas dulces.	R5	50 mm desde la superficie
Pilotes marinos (redondos)	R6	50 mm desde la superficie

#### 14.7.1. La Retención

La retención de preservantes requerida para proteger la madera en servicio está basada en resultados de ensayos de campo de largo plazo, la mayoría de los cuales fueron establecidos para determinar la cantidad de preservantes requerido para proteger un volumen dado de la madera, es decir la masa de preservante por metro cúbico de madera.

NOTA : Aquellos preservantes para los que no se han realizado los estudios de largo plazo, la información se basa en los estudios realizados en EEUU y Nueva Zelanda.

La retención especificada en Tabla 14.6 se expresa en kilogramos de ingredientes activos por metro cúbico de madera tratada.

NOTA: Para convertir los kilos de óxido de CCA en kilos de preservantes, en Anexo A, se entrega una Tabla de conversión.

La retención de cada uno de los preservantes se comprobará mediante:

- NCh763 y NCh755, para CCA
- WMPA A2-98, para Boro.
- WMPA A28-01, para Clorpirifos.
- WMPA2-98, para CBA-A.

### 14.7.2. Penetración

La penetración mínima requerida según el producto y riesgo esperado, se incluyen en la Tabla 14.8

**Tabla 14.8 Penetración de los preservantes.**

Producto	Clasificación de riesgo	Requisitos mínimos de penetración en albura y profundidad mínima (mm) en las caras.	
		Altura	Profundidad mínima (en caso de duramen expuesto o baja porción de albura en la superficie)
Madera aserrada y elaborada	R1, R2, R3, R4	100%	10 mm
Madera aserrada utilizada en fundaciones.	R5	100%	64 mm
Polines	R4	100%	25 mm
Polines	R3	100%	10 mm
Postes	R5	100%	64 mm
Maderas redondas para fundaciones	R5	100%	64 mm
Maderas redondas para pilotes marinos	R6	100%	64 mm

### 14.8. Inspección

La inspección para la recepción se efectuará en la planta de impregnación o en el lugar de almacenamiento del producto, después de 48 h, de tratada la madera. Durante el invierno se recomienda hacer la inspección no antes de 10 días.

#### 14.8.1. Extracción de la muestra

La extracción de muestra de la madera preservada de pino radiata se efectúa según NCh631.

#### 14.8.2. Aceptación y rechazo

El lote se aceptará cuando el resultado de retención de la muestra, sea mayor o igual a los valores especificados en Tabla 7.6 y que el 90 % de los tarugos cumplan con la de penetración especificada en Tabla 7.8, excepto para los postes.

Para los postes de circunferencia menor a 950 mm (medido a 1,80 m desde la base) si 18 tarugos cumplen con la penetración se acepta la carga, pero los postes no conformes deben ser retratados. Si sólo 16 a 17 cumplen la

penetración, se deberá muestrear toda las unidades de la carga o lote y se acepta sólo los postes conformes. El resto serán retratados. Si menos de 16 postes cumplen la penetración, se deberá rechazar la carga.

Para los poste sobre 950 mm de circunferencia (medido a 1,80 m desde la base) se aceptarán todos los poste que cumplan los requisitos. En postes sobre 15 m se aceptarán sólo si los tarugos sacados a cada poste cumplen penetración.

**Tabla 14.9. Penetración del preservante en madera de Pino radiata.**

GRUPO	FORMA DE PRESENTACION	REQUISITO MÍNIMO DE PENETRACIÓN EN ALBURA Y PROFUNDIDAD EN LAS CARAS	
		Porcentaje de albura (%)	Profundidad mínima (mm) en todas las caras.
1,2 y 3	Madera aserrada y elaborada.	100	10
4	Madera aserrada y elaborada	100	15
1,2,3 y 4	Madera redondas	100	Un mínimo de 50 mm

#### **14.9. Requisitos de Retención para Madera de Pino Radiata**

La madera preservada de Pino radiata, de acuerdo al uso y riesgo esperado en servicio y el preservante usado debe cumplir con la retención neta especificada en la Tabla siguiente.

**Tabla 14.10 Retención neta del preservante CCA ( kg. de oxido activo por metro cúbico de madera tratada)**

GRUPO	TIPO DE MADERA	PRESERVANTE CCA
1	Pino radiata	4,0
2	Pino radiata	6,0
3	Pino radiata	9,0
4	Pino radiata	13,5

## **15. MADERAS COMERCIALES.**

### **15.1. Especies Madereras Nativas.**

#### **15.1.1. Coníferas.**

##### **Alerce :**

##### **Características Macroscópicas.**

La madera del duramen es de color castaño rojizo oscuro, se caracteriza por un veteado notorio, producto de los anillos de crecimiento. La albura es de color blanca o amarillenta ocrácea y contracta notablemente con el duramen. Es blanda y liviana, tiene olor a resina.

Su textura es fina y homogénea con anillos de crecimiento de ancho muy regular (1 mm promedio) y bien demarcados. Su resistencia mecánica se puede clasificar como baja. El recurso en pie ha sido declarado monumento forestal. No se puede explotar.

##### **Usos.**

Por su bonito veteado la madera se usa en revestimientos, puertas, ventanas tanto interiores como exteriores, cierres de jardines, portones, molduras en general, persianas y artesanía. Por su gran durabilidad se emplea como tejuela, postes de transmisión, silos y estacas, en forros para embarcaciones, diques, estanques y duelas para barril. En carpintería se usa como chapas para tableros de recubrimientos, lápices, muebles, instrumentos musicales, canaletas para ácidos, etc. En instalaciones industriales se ocupa en Torres de enfriamiento. En general, es una madera muy valiosa y altamente cotizada en el mercado internacional.

##### **Araucaria :**

##### **Características Macroscópicas.**

La madera es de color blanco amarillento o amarillo ocráceo, no ofrece una diferencia marcada entre albura y duramen, aunque este último coloreado con suaves vetas de color castaño. Anillos de crecimientos más o menos visibles, muy densos.

Textura fina y uniforme : Rayos medulares de color claro, casi invisibles; heterogéneos en su grosor. Madera semi – pesada, de 600 a 700 Kg/m<sup>3</sup> de madera seca al aire. Es fácil de trabajar, seca fácilmente y no tuerce durante este proceso. Su resistencia a la pudrición es reducida. Resistencia mecánica calificada como intermedia.

**Usos.**

De gran aplicación en la construcción y obra gruesa de edificios, puentes, muelle, etc. Pero siempre en partes donde no exista contacto permanente con tierra o humedad.

Se le usa en cajones y envases, muebles, estructuras de aviones, madera para minas, carrocerías pisos, vigas, techos, cerchas, ventanas, persianas, revestimientos interiores y exteriores, moldajes de concreto, etc.

Utilizadas en la fabricación de contrachapados y tableros de partículas. Se le considera apropiada para pulpa y papel. Por decreto de ley es considerado Monumento Forestal. No se puede explotar.

**Ciprés de la Cordillera.****Características macroscópicas de la madera.**

La madera se caracteriza por una albura blanco – amarillenta y duramen de color castaño – ocráceo claro. Anillos muy diferenciados y relativamente anchos. Textura fina. Madera liviana, olor característico. Madera durable y de resistencia mecánica baja.

**Usos.**

En revestimientos interiores, postes, estacas, crucetas postes de transmisión, postes de cerco y rodrigones, embarcaciones, cielos, tejuelas, construcción pesada, puertas, ventanas, etc.

**Ciprés de las Guaytecas.****Características macroscópicas de la madera.**

La madera es de color café claro amarillento, posee una albura de color blanco amarillento y duramen oscuro. Anillos de crecimiento bien visibles, muy aromática, de textura fina y homogénea, veteado suave, muy liviana, pues pesa entre 400 a 500 Kg/m<sup>3</sup> . Además, es sumamente durable y resistente a la pudrición. La madera es fácil de secar, no torciéndose durante este proceso. Su resistencia mecánica es clasificada como intermedia.

**Usos.**

La madera se usa en postes eléctricos, postes telefónicos, rodrigones de viñas, estacas, mueblería e instrumentos musicales, en embarcaciones, obra gruesa de construcciones, obra gruesa de construcciones, puertas y ventanas, tejuelas, cajones y envases.

## **Maño**

### **Características macroscópicas de la madera.**

Rayos medulares muy finos, de color claro. Madera tardía bien destacada. Madera tanto de albura como de duramen, de color amarillento claro. Anillos anuales bien visibles, de crecimiento moderado. Calificada como poco durable.

### **Usos.**

Mueblería, pisos, fabricación de cajones, chapas y terciados.

## **15.1.2. Latifoliadas**

### **Avellano.**

#### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera es de gran belleza, con una veta notoria, oscura, sobre fondo. El duramen es de color rojizo, la albura amarillento – rojiza. Los anillos anuales son poco visibles. Rayos medulares gruesos que aparecen tanto en el corte tangencial como en el radial, en líneas o manchas bien marcadas. Su madera se puede clasificar de densidad media y dura.

### **Usos.**

Terminaciones y revestimientos interiores, muebles, chapas, remos e instrumentos musicales.

### **Canelo.**

#### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera es de color claro, castaño rosado, presentando en su cara longitudinal vetas notorias de color algo más oscuro, constituidas por los radios leñosos. La albura es un poco más clara que el duramen. Anillos de crecimientos fácil de distinguir. Sin olor ni gusto característico pero con un brillo suavemente plateado cuando la madera está recién cepillada. Textura heterogénea. Se le puede clasificar de peso mediano ( $500 - 750 \text{ Kg/m}^3$ ) y de dureza intermedia poco durable.

### **Usos.**

Por su vetado la madera es muy apreciada para ebanistería. Se utiliza en revestimientos interiores, cajones envases, instrumentos musicales y muebles.

Posee una fibra más larga que la del Pino insigne lo cual lo convierte en un material muy apreciado para la fabricación de papel y celulosa. La corteza fue exportada por sus propiedades medicinales contra la fiebre, afecciones del estómago y otros.

## **Coigüe.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

El color del duramen ofrece grandes variaciones según las zonas de crecimiento, va desde el blanquizco hasta el rojizo. La albura es blanquizca, a veces se encuentra falso duramen de un color pardo negruzco. Es semi – pesada y dura, con un leve olor ácido. Anillos de crecimiento visibles. Durable, pero con dificultad en su secado.

### **Usos.**

Se usa en obras mayores como puente, muebles, estanques, silos y otros. En viviendas se le emplea en pisos, parquets, moldajes para hormigón, y revestimientos. En durmientes, embarcaciones y en la fabricación de chapas y terciados. En carpintería se le usa en muebles, cajones, envases, juguetes, esquis, etc.

## **Laurel.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

Su madera es de color café amarillento con tinte oliváceo o amarillo verdoso; el hualle es de color uniforme pero el pillín ofrece vetas de color irregular. Posee anillos de crecimiento visibles, textura fina y homogénea. La madera es liviana, pues el metro cúbico de la madera seca pesa entre unos 500 a 600 Kg. Es aromática especialmente al estar recién aserrada o al humedecerse posteriormente.

Expuesta a la humedad no ofrece resistencia a la pudrición; es fácil de secar, debiendo hacerse esta operación en castillos medianamente abiertos, pues durante el secamiento a madera trabaja algo. Al quedar arrumada la madera húmeda durante algún tiempo, está expuesta a mancharse. Se califica como de una resistencia mecánica baja y de poca durabilidad.

### **Usos.**

Esta especie produce una madera bastante apreciada para toda clase de uso que requieran ciertas terminaciones, en los cuales la madera no debe “trabajar” mayormente y que no estará expuesta a la humedad continua. Por sus propiedades, por ser fácil de trabajar sin torcerse ni agrietarse mayormente es utilizada en cielos, revestimientos interiores, puertas interiores, muebles de tipo económico, molduras y tinglados, cajones, envases y juguetes, mangos de escobas, cepillos y pisos, es este último caso, por ser algo blando y marcarse con facilidad, no da buenos resultados. Se usa también para fabricar contrachapado.

## **Lingüe.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de lingüe es de color café claro, con tintes rojizo presentando en sus caras longitudinales, finas estrías originadas por los vasos. Existe una notable diferencia de color entre albura y el duramen. Es moderadamente pesada, pues seca al aire, pesa entre 600 a 700 Kg/m<sup>3</sup>, regularmente resiste la pudrición al quedar expuesta a la humedad. Fácil de secar, pues no tuerce ni deforma mayormente durante este proceso.

Los rayos medulares son más estrechos que los poros. A simple vista los vasos se presentan confusos pero, con un lente de aumento, estos se hacen visibles. Madera clasificada como dura.

### **Usos.**

La madera de lingüe es la madera chilena preferida para muebles y aplicaciones similares, pues no trabaja mayormente con las variaciones de humedad, une a ello un hermoso veteado y brillo y es más dura que la madera de raulí, de modo que no se marca tan fácilmente al ser garpeada con algún objeto duro.

Por sus propiedades se le usa ante todo en mueblería, tornería y parquets. Por su elasticidad se usa en carrocerías de vehículos, mangos de herramientas y esquís. En pequeña escala también suele aplicarse en puertas y ventanas. La corteza de lingüe, que contiene un elevado porcentaje de taninos, fue muy usada en la curtiembre para la preparación de las conocidas "suelas al lingüe".

Se usa también en revestimientos interiores, embarcaciones y chapas.

## **Luma.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

Posee una de las maderas más duras y pesadas del bosque chileno. De color uniforme (pardo), anillos anuales bien visibles, densos e irregulares. Se le califica como madera de alta resistencia mecánica y durable.

### **Usos.**

Se emplea en aquellas piezas que deben poseer alta resistencia, tal como mangos para herramientas, rayos para carretas, descansos de maquinarias de poca revolución, palos de golf, culatas de armas, armazón de barcos, bobinas, lanzaderas, bastones y varillas para paraguas, carros de ferrocarril, instrumentos musicales, puntales de minas, maquinarias agrícolas, etc.

## **Notro o Ciruelillo.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de notro o ciruelillo es de un color castaño grisáceo con prominentes radios leñosos oscuros y con albura diferenciada por su color rosado. Los vasos son muy numerosos y se encuentran colocados circularmente.

Anillos de crecimiento visibles. Madera semi – pesada o semi – dura, sin olor, ni gusto característico, pero de gran brillo. Muy poco durable. Clasificada como de una resistencia mecánica intermedia.

### **Usos.**

Madera excelente para ser trabajada, utilizada en revestimientos interiores, muebles, fabricación de chapas, terciados, etc.

## **Olivillo.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de Olivillo recién cortada es bastante similar a la madera de Ulmo y en ella es fácilmente diferenciables la albura del duramen.

El Olivillo, tique o palo muerto, presenta un duramen de un color rojizo claro con paso gradual a una albura de color blanco amarillento.

Posteriormente y debido a los proceso de oxidación de la madera, esta diferencia no es tan notoria, ya que ambas tienen una coloración café oscura, siendo bastante difícil diferenciarla a primera vista una de otra. Anillos de crecimiento poco visible.

Es común observar en sus caras longitudinales estrías blancas o pardo – amarillentas relativamente grandes, provocadas por ataques incipientes de hongos. Carece de brillo y veteado.

Textura fina y homogénea. Madera semi – pesada y muy poco durable. Poco resistente a la pudrición al estar expuesta a la humedad. Los hongos producen manchas amarillentas o pardas, lo cual también sirve para su reconocimiento.

Pesa alrededor de 600 a 700 Kg/m<sup>3</sup>, al estar seca al aire. Madera con resistencia mecánica intermedia.

### **Usos.**

Se le utiliza ante todo en revestimientos interiores y exteriores de edificios, cielos, forros laterales y pisos, además tiene gran aplicación en cajonería, muebles, palos de escoba, embalajes, etc.

Encuentra además aplicación en la industria del contrachapado, en chapas y en la confección de puertas, escalas y juguetes.

## **Radal.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

Madera de color café gris hasta café violeta. Posee albura y duramen de diferente color. Los rayos medulares anchos y oscuros. Durables.

### **Usos.**

Posee una hermosa veta y es muy considerado en la industria de muebles y chapas.

## **Raulí.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de raulí es considerada como la mejor del país. Su tronco presenta un notorio contraste entre la albura, amarilla – gris hasta café clara (Hualle) y el duramen (Pellín) de color café rojizo, desde claro hasta oscuro. Posee anillos de crecimiento bien diferenciados y sus poros son difuso, algo más grande que en la especie del roble. Los rayos medulares únicamente pueden distinguirse con un lente de aumento. Mantiene una excelente calidad, de una resistencia mecánica intermedia, elástica y de grano fino. El peso del m<sup>3</sup> de madera aserrada y secada al aire es de unos 840 Kg. Bien seca alcanza un promedio de 580 kg/m<sup>3</sup> de madera aserrada y secada al aire libre en unos 840 Kg. Bien seca alcanza un promedio de 580 kg/m<sup>3</sup>.

### **Usos.**

En pisos, terminaciones exteriores e interiores, persianas, puertas y ventanas, tejuelas, muebles, chapas, terciados, duelas, embarcaciones, escaleras, etc.

## **Roble.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La albura es de color blanquizco amarillento en estado fresco, posteriormente se oscurece. El duramen de color café rojizo opaco contrasta con la albura. Anillos de crecimientos poco visibles, poros difusos y muy pequeños. Rayos medulares únicamente visibles con el lente de aumento. Madera medianamente pesada dura y de alta resistencia mecánica.

### **Usos.**

Dadas sus propiedades se usa en obras gruesas de edificios, tejuelas, puentes, muebles, postes y rodrigones, estacas para minas, durmientes, embarcaciones, etc.

## **Tepa.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de Tepa se caracteriza por su hermoso y uniforme color blanco – amarillento grisáceo claro. Los anillos de crecimiento son poco visibles.

Madera liviana y semi – dura, carente de todo veteado y poco durable.

Textura fina y homogénea. Muy susceptible a la mancha azul. En los árboles volteados fuera de época, o sea en primavera, como asimismo en la madera arrumada o mal estacionada esta mancha produce, en la madera, tenues vetas negras, le da un pronunciado olor fecal, siendo tal peculiaridad una de las razones por la cual esta madera goza de poca aceptación.

El peso de la madera seca es de unos 500 a 600 Kg/m<sup>3</sup>. Se clasifica como madera resistencia mecánica baja.

### **Usos.**

Con un buen estado sanitario de los árboles y los pocos nudos que presenta su fuste esta madera es muy utilizada en la fabricación de : Madera terciada, en revestimientos interiores y exteriores de edificios, pisos, juguetes, cajones, envases, muebles, puertas interiores, madera contrachapada. Se usa también para moldajes de concretos, ventanas, cielos, etc.

## **Tineo.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera de Tineo es de color rojizo con cierta diferencia entre madera nueva y madera vieja. La nueva es de un solo color, la madera más vieja con fajas oscuras. La albura y el duramen son de igual color con anillos anuales de crecimiento bien visibles y rayos medulares detectables. Es una madera pesada, muy dura, sin olor ni gusto característico ella tiene gran semejanza a la madera del ulmo y del roble pillín, pero expuesta a la humedad es mucho menos resistente a la pudrición que esta última.

La madera es difícil de secar pues tuerce y deforma considerablemente durante esta operación. Tiene gran resistencia mecánica lo cual la hace apta para construir estructuras, de edificios, etc. Seca al aire y pesa alrededor de 700 a 1.000 kg/m<sup>3</sup>.

La corteza tiene gran demanda en las curtiembres por su elevado contenido de tanino.

### **Usos.**

Debido a sus propiedades y aspecto similar a la de ulmo y de roble, se le utiliza para los mismos fines que éstos o sea en la obra gruesa de construcción durmientes de ferrocarriles, para zonas secas, cajones, puntales para minas, pisos, combustibles, etc. Por su bonito aspecto puede ser usada ventajosamente en parquet y chapas.

## **Ulmo.**

### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera es de color café – rojiza poseyendo una albura y duramen de igual color. Es pesada y dura, muy parecida a la del roble pellín, siendo menos resistente que ésta a la pudrición. Anillos de crecimiento ligeramente visibles, los rayos medulares son rojizos y visibles con lente de aumento. Textura fina y homogénea, sin olor ni gusto característico.

Su resistencia mecánica se puede definir como intermedia. Es difícil de secar, pues tiende a torcer y rajarse. Se ca al aire libre. Pesa alrededor de 800 kg/m<sup>3</sup>.

### **Usos.**

Muy utilizada en obras tales como : puentes, estructuras y construcción pesada en general. Se la usa, ante todo, en la obra gruesa de la construcción, tales como vigas, pies derechos, etc. También se emplea en revestimientos de edificios, durmientes de ferrocarriles y cajones.

Es muy recomendable para pisos, carrocería de camiones, parquet, etc. Es un excelente combustible, siendo una de las leñas más preciadas, igualmente se usa para hacer carbón.

Se emplea también para construcciones navales.

La corteza de Ulmo tiene un elevado contenido de tanino y por consiguiente tiene demanda en la curtiembres.

Por su alta resistencia al impacto se le puede usar en mangos de herramientas y otros similares.

La “miel de Ulmo” (miel de abejas alimentadas con polen de Ulmo) es muy conocida por su excelente calidad, es amarilla, de aroma y sabor especial y agradable.

## **15.2. Especies Madereras Exóticas.**

### **15.2.1. Coníferas.**

#### **Pino Oregón.**

##### **Características macroscópicas de la madera.**

Posee albura de color amarillo – ocre a ligeramente rosada, con brillo mediano, olor ligeramente aromático (resina), textura fina y homogénea, grano derecho y vetado pronunciado. Anillos anuales bien visibles con un alto porcentaje de madera tardía (madera de verano). Rayos medulares bien visibles y muy numerosos. El leño tardío es muy abundante, de color café – rojizo. Madera que se puede clasificar entre liviana y medianamente liviana y de dureza intermedia.

Es poco durable en contacto con el suelo.

##### **Usos.**

Construcción de edificios, terminaciones interiores, puertas, ventanas, puentes, estacas para minas, cajones y envases, tonelería, botes y barcos, muebles, chapas y terciado. Se puede usar también en madera laminada encolada para elementos estructurales.

#### **Pino radiata.**

##### **Características macroscópicas de la madera.**

La madera presenta una albura blanco – amarillenta y un duramen rojizo. Anillos de crecimiento muy notorios y anchos, con paso gradual entre madera de primavera y verano. Alto porcentaje de madera tardía.

Canales resiníferos muy visibles en caras longitudinales. Textura gruesa y abundancia de nudos. Rayos medulares bien visibles y numerosos. Olor resinoso. Liviana, blanda, poco durable y de baja resistencia mecánica.

Permeable y por lo tanto fácil de secar y de impregnar. Se asierra sin inconvenientes, comportándose normalmente en los procesos de cepillado, ranurado y machihembrado. Muy susceptible al ataque de hongos provocadores de la mancha azul.

La madera de Pino radiata puede considerarse como relativamente estable al compararse con Raulí, Tapa, Laurel, etc. Las contracciones tienden a disminuir con el aumento de la edad, lo mismo con la homogeneidad de la madera. Dicho de otra manera: Un bosque de mayor edad, en el cual se ha cumplido con las debidas prácticas de poda y raleos, proporcionará madera más estable.

**Usos.**

Madera especial para fabricar elementos estructurales laminados encolados. Se le usa en revestimientos tanto interiores como exteriores. En construcción de viviendas (cerchas, paneles, pisos, cielos, etc.) En postes para cerco y de trasmisión.

Fabricación de embalajes y muebles. En moldajes para concreto. Se le utiliza también como materia prima para pastas celulósicas y papel.

Se considera adecuada para la fabricación de tableros de fibras y de partículas. También para maderas contrachapadas, siempre que las plantaciones hayan tenido podas a edad temprana para evitar la formación de nudos en la madera.

**15.2.2. Latifoliadas.****Alamo.****Características macroscópicas de la madera.**

La madera de duramen es de un color castaño usualmente distinto, pero no siempre, abruptamente demarcado de la albura blanquizca.

Anillos anuales muy anchos, notorios. Los rayos medulares no son visibles. Brillo argentado. Sin olor ni gusto característicos cuando está seco. Textura fina y homogénea, grano derecho. Madera muy liviana, blanda y de escasa durabilidad.

**Usos.**

Madera utilizada para cajones y envases, pasta y papel, chapas, terciados, fabricación de fósforos, tableros de dibujo, moldajes de concreto, revestimientos, cerchas y construcción ligera, en general. Fácil de trabajar, aunque a menudo presenta una superficie lanosa.

**Eucalipto.****Características macroscópicas de la madera.**

La madera es de muy buena calidad en la mayoría de las especies. Es lustrosa, dura, pesada, elástica y resistente, de contextura densa, impregnada de jugos tónicos, que la hace incorruptible. Su peso específico fluctúa alrededor de 0,98 a 1. Son casi todas de colores oscuros, debido a su gran resistencia y durabilidad. El color de la madera varía desde el blanco al caoba oscuro. Las cualidades varían también en las especies y dentro de ellas mismas, según el clima, situación, condición de cultivo, etc.

Se ha comprobado que la higroscopicidad del aire tiene sobre los eucaliptos menos influencia que sobre otras maderas, por eso se conservan en tan buenas condiciones.

Su duración y su incorruptibilidad, se prolonga más aún, cuando es impregnado.

**Usos.**

Por su gran resistencia son varios los usos y muchos de ellos corresponden a especies determinadas. Ejemplo tenemos en obras bajo el mar, en puentes, en cascos de buque, en los ferrocarriles. La madera de algunas especies está reemplazando a todas las demás para durmientes. Puntales para minas, postes, andamios y construcción pesadas. Por su elasticidad es muy adecuada para mangos de herramientas. Por su dureza y veteado es muy apreciada en la fabricación de parquet, también se emplea en la fabricación de muebles, chapas, pulpa y papel.

Las cualidades de la madera varían también en las especies y dentro de ellas mismas, según el clima, situación y condiciones de cultivo, etc. En general se puede decir que a pesar del gran desarrollo de los árboles es muy dura, compacta y su grado de resistencia a la tracción, compresión, flexión, tenacidad, resistencia a la pudrición bajo tierra, es muy diferente y por lo tanto apropiada para diferentes usos.

## 16. Maderas Reconstituidas.

### 16.1. Definición

Se entiende por maderas reconstituidas a todos aquellos elementos constructivos fabricados con derivados de la madera. El grupo más importantes de ellos lo forman los “Paneles a base de madera”, que son láminas de madera en forma de chapa, fibras, partículas, listones, etc. Son básicamente los siguientes Tableros Contrachapados, Tablero de Fibras, Tableros de Partículas y Tableros enlistonado (Placa carpintera).

### 16.2. Tableros De Fibras.

#### 16.2.1. Definición

Estos tableros están constituidos por madera que previamente desfibrada y luego sometida a alta presión y temperatura sin uso de colas o aglutinantes, conformado así un tablero generalmente duro y delgado.

El proceso de fabricación consiste básicamente en astillar la madera, someterla a un desfibrado y finalmente a un refinado, con lo cual se reduce a una forma de pasta, en la cual todos los elementos que constituyen el tejido de la madera, quedan sueltos y suspendidos en una solución acuosa.

Posteriormente esta pasta se pasa por una máquina formadora y luego de reducirle su contenido de humedad, es prensada, templada y dimensionada.

#### 16.2.2. Dimensiones

Ancho : 152 mm  
Largo : 244 y 486 cm.  
Espesores : 3,4 y 6 mm

#### 16.2.3. Tipos de Tableros de Fibra Ver Tabla 16.1.

**Tabla 16.1 Tipos de Tableros de Fibra**

TABLERO DE FIBRAS		
Espesor nominal 3 mm	Espesor nominal 4 mm	Espesor nominal 6 mm
Extra Dura Clara	Extra Dura Clara	Extra Dura
Extra Dura	Dura Lisa	Dura Lisa
Dura Lisa	Dura Clara	
Dura Clara	Rodón	
Rodón	Encina	
Encina	Listón	
Listón	Diamante	
Diamante	Cuero	
Cuero		

**16.2.4. Aplicación de los Tableros de Fibra. Ver Tabla 16.2**

**Tabla 16.2 Aplicación de los Tableros de Fibra**

TIPO	APLICACIÓN
DURA LISA	Estructura, vigas, etc. Revestimientos interiores Tabiques y muros interiores. Cielos. Puertas Lisas y de Tableros. Trabajo en carpintería y mueblería en general. Embalajes. Closet.
DURA CLARA	Se aplica en los mismos usos que la plancha Dura lisa, pero aprovechando su color especial, con fines decorativos.
DURA PERFORADA	Revestimiento decorativo. Colgadores de objetos diversos Paneles educativos.
DURA RODON DURA CUERO DURA LISTON DURA DIAMANTE DURA ENCINA	Revestimientos en general. Decorativos en usos interiores.
EXTRA DURA	Revestimientos exteriores. Moldajes de hormigón. Pavimentos.

**16.2.5. Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Fibras. (\*). Ver Tabla 16.3**

**Tabla 16.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Fibras.**

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad.	Kg/m <sup>3</sup>	780
Cohesión Interna.	N/mm <sup>2</sup>	1,0
Módulo de Ruptura.	N/mm <sup>2</sup>	45,0
Módulo de Elasticidad.	N/mm <sup>2</sup>	3600
Tracción Superficial	N	2200
% de Humedad.	%	8,0
Absorción en Agua.	%	30
Hinchamiento.	%	18

(\*) Valores Promedios.

### **16.3. Tablero De Partículas.**

#### **16.3.1. Definición**

Los tableros de partículas consisten en paneles fabricados con partículas de madera u otro material lignocelulósico aglomerados con un aglutinante orgánico en unión de uno o más de los siguientes agentes : Calor, presión, humedad, catalizador, etc. (se excluyen los tableros de lana de madera u otro aglutinante inorgánico). Las partículas tienen un espesor entre 0,2 y 0,5 mm. Las hojuelas delgadas del orden de 0,2 mm, se utilizan principalmente para la superficie de los tableros de tres capas. Miden de 10 a 60 mm de longitud y su ancho varía entre 3 y 30 mm.

#### **16.3.2. Proceso de Fabricación**

El proceso de fabricación se inicia con el descortezado de la madera, luego con el astillado, molienda, secado y clasificación de las partículas. Posteriormente, a las partículas se les aplica un encolado o aglutinante y eventualmente algún aditivo y luego se procederá al mismo proceso de fabricación que el tablero de fibra, es decir la formación del tablero, el prensado, la estabilización y la terminación.

#### **ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN TABLERO DE PARTICULAS**

1. La madera de pino insigne se procesa quitándole la corteza.
2. Luego se astilla.
3. Las astillas se seleccionan y se limpian.
4. Secado de las astillas y virutas de madera.
5. Se le agrega el adhesivo sintético (úrea formaldehído)
6. La mezcla del adhesivo con las astillas de madera forman una manta.
7. Esta manta se prensa en caliente, lo que le da la forma definitiva al tablero.
8. El tablero resultante se termina recortando los bordes y lijando las superficies.

#### **16.3.3. Tipos de Tableros de Partículas.**

Los tableros de partículas se clasifican según su densidad.

**\*\* Tableros de Partículas de Baja Densidad (Hasta 400 Kg/m<sup>3</sup>)**

Estos tableros se fabrican para aislar especialmente el ruido o aislar el calor, o bien como alma en piezas o construcciones complejas en que sea especialmente importante reducir el peso.

**\*\* Tableros de partículas de Densidad Media (Entre 400 y 800 Kg/m<sup>3</sup>)**

La mayoría de los tableros que se fabrican se clasifican en este grupo. Casi todos ellos presentan una densidad superior en un 10 o 20 % a las materias primas básicas usadas. Esta escala de densidades es, al parecer, la óptima por las necesidades de resina, permitiendo las mejores propiedades por

unidades de peso y siendo la que menos dificultades plantea para su fabricación.

**\*\* Tableros de Partículas de Gran Densidad (Mayor a 800 Kg/m<sup>3</sup>)**

Este tipo de tablero de partículas se fabrica sólo en prensas de platos planos. Para su fabricación se emplean partículas pequeñas, cuyo tamaño se aproxima al de la harina de madera. Su diferencia fundamental con los tableros duros corrientes estriba en la forma como se logra la ligazón.

#### **16.3.4. Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Partículas. Ver Tablas 16.4 y 16.5**

**Tabla 16.4. Propiedades Físicas de los Tableros de Partículas.**

Propiedades Físicas					
Espesor Mm	Tipo de Superficie	H %	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Hinchamiento %	Peso por Unidad de Superficie Kg/m <sup>2</sup>
6	Lisa	10	645	23	3,8
8	Lisa	10	621	21	5,2
10	Lisa	10	633	20	7,0
16	Lisa	10	589	28	9,7
19	Lisa	10	561	20	11,0
24	Lisa	10	572	18	14,0

**Tabla 16.5. Propiedades Mecánicas de los Tableros de Partículas.**

Propiedades Mecánicas					
Espesor mm	Espesor mm	Modulo de Ruptura Kg/m <sup>2</sup>	Módulo de Elasticidad Kg/m <sup>2</sup>	Tracción Normal Al plano del tablero Kg/m <sup>2</sup>	Tracción Paralela Al largo Del tablero Kg/m <sup>2</sup>
6	Lisa	248	22800	10	130
8	Lisa	200	24900	8	111
10	Lisa	209	22900	10	128
16	Lisa	176	25300	3	82
19	Lisa	196	28600	4	97
24	Lisa	219	31200	3	98

**16.3.5. Tipo y Variedades de Tableros de Partículas que se Fabrican en Chile. Ver Tabla 16.6**

**Tabla 16.6. Tableros de Partículas. Tipos y variedades.**

Tipo	Conformación	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Espesor mm.
620	Constituido solamente por viruta fina (0,2 mm de espesor) y sin la capa intermedia de viruta más gruesa.	620	6
			8
580	Constituido por capas de partículas, siendo la zona central más porosa, con lo cual se obtiene las características de estabilidad, homogeneidad y resistencia propia de un tablero "sándwich".	580	10
			16
			19
			24
450	Similares a las placas tipo 580, pero se diferencian de estas por su capa central menos densa, pero manteniendo las características de un tablero "sándwich" pero más liviana.	450	16
			19
			24
			32
			45

**16.3.6. Aplicación de los Tableros de Partículas.**

Se usan en la construcción, en la industria y en muebles donde se necesitan placas, paneles y tableros de madera de propiedades estables y controladas. En la construcción se usan en tabiques, techumbres, pisos, puertas, moldajes, etc. Incluso se han usado como elementos básicos en proyectos de vivienda económicas, industrializadas o prefabricadas.

**16.4. Tableros Contrachapados.**

En cuanto a volumen es el más importante de todos los productos para paneles a base de madera. Se fabrican encolando tres o más chapas (en general número impar), por las caras, con un alma de chapa o de madera maciza. La fibra de las capas se alternan con una disposición de 90 grados formando un panel que representa propiedades análogas de contracción y resistencia en dos sentidos perpendiculares entre sí, con lo que eliminan virtualmente los grandes cambios dimensionales y bajos valores de resistencia que se dan a través de la madera.

**16.4.1. Dimensiones y Espesores.**

Usualmente los tableros Contrachapados destinados al gran mercado de la construcción son fabricados con dimensiones estándares de 1220 mm de ancho por 2440 mm de largo. Otras medidas pueden ser fabricadas bajo pedidos especiales.

Los espesores comúnmente varían entre los 6 mm y los 30 mm.

#### 16.4.2. Especies Madereras Utilizadas en la Fabricación.

El tablero contrachapado puede ser utilizado con variadas especies, ya sean latifoliadas o coníferas. La tecnología para producirlo, al igual que los grados de calidad y sus usos difieren notablemente para latifoliadas y coníferas.

**Tabla 16.7. Especies Madereras usadas en la Fabricación de los Tableros Contrachapados**

<b>Especies Madereras</b>	<b>Características</b>	<b>Usos Comunes</b>
Coníferas	Chapas gruesas y de grados de baja calidad.	Revestimientos y pisos que posteriormente serán cubiertos.
Latifoliadas	Chapas más delgadas y de grados de mejor calidad.	Paneles decorativos elementos aislados en la industria, para muebles y también como material en la construcción.

#### 16.4.3. Algunas Especies Usadas.

**Latifoliadas** : Coigüe, Eucalipto, Laurel, Lengua, Olivillo, Raulí, Roble, Tepa, Ulmo.

**Coníferas** : Alerce, Araucaria y Pino radiata.

#### 16.4.4. Grado de Calidad de las Chapas :

La norma Australiana AS2269, establece cinco grados de calidad de las chapas y son : Calidad A, Calidad S, Calidad B, Calidad C, Calidad D.

**Calidad A** : Describe un grado de alta calidad de aspecto de calidad o apariencia, apto para usarla sin revestimiento alguno por su característica de estar libre de defecto.

**Calidad S** : Describe un grado de su aspecto que permite la presencia de características naturales de la madera, tales como nudos, que para el usuario son estéticas.

**Calidad B** : Es un grado por aspecto apto para dar, con pintura, una terminación de alta calidad, o dicho de otra forma la superficie de la chapa debe ser capaz de aceptar pinturas de gran calidad.

**Calidad C** : A este grado no se le exige en su apariencia o aspecto, pero debe tener una superficie sólida. Todos los defectos abiertos que existan en la chapa, antes de la aplicación del adhesivo, tales como agujeros y grietas deben ser rellenados. Ejemplo de uso : tablero de piso.

**Calidad D :** A este grado no se le exige calidad en su aspecto o apariencia. En el se permite defectos abiertos tales como nudos, agujeros, grietas, etc, siempre que no sobrepasen los 75 mm de ancho. Se utiliza en aplicaciones en las cuales el aspecto no es prioritario, pero sí el comportamiento estructural, como es el caso de cerchas, vigas ocultas, pie – derechos en paneles de muro, arriostramientos, etc.

#### **16.4.5. Tipos de Adhesivos Utilizados :**

Una de variables que condicionan el uso del contrachapado, en interiores o exteriores es el tipo de adhesivo utilizado en su fabricación para la unión de las chapas.

**Fenol – Formaldehído :** Origina una unión en que el contrachapado no se deteriora bajo condiciones húmedas, bajo calor o frío.

**Melamina – Formaldehído :** Para Contrachapados que se someterán a condiciones húmedas de exteriores que involucran un periodo de hasta dos años de duración . Ejemplo : Moldajes, puertas.

**Urea – formaldehído :** Para Contrachapados que se usan en interiores, no estructurales.

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b>	<b>Especies forestales y exóticas en Chile.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2.2.</b>	<b>Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del secado en estufa.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 2.3.</b>	<b>Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del medidor de humedad.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2.4.</b>	<b>Humedades de equilibrio para maderas ubicadas en edificios con distintas condiciones de servicio.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2.5.</b>	<b>Clasificación climático – habitacional en Chile.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2.6.</b>	<b>Humedad de equilibrio de las Zonas Climáticas definidas en NCh 1079.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 2.7.</b>	<b>Asignación de nombre a la densidad de acuerdo al contenido de humedad que tiene la masa y el volumen.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2.8.</b>	<b>Densidades de especies madereras crecidas en Chile.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2.9.</b>	<b>Relación entre diferentes densidades para un contenido de humedad <math>H \leq</math> PSF.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 2.10.</b>	<b>Relación entre diferentes densidades para un contenido de humedad <math>H \geq</math> P.S.F.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 2.11.</b>	<b>Coefficiente lineal ( k ) de algunas maderas de Chile para una variación de 1% del contenido de humedad.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 2.12.</b>	<b>Valores de resistividad de la madera para diferentes contenidos de humedad.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 2.13.</b>	<b>Propiedades mecánicas de especies madereras Chilenas. Estado verde.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 2.14.</b>	<b>Propiedades mecánicas de especies madereras Chilenas. Estado seco.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 2.16.</b>	<b>Agrupamiento de las maderas crecidas en Chile.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 3.1.</b>	<b>Factores de ajuste (n) a ser aplicado a las propiedades obtenidas en madera libre de defectos.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 3.2.</b>	<b>Grados Estructurales Definidos para las Maderas Nacionales.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 3.3.</b>	<b>Tensiones Admisibles para el Pino radiata Seco (H=12%) según NCh 1207...</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 3.4.</b>	<b>Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad en Flexión para Madera Aserrada.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 3.5.</b>	<b>Tensiones Admisibles de Compresión Normal para Madera aserrada.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 3.6.</b>	<b>Relación entre el Agrupamiento de Especies, la clase Estructural y la Clasificación Visual de la Madera en Estado Verde.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 3.7.</b>	<b>Relación entre el Agrupamiento de Especies, la clase Estructural y la Clasificación Visual de la Madera en Estado Seco (H=12%).....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 3.8.</b>	<b>Condiciones que se deben asumir en la determinación de las Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 3.9.</b>	<b>Variación de las Propiedades resistentes para una Variación del Contenido de Humedad igual al 1%.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 3.10.</b>	<b>Factor de Modificación por Duración de la Carga .....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 3.11.</b>	<b>Factor de Modificación por Trabajo Conjunto.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 4.1.</b>	<b>Espesores y anchos Nominales para Madera Aserrada (Cepillada).....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 4.2.</b>	<b>Espesores y anchos Nominales para Madera Aserrada de Pino radiata en Estado Verde (H&gt;30%).....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 4.3.</b>	<b>Espesores y anchos Nominales para Madera Aserrada de Pino radiata en Estado Seco (H=12%).....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 4.4.</b>	<b>Espesores y anchos Nominales para Madera Cepillada de Pino radiata en Estado Seco (H=12%).....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 4.5.</b>	<b>Sobredimensiones que se recomiendan en madera verde para compensar las contracciones y colapso, según grupo de especies.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 4.6.</b>	<b>Dimensiones Transversales a considerar de acuerdo a la Humedad de la Madera en el momento de la construcción y puesta en servicio.....</b>	<b>92</b>

<b>Tabla 5.1. Deformaciones Máximas Admisibles en Vigas de Madera.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 5.2. Grado de sujeción Lateral para diferentes razones máximas h/b de una viga simple de madera.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 5.3 Valores de la longitud efectiva ,<math>l_v</math>, de elementos sometidos a flexión.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 5.4 Factor de modificación por volcamiento, <math>K_v</math>,.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 5.5 Cálculo del factor de modificación por rebaje.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 5.6 Longitudes efectivas de pandeo, <math>l_p</math>, de piezas comprimidas.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.7 Valores del coeficiente de proporcionalidad, <math>c</math>,.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 5.8 Factor de modificación por concentración de tensiones.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 6.1 Condición asumida para la determinación de tensiones, módulo de elasticidad, diseño de uniones y dimensiones de piezas con sección circular.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 6.2 Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para piezas estructurales de sección transversal circular, usadas en su forma natural y en estado verde.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 6.3 Propiedades geométricas de las secciones circulares.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 6.4 Factor de modificación por desbastadura o alisadura.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 6.5 Factor de modificación por preservación con tratamiento a vacío y presión..</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 6.6 Factor de modificación por uso en estado seco.....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 6.7 Sección transversal crítica en poste con inercia variable.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 6.8 Verificación de tensiones en la sección crítica de un poste de sección transversal circular.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 7.1 Dimensiones y tolerancias de los clavos.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 7.2. Espaciamientos Mínimos De Clavos De Diámetro <math>D_C</math>, En Milímetros.....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla 7.3. Valor Del Parámetro <math>\eta</math>.....</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 7.4. Dimensiones de Pernos Estructurales y de sus Respectivas Golillas.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 7.5. Espaciamientos entre Pernos y Barras de Acero.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 7.6. Dimensiones de Conectores de Anillos.....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 7.7. Capacidades Admisibles de Carga de un Conector de Anillo Abierto en Uniones de Simple, en Newtons.....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 7.8. Espaciamientos Mínimos a los Bordes Medidos desde el Centro, en la Dirección de la Fibra.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 8.1 Resumen de los ensayos para el control diario de la producción.....</b>	<b>164</b>
<b>Tabla 8.2 Resumen de los ensayos necesarios para la verificación de la calidad por parte de la Entidad de Certificación.....</b>	<b>165</b>
<b>Tabla 8.3 Número de probetas a ensayar.....</b>	<b>166</b>
<b>Tabla 8.4 Distancias entre ejes de estructuras de 3 a 10 metros.....</b>	<b>170</b>
<b>Tabla 8.4.a Dimensiones recomendadas para la fabricación de madera laminada .....</b>	<b>173</b>
<b>Tabla 9.1 Módulo de Elasticidad para los grados definidos al usar una clasificación estructural Mecánica.....</b>	<b>178</b>
<b>Tabla 9.2 Especificaciones comunes a los grados de calidad definidos para la madera aserrada destinada a la fabricación de elementos laminados estructurales.....</b>	<b>179</b>
<b>Tabla 9.3 Especificaciones para los grados de calidad definidos al usar una clasificación estructural visual.....</b>	<b>181</b>
<b>Tabla 9.4 Tensiones admisibles en flexión. Laminación horizontal. Clasificación visual. Grado A y B.....</b>	<b>183</b>
<b>Tabla 9.5 Módulos de Elasticidad admisibles. Laminación horizontal. Clasificación visual y mecánica. Grado A y B.....</b>	<b>183</b>

Tabla 9.6	Tensiones admisibles en flexión. Laminación horizontal. Clasificación mecánica. Grado A y B.....	184
Tabla 9.7	Tensiones admisibles en compresión paralela. Laminación horizontal. Clasificación visual. Grado A y B.....	185
Tabla 9.8	Tensiones admisibles en compresión paralela. Laminación horizontal. Clasificación mecánica. Grado A y B.....	185
Tabla 9.9	Tensiones admisibles en tracción paralela. Laminación horizontal. Clasificación visual. Grado A y B.....	185
Tabla 9.10	Tensiones admisibles en tracción paralela. Laminación horizontal. Clasificación mecánica. Grado A y B.....	186
Tabla 9.11	Tensiones admisibles en flexión. Laminación vertical. Clasificación visual. Grado A y B.....	186
Tabla 9.12	Tensiones admisibles en flexión. Laminación vertical. Clasificación mecánica, Grado A y B.....	186
Tabla 9.13	Tensiones admisibles en Compresión paralela. Laminación vertical. Clasificación visual. Grado A y B.....	187
Tabla 9.14	Tensiones admisibles en Compresión paralela. Laminación vertical. Clasificación mecánica, Grado A y B.....	187
Tabla 9.15	Tensiones admisibles en tracción paralela. Laminación vertical. Clasificación visual. Grado A y B.....	187
Tabla 9.16	Tensiones admisibles en tracción paralela. Laminación vertical. Clasificación mecánica. Grado A y B .....	188
Tabla 9.17	Tensión Admisible de Cizalle. Clasificación visual y mecánica Grado A y B.....	188
Tabla 9.18	Módulos de Elasticidad admisibles. Laminación vertical. Clasificación visual y mecánica. Grado A y B.....	188
Tabla 10.1	Factor de Modificación por Contenido de Humedad, KHL.....	190
Tabla 10.2	Incrementos y Decrementos de los valores de resistencia por cada grado de variación de temperatura.....	190
Tabla 10.3	Grado de sujeción lateral para diferentes razones máximas h/b.....	191
Tabla 10.4	Factor de Modificación por Volcamiento.....	191
Tabla 10.5	Factor de Modificación por Condición de Carga, Kql.....	192
Tabla 10.6	Factor de Modificación por Razón luz/altura, KL /h.....	192
Tabla 10.7	Valores del Factor de Modificación por Concentración de Tensiones.....	194
Tabla 11.1	Factores de Modificación para la madera laminada horizontalmente.....	194
Tabla 13.1	Valores de Temperatura de bulbo seco, húmedo y su equivalencia.....	222
Tabla 13.2	Programas de Secado para las especies Olivillo, Alamo, Lenga, Laurel y Raulí.....	223
Tabla 14.1	Descripción de los Preservantes.....	242
Tabla 14.2	Preservante a usar según clasificación de riesgo de la madera en servicio.....	243
Tabla 14.3	Sistema de aplicación de los Preservantes especificados.....	244
Tabla 14.4	Clasificación de la madera de Pino radiata según su uso y riesgo esperado...	245
Tabla 14.5	Retención mínima neta del Preservante según NCh 819.....	246
Tabla 14.6	Zona de ensayo para determinar la retención de Preservante en la madera.	
Tabla 14.7	Penetración de los preservantes, según el riesgo esperado.....	247
Tabla 16.1	Tipos de Tableros de Fibra.....	261
Tabla 16.2	Aplicación de los Tableros de Fibra.....	262
Tabla 16.3	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros de Fibra.....	262
Tabla 16.4	Algunas Propiedades Físicas de los Tableros de Partículas.....	264

Tabla 16.5	Propiedades Mecánicas de los Tableros de Partículas.....	264
Tabla 16.6	Tableros de Fibra. Tipos y Variedades.....	265
Tabla 16.7	Especies Madereras usadas en la fabricación de los Tableros Contrachapados.....	266

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Terminología de las partes de un árbol y la estructura de la madera.....	12
Figura 2.2	Formas de las células.....	13
Figura 2.3	Estructuras celular de la madera.....	13
Figura 2.4	Sección transversal de un árbol.....	14
Figura 2.5	Esquema de corteza interior y exterior.....	15
Figura 2.6	Esquema microscópico de un trozo de madera.....	17
Figura 2.7	Extracción de una muestra de humedad.....	19
Figura 2.8	Comportamiento de la resistencia eléctrica versus humedad de la madera.....	20
Figura 2.9	Medidor de humedad.....	20
Figura 2.10	Medición de volumen de una muestra de madera.....	30
Figura 2.11	Curva de contracción lineal .....	31
Figura 2.12	Diferencias entre las contracciones.....	32
Figura 2.13	Ensayo de flexión estática.....	37
Figura 2.14	Probeta de compresión paralela.....	40
Figura 2.15	Probeta de cizalle paralelo.....	42
Figura 2.16	Probeta de Clivaje tangencial y Clivaje radial.....	43
Figura 2.17	Probeta de tracción normal.....	44
Figura 2.18	Dispositivo de ensayo de dureza Janka.....	45
Figura 2.19	Ensayo de dureza paralela.....	46
Figura 2.20	Ensayo de dureza Janka normal a las fibras.....	47
Figura 2.21	Forma y dimensiones de la probeta de extracción de clavo.....	47
Figura 2.22	Relación Densidad – Resistencia.....	52
Figura 2.23	Relación entre la resistencia y la humedad en probetas de madera.....	53
Figura 3.1.	Términos relativos a la geometría de la pieza de madera.....	63
Figura 3.2.	Medición de bolsillos de corteza y resina.....	63
Figura 3.3.	Medición del grano (fibra) inclinado.....	64
Figura 3.4.	Medición de nudo en la arista.....	64
Figura 3.5.	Medición de nudo en el canto.....	65
Figura 3.6.	Medición de nudo en el borde de una cara.....	65
Figura 3.7.	Medición de nudo en la zona central de una cara.....	66
Figura 3.8.	Medición de nudos en grupo.....	66
Figura 3.9.	Medición de nudos en racimo.....	67
Figura 3.10	Medición de la velocidad de crecimiento.....	67
Figura 3.11	Medición de Alabeos .....	68
Figura 3.12	Medición de la arista faltante.....	69
Figura 3.13	Determinación de tolerancias en la escuadría irregular.....	70
Figura 3.14	Medición de rajaduras.....	70
Figura 3.15	Medición de depresión por cepillado.....	71
Figura 3.16	Medición de Acebolladura.....	71
Figura 3.17	Medición de la médula en la madera.....	72

Figura 3.18 Medición de grietas en la madera.....	72
Figura 3.20 Asignación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad.....	81
Figura 5.1 Determinación del esfuerzo de corte, $Q$ .....	106
Figura 5.3 Compresión normal a las fibras en vigas.....	107
Figura 5.4 Aplastamiento en una dirección que forma un ángulo $\vartheta$ con la fibra.....	108
Figura 5.5 Flexión bi-axial y compresión excéntrica.....	116
Figura 8.1 Conformación de la sección transversal de una viga laminada encolada.....	138
Figura 8.2 Tipos de laminados en vigas rectas.....	139
Figura 8.3 Secciones transversales de vigas rectas de madera laminadas.....	143
Figura 8.4 Vigas de madera laminada.....	145
Figura 8.5 Arcos de madera laminada.....	146
Figura 8.6 Marco de madera laminada.....	148
Figura 8.7 Tipos de uniones de extremos.....	157
Figura 8.8 Escuadras y prensas de madera.....	158
Figura 8.9 Tensiones unitarias a considerar en la madera laminada.....	175
Figura 13.1 Forma del agua presente en la fibra.....	208
Figura 13.2 Tensiones de secado de la madera.....	210
Figura 13.3 Grietas producidas durante el secado de la madera.....	211
Figura 13.4 Colapso en la madera.....	212
Figura 13.5 Mancha azul o mancha biológica en la madera.....	213
Figura 13.6 Base para el apilado horizontal de un secado al aire.....	215
Figura 13.7 Detalles constructivos de un apilado horizontal.....	216
Figura 13.8 Apilado en pié.....	216
Figura 13.9 Apilado en caballete.....	217
Figura 13.10 Apilado en triángulo.....	217
Figura 13.11 Esquema de una Cámara de Secado.....	220
Figura 13.12 Sicrometro (Termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo ).....	221
Figura 13.13 Disposición de los ventiladores en la cámara de secado).....	223
Figura 14.1 Esquema de Planta de Impregnación.....	240