



0006342

MANUAL DE CALCULO DE CONSTRUCCIONES EN MADERA

INSTITUTO FORESTAL
CORPORACION DE FOMENTO
DE LA PRODUCCION

MANUAL N° 13

2. ed.

c.3

VOL.



INFOR

25 JUN 1993

FE DE ERRATAS

EN PAGINA	UBICACION	DEBE DECIR								
265	Tabla N° 61	VER TABLA N° 62								
285	6.2.2.2.A	$P_{cp,ad} = \frac{0,80 \times TB_{cp} \times D^2 \times 10^{-3} \times [(Z_{cp} - K_{cp}) \times \lambda_u + (K'_{cp} - Z_{cp}) \times K_{cp}]}{(K'_{cp} - K_{cp})}$ Si : $\lambda_u \geq K'_{cp}$								
286	6.2.2.2.B	$P_{cn,ad} = TB_{cn} \times \lambda_u \times D^2 \times 10^{-3}$								
305	6.3.3.2.	... por el factor de modificación por diámetro, K_{td} , que entrega ...								
309	6.4.2.	$P_{p,ad} = 3,0 \times e_1 \times d_n \times 10^{-3} \leq 13 \times d_n^2 \times 10^{-3}$								
316	Tabla N° 81 NOTA 1 NOTA 2	1.- El largo del clavo (l_c) no incluye la cabeza 2.- La tolerancia para el diámetro (d_c) del clavo es: $\pm 0,1$ mm para diámetros $d_c \geq 3$ mm $\pm 0,05$ mm para diámetros $d_c < 3$ mm								
322	6.5.2.6.i	$e_{mfn} = 3 \times d_c \quad (\text{para } d_c \leq 4,2 \text{ mm})$ $e_{mfn} = 4 \times d_c \quad (\text{para } d_c > 4,2 \text{ mm})$								
342	Tabla N° 94	<table><tr><th colspan="4">CARGA ADMISIBLE</th></tr><tr><td>$P_{cp,ad}$</td><td>$P_{cn,ad}$</td><td>$P_{cp,ad}$</td><td>$P_{cn,ad}$</td></tr></table>	CARGA ADMISIBLE				$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$	$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$
CARGA ADMISIBLE										
$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$	$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$							

INSTITUTO FORESTAL
División Industrias

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
Gerencia de Desarrollo

MANUAL N° 13

2ª EDICION

VOL. 1

**MANUAL DE CALCULO
DE CONSTRUCCIONES EN MADERA**

Autor: **VICENTE A. PEREZ GALAZ**
Ingeniero Civil
Jefe División Industrias

Colaboradores: Ingenieros Civiles Sres.

ALBERTO CAMPOS BARKER
VICTOR CARVALLO ACEITUNO
LEONARDO FRIGERIO MOREAU
FERNANDO MORALES VENEGAS
ALEJANDRO PASTENE SARMIENTO

AF 90/02
SANTIAGO - CHILE
Abril, 1990

PROPIEDAD INTELECTUAL : INSCRIPCION Nº 75.422

"Se autoriza la reproducción de la información que se entrega en este documento, siempre y cuando se cite como fuente a CORFO-INFOR".



PROLOGO

El presente estudio fue realizado por la Gerencia de Desarrollo de la Corporación de Fomento de la Producción-CORFO, con la participación de la División Industrias del Instituto Forestal, Filial CORFO.

La estructura que se le ha dado es la siguiente: En los capítulos Primero y Segundo se especifican la Terminología y Simbología a usar, a la vez que se abordan las Propiedades Físicas, Mecánicas y Geométricas de la madera.

En los capítulos Tercero, Cuarto y Quinto se trata el Dimensionamiento de Estructuras en madera aserrada, sección transversal circular y estructuras especiales, finalmente en el capítulo Sexto se analizan las Uniones en estructuras de madera.

Participaron en la realización de este estudio el Jefe de la División Industrias del INFOR, Ingeniero Civil Sr. Vicente A. Pérez Galaz y los Ingenieros Civiles Sres. Alberto Campos Barker, Víctor Carvajo Aceituno, Leonardo Frigerio Moreau, Fernando Morales Venegas, Alejandro Pastene Sarmiento y el Dibujante Técnico Sr. Rodolfo Pérez Pulgar. La labor de secretaría fue realizada por la Srta. Margarita Martínez Salas.

La dirección y coordinación del estudio por parte de CORFO estuvo a cargo del Ingeniero Forestal Sr. Roy Wotherspoon Schrader.

PREFACIO

El creciente interés que han demostrado los profesionales de la construcción por conocer más acerca de la madera como material, llevó al INSTITUTO FORESTAL a publicar, en 1978, el MANUAL DE CONSTRUCCIONES EN MADERA y en 1983, el MANUAL DE CALCULO DE CONSTRUCCIONES EN MADERA.

El texto que ahora se entrega corresponde a la Segunda Edición de la última obra mencionada, destinada al diseño de elementos estructurales de madera de uso corriente en la construcción.

Los métodos y procedimientos de cálculo que en él aparecen son los especificados por la norma chilena NCh 1198: "Madera. Construcciones en Madera. Cálculo", Revisión 1989, estudiada en el INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. Ellos se han complementado con comentarios y explicaciones adicionales que pretenden aclarar las dudas que podrían presentarse al lector de la norma.

Este Manual se ha estructurado de modo que sea autosuficiente para desarrollar cualquier cálculo de elementos estructurales de madera, por lo cual se incluyen en él todos los antecedentes que puede necesitar un calculista.

Se ha supuesto que el lector tiene los conocimientos básicos de diseño estructural, razón por la que el texto no incluye antecedentes relacionados con Resistencia de Materiales o Estabilidad de las Construcciones.

Agradecemos a todas las personas e instituciones que de una u otra forma han apoyado la materialización de esta idea y confiamos en que este Manual sea una herramienta útil para desarrollar de la mejor forma posible las construcciones en madera de nuestro país.


GUILLERMO JULIO ALVEAR
DIRECTOR EJECUTIVO

INDICE

	Página
CAPITULO PRIMERO : TERMINOLOGIA Y SIMBOLOGIA	1
1.1. Terminología	3
1.2. Simbología	33
1.2.1. Variables	33
1.2.2. Subíndices	35
CAPITULO SEGUNDO : PROPIEDADES FISICAS, MECANICAS Y GEOMETRICAS.	39
2.1. Propiedades Físicas	41
2.1.1. Estructura de la Madera	41
2.1.2. Contenido de Humedad	45
2.1.2.1. Generalidades	45
2.1.2.2. Requisitos para la Madera	46
2.1.2.3. Obtención de la Humedad de Equili brio de Servicio	47
2.1.3. Densidad	58
2.1.4. Contracción	63
2.1.5. Propiedades Térmicas	65
2.1.6. Propiedades Acústicas	68
2.1.7. Propiedades Eléctricas	69
2.2. Propiedades Mecánicas	69
2.3. Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chi le según sus Propiedades Mecánicas	73
2.4. Tensiones de Diseño de la Madera	76
2.4.1. Tensiones Máximas	76
2.4.2. Límite Inferior con Exclusión del 5%	76
2.4.3. Tensiones Básicas	78
2.4.4. Tensiones Admisibles	79
2.4.5. Factores de Modificación	87
2.4.5.1. Factores de Modificación de Apli cación General	88
2.4.5.2. Factores de Modificación de Apli cación Particular	96



2.4.6. Tensiones y Módulo de Elasticidad de Diseño	96
2.5. Propiedades Geométricas de la Madera Aserrada y Cepillada	97
2.5.1. Contenido de Humedad de Referencia	97
2.5.2. Unidades	97
2.5.3. Dimensiones Nominales	97
2.5.4. Tolerancias	99
2.5.5. Especificaciones	99
2.5.6. Sobredimensiones para la Madera Aserrada en Estado Verde	100
2.5.7. Dimensiones a Considerar de Acuerdo a la Humedad de la Madera en el Momento de la Construcción y Puesta en Servicio	100
2.5.8. Propiedades Geométricas	104
 CAPITULO TERCERO : DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE MADERA ASERRADA	 117
3.1. Consideraciones Generales de Diseño	119
3.1.1. Secciones Transversales Mínimas	119
3.1.2. Debilitamiento de Sección Transversal	119
3.2. Elementos en Flexión	120
3.2.1. Generalidades	120
3.2.1.1. Luz Efectiva	120
3.2.1.2. Entablados y Tablones de Madera Aserrada	120
3.2.1.3. Consideraciones de Cálculo	120
3.2.1.4. Empalmes	120
3.2.1.5. Ancho Colaborante	121
3.2.2. Flexión en Vigas Simples	121
3.2.2.1. Requisitos	121
3.2.2.2. Verificación de las Tensiones de Flexión en la Fibra Extrema	122

	Página
3.2.2.3. Verificación de las Tensiones de Cizalle	127
3.2.2.4. Verificación de las Tensiones de Compresión Normal	131
3.2.2.5. Verificación de la Deformación...	134
3.2.3. Flexión Uniaxial en Vigas Compuestas	136
3.2.3.1. Tipos de Secciones Transversales de Vigas Compuestas	136
3.2.3.2. Geometría y Tensiones en Vigas Compuestas	137
3.2.3.3. Cálculo del Momento de Inercia Eficaz (I_{ef})	142
3.2.3.4. Verificación de Tensiones	144
3.2.3.5. Tensión de Trabajo de Cizalle ...	145
3.2.3.6. Unión de las Piezas	146
3.2.3.7. Verificación de la Deformación Máxima	147
3.2.3.8. Estabilidad Lateral	148
3.2.4. Flexión en Vigas de Alma Llena Entablada...	149
3.2.4.1. Tipos de Vigas de Alma Llena Entablada	149
3.2.4.2. Verificación de Tensiones	150
3.2.5. Flexión en Vigas Enrejadas	152
3.2.5.1. Tipos de Vigas Enrejadas	152
3.2.5.2. Verificación de Tensiones	154
3.2.6. Arriostramientos Laterales	155
3.2.6.1. Vigas de Sección Transversal Rectangular	155
3.2.6.2. Cordón Comprimido de Vigas Enrejadas	156
3.2.6.3. Efecto Simultáneo de Inestabilidad Lateral y Solicitación de Viento.	156
3.2.6.4. Control de Deformaciones y de Distribución de Arriostramiento.....	157



	Página
3.3. Elementos en Compresión Paralela a las Fibras	157
3.3.1. Generalidades	157
3.3.2. Compresión Paralela en Piezas Simples	159
3.3.2.1. Verificación de Tensiones	159
3.3.2.2. Factor de Modificación por Esbeltez, K_{λ}	160
3.3.3. Compresión Paralela en Piezas de Sección Transversal Compuestas	161
3.3.3.1. Tipos de Secciones Transversales Compuestas	161
3.3.3.2. Piezas Compuestas no Espaciadas..	161
3.3.3.3. Piezas Compuestas Espaciadas	165
3.3.3.4. Uniones Transversales	170
3.3.4. Empalmes	171
3.3.5. Aplastamiento en Columnas	171
3.3.6. Arriostramientos de Elementos Comprimidos..	171
3.4. Elementos en Compresión Normal a la Dirección de la Fibra	172
3.4.1. Verificación de Tensiones	172
3.4.2. Factor de Modificación por Aplastamiento, K_{cn}	173
3.5. Elementos en Compresión Inclinada Respecto a la Fibra de la Madera	174
3.5.1. Verificación de Tensiones	174
3.6. Elementos en Tracción Según la Dirección de la Fibra	176
3.6.1. Verificación de Tensiones	176
3.6.2. Factor de Modificación por Concentración de Tensiones, K_{ct}	177
3.6.3. Empalmes y Uniones	178
3.7. Dimensionamiento de Piezas Sometidas a Esfuerzos Combinados	178

	Página
3.7.1. Flexión en Dos Ejes Principales de Inercia.	178
3.7.2. Flexión y Tracción Axial	178
3.7.3. Flexión y Compresión Paralela	179
CAPITULO CUARTO : DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR, CONSTANTE O VA	
RIABLE, DE PINO RADIATA Y EUCALIPTO	181
4.1. Generalidades	183
4.2. Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad	184
4.3. Propiedades Geométricas	184
4.4. Factores de Modificación	185
4.4.1. De Aplicación General	185
4.4.2. De Aplicación Particular	186
4.4.2.1. Factor de Modificación por Desbas	
tado o Alisaduras (K_d)	186
4.4.2.2. Factor de Modificación por Preser	
vación que Involucre Tratamiento	
a Vacío y Presión (K_{pv})	186
4.4.2.3. Factor de Modificación por Uso en	
Estado Seco (K_s)	187
4.5. Elementos de Sección Circular en Flexión	188
4.5.1. Tensión Efectiva de Flexión	188
4.6. Elementos de Sección Circular en Compresión	188
4.6.1. Tensión Efectiva en Compresión Paralela ...	188
4.6.2. Tensión Crítica en Compresión Paralela	189
CAPITULO QUINTO : DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES...	191
5.1. Marcos	193
5.1.1. Generalidades	193
5.1.2. Uniones	193
5.1.3. Arriostramientos	193
5.1.4. Deformaciones	193
5.1.5. Diseño	193
5.1.6. Marcos con Postes	194

	Página
5.1.6.1. Generalidades	194
5.1.6.2. Tensiones de Diseño	195
5.1.6.3. Procedimiento de Diseño	195
5.2. Cerchas	206
5.2.1. Generalidades	206
5.2.2. Procedimiento General de Diseño	211
5.2.2.1. Hipótesis de Cálculo	211
5.2.2.2. Cálculo de las Solicitaciones en las Barras	212
5.2.2.3. Diseño de las Cerchas Triangulares	216
5.2.2.4. Cálculo de la Deformación de una Cercha	217
5.2.3. Diseño de Cerchas con Cargas Repartidas ...	218
5.3. Diafragmas	220
5.3.1. Generalidades	220
5.3.2. Tipos de Diafragmas de Madera	220
5.3.2.1. Tipos de Diafragmas Según su Revestimiento	220
5.3.2.2. Tipos de Diafragmas Según su Disposición	222
5.3.3. Requerimientos de Anclaje	227
5.3.4. Deformaciones de los Diafragmas	231
5.3.5. Revestimientos	233
5.3.5.1. Cizalle Unitario en los Diafragmas.	233
5.4. Arriostramientos	238
5.4.1. Riostras Angulares	238
5.4.2. Arriostramiento Tipo X	239
5.4.3. Arriostramiento con Pilares Empotrados	239
5.4.4. Arcos y Marcos	240
5.4.5. Diafragmas	240
5.4.6. Arriostramiento de Cerchas	241

	Página
5.5. Reglas de Dimensionamiento de Elementos Comprimidos. Longitudes de Pandeo	243
CAPITULO SEXTO : UNIONES EN LA MADERA ESTRUCTURAL	249
6.1. Generalidades	251
6.1.1. Especie Maderera	251
6.1.2. Sección Transversal Crítica y Tensiones de Cizalle	253
6.1.3. Dirección de la Carga Respecto a la Fibra de la Madera	257
6.1.4. Espaciamientos	258
6.1.5. Excentricidad	259
6.1.6. Acción en Grupo de los Elementos de Unión..	261
6.1.7. Factores de Modificación	262
6.1.7.1. Por Duración de la Carga, K_D	262
6.1.7.2. Por Contenido de Humedad, K_{UH} ...	263
6.1.7.3. Por tratamiento Químico, K_Q	264
6.1.7.4. Por Temperatura, K_T	264
6.1.7.5. Por Espaciamiento, K_S	264
6.1.7.6. Por Longitud de Hilera, K_U	267
6.1.7.7. Por Cubrejunta Metálica, K_{cm}	272
6.1.7.8. Por Profundidad de Penetración, K_{pp}	272
6.1.8. Cargas de Diseño	273
6.1.9. Módulo de Corrimiento (C)	273
6.1.9.1. Definición	273
6.1.9.2. Teoría Fundamental	274
6.2. Uniones con Barras de Acero y Pernos	282
6.2.1. Generalidades	282
6.2.1.1. Barras de Acero	282
6.2.1.2. Pernos	283
6.2.2. Cargas Admisibles	284
6.2.2.1. Generalidades	284



	Página
6.2.2.2. Cizalle Doble	285
6.2.2.3. Cizalle Simple	292
6.2.2.4. Cizalle Múltiple	294
6.2.2.5. Solicitación Desangulada Respecto al Eje del Perno	296
6.2.3. Espaciamientos Mínimos	297
6.3. Uniones con Tirafondos	299
6.3.1. Generalidades	299
6.3.2. Solicitaciones de Extracción Directa	301
6.3.3. Solicitaciones de Extracción Lateral	302
6.3.3.1. Cargas Paralelas a las Fibras del Elemento Principal	302
6.3.3.2. Carga Normal a las Fibras del Ele mento Principal	305
6.3.3.3. Cargas Inclínadas con Respecto a las Fibras del Elemento Principal.	306
6.3.3.4. Cargas Admisibles para Tirafondos con Eje Paralelo a las Fibras ...	306
6.3.3.5. Uso de Cubrejunta Metálica	306
6.3.4. Espaciamientos	307
6.4. Uniones con Tornillos	307
6.4.1. Generalidades	307
6.4.2. Solicitaciones de Extracción Lateral	309
6.4.2.1. Factores de Modificación	310
6.4.3. Solicitaciones de Extracción Directa	310
6.4.4. Combinación de Solicitaciones	312
6.4.5. Espaciamientos	313
6.5. Uniones con Clavos	313
6.5.1. Generalidades	313
6.5.2. Solicitaciones de Extracción Lateral	316
6.5.2.1. Generalidades	316

	Página
6.5.2.2. Condiciones para el espesor de las Piezas que se Unen	318
6.5.2.3. Condiciones para la Profundidad de Penetración Efectiva del Clavado, (p_{ef})	319
6.5.2.4. Factores de Modificación	321
6.5.2.5. Piezas de Sección Transversal Circular	322
6.5.2.6. Uniones Clavadas para Tableros...	322
6.5.2.7. Espaciamientos	323
6.5.2.8. Uniones Clavadas con Planchas de Acero	328
6.5.3. Solicitaciones de Extracción Directa	330
6.5.4. Solicitaciones Combinadas	332
6.5.5. Clavos Lanceros	333
6.6. Uniones con Conectores de Anillo	334
6.6.1. Generalidades	334
6.6.1.1. Dimensiones de los Conectores de Anillo	334
6.6.1.2. Pernos y Arandelas	335
6.6.1.3. Ejecución de Uniones	335
6.6.1.4. Sección Transversal Neta	336
6.6.2. Espaciamento entre Conectores	337
6.6.2.1. Definiciones	337
6.6.3. Factores de Modificación por Espaciamento.	340
6.6.4. Uniones de Cizalle Simple	341
6.6.4.1. Ensamblado	341
6.6.4.2. Cargas Admisibles	341
6.7. Uniones de Contacto entre Piezas de Madera	342
6.7.1. Uniones de Tope, Rectas e Inclınadas	342
6.7.2. Embarbillado	343
6.8. Coeficientes de Corrimiento para el Cálculo de Flecha.	345
ANEXO A : RECOMENDACION PARA EL DISEÑO DE UNIONES CON PERNOS.	347
A.1. General	349
A.2. Procedimiento Recomendado	349
APENDICE : PINO RADIATA. TENSIONES ADMISIBLES	353



INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA Nº 1. Terminología de las partes de un árbol y la estructura de la madera	42
FIGURA Nº 2. Sección transversal de un árbol	43
FIGURA Nº 3. Abaco para la determinación de humedad de equilibrio	51
FIGURA Nº 4. Zonificación del Territorio Nacional definidas en NCh 1079	57
FIGURA Nº 5. Curva de contracción lineal	63
FIGURA Nº 6. Tensiones de la madera	72
FIGURA Nº 7. Asignación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad	85
FIGURA Nº 8. Condiciones que se deben asumir en la determinación de las Tensiones Admisibles (T) y Módulo de Elasticidad (E), de acuerdo a la humedad de la madera en la construcción (H_C) y en servicio (H_S)...	86
FIGURA Nº 9. Factor de modificación por duración de la carga...	90
FIGURA Nº 10. Vigas con rebaje inferior	129
FIGURA Nº 11. Vigas con rebaje superior	130
FIGURA Nº 12. Determinación del esfuerzo de corte, Q	131
FIGURA Nº 13. Compresión normal a las fibras en vigas	132
FIGURA Nº 14. Aplastamiento en una dirección que forma un ángulo θ con la fibra	133
FIGURA Nº 15. Tipos de secciones transversales de vigas compuestas	136
FIGURA Nº 16. Tipos de vigas de alma llena entablada	149

	Página
FIGURA Nº 17. Sección transversal compuesta de una viga clavada de alma llena	151
FIGURA Nº 18. Vigas enrejadas con cordones paralelos	152
FIGURA Nº 19. Diagrama de tensiones en vigas enrejadas	154
FIGURA Nº 20. Columnas compuestas espaciadas y tacos separadores.	162
FIGURA Nº 21. Columnas compuestas espaciadas, reticuladas	163
FIGURA Nº 22. Esfuerzo de cizalle, T , sobre tacos de columnas compuestas espaciadas	166
FIGURA Nº 23. Apuntalamiento individual de piezas comprimidas...	172
FIGURA Nº 24. Superficie solicitada en compresión normal	173
FIGURA Nº 25. Carga de compresión inclinada en un ángulo θ , respecto a la fibra de la madera	175
FIGURA Nº 26. Flexión bi-axial y compresión excéntrica	179
FIGURA Nº 27. Diseño de un marco. Deformación	196
FIGURA Nº 28. Comportamiento del marco con deformaciones iguales en cada pilar	197
FIGURA Nº 29. Comportamiento de marco con riostras	199
FIGURA Nº 30. Poste empotrado	201
FIGURA Nº 31. Tipos de cerchas	207
FIGURA Nº 32. Tipos de cerchas	208
FIGURA Nº 33. Información básica para cerchas triangulares de madera	209
FIGURA Nº 34. Polígono de fuerzas	213
FIGURA Nº 35. Ejemplo de aplicación del método gráfico	214
FIGURA Nº 36. Ejemplo de aplicación de método analítico	215

	Página
FIGURA Nº 37. Diagrama de momento para un cordón superior de una cercha con carga repartida	219
FIGURA Nº 38. Comportamiento de un edificio frente a cargas horizontales	221
FIGURA Nº 39. Esfuerzos en un diafragma horizontal	224
FIGURA Nº 40. Diafragma horizontal apoyado en un muro con vano..	225
FIGURA Nº 41. Diafragma horizontal sin un muro de apoyo	225
FIGURA Nº 42. Análisis estructural de un diafragma vertical	226
FIGURA Nº 43. Carga sísmica en un muro de corte con vano interior	227
FIGURA Nº 44. Fuerzas a considerar en el anclaje	228
FIGURA Nº 45. Anclaje de un muro vertical para cargas paralelas a su plano	230
FIGURA Nº 46. Anclaje de un muro vertical para cargas normales a su plano	230
FIGURA Nº 47. Condicionantes geométricas de los diafragmas	232
FIGURA Nº 48. Cizalle unitario admisible para entablado en ángulo recto	234
FIGURA Nº 49. Estructura de un diafragma vertical con diagonal...	235
FIGURA Nº 50. Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocado en unión de diagonal (45°) en pie-derechos o vigas	236
FIGURA Nº 51. Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocado en dos capas en diagonal (45°) a pie-derechos o vigas	237
FIGURA Nº 52. Riostra angular	238



	Página
FIGURA Nº 53. Arriostramiento tipo X	239
FIGURA Nº 54. Arriostramiento con pilares empotrados	240
FIGURA Nº 55. Resistencia a la flexión de arcos y marcos	240
FIGURA Nº 56. Diafragma curvo con entablado en diagonal	241
FIGURA Nº 57. Longitud de pandeo en estructuras reticuladas	243
FIGURA Nº 58. Longitud de pandeo en tijerales de cercha tipo "A"	244
FIGURA Nº 59. Longitud de pandeo en marcos con vigas reticuladas	245
FIGURA Nº 60. Longitud de pandeo a considerar en arcos	246
FIGURA Nº 61. Longitud de pandeo en un marco simétrico bi o triarticulado	247
FIGURA Nº 62. Longitudes de pandeo en un marco reticulado	248
FIGURA Nº 63. Secciones transversales netas en las uniones	254
FIGURA Nº 64. Sección transversal neta para pernos alternados...	254
FIGURA Nº 65. Tensiones de cizalle en las uniones	256
FIGURA Nº 66. Valor de " h_e " para conectores	256
FIGURA Nº 67. Valor de " h_e " para pernos, barras de acero y tirafondos	256
FIGURA Nº 68. Cargas inclinadas respecto a la fibra de la madera	257
FIGURA Nº 69. Designaciones para los espaciamientos y bordes ...	260
FIGURA Nº 70. Uniones de barras excéntricas	260
FIGURA Nº 71. Hilera de conectores	261
FIGURA Nº 72. Áreas A_1 y A_2 para la aplicación de las Tablas Nº 63 y Nº 64	270
FIGURA Nº 73. Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número par de hileras	270
FIGURA Nº 74. Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número impar de hileras	271

	Página
FIGURA Nº 75. Tipos de ligazón en una viga constituida por dos elementos longitudinales	275
FIGURA Nº 76. Espaciamiento condicionante ($\bar{S}$) de una disposición multilíneal de elementos de unión	278
FIGURA Nº 77. Elemento de unión cilíndrico solicitado a cizalle doble	282
FIGURA Nº 78. Solicitación normal a la fibra en la pieza central. Cizalle doble	287
FIGURA Nº 79. Cargas admisibles para pernos y barras de Pino <u>ra</u> <u>diata</u>	289
FIGURA Nº 80. Cizalle doble con piezas laterales de espesores <u>ma</u> <u>yores</u> que la mitad del espesor de la pieza central.	290
FIGURA Nº 81. Cizalle doble con piezas laterales que tienen <u>espe</u> <u>sores</u> menores que la mitad del espesor de la pieza central	291
FIGURA Nº 82. Cizalle doble con piezas laterales desanguladas <u>res</u> <u>pecto</u> pieza central	291
FIGURA Nº 83. Cizalle simple. Procedimiento para obtener las <u>car</u> <u>gas</u> admisibles	293
FIGURA Nº 84. Pieza de madera anclada en hormigón o albañilería.	295
FIGURA Nº 85. Descomposición de una unión de cizalle múltiple...	295
FIGURA Nº 86. Carga desangulada respecto al eje del perno	296
FIGURA Nº 87. Condiciones geométricas para el cálculo de la <u>car</u> <u>ga</u> admisible de extracción lateral	304
FIGURA Nº 88. Tirafondo solicitado con carga normal a las fibras.	305
FIGURA Nº 89. Uniones con tornillos	311
FIGURA Nº 90. Clavado en vigas compuestas de alma llena	319
FIGURA Nº 91. Definición de penetración efectiva (p_{ef})	319

	Página
FIGURA Nº 92. Disposición de clavado	324
FIGURA Nº 93. Cizalle simple	325
FIGURA Nº 94. Cizalle doble	325
FIGURA Nº 95. Espaciamientos de clavos traslapados	326
FIGURA Nº 96. Espaciamientos entre clavos en uniones solicitadas a flexión	327
FIGURA Nº 97. Uniones de planchas de acero y madera	329
FIGURA Nº 98. Uniones de planchas de acero y madera con clavado sin disposición alternada	331
FIGURA Nº 99. Correcta forma de colocar un "clavo lancero"	333
FIGURA Nº 100. Forma de los conectores de anillo	334
FIGURA Nº 101. Sección transversal neta en una unión con dos conectores de anillo y un perno	336
FIGURA Nº 102. Espaciamiento al borde cargado en una pieza cortada desanguladamente	338
FIGURA Nº 103. Unión de tope inclinada	343
FIGURA Nº 104. Geometría y solicitaciones en un embarbillado simple	344

INDICE DE TABLAS

TABLA Nº 1. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA MADERAS UBICADAS EN EDIFICIOS CON DISTINTAS CONDICIONES DE SERVICIO	47
TABLA Nº 2. HUMEDADES DE EQUILIBRIO, EN PORCENTAJES, DE DIFERENTES ESPECIES PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS	49
TABLA Nº 3. HUMEDADES MEDIAS DE EQUILIBRIO EN PORCENTAJE, DE LAS ESPECIES MADERERAS CRECIDAS EN CHILE, PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS	50

	Página
TABLA Nº 4. DATOS CLIMATICOS DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS CHILENAS	52
TABLA Nº 5. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS CHILENAS CALCULADAS EN FORMA ANALÍTICA ...	55
TABLA Nº 6. CLASIFICACION CLIMATICO-HABITACIONAL DE CHILE	56
TABLA Nº 7. HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LAS ZONAS CLIMATICAS DEFINIDAS EN NCh 1079	57
TABLA Nº 8. ASIGNACION DE NOMBRE A LA DENSIDAD DE ACUERDO AL CONTENIDO DE HUMEDAD QUE TIENE LA MASA Y EL VOLUMEN	59
TABLA Nº 9. DENSIDADES DE ESPECIES MADERERAS CHILENAS	59
TABLA Nº 10. RELACION ENTRE DIFERENTES DENSIDADES, PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD $H \leq PSF$	61
TABLA Nº 11. RELACION ENTRE DIFERENTES DENSIDADES, PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD $H \geq PSF$	62
TABLA Nº 12. COEFICIENTES DE CONTRACCION LINEAL (k) DE ALGUNAS MADERAS COMERCIALES DE CHILE PARA UNA VARIACION DE 1% DEL CONTENIDO DE HUMEDAD*	64
TABLA Nº 13. TENSIONES MAXIMAS DE ESPECIES CHILENAS. ESTADO VERDE	74
TABLA Nº 14. TENSIONES MAXIMAS DE ESPECIES CHILENAS. ESTADO SECO ($H = 12\%$)	75
TABLA Nº 15. AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS CRECIDAS EN CHILE	77
TABLA Nº 16. FACTORES DE AJUSTE (n) A SER APLICADOS A LAS PROPIEDADES OBTENIDAS EN MADERA LIBRE DE DEFECTOS ...	78
TABLA Nº 17. GRADOS ESTRUCTURALES DEFINIDOS PARA LAS MADERAS NACIONALES	80

	Página
TABLA Nº 18. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION PARA MADERA ASERRADA, MPa	81
TABLA Nº 19. TENSIONES ADMISIBLES DE COMPRESION NORMAL PARA MADERA ASERRADA, MPa	81
TABLA Nº 20. RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CLASE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. MADERA EN ESTADO VERDE	82
TABLA Nº 21. RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CLASE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. MADERA EN ESTADO SECO (H = 12%)	83
TABLA Nº 22. CONDICIONES QUE SE DEBEN ASUMIR EN LA DETERMINACION DE TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD...	85
TABLA Nº 23. VARIACION DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES PARA UNA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL AL 1% ...	89
TABLA Nº 24. FACTORES DE MODIFICACION POR DURACION DE LA CARGA, K_D	91
TABLA Nº 25. INCREMENTO O DECREMENTO PORCENTUAL DE LOS VALORES DE DISEÑO POR CADA 1°C DE INCREMENTO O DECREMENTO DE TEMPERATURA (C_T)	94
TABLA Nº 26. FACTOR DE MODIFICACION POR TRABAJO CONJUNTO, K_C ...	95
TABLA Nº 27. FACTOR DE MODIFICACION POR TRATAMIENTO QUIMICO, K_Q	96
TABLA Nº 28. ESPESORES Y ANCHOS NOMINALES PARA MADERA ASERRADA (CEPILLADA)	98
TABLA Nº 29. SOBREDIMENSIONES QUE SE RECOMIENDAN EN MADERA ASERRADA VERDE PARA COMPENSAR LAS CONTRACCIONES Y COLAPSO, SEGUN GRUPOS DE ESPECIES	101

TABLA N° 30.	DIMENSIONES TRANSVERSALES A CONSIDERAR DE ACUERDO A LA HUMEDAD DE LA MADERA EN EL MOMENTO DE LA CONSTRUCCION Y PUESTA EN SERVICIO	102
TABLA N° 31.	COEFICIENTE C PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DIMENSIONALES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	103
TABLA N° 32.	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%)	105
TABLA N° 33.	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%)	110
TABLA N° 34.	EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES CON HUMEDADES COMPRENDIDAS ENTRE 12-20%	115
TABLA N° 35.	GRADO DE SUJECION LATERAL PARA DIFERENTES RAZONES MAXIMAS h/b DE UNA VIGA SIMPLE DE MADERA ASERRADA.	124
TABLA N° 36.	VALORES DE LA LONGITUD EFECTIVA, l_e , DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION	126
TABLA N° 37.	FACTOR DE MODIFICACION POR VOLCAMIENTO, K_v	127
TABLA N° 38.	FACTOR DE MODIFICACION POR REBAJE INFERIOR, K_r	129
TABLA N° 39.	FACTOR DE MODIFICACION POR REBAJE SUPERIOR, K_r	130
TABLA N° 40.	DEFORMACIONES MAXIMAS ADMISIBLES EN VIGAS DE MADERA	134
TABLA N° 41.	VALORES DE DISEÑO PARA EL MODULO DE CORRIMIENTO, C, EN N/mm	143
TABLA N° 42.	VOLCAMIENTO. RAZONES MAXIMAS I_x/I_y^* DE UNA VIGA COMPUESTA	148
TABLA N° 43.	LONGITUDES EFECTIVAS DE PANDEO, l_p , DE PIEZAS COMPRESIONADAS	158

	Página
TABLA Nº 44. VALORES DEL COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD, c ...	161
TABLA Nº 45. FACTOR DE FLEXIBILIDAD, Ψ	168
TABLA Nº 46. FACTOR DE MODIFICACION POR CONCENTRACION DE TENSIONES, K_{ct}	177
TABLA Nº 47. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE J_x , J_y	180
TABLA Nº 48. CONDICION ASUMIDA PARA LA DETERMINACION DE TENSIONES, MODULO DE ELASTICIDAD, DISEÑO DE UNIONES Y DIMENSIONES DE PIEZAS CON SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR	183
TABLA Nº 49. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD PARA PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR USADAS EN SU FORMA NATURAL Y EN ESTADO VERDE. EN MPa	184
TABLA Nº 50. PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES CIRCULARES	184
TABLA Nº 51. FACTOR DE MODIFICACION POR DESBASTADO O ALISADURA (K_d)	186
TABLA Nº 52. FACTOR DE MODIFICACION POR PRESERVACION CON TRATAMIENTO A VACIO Y PRESION (K_{pv})	187
TABLA Nº 53. FACTOR DE MODIFICACION POR USO EN ESTADO SECO	187
TABLA Nº 54. UBICACION DE LA SECCION TRANSVERSAL CRITICA (A_{crit}) EN POSTES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR	189
TABLA Nº 55. VERIFICACION DE TENSIONES EN LA SECCION CRITICA DE UN POSTE DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR	190
TABLA Nº 56. TENSION MAXIMA ADMISIBLE Y PRESION LATERAL ADMISIBLE DEL SUELO A UNA PROFUNDIDAD.....	204
TABLA Nº 57. PESO APROXIMADO (Kg/m^2) DE CERCHAS DE MADERA MEDIDO EN LA SUPERFICIE DE TECHUMBRE	216
TABLA Nº 58. RESTRICCIONES GEOMETRICAS EN DIAFRAGMAS	232



	Página
TABLA N° 59. AGRUPACION DE ESPECIES, SEGUN SU DENSIDAD ANHIDRA, A SER CONSIDERADA EN EL DISEÑO DE UNIONES	252
TABLA N° 60. APLICABILIDAD DE LOS FACTORES DE MODIFICACION	263
TABLA N° 61. FACTORES DE MODIFICACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE ELEMENTOS DE UNION, POR CONTENIDO DE HUMEDAD, K_{UH}	265
TABLA N° 62. FACTORES DE MODIFICACION PARA PERNOS, BARRAS DE ACERO Y TIRAFONDOS, SOLICITADOS EN CIZALLE, EN MADERA QUE SE SECA EN SERVICIO, K_{UH}	266
TABLA N° 63. FACTOR DE MODIFICACION, K_{U} , PARA UNIONES CON PIEZAS LATERALES METALICAS, CONECTORES, PERNOS Y TIRAFONDOS, SOMETIDOS A CARGAS LATERALES	268
TABLA N° 64. FACTORES DE MODIFICACION, K_{U} , PARA UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA, CONECTORES, PERNOS Y TIRAFONDOS SOMETIDOS A CARGAS LATERALES	269
TABLA N° 65. VALORES PARA EL MODULO DE CORRIMIENTO (C) Y CORRIMIENTOS RELATIVOS (δ) PARA LA CARGA DE DISEÑO (P_{dis}) DE ELEMENTOS DE UNION A USAR EN UNIONES Y EMPALMES	280
TABLA N° 66. MAYORACION DE LOS DIAMETROS DE LOS AGUJEROS EN LA MADERA, RESPECTO AL DIAMETRO DEL PERNO, EN mm	283
TABLA N° 67. DIMENSIONES MINIMAS DE ARANDELAS PARA UNIONES APERNADAS ESTRUCTURALES	284
TABLA N° 68. TENSIONES BASICAS DE COMPRESION, (TB), EN MPa, Y GRUPO A CONSIDERAR EN EL CALCULO DE LA TENSION ADMISIBLE DEL PERNO O BARRA DE ACERO	287
TABLA N° 69. CONSTANTES A USAR EN EL CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE PARA UN PERNO O BARRA DE ACERO CON SOLICITACION PARALELA A LA DIRECCION DE LA FIBRA DE LA PIEZA CENTRAL	288
TABLA N° 70. CONSTANTES A USAR EN EL CALCULO DE LA CARGA ADMISI	



	BLE PARA UN PERNO O BARRA DE ACERO CON SOLICITACION NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA EN LA PIEZA CENTRAL	288
TABLA Nº 71.	ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE PERNOS	298
TABLA Nº 72.	ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE BARRAS DE ACERO	299
TABLA Nº 73.	CARACTERISTICAS DE LOS TIRAFONDOS	300
TABLA Nº 74.	LONGITUD DE PENETRACION DE LA ZONA ROSCADA QUE DESARROLLA LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE TRACCION DEL TIRAFONDO	302
TABLA Nº 75.	VALORES DE LA CONSTANTE K	303
TABLA Nº 76.	FACTORES DE MODIFICACION POR ESPESOR (e_L) DE LA PIEZA LATERAL	304
TABLA Nº 77.	FACTOR DE MODIFICACION POR PENETRACION DEL VASTAGO (p_v) EN LA PIEZA PRINCIPAL	305
TABLA Nº 78.	FACTOR DE MODIFICACION POR DIAMETRO, K_{tD}	306
TABLA Nº 79.	CARACTERISTICAS DE LOS TORNILLOS	308
TABLA Nº 80.	TIPOS DE CLAVOS FABRICADOS SEGUN Nch 1269	314
TABLA Nº 81.	DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE LOS CLAVOS	315
TABLA Nº 82.	DENSIDADES ANHIDRAS CARACTERISTICAS DEL ALAMO, PINO RADIATA, TEPA Y COIGUE	317
TABLA Nº 83.	CARGAS ADMISIBLES Y FACTORES DE MODIFICACION POR PROFUNDIDAD DE PENETRACION EN EL CLAVADO	320
TABLA Nº 84.	ESPACIAMIENTOS MINIMOS DE CLAVOS DE DIAMETRO, d_c , EN mm	323
TABLA Nº 85.	TAMAÑOS DE CONECTORES DE ANILLO ABIERTO Y TAMAÑOS MINIMOS DE ARANDELAS	335
TABLA Nº 86.	DIMENSIONES DE RANURAS CIRCULARES PARA CONECTORES DE ANILLO ABIERTO	337
TABLA Nº 87.	ESPACIAMIENTOS BASICOS AL BORDE MEDIDOS SEGUN LA DIRECCION DE LA FIBRA	338

	Página
TABLA N° 88. ESPACIAMIENTOS MINIMOS AL BORDE MEDIDOS SEGUN LA DIRECCION DE LA FIBRA	338
TABLA N° 89. ESPACIAMIENTOS BASICOS AL BORDE MEDIDOS NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA	339
TABLA N° 90. ESPACIAMIENTOS MINIMOS AL BORDE MEDIDOS NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA	339
TABLA N° 91. ESPACIAMIENTOS BASICOS ENTRE CONECTORES VECINOS...	340
TABLA N° 92. ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE CONECTORES VECINOS, S_{mc}	340
TABLA N° 93. FACTOR DE MODIFICACION POR ESPACIAMIENTO, K_s	341
TABLA N° 94. CAPACIDADES ADMISIBLES DE CARGA DE UN CONECTOR DE ANILLO ABIERTO EN UNIONES DE CIZALLE SIMPLE, EN NEWTON	342

CAPITULO PRIMERO

1.0 TERMINOLOGIA Y SIMBOLOGIA

1.1. Terminología

1.2. Simbología

1.0 TERMINOLOGIA Y SIMBOLOGIA

1.1. Terminología

A

- Acanaladura** : Alabeo de las caras en la dirección transversal de una pieza.
- Acción** : Toda causa de esfuerzos (acción directa) o de deformaciones (acción indirecta) en las estructuras.
- Acebolladura** : Separación de la madera entre dos anillos de crecimiento consecutivos.
- Adhesivo** : Sustancia que se aplica entre dos elementos para mantenerlos unidos por contacto superficial.
- Agrupamiento de especies** : Ordenamiento de las especies madereras de forma que cumplan con determinadas propiedades resistentes.
- Agujero** : Abertura de sección circular aproximada, originada principalmente por el desprendimiento de un nudo.
- Ala (de viga)** : Cordón de refuerzo perpendicular al alma (nervio) de la viga y ubicado en sus extremos superior y/o inferior.
- Alabeo** : Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes longitudinal o transversal, o de ambos a la vez.
- Albura** : Capa o zona de color generalmente claro, situada entre el duramen y la corteza. Contiene células vivas y materiales de reserva. Se conoce también por "hualle".
- Alisadura** : Proceso mecánico mediante el cual se da forma cilíndrica o cónica a un rollizo o poste.
- Alma** : Parte central de una viga compuesta o de un panel.



- Alma llena** : Cuando el elemento central de una viga compuesta o de un panel es continuo.
- Altura de viga** : Dimensión de la sección transversal de un elemento sometido a flexión, paralela a la dirección de la carga aplicada.
- Ancho** : Dimensión mayor de la escuadría.
- Ancho de viga** : Dimensión de la sección transversal de un elemento sometido a flexión, perpendicular a la dirección de la carga aplicada.
- Andamios** : Estructura en altura formada por pilares y vigas.
- Andamiaje** : Estructura formada con andamios.
- Anelástico** : Que no obedece a un comportamiento elástico.
- Anhidro** : Sin agua, es decir con 0% de contenido de humedad.
- Anillo de crecimiento** : Sección transversal de la capa de madera formada durante un período vegetativo. Se caracteriza por el contraste más o menos marcado entre el leño tardío de un período y el leño temprano del siguiente.
- Anisótropo** : Que tiene distintas propiedades en todas las direcciones.
- Aplastamiento** : Efecto de compresión normal a la fibra.
- Arista** : Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes de una pieza.
- Arista faltante** : Ausencia de madera de una arista de una pieza. Se conoce también por "canto muerto".
- Arqueadura** : Alabeo de las caras en la dirección longitudinal de la pieza.
- Arriostramiento** : Conjunto de tirantes y/o puntales empleados para rigidizar una estructura.

Aserrar : Operación de cortar longitudinalmente la madera con sierra manual o mecánica y darle una escuadría determinada.

Atiesadores : Elementos de sección rectangular que se unen al alma de una viga compuesta y que se ubican entre las superficies interiores de las alas de dicha viga para evitar el pandeo del alma.

B

Barlovento : Dirección por la que viene el viento.

Bolsillo de corteza : Presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en el leño. Se conoce también por "corteza incluida".

Bolsillo de resina : Presencia delimitada de una cavidad que contiene resina o tanino. Se conoce también por "bolsa" o "lacra".

C

Cabeza : Sección transversal de cada extremo de una pieza.

Cabezal : Extremo de una pieza.

Calibrador : Pieza metálica adecuadamente graduada, que se utiliza en la medición de las profundidades de grietas, rajaduras, etc.

Calor específico : Cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de 1 gramo del material especificado.

Cambium : Capa de célula en activo proceso de división, que yace entre el xilema secundario y el floema secundario, tejidos a los cuales da origen. La fácil rotura de esta fina capa de células determina, generalmente, la separación del leño y de la corteza.

Cantear : Operación destinada a obtener cantos rectos y paralelos en piezas provenientes de trozas.



- Cantos** : Superficies planas menores, normales a las caras, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.
- Canto muerto** : Ver arista faltante.
- 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.
- Carga admisible** :
- a) En uniones, es la máxima carga de acción prolongada que se puede aplicar a un elemento por debajo del límite de proporcionalidad de la unión.
 - b) En vigas o elementos estructurales es la máxima carga aplicable a el o los elementos de forma de no sobrepasar el comportamiento elástico de éstos.
- Carga crítica** : Carga a partir de la cual se produce inestabilidad en una pieza comprimida.
- Carga de diseño** :
- a) Corresponde a la carga para la que ha sido diseñada una estructura o pieza de madera.
 - b) En diafragmas y uniones, corresponde a la carga que resulta de multiplicar la carga admisible por el o los factores de modificación a que haya lugar.
- Carga de trabajo**: Es la carga aplicada a un elemento en un momento dado.
- Carga móvil** : Es aquella carga que sufre desplazamiento durante su período de acción.
- Carga permanente**: Es aquella carga que está actuando continuamente durante toda la vida útil de la estructura.
- Catalizador** : Sustancia capaz de acelerar una reacción química sin descomponerse o combinarse, se puede



de agregar a un adhesivo, en pequeña proporción, para acelerar su proceso de fraguado.

Cavidad celular : Espacio interior de la célula y que está de limitado por la pared celular, contiene el protoplasma de la célula viviente.

Celosfa : Enrejado constituido en base a triángulos.

Célula : Cámara o celdilla que durante algún tiempo contiene protoplasto; constituye la unidad estructural de los tejidos de la planta.

Celulosa : Glúcido complejo presente en la madera y en todos los demás materiales de origen vegetal.

Celulosa de madera : Residuo obtenido de la madera después del tratamiento químico apropiado para la separación de extractos, lignina y hemicelulosas.

Centroide : Centro de gravedad.

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 ser trabajadas.

Cepillado ondulado : Depresiones sucesivas dejadas por las cuchillas sobre la superficie de una pieza cepillada.

Cepillar : Alisar madera con cepillo manual o mecánico.

Cercha : Elemento estructural triangulado que soporta las costaneras y la cubierta, transmitiendo el peso a sus apoyos.

Cizalle : Esfuerzo producido sobre un cuerpo por la acción conjunta de dos fuerzas en sentido perpendicular a su eje y que tiende a hacer deslizar dos planos paralelos contiguos, moviéndolos en sentidos opuestos.



- Cizalle longitudinal** : Esfuerzo que tiende a deslizar horizontalmente una pieza sobre otra provocado por una flexión en el elemento.
- Clase estructural** : Índice de la capacidad resistente de una pieza de madera, determinado mediante un proceso de clasificación visual o mecánico.
- Clasificación** : Separación y ordenación de las piezas de madera en grupos que cumplen con los requisitos de cada clase o grado establecido.
- Clasificación mecánica** : Clasificación realizada mediante el uso de una máquina que determina el módulo de elasticidad de una pieza y lo correlaciona con las otras propiedades resistentes de la madera.
- Clasificación visual** : Clasificación efectuada mediante inspección ocular de cada una de las piezas de madera.
- Clavos** : Elemento metálico de forma cilíndrica que sirve para unir una pieza a otra.
- Clivaje** : Anglicismo (de cleavage) por hendimiento o rajadura. Acción y efecto aplicable particularmente a la madera.
- Codo** : Intersección entre la pieza vertical y el elemento diagonal en que se apoya la estructura de techumbre en un marco.
- Coefficiente de contracción** : Variación de las dimensiones, al variar en 1% el contenido de humedad de la madera. Corresponde a la pendiente de la porción recta de la curva de contracción.
- Coefficiente de contracción normal** : Disminución de dimensión al perder humedad bajo el Punto de Saturación de la Fibra, expresada como porcentaje de la dimensión en estado verde.

- Coeficiente de contracción volumétrico** : Es la suma de los coeficientes de contracción radial y tangencial.
- Colapso** : Disminución de las dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado sobre el Punto de Saturación de la Fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares.
- Columna** : Elemento sometido a compresión paralela a la dirección de la fibra, generalmente muy esbelto.
- Columna compuesta** : Elemento sometido a compresión, formado por dos o más piezas con sus ejes longitudinales paralelos, provistos de tacos separadores en sus extremos y puntos intermedios y unidos entre sí por elementos de unión capaces de proporcionar la requerida resistencia al corte.
- Columna simple** : Elemento sometido a compresión, formado por una sola pieza o por piezas adecuadamente unidas mediante adhesivo, clavos, etc. para constituir un único elemento sólido.
- Compresión** : Esfuerzo producido sobre un cuerpo por dos fuerzas iguales y opuestas que tienden a aproximar los dos puntos sobre los que actúan.
- Compresión normal** : Solicitación de compresión con carga en dirección normal a la fibra o grano de la madera.
- Compresión paralela** : Solicitación de compresión con carga en dirección paralela a la fibra o grano de la madera.
- Conductividad** : Capacidad que tiene un material para transmitir el calor.
- Conector** : Elemento metálico de unión.

- Coníferas** : Grupo botánico de árboles que, en casi todos los casos, llevan acículas u hojas en forma de escamas; también se llama así a la madera producida por estos árboles.
- Contenido de humedad** : Cantidad de agua contenida en la madera, expresada como porcentaje de su peso anhidro.
- Contracción** : Disminución de las dimensiones de una pieza de madera, causada por la pérdida del contenido de humedad por debajo del Punto de Saturación de la Fibra.
- Contracción total** : Corresponde a la suma de la contracción normal y el colapso.
- Contraflecha** : Curvatura que se le da a un elemento estructural sometido a flexión, durante su fabricación y/o montaje, en el sentido contrario a la acción de las cargas que sobre él actúan, para que cuando éstas inicien su acción, la deformación sea prácticamente nula en el elemento estructural.
- Cordones** : Elementos superior e inferior de una viga enrejada, en un reticulado o en una cercha.
- Corteza** : Envoltura natural exterior del árbol. Comprende la corteza interna, delgada y viva (liber), y la corteza exterior, gruesa y muerta (super).
- Costanera** : Pieza larga de madera o metal encargada de recibir cargas y afianzar los materiales usados en la cubierta.
- Cuarteado** : Corte plano longitudinal perpendicular a los anillos de crecimiento. Se conoce también como "corte radial".
- Cubierta** : Parte exterior de la techumbre de un edificio.



D

- Decking** : Pieza de madera doblemente machihembrada que generalmente tiene un espesor comprendido entre 2" y 3" y cuyas funciones son las de lograr una superficie que sirva de cielo, arriostramiento y costanera.
- Defecto** : Cualquier irregularidad física, química o físico-química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitación en el uso o aplicación.
- Deformación** : Desplazamiento de un elemento o estructura, en sentido vertical y/o horizontal.
- Delaminación** : Separación de las láminas de una pieza laminada y encolada producida por falla del adhesivo o el adherente.
- Densidad** : Masa por unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico.
NOTA: Puesto que los cambios de humedad contenida en la madera influye en su peso y volumen, es necesario especificar las condiciones de ésta en el momento de hacer la medición.
- Densidad anhidra** : Es la que relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra.
- Densidad básica** : Relación entre la masa de la madera en estado anhidro y el volumen en estado verde.
- Densidad de referencia** : Relación entre la masa y el volumen de la madera, determinados ambos a un mismo contenido de humedad.
- Densidad nominal:** Relación entre la masa de una probeta en estado anhidro y su volumen al contenido de humedad del ensayo.

- Densidad normal :** Relación entre la masa y el volumen determinados ambos a un contenido de humedad igual a 12%.
- Depresión por cepillado :** Concavidad producida durante el cepillado de una pieza.
- Desbastado :** Trabajar la madera para conformarla, valiéndose de hacha o de otro instrumento similar cortante.
- Descortezar :** Separar la corteza de un árbol o de un rollo.
- Desviación de la fibra :** Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de la pieza.
- Diafragma :** Elemento estructural delgado, normalmente rectangular, formado fundamentalmente por pies derechos o vigas y revestimiento, capaz de soportar sollicitaciones de cizalle y que, por rigidez, limita las deformaciones de una estructura.
- Diámetro :** Distancia medida entre dos puntos simétricos respecto al centro de una circunsferencia.
- Difusibilidad térmica :** Efecto combinado de conductividad térmica y calor específico de un material.
- Dilatación :** Incremento dimensional producido en una madera seca al aumentar su contenido de humedad. Se conoce también como "hinchamiento".
- Dimensión nominal :** Dimensión por la cual la madera es conocida y comercializada.
- Dintel :** Elemento superior de un vano.
- Dirección radial :** Se refiere a la dirección paralela a los radios de los anillos de crecimiento.



- Dirección tangencial** : Se refiere a la dirección normal a los ra dios de los anillos de crecimiento.
- Duración de la carga** : Período durante el cual se espera una sol ici ta ci ón continua de un grupo determinado de cargas sobre una estructura.
- Duramen** : Parte central de un tronco, rodeado por una capa de albura, que en el árbol vivo ha de ja do de contener células vivas y en la cual los materiales de reserva han sido eliminados o transformados. Generalmente es de color más oscuro que la albura. Se conoce también por "corazón" o "pellín".
- Dureza** : Propiedad de los sólidos y los cuerpos visco so s que se refiere a la resistencia para de j a r se rayar, hender o penetrar.

E

- Eje de pandeo** : Eje longitudinal de una pieza donde se pro du ce la falla por inestabilidad.
- Eje neutro** : Eje en la sección transversal de una pieza en el cual los esfuerzos internos de flexión son nulos. Se conoce también como fibra neu tra.
- Empalme** : Unión entre dos o más elementos de madera.
- Encoladora** : Máquina para aplicar la cola a láminas, cha pas, etc. antes de la unión.
- Encolar** : Operación de esparcir un adhesivo sobre una pieza de madera.
- Encorvadura** : Alabeo de los cantos en la dirección longitu dinal de una pieza.
- Ensamble** : Unión o conexión entre dos piezas de madera.
- Ensayo** : Experimento para determinar propiedades de la madera.

- Entalladura** : Surco estrecho en la pared transversal (horizontal) de una célula de los radios, a lo largo de la unión con la pared tangencial (terminal). En sección radial, la entalladura aparece como una depresión en la pared transversal, en que va inserta la pared tangencial.
- Esbeltez** : Cuociente que relaciona la longitud de pandeo con el radio de giro de una pieza de madera.
- Escuadría** : Expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal 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 la ortogonalidad de la sección transversal de la pieza.
- Escuadría nominal** : Expresión numérica de las dimensiones nominales de la sección transversal de una pieza.
- Espaciamiento** : Distancia entre centros de elementos de unión.
- Especie** : Conjunto de árboles que se pueden considerar formando un grupo por tener uno o varios caracteres comunes.
- Espesor** : Dimensión menor de la escuadría.
- Estabilidad dimensional** : Propiedad del material de conservar las dimensiones al quedar expuesto a distintas condiciones de temperatura y humedad.
- Estado anhidro** : Condición en que se encuentra la madera cuando ha perdido toda la humedad contenida en su interior, ($H = 0\%$), es decir se ha evaporado toda el agua contenida tanto en las cavidades celulares como en las paredes celulares.
- Estado seco** : Estado de la madera en el cual su contenido de humedad es menor o igual al 20%.
- Estado verde** : Estado de la madera en el cual su contenido

de humedad es mayor que el Punto de Saturación de la Fibra.

Excentricidad : Corrimiento con respecto a un eje determinado.

Extensor : Sustancia de bajo costo, que puede agregarse a un adhesivo en proporción relativamente grande principalmente con fines económicos.

Extracción de clavo : Ensayo destinado a determinar la capacidad resistente a la extracción directa o lateral de clavo en una especie maderera.

F

Factor de modificación : Coeficiente que modifica la tensión o carga admisible de acuerdo con las condiciones específicas de carga y servicio bajo los cuales estará el elemento estructural.

Fibra : a) Término con que se designa en anatomía de la madera a toda célula o grupo de células, largas y estrechas, del leño o liber, que no sea vascular o parenquimática.

b) Disposición de los elementos constitutivos de la madera en dirección longitudinal. Se conoce también como "hilo", "hebra" o "grano".

Fibra neutra : Ver eje neutro.

Fibrillas : Fibra de tamaño microscópico, con cuyas agregaciones se constituyen las paredes celulares.

Filler : Sustancia que puede agregarse a un adhesivo, en proporción pequeña, con el fin de mejorar algunas de sus características (trabajabilidad, penetración, etc.).

Flecha : Toda deformación sufrida por un elemento estructural bajo la acción de cargas. Se carac

teriza por una curvatura del eje neutro del elemento en el plano de acción de las cargas.

Flexión : Forma de trabajo a que se somete una pieza, obligándola a curvarse.

Flexo-compresión: Forma de trabajo que combina flexión y compresión cuando ellas actúan simultáneamente sobre una pieza estructural.

Flexo-tracción : Forma de trabajo que combina flexión y tracción cuando ellas actúan sobre una misma pieza estructural.

Floreado : Corte plano longitudinal, tangente a los anillos de crecimiento. Se conoce también como "corte tangencial".

Follaje : Parte del árbol en que se encuentran las hojas.

Fraguado : a) Cambio producido en las propiedades físicas de la cola por reacciones químicas, que pueden ser de condensación o polimerización; generalmente provocado por la acción del calor y un catalizador o sólo por uno de estos agentes, con o sin presión.

b) Acción por la cual el adhesivo desarrolla su cualidad de adherente, endurece y desarrolla fuerzas de ligazón; se conoce también como "curado".

6

Grado estructural : Conjunto de especificaciones de las características reductoras de la resistencia de la madera. Generalmente se le identifica a través de la razón de resistencia.

Gradiente de humedad : a) Variación de la humedad de la madera por unidad de longitud en el interior de una pieza.



b) Variación del contenido de humedad a través de formas sucesivas de la madera en una pieza.

- Grano** : Ver fibra.
- Grano inclinado** : Ver desviación de la fibra.
- Grieta** : Separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.
- Grupo estructural** : Conjunto de especies madereras caracterizadas por las propiedades resistentes de una madera hipotética.

H

- Higrómetro** : Instrumento para determinar la humedad de la madera, que utiliza las variaciones de su resistencia eléctrica al cambiar el contenido de humedad. Se denomina también "xilohigrómetro".
- Higroscopia** : Propiedad de un material de absorber o condensar la humedad atmosférica.
- Hinchamiento** : Ver dilatación.
- Hongos** : Plantas saprófitas y parásitas caracterizadas por la ausencia de clorofila y por su forma de nutrición que provoca, en la mayoría de los casos, el deterioro de la materia orgánica.
- Hongos cromógenos** : Hongos que suelen alimentarse de los compuestos orgánicos fácilmente digeribles almacenados en la madera, causan coloraciones en la madera y ejercen escasa o nula influencia sobre las propiedades de ésta.
- Hongos xilófagos** : Hongos que son capaces de desintegrar las paredes de la célula y, por lo tanto, cambiar

las características físicas y químicas de la madera.

Hualle : Ver albura.

Humedad de equilibrio : Estado en el cual el contenido de humedad de la madera no varía si se mantiene constante la temperatura y humedad relativa del medio ambiente. Se conoce también como "equilibrio higroscópico".

Humedad relativa: La relación entre la humedad existente en un espacio o volumen dado y la que existiría si estuviese saturado.

I

Ignífugos : Retardadores de la acción del fuego.

Impregnación : Saturación de la madera con un preservante.

Impregnar : Introducir entre las moléculas de un cuerpo las de otro en cantidad perceptible sin que haya mezcla ni combinación.

Insectos xilófagos : Insectos que se alimentan de la madera causando su destrucción.

Insectos horadores : Insectos que perforan la madera.

Isótropo : Que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones.

J

Juego de la madera : Variaciones dimensionales producidas por los cambios del contenido de humedad de la madera y que cesan en el punto de equilibrio con la humedad ambiental. Se conoce también como "trabajo de la madera" o "movimiento de la madera".

L

Lámina : Elemento formado por una o varias piezas de madera en el cual dos de sus dimensiones predominan notablemente sobre la tercera.



- Laminado horizontal** : Elemento de madera laminada sometido a flexión en el cual las láminas son paralelas al eje de flexión.
- Laminado vertical** : Elemento de madera laminada sometido a flexión en el cual las láminas son normales al eje de flexión.
- Latifoliadas** : Se denominan así las especies de árboles que tienen hojas anchas, en contraste con las coníferas. Su madera se conoce como "madera de frondosas", independiente de su contextura.
- Leño** : Madera.
- Lignina** : El componente de la madera más abundante después de la celulosa, localizado principalmente en la laminilla media, que es la capa delgada que cementa las células leñosas. La constitución química de la lignina no ha sido determinada aún en forma definitiva.
- Longitud** : Distancia entre las cabezas de una pieza.
- Longitud efectiva de pandeo** : Distancia entre dos puntos de inflexión (de momento flector nulo) adyacentes, entre los que el elemento comprimido se flexiona adoptando una curvatura simple.
- Luz** : Dimensión horizontal de un vano o de una habitación.

M

- Machihembrado** : Maderas cuyos cantos están ranurados o presentan lengüetas o pestañas que permiten ensamblarlas unas a otras.
- Madera** : a) Tejido principal de sostén y conducción de agua de los tallos y raíces. Se caracteriza por la presencia de elementos traqueales.
- b) Prácticamente es la parte sólida sin cor



teza proveniente del tronco, ramas o raf
ces de un árbol.

Madera anhidra : Madera de la que se ha eliminado toda hume
dad.

Madera aserrada : Pieza cortada longitudinalmente, por medio de
sierra manual o mecánica, con el fin de dar
le caras planas y a escuadra.

**Madera
cepillada :** Madera alisada en una o más caras o cantos.

**Madera
comercial :** Madera que reúne las condiciones para ser ven
dida, comprada o permutada.

**Madera
contrachapada :** Producto constituido por tres o más hojas o
chapas de madera recortadas y unidas por sus
caras con colas o adhesivos. Su caracterís
tica principal es el cruce alternado de las
chapas para mantener la resistencia y estabi
lidad del tablero que conforman. Se le cono
ce también por "madera terciada" y "planchas
contrachapadas".

**Madera
cuarteada :** Madera cuya mayor dimensión, en la sección
transversal es paralela a la dirección radial.

**Madera de
primavera :** Madera menos densa formada durante las prime
ras etapas del crecimiento de cada anillo
anual. Se conoce también por "leño temprano".

**Madera de
verano :** Madera más densa formada durante las últimas
etapas del crecimiento de cada anillo anual.

**Madera
elaborada :** Pieza que ha sufrido cualquier proceso de ma
quinado posterior al aserrado, tal como cepi
llado, moldurado, etc.

**Madera
estructural :** Aquella que por sus características mecáni
cas, principalmente, resulta apta para ser
empleada como elemento resistente.

**Madera
floreada :** Madera cuya mayor dimensión, en la sección



transversal, es paralela a la dirección tangencial.

Madera impregnada : Madera que ha sido sometida a un tratamiento de preservación hasta producir saturación de la fibra con el preservante.

Madera laminada : Es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y/o 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, existen diferentes tipos de madera laminada.

Madera laminada encolada : Es aquella madera laminada cuyo elemento de unión es adhesivo. Es más conocida como "madera laminada".

Madera preservada : Madera que se ha sometido a un proceso de preservación y ha retenido preservante en una proporción especificada por las normas. Se conoce también como "madera tratada".

Madera seca : Madera cuyo contenido de humedad no es superior al 20%.

Madera terciada : Ver madera contrachapada.

Madera tratada : Ver madera preservada.

Madera verde : Madera cuyo contenido de humedad es superior al Punto de Saturación de la Fibra.

Maduración : Período de almacenamiento que debe darse a una unión encolada, una vez fuera de prensas, hasta que alcance prácticamente su resistencia total.

Mancha : Coloración anormal de la madera, principalmente de la albura, producida por hongos y que no altera su estructura leñosa.

Mancha biológica : Cambio de color de la madera producido por hongos no xilófagos.

- Mancha de procesamiento** : Cambio de color que puede producirse en la madera durante los procesos de aserrado, cepillado, estacionamiento o almacenamiento.
- Marca de astillamiento** : Depresión en las caras cepilladas causada por desprendimiento de fibras.
- Marca de sierra** : Depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal. Se conoce también por "picada".
- Marco** : Estructura formada por dos elementos verticales en los cuales descansa un elemento horizontal o diagonal donde se apoya la estructura de techumbre.
- Médula** : Parte central de los tallos, constituida esencialmente por tejido parenquimatoso o blando.
- Mohos** : Hongos diminutos que engendran una parte externa visíble, compuesta por micelios y esporas, o sólo por estas últimas.
- Montaje** : Proceso de instalación de un elemento o estructura en una obra.
- Montantes** : Elementos verticales interiores de una cercha.
- Muro** : Elemento vertical generalmente rígido que cumple una función estructural en una construcción y además separa un espacio físico de otro.

N

- Nudo** : Tejido leñoso, dejado por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes a los de la madera de las zonas circundantes.
- 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 totalmen
te rodeada por las fibras de la madera.

Nudos en racimo : Dos o más nudos agrupados como una unidad que queda totalmente rodeada por las fibras del leño que la circunda.

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. Se conoce también por "nudo flojo".

P

Pandeo : Fenómeno de inestabilidad que se presenta en piezas bajo carga axial si alcanza ésta un valor crítico.

Pared celular : Manto que cubre y delimita el interior de la célula.

Parénquima : Tejido fundamental del árbol, activo en el almacenamiento y distribución de los hidratos de carbono de células cortas con numerosas punteaduras simples. Su disposición puede ser vertical o axial (parénquima leñosa) u horizontal o radial (parénquima radial).

Pellín : Ver duramen.

Perfil : Pieza prismática de sección constante que se fabrica en serie por procedimientos industriales diversos. Cada uno de sus tipos se cacteriza por la forma y dimensiones de su sección.

Perforación : Galería u otro tipo de orificios, producidos en la madera por diferentes especies del reino animal.

Pernos : Elementos metálicos de forma cilíndrica usados en las uniones en madera.

- Peso específico :** Es el que relaciona el peso y el volumen de un material.
- Peso específico anhidro :** Es el que relaciona el peso y el volumen de la madera anhidra.
- Peso específico básico :** Es el que relaciona el peso de la madera en estado anhidro y su volumen en estado verde.
- Peso específico de referencia :** Es el que relaciona el peso y el volumen de la madera, determinados ambos a un mismo contenido de humedad.
- Peso específico nominal :** Relación entre el peso de la madera anhidra y su volumen al contenido de humedad de ensayo.
- Peso específico normal :** Relación entre el peso y el volumen de la madera, determinados ambos a un contenido de humedad igual al 12%.
- Pie-derecho :** Una de una serie de piezas estructurales esbeltas que soportan elementos constitutivos de un diafragma o unidad estructural similar.
- Pilar :** Columna destinada a soportar una estructura superior.
- Pilotes :** Maderos rollizos que se clavan en el suelo para sostener otras estructuras.
- Porosidad :** Propiedad de los materiales, que presentan espacios vacfos entre las moléculas que lo conforman.
- Postes :** Maderos rollizos que se usan en general para sostener líneas eléctricas o telefónicas; y en algún tipo de construcción como pilares y/o vigas.
- Preservación :** Técnica de proteger la madera, mediante la aplicación de preservantes, retardadores del fuego o ambos, contra el deterioro y destruc



ción causado por organismos vivos o por el fuego.

Preservante : Producto o mezcla de sustancias químicas científicamente dosificadas y normalizadas, de efectividad comprobada, para ser aplicada a la madera con el objeto de protegerla contra el ataque de organismos destructores y prolongar así su vida útil. Se distinguen tres tipos de preservantes: hidrosolubles, solubles en líquidos orgánicos y creosotados. Se denomina también "preservador".

Probeta : Trozo de madera en el cual se ejecutan ensayos.

Propiedades geométricas : Propiedades asociadas a una pieza de madera producto de su geometría.

Propiedades mecánicas : Valores que indican la capacidad de los materiales de resistir fuerzas externas aplicadas, controlándose así las formas de uso más adecuadas.

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.

Pudrición blanca : Descomposición producida por hongos que atacan a los elementos más importantes de la madera, dejando un residuo blanquecino o ligeramente coloreado, de textura frecuentemente fibrosa o esponjosa y a veces con fibras de celulosa que quedan visibles y predominantes. Los hongos causales están caracterizados por la pudrición de enzimas oxidantes.

Pudrición parda : Descomposición producida por hongos que atacan la celulosa y los glúcidos asociados y que deja un residuo pardo, claro u oscuro, friable y, al avanzar, origina la subdivisión



de la madera en rectángulos. El residuo producido es lignina.

Puntos de inflexión : Puntos de cambio de concavidad en una curva.

Punto de intersección de la contracción : Corresponde al punto en que la prolongación de la porción recta de la curva de contracción intersecta al eje de las abscisa.

Punto de saturación de la fibra (PSF) : Estado de la madera en el cual el agua libre ha sido eliminada en tanto las paredes celulares se mantienen saturadas. Se denomina también "Punto de saturación del grano".

Punzonamiento : Efecto de perforación de un elemento sobre otro, debido a su mayor dureza o a exceso de carga.

Putrefacción : Acción y efecto de pudrir o pudrirse.

Q

Quemado : Carbonización de la madera ocurrida durante su procesamiento y debido a la fricción de la herramienta.

R

Radio de curvatura : Es el radio de la circunferencia que forma parte o es el total de una curva.

Radio de giro : Relación entre el momento de inercia de una pieza y el área de ésta.

Rajadura : Separación de las fibras de la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

☛ **Rayos medulares**: Rayos que se originan en los tejidos y que se prolongan por el crecimiento del cambium. Se suele aplicar a los rayos que pueden detacarse hacia el interior, es decir, hasta la médula.



Razón de resistencia : Razón formada por el valor de resistencia de piezas de madera que satisfacen los requisitos de un grado determinado (en cuanto a las magnitudes de los defectos que ese grado admite) y el valor de resistencia de ese mismo material libre de defectos.

Rebaje : Disminución efectuada en la sección transversal de una pieza, generalmente en los extremos y/o puntas intermedias.

Resina : a) Sustancia vegetal amorfa, inflamable, segregada por ciertos árboles y otras plantas y características de las maderas de muchas coníferas. Son producto de la oxidación o polimerización de los terpenos y formadas por mezclas de ácidos aromáticos y ésteres.

b) Sustancia sólida o semi-fluida, en general insoluble en agua y soluble bajo ciertas condiciones en numerosos solventes orgánicos. Puede ser natural, artificial o sintética. El término se utiliza, en general, para designar todo producto polimérico que se emplee como adhesivo.

Resinas sintéticas : Productos orgánicos sintéticos semejantes a las resinas naturales, que tienen propiedades plásticas. Hay de dos tipos: termoplásticas y termoestables.

Resinas termofraguables : Resinas que tienen la propiedad de experimentar una reacción química, ya sea por acción del calor, endurecedor, luz ultravioleta, etc., que las lleva a un estado relativamente infusible.

Resinas termoplásticas : Resinas que se endurecen al refrigerarlas cuando están calientes, pero se ablandan al someterlas después a altas temperaturas.



Resistencia : Refiriéndose a la madera, en su amplio sentido, comprende todas aquellas características que la hacen apropiada para soportar una carga.

Resistencia a la extracción directa : Carga que soporta un elemento de unión cuando se le solicita con una fuerza de extracción de dirección paralela al eje de dicho elemento.

Resistencia a la extracción lateral : Carga que soporta un elemento de unión cuando se le solicita con una fuerza de dirección perpendicular al eje de dicho elemento.

Resistencia unitaria : Capacidad de soportar carga por unidad de su superficie o de longitud.

Retención : Se refiere a la cantidad de preservante retenido por la madera en el proceso de impregnación.

Revestimientos : Elementos generalmente no estructurales que se usan para cubrir la estructura soportante y dar un aspecto estético a una obra.

Rollizos : Troncos de árboles sin copa, desramados y desprovistos de partes salientes, con corteza o sin ella.

S

Savia : Agua contenida en la madera no desecada, incluyendo a todas las sustancias que lleva en disolución o suspensión.

Secado : a) El proceso de secar o curar la madera en cualquiera de sus formas, para su mejor utilización. Puede ser natural o artificial.

b) Proceso mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera.



- ✓ **Secado a alta temperatura** : Método de secado efectuado a temperaturas su periores a los 100°C.
- Secado artificial** : Método de secado efectuado por cualquier otro método distinto del natural.
- Secado natural (al aire)** : Método de secado que se efectúa al aire li bre.
- ✓ **Secado por des humidificación** : Método de secado de baja temperatura consisis tente en extraerle la humedad al aire del in terior de la cámara.
- Secador** : Aparato para secar productos industriales.
- Sección transversal** : a) Superficie o plano perpendicular al eje del tronco o rama de un árbol, o normal a la dirección general de las fibras.
b) Corte de un tronco o pieza de madera per pendicular a su eje longitudinal.
- Sección transversal efectiva** : Sección transversal real, teniendo en cuenta la reducción de área ocasionada por agujeros para tornillos, pernos, conectores, etc.
- ✓ **Sobrecarga de uso** : Cargas adicionales que se deben considerar en el diseño de una estructura, debido al uso que se le dará a ella durante su período de servicio.
- Sobredimensión** : Exceso de medida sobre las dimensiones nomi nales.
- Solera** : Pieza de madera que es fijada a los pisos y sobre los diafragmas de muro como base para la fijación de ellos.
- Sotavento** : Dirección por la que se va el viento.



Superficie transversal bruta : Superficie transversal total de un elemento.

Superficie transversal debilitada : Superficie transversal bruta menos la superficie correspondiente a las perforaciones ubicadas en la misma sección transversal de una pieza.

T

Tabique : Elemento tipo panel que sirve para separar un espacio de otro.

Tenacidad : Es la capacidad que tiene la madera de absorber energía al aplicársele una carga que actúa en forma instantánea.

Tensión : Fuerza desarrollada en el interior de un cuerpo para resistir los efectos de fuerzas externas. En determinadas circunstancias también pueden originarse tensiones por variaciones en el contenido de humedad o de la temperatura dentro del cuerpo, asociadas con cambios de volumen, a menos que se contrarresten por otros medios.

Tensión admisible : Carga por unidad de superficie que resulta de multiplicar la tensión básica de una especie maderera por la razón de resistencia correspondiente a un grado determinado.

Tensión básica : Carga por unidad de superficie que puede soportar, por debajo del límite de proporcionalidad, un elemento de madera libre de defectos o de características reductoras de su resistencia y sometido a solicitaciones de acción prolongada.

Tensión de diseño : Carga por unidad de superficie que resulta de multiplicar la tensión admisible por el o los factores de modificación a que haya lugar.



Tensión de diseño por pandeo	: Carga por unidad de superficie bajo la cual no existe posibilidad de pandeo de un elemento sometido a compresión.
Tensión de trabajo	: Carga por unidad de superficie que expresa el esfuerzo interno real que tiene una sección de un elemento estructural en un momento dado.
Tensión de ruptura	: Carga por unidad de superficie, para la cual falla la pieza.
Tensión en el límite de proporcionalidad	: Carga máxima por unidad de superficie que soporta una pieza en el rango elástico.
Tensión unitaria	: Esfuerzo por unidad de superficie o de longitud que soporta un cuerpo.
Tensor	: Elemento que conecta los extremos de las barras sometidas a esfuerzo de tracción.
Termitas o termes	: Insecto neuróptero, blanco, que roe la madera, papel, cuero, etc. Se conoce también como "termito" y "comején".
Tolerancia	: Margen o diferencia que se consiente en la calidad o cantidad de las cosas o las obras contratadas.
Torcedura	: Alabeo helicoidal de la pieza en torno a su eje longitudinal.
Trabajo de la madera	: Ver juego de la madera.
Trabajabilidad	: Facilidad que presenta un material para ser trabajado o elaborado.
Tracción	: En mecánica de la madera, estado de un material sujeto a cargas que tienden a producir su alargamiento.

- Tracción paralela** : Esfuerzo que tiende a producir el alargamiento de una pieza en dirección paralela a las fibras.
- Tramo** : En elementos estructurales, distancia entre apoyos.
- Tronco** : Tallo macizo principalmente de un árbol volteado o no. Se conoce también como "fuste".
- Troza** : Parte del tronco de longitud variable, libre de ramas, obtenida por cortes transversales de éste, con o sin corteza.

U

- Unión** : Empalme de dos piezas.
- Unión biselada** : Empalme de dos piezas por corte de pluma o por junta oblicua.
- Unión de tope** : Unión de dos piezas de madera en la cual quedan en contacto las cabezas.

V

- Velocidad de crecimiento** : Número de anillos de crecimiento por unidad de longitud.
- Viga** : Elemento de una estructura, generalmente horizontal, que está sujeto a flexión combinada a veces con compresión o tracción.
- Viga compuesta** : Viga cuya sección transversal está constituida por más de un elemento adecuadamente unido por adhesivos, clavos, etc.
- Viga enrejada** : Viga cuya alma está compuesta por cordones (superior e inferior), diagonales y montantes.
- Viga laminada** : Viga cuya sección transversal está constituida de madera laminada.



Viga simple : Viga cuya sección transversal la constituye un solo elemento de madera.

Voladizo : Dcese de las vigas, cornizas, techos, etc., que se proyectan más allá de la superficie general de la pared y cuyo extremo está libre de apoyo.

X

Xilohigrómetro : Ver higrómetro.

Xilófago : Que se alimenta de madera.

1.2. Simbología

1.2.1. Variables

Los símbolos utilizados en fórmulas, figuras y tablas de este Manual tendrán el siguiente significado, salvo indicación expresa:

A : sección transversal.

C : sollicitación de compresión / coeficiente de ponderación de las dimensiones lineales módulo de corrimiento de los elementos de unión / perímetro.

D : dimensión / diámetro.

E : módulo de elasticidad / Grupo Estructural en estado verde.

F : tensión / tensión admisible / fuerza o sollicitación.

G : módulo de elasticidad en cizalle o módulo de corte.

H : contenido de humedad de la madera.

I : momento de inercia.

K : constante numérica / coeficiente de contracción volumétrica para una variación del contenido de humedad igual a 1% / coeficiente / factor de modificación.

L	: longitudinal / longitud / luz.
M	: momento de flexión.
N	: esfuerzo normal / carga axial.
P	: carga aplicada / capacidad de carga.
Q	: esfuerzo de corte.
R	: reacción / radial / resistencia máxima / tensión máxima o de rotura.
S	: momento estático/espaciamiento entre elementos de unión/ tensión admisible de suelo / penetración.
T	: tangencial / tenacidad / temperatura / sollicitación / fuer <u>za</u> o flujo de cizalle.
W	: módulo de flexión / carga uniformemente distribuida.
ES	: Grupo Estructural en estado seco.
MPa	: Megapascal.
PP	: peso propio.
PSF	: punto de saturación de las fibras.
RR	: razón de resistencia.
SC	: sobrecarga.
TB	: tensión básica.
a	: ancho / distancia.
b	: espesor / ancho de una viga.
d	: diámetro / distancia / profundidad.
e	: espesor / espaciamiento medio / excentricidad / exterior.
f	: flexión estática / tensión de trabajo.
h	: altura / ancho.
i	: radio de giro.
k	: coeficiente de contracción lineal / constante.
ℓ	: largo / distancia / longitud / longitud de penetración.
m	: contenido de humedad de equilibrio / número de piezas <u>in</u> dividuales que conforman la sección transversal de la columna compuesta.

- n : factor de ajuste / número de elementos de unión / número de hileras / eje neutro o eje de flexión.
- p : profundidad de penetración.
- q : carga uniformemente distribuida.
- t : temperatura ambiental / ancho colaborante / flujo de cizalle / terreno / tramo del tornillo.
- v : velocidad de propagación del sonido / cizalle unitario.
- ρ : densidad.
- Δ : incremento / deformación.
- σ : tensión en el límite de proporcionalidad.
- δ : deformación.
- λ : esbeltez.
- ϕ : ángulo.
- θ : ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra de la madera.
- γ : coeficiente de reducción en el cálculo del momento de inercia efectivo.
- Ψ : factor de flexibilidad.
- π : 3,1416.
- α : ángulo respecto a la horizontal o vertical de las barras diagonales.

1.2.2. Subíndices

- D : por duración de carga / para diagonales.
- H : a un contenido de humedad H .
- L : longitudinal.
- M : para montantes.
- R : radial.
- S : por espaciamiento.
- T : por temperatura / tangencial.



UH	: por contenido de humedad.
a	: entre apoyos laterales.
b	: básica.
c	: compresión / de construcción / por trabajo conjunto.
d	: diagonales / por desbastado o alisadura.
e	: efectivo (a).
f	: flexión.
g	: en el centro de gravedad.
i	: instantánea.
m	: montantes.
o	: anhidra / característica / de aplastamiento lateral.
p	: de pandeo.
r	: radial.
s	: de servicio / por estado seco / suelo.
t	: tangencial / en terreno natural.
u	: por longitud de hilera.
v	: por volcamiento.
x	: respecto eje X-X.
y	: respecto eje Y-Y.
ap	: aplastamiento.
cd	: corta duración.
cm	: por cubrejunta metálica.
cn	: compresión normal / de aplastamiento.
cp	: compresión paralela.
ct	: por concentración de tensiones.
cz	: cizalle.
dn	: dureza normal.
dp	: dureza paralela.
ed	: extracción directa.
ef	: efectivo.
eq	: equivalente.



hf	: por altura.
ld	: larga duración.
pp	: por profundidad de penetración.
pv	: por vacío y presión.
te	: por espesor pieza lateral.
tn	: tracción normal a las fibras.
tp	: tracción paralela a las fibras.
tv	: por penetración del vástago en pieza principal.
tD	: por diámetro.
vo	: característica de volcamiento.
adm	: admisible.
bcn	: borde cargado normal a las fibras.
bcp	: borde cargado paralelo a las fibras.
bdn	: borde descargado normal a las fibras.
bdp	: borde descargado paralelo a las fibras.
cálc	: de cálculo.
cen	: extracción de clavo normal.
cép	: extracción de clavo paralelo.
cvr	: clivaje radial.
cvt	: clivaje tangencial.
czr	: cizalle radial.
czt	: cizalle tangencial.
dis	: de diseño.
máx	: máxima.
tnr	: tracción normal radial.
tnt	: tracción normal tangencial.
δ	: por deformación anelástica.
θ	: para ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra de la madera.
λ	: por esbeltez.

CAPITULO SEGUNDO

2.0 PROPIEDADES FISICAS, MECANICAS Y GEOMETRICAS

2.1. Propiedades Físicas

2.2. Propiedades Mecánicas

2.3. Agrupamiento de Especies Madereras que Crecen en Chile según sus Propiedades Mecánicas

2.4. Tensiones de Diseño de la Madera

2.5. Propiedades Geométricas de la Madera Aserrada y Cepillada

2.0 PROPIEDADES FÍSICAS, MECANICAS Y GEOMETRICAS

2.1. Propiedades Físicas

2.1.1. Estructura de la Madera

Para hacer un buen uso de la madera se debe conocer su origen biológico, su estructura, composición, sus anormalidades y su variabilidad natural.

Las especies forestales se clasifican en dos grandes grupos: Coníferas y Latifoliadas. Aún cuando la diferencia entre ambos grupos son de origen botánico, existe la creencia errónea de que esta clasificación puede ser aplicada al campo de las propiedades físicas y mecánicas. Este error deriva, probablemente, de la denominación inglesa de ambos grupos: "Hardwoods" (maderas duras) para las latifoliadas y "Softwoods" (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.

Botánicamente las coníferas son clasificadas en el grupo de las Gimnospermas, plantas que tienen semillas descubiertas, usualmente generadas dentro de conos y con hojas en forma de agujas que se mantienen en el árbol durante todo el año. Las latifoliadas pertenecen al grupo de las Angiospermas, plantas con flores, con semilla generada dentro de un fruto y hojas anchas que caen durante el invierno (caducas). El Pino radiata y Alerce son ejemplos de coníferas crecidas en Chile. El Eucalipto y Coigüe son latifoliadas.

Cuando germina una semilla bajo condiciones favorables, ella envía hacia arriba una capa de madera similar a un manto de cono que rodea el tejido central (médula) el cual, por lo general, se caracteriza por ser blando. A partir de este momento y mientras el árbol esté vivo, continuará proyectando sus ramas y raíces, aumentando el diámetro de su tronco, ramas y raíces mediante el agregado de nuevas capas de madera y corteza. (Ver Figura Nº 1). La savia, solución diluida de sales minerales,

proveniente de las raíces, es conducida por las células que se ubican en las capas exteriores del tronco (albura) hacia las hojas del árbol. Allí, mediante el proceso conocido como fotosíntesis, la savia se combina con gases del aire y con la participación de rayos solares y de la clorofila, se produce el alimento requerido para el crecimiento del árbol. Este alimento es transportado, a través de células ubicadas en la corteza interior, hacia las capas de tejidos en crecimiento y posteriormente a las raíces.

Una sección transversal de un tronco (ver Figura Nº 2) puede señalar las diferentes zonas y tejidos de crecimiento del árbol.

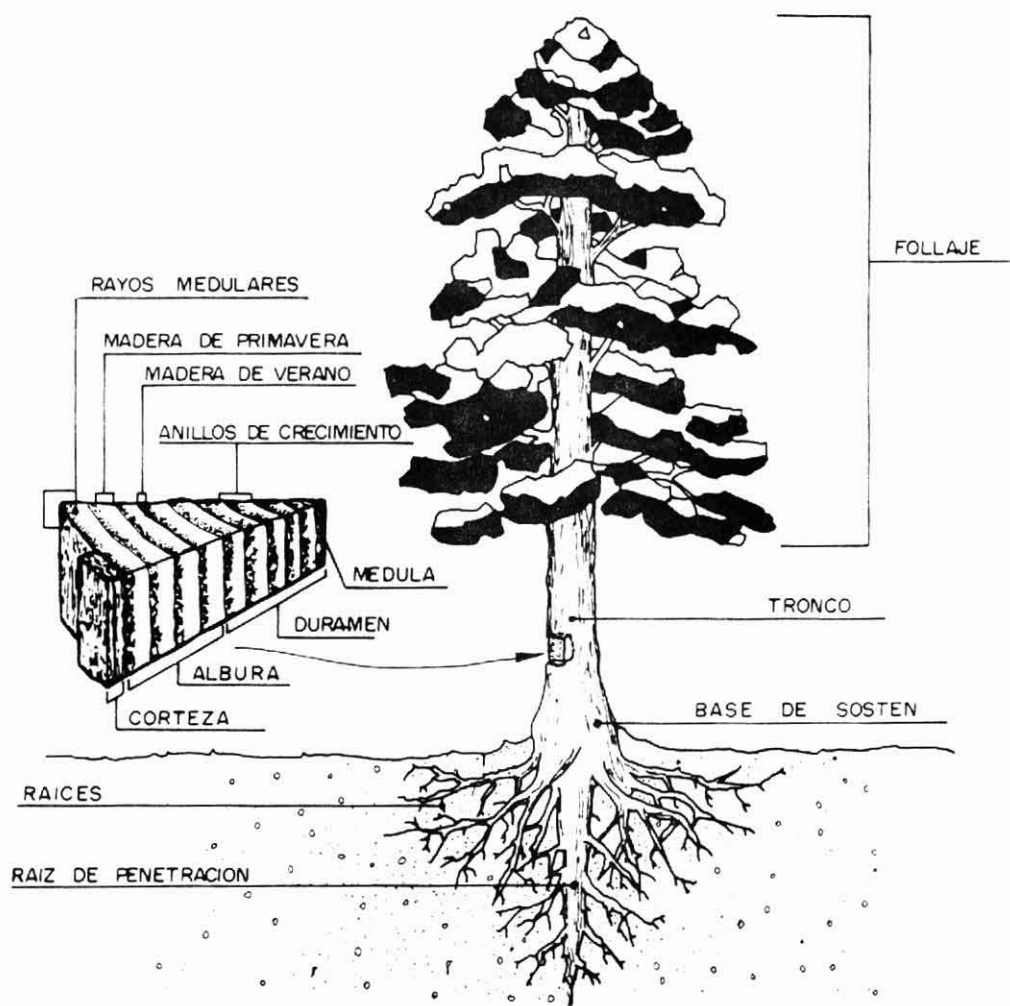


FIGURA Nº 1. Terminología de las partes de un árbol y la estructura de la madera.

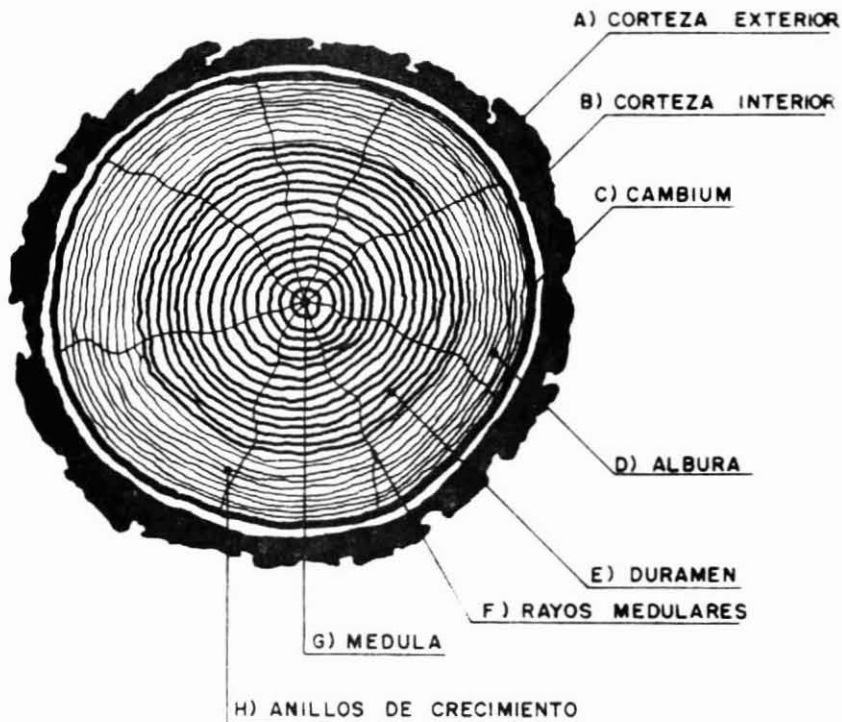


FIGURA N° 2. Sección transversal de un árbol.

- a) Corteza exterior, constituida por células muertas que cumplen una función de protección.
- b) Corteza interior, constituida por células vivas y cuya labor fundamental es el transporte de savia elaborada desde el follaje a las capas en crecimiento del árbol y posteriormente, a las raíces.
- c) Cambium, capa delgada, no visible a simple vista, en la cual se realiza el crecimiento del árbol, es decir, en donde se generan las nuevas células. En su superficie exterior se originan las células para la corteza interior y en la superficie interior las correspondientes a la nueva capa de madera que se está formando.



- d) Albura, zona de tejido vivo cuya función principal es el transporte de savia hacia las hojas y el almacenamiento de sustancias y sales minerales. Su ancho depende de la especie, de la edad del árbol y de su velocidad de crecimiento.
- e) Duramen, tejido inactivo, de coloración más oscura que la albura debido a los extractivos quí^micos que se depositan en sus tejidos. Estos compuestos quí^micos le dan, por lo general, una mayor resistencia al ataque de hongos de pudrición y de insectos.
- f) Rayos medulares, células ubicadas en dirección normal al eje del árbol.
- g) Médula, tejido inactivo en el árbol adulto.
- h) Anillo de crecimiento, sección transversal de la capa de madera formada durante un período vegetati^vo. Se caracteriza por el contraste más o menos marcado entre el leño tardío de un período y el leño temprano del siguiente.

Las propiedades resistentes de la albura y el duramen no son significativamente diferentes, siendo sin embargo, el duramen menos permeable que la albura.

La madera es un material orgánico no homogéneo, compuesto 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.

La célula de la madera llamada también fibra o grano (grain), es hueca y de una longitud que varía entre 1mm y 8 mm. Puede ser comparada con una bombilla de paja con sus extremos

cerrados; a veces con largos iguales al ancho (diámetro) y con diferentes espesores de pared celular. Si se construye un cubo encolando cientos de bombillas de paja se tendría un modelo de la estructura básica de la madera. Este cubo tendría propiedades anisotrópicas aun cuando las paredes de las bombillas estuviesen conformadas con un material isotrópico.

La mayoría de las células en la madera están orientadas en la dirección longitudinal pero algunas, denominadas células radiales, se ubican en tejidos que se extienden desde la superficie exterior del tronco hacia la médula. Estos tejidos (rayos medulares) se componen de una o dos células en las coníferas y de muchas células en las latifoliadas. El porcentaje de madera que se ubica en rayos medulares, respecto al volumen total del árbol está comprendido entre 3 y 30% dependiendo este porcentaje de la especie.

Esta estructura celular es, en gran medida, la responsable de las distintas respuestas estructurales dadas por la madera a sollicitaciones que tienen diferentes direcciones y características.

2.1.2. Contenido de Humedad

2.1.2.1. Generalidades

Se entiende por contenido de humedad la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra.

La madera es un material que 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). Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades, hasta alcanzar un punto conocido como "Punto de Saturación de la Fibra", que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado toda el agua libre y las paredes celulares

permanecen saturadas. El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra, o simplemente el punto de saturación de la fibra, depende de diversos factores y varía entre las diferentes especies; sin embargo, se acepta entre 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, Diseño y Ejecución 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 es inferior al 20%.

2.1.2.2. Requisitos para la Madera

La norma de cálculo 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 justificadas no se puede cumplir con este requisito, se deben respetar las restricciones establecidas para las tensiones admisibles y módulos elásticos de la madera aserrada

da (Figura Nº 8 y Tabla Nº 30). Si en caso que dicha especie se utilice en ambientes que determinen una humedad de equilibrio menor que 12%, deberá secarse a un contenido máximo de 15%.

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

2.1.2.3. Obtención de la Humedad de Equilibrio de Servicio

- i) En edificios o recintos cubiertos: La NCh 1198 establece que las humedades de equilibrio de las condiciones de servicio en las que queda la madera en un edificio se pueden estimar sobre la base de la información de la Tabla Nº 1.

TABLA Nº 1. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA MADERAS UBICADAS EN EDIFICIOS CON DISTINTAS CONDICIONES DE SERVICIO.

UBICACION DE LA MADERA EN EL EDIFICIO	HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO PARA LAS CONDICIONES DE SERVICIO SEÑALADAS.	TOLERANCIA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA A USAR.
Recintos cubiertos abiertos.	según 2.1.2.2	$\pm 3\%$
Recintos cubiertos cerrados sin calefacción o calefaccionados intermitentemente.	12%	$\pm 3\%$
Recintos continuamente calefaccionados.	9%	$\pm 3\%$

NOTA: Las tolerancias establecidas en Tabla Nº 1, deben ser usadas para aproximarse a la humedad de equilibrio del lugar geográfico en el que se ubica el edificio.

- ii) 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. El INSTITUTO FORESTAL, gracias a la colaboración decisiva de varias instituciones, realizó durante dos años y medio la determinación experimental de la humedad de equilibrio en varias zonas climáticas del país, colocando muestras en ubicaciones al exterior, protegidas contra la lluvia, pero expuestas al aire.

Las especies estudiadas fueron Alerce, Coigüe, Olivillo y Pino radiata y los valores obtenidos aparecen en la Tabla N° 2. De acuerdo a esta Tabla, la Norma de Cálculo (NCh 1198) entrega la Tabla N° 3, en la cual se dan los valores promedio de la humedad de equilibrio de las diferentes especies, para cada localidad en que se realizaron los ensayos.

Debido a que la información experimental no cubre todas las posibles localidades geográficas del país, se recomienda a continuación dos procedimientos que permiten obtener valores aproximados de la humedad de equilibrio de una localidad determinada. Estos procedimientos son los siguientes :

- a) Forma Gráfica: De acuerdo a las medias anuales de temperatura y de la humedad relativa ambiental, se puede obtener el valor de la humedad de equilibrio de una localidad, usando el Gráfico de la Figura N° 3.

En la Tabla N° 4 aparecen los datos climáticos de estaciones meteorológicas chilenas. Ellos pueden introducirse en el Gráfico de la Figura N° 3 y obtener así el contenido de humedad de equilibrio para esa localidad en forma bastante aproximada.



TABLA N° 2. HUMEDADES DE EQUILIBRIO, EN PORCENTAJES, DE DIFERENTES ESPECIES PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS.

LOCALIDAD	E S P E C I E S											
	ALERCE			COIGUE			OLIVILLO			PINO RADIATA		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
Iquique	12,5	12,7	13,3	11,5	11,8	12,3	13,6	14,1	14,8	13,6	14,2	15,0
Chuquicamata	5,2	6,1	7,3	5,1	5,8	6,9	5,8	6,7	8,2	5,2	6,3	8,2
Antofagasta	11,8	12,1	12,4	1,5	11,8	12,0	13,7	14,1	14,4	13,7	14,3	14,5
Copiapó	12,0	12,2	12,5	11,4	11,8	12,2	13,6	14,1	14,6	14,2	14,5	15,0
La Serena	14,2	15,0	15,4	13,3	13,7	14,1	16,1	17,1	17,6	16,0	17,1	17,8
Valparaíso	11,3	12,4	13,4	11,3	12,4	13,2	13,4	15,1	16,5	13,4	15,0	16,5
Santiago	9,4	11,9	14,2	9,3	11,9	14,5	11,2	14,4	18,0	11,1	14,4	18,2
Los Cipreses	9,3	11,1	12,8	9,0	10,6	12,3	10,4	12,5	15,0	11,2	13,0	15,6
Chillán	11,3	13,5	16,0	10,8	13,7	17,0	13,0	16,9	21,4	12,8	16,9	21,6
Concepción	14,4	15,7	16,9	13,3	15,2	16,5	16,3	18,9	21,6	16,8	19,2	21,8
Abanico	12,9	14,1	16,1	11,5	13,2	15,0	14,4	16,8	19,8	14,4	16,8	20,2
Temuco	12,9	14,1	15,4	11,9	13,5	15,1	14,7	17,0	19,4	14,8	17,3	19,8
Valdivia	13,6	15,1	16,6	12,6	14,9	17,3	15,2	18,4	21,8	15,9	18,9	22,2
Osorno	13,6	14,6	15,9	13,4	15,3	17,5	16,0	18,5	21,2	16,1	18,6	21,6
Puerto Montt	14,7	16,0	17,0	14,6	16,8	18,3	17,6	20,2	22,4	18,0	20,6	22,8
Puerto Aysén	14,4	15,6	16,8	14,5	15,7	17,5	17,4	19,5	21,8	18,6	20,3	22,7
Punta Arenas	12,2	13,2	14,6	11,4	12,6	14,2	13,8	15,6	17,9	13,8	15,7	18,4

TABLA Nº 3. HUMEDADES MEDIAS DE EQUILIBRIO EN PORCENTAJE, DE LAS ESPECIES MADERERAS CRECIDAS EN CHILE, PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS.

LOCALIDAD	HUMEDAD MEDIA DE EQUILIBRIO
Iquique	13
Chuquicamata	6
Antofagasta	13
Copiapó	13
La Serena	16
Valparaíso	14
Santiago	13
Los Cipreses	12
Chillán	15
Concepción	17
Abanico	15
Temuco	16
Valdivia	17
Osorno	17
Puerto Montt	18
Puerto Aysén	18
Punta Arenas	14



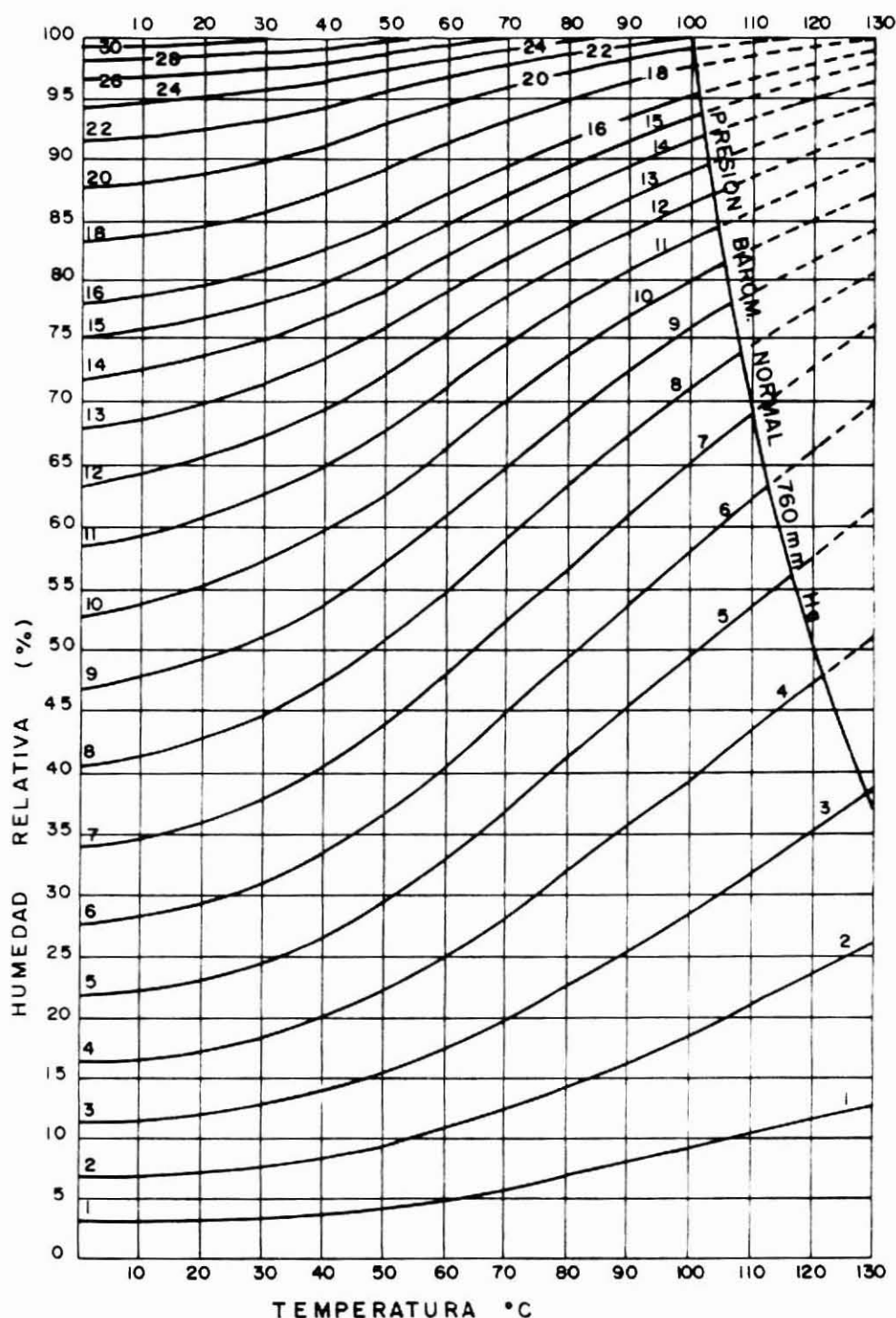


FIGURA Nº 3. Abaco para la determinación de humedad de equilibrio.

NOTA: Las curvas señalan el porcentaje de humedad que debe tener la ma
dera para estar en equilibrio higroscópico con el aire, en fun
ción de la temperatura y del estado higrométrico de éste.

TABLA Nº 4. DATOS CLIMATICOS DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS CHILENAS.

ESTACION	TEMPERATURA MEDIA °C	HUMEDAD RELATIVA %	ESTACION	TEMPERATURA MEDIA °C	HUMEDAD RELATIVA %
Arica	18,7	76	Linares	13,9	76
Iquique	17,9	80	Cauquenes	14,9	70
Los Cóncores	15,5	72	Chillán	14,0	69
Canchores	16,7	52	Punta Tumbes	12,3	84
Colonia Pintados	16,7	59	Talcahuano	12,6	83
Antofagasta	17,0	72	Concepción	12,4	87
Refresco	14,4	48	Isla Santa Marfa	12,2	87
Taltal	17,4	69	Punta Lava Pie	13,3	82
Chañaral	16,4	70	Los Angeles	13,7	75
Potrerrillos	11,3	27	Lebu	13,0	35
Caldera	16,1	80	Angol	12,8	69
Isla de Pascua	20,4	81	Contulmo	12,6	82
Copiapó	16,3	68	Victoria	12,4	76
Vallenar	16,0	63	Traiguén	12,0	78
La Serena	14,8	80	Isla Mocha W.	12,6	88
Punta Tortuga	14,7	83	Isla Mocha E.	12,7	81
Vicuña	15,5	61	Lonquimay	8,6	75
Ovalle	15,2	71	Temuco	12,0	80
Zapallar	14,2	83	Puerto Domínguez	11,5	83
Baños del Jahuel	15,6	60	Valdivia	11,9	83
Quintero	13,9	82	Punta Galera	11,3	87
Llay-lay	14,3	69	Río Bueno	11,3	81
Los Andes	15,4	60	Osorno	12,5	80
Juncal	9,3	52	Frutillar	10,3	82
Quillota	14,4	80	Puerto Montt	11,2	85
Punta Angeles	14,8	76	Punta Corona	10,7	87
El Belloto	15,5	73	Pudeto	11,0	84
Quilpué	14,4	79	Castro	11,6	82
Peñablanca	14,9	75	Quellón	10,6	80
Colina	16,1	64	Isla Gwafo	9,7	86
Santiago	13,9	72	Río Cisnes	7,6	72
Los Cerrillos	13,8	70	Puerto Aysén	9,0	86
Lo Espejo	13,5	72	Coyhaique	9,0	71
El Bosque	15,8	64	Balmaceda	7,3	68
Isla Juan Fernández	15,3	76	Chile Chico	11,5	58
San José de Maipo	12,9	60	Cabo Raper	8,6	89
Sewell	9,5	50	San Pedro	8,2	91
Rancagua	14,7	72	Puerto Edén	7,2	84
Rengo	14,1	74	Cerro Gwido	7,7	61
San Fernando	13,4	78	Puerto Bories	6,8	70
Curicó	14,3	76	Evangelistas	6,4	83
Molina	13,2	78	Punta Dungeness	7,1	75
Constitución	13,9	78	Punta Arenas	6,7	74
Talca	14,8	70	San Isidro	5,9	81
Punta Carranza	12,7	85	Navarino	5,9	84
Panimávida	13,4	78	Base Antártica "G.G.V."	3,3	74

NOTA: - Para mayor información ver: - "Bioclimatología de Chile" de F. de Castri - E.R. Hajek, Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile.
- Dirección Meteorológica de Chile.

- b) Forma Analítica: La teoría de absorción de Hailwood y Horrobin sugiere una fórmula empírica para determinar el contenido de humedad de equilibrio en la madera. Esta teoría considera una relación polímero-agua como una solución para obtener las fórmulas analíticas.

El agua absorbida por un polímero está supuesta que existe en dos estados: agua en solución con el polímero (agua disuelta) y agua combinada con una unidad del polímero para formar un hidrato. La teoría se basa en el equilibrio de 3 componentes: polímero, polímero hidratado y agua disuelta. Si se acepta que solamente un tipo de hidrato está involucrado, hay dos equilibrios químicos, uno es el equilibrio entre el agua hidratada y el agua disuelta (constante de equilibrio = K_1) y el otro es un equilibrio entre el agua disuelta y el vapor de agua de la atmósfera circundante (constante de equilibrio = K_2). Asumiendo que el polímero, el polímero hidratado y el agua disuelta forman una solución sólida ideal, es posible deducir una expresión para la absorción isotérmica de estos dos equilibrios. Esta ecuación es:

$$m = \left[\frac{K_1 \times K_2 \times h}{1 + K_1 \times K_2 \times h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right] \frac{1.800}{W}$$

donde:

m = contenido de humedad de equilibrio, en %.

h = presión de vapor relativa (humedad relativa ambiental/100).

W = peso molecular de la unidad polímero que forma el hidrato.

Los valores de K_1 , K_2 y W fueron relacionados

cada uno con la temperatura por el método de los mínimos cuadrados, resultando:

$$K_1 = 3,730 + 0,065556 \times t - 0,000501228 \times t^2$$

$$K_2 = 0,674 + 0,0018954 \times t - 0,0000055534 \times t^2$$

$$W = 216,9 + 0,035298 \times t - 0,0185328 \times t^2$$

donde:

t = temperatura ambiental en °C.

La máxima desviación entre el contenido de hu
medad de equilibrio calculado según esta ecu
ación y los valores determinados experimen
talmente (ver Tabla N° 3) es 20,62%.

La Tabla N° 5, muestra los valores de la hume
dad de equilibrio para las estaciones metereo
lógicas chilenas calculados en forma analíti
ca.

Finalmente por otra parte, la norma NCh 1079 clasifica la superficie del territorio nacio
nal en zonas climáticas habitacionales, a las cuales conviene asignar una humedad de equili
brio promedio que, si bien no es exacta ni con
templa las diferentes especies, puede servir para una primera aproximación en la determina
ción del valor exacto.

La Tabla N° 6 proporciona la clasificación cli
mático-habitacional de Chile, dada por la nor
ma NCh 1079.

La Figura N° 4 muestra las diferentes zonas climáticas habitacionales del territorio nacio
nal de acuerdo a la NCh 1079.

La Tabla N° 7 entrega los valores experimen
tales y teóricos de las humedades de equilibrio

TABLA Nº 5. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS CHILENAS CALCULADAS EN FORMA ANALÍTICA.

ESTACION	HUMEDAD DE EQUI- LIBRIO	ESTACION	HUMEDAD DE EQUI- LIBRIO
Arica	16 %	Linares	16 %
Iquique	17 %	Cauquenes	14 %
Los Cóncores	15 %	Chillán	14 %
Canchones	10 %	Punta Tumbes	18 %
Colonia Pintados	12 %	Talcahuano	18 %
Antofagasta	15 %	Concepción	19 %
Refresco	9 %	Isla Santa María	19 %
Taltal	14 %	Punta Lava Pie	17 %
Chañaral	14 %	Los Angeles	15 %
Potrerillos	6 %	Lebu	7 %
Caldera	17 %	Angol	14 %
Isla de Pascua	18 %	Contulmo	17 %
Copiapó	14 %	Victoria	15 %
Vallenar	12 %	Traiguén	16 %
La Serena	17 %	Isla Mocha W.	20 %
Punta Tortuga	18 %	Isla Mocha E.	17 %
Vicuña	12 %	Lonquimay	15 %
Ovalle	14 %	Temuco	17 %
Zapallar	18 %	Puerto Domínguez	17 %
Baños del Jahuel	12 %	Valdivia	17 %
Quintero	17 %	Punta Galera	19 %
Llay-lay	14 %	Río Bueno	17 %
Los Andes	12 %	Osorno	17 %
Juncal	10 %	Frutillar	17 %
Quillota	17 %	Puerto Montt	18 %
Punta Angeles	16 %	Punta Corona	19 %
El Belloto	15 %	Pudeto	18 %
Quilpué	16 %	Castro	17 %
Peñablanca	15 %	Quellón	16 %
Colina	13 %	Isla Gwafo	18 %
Santiago	14 %	Río Cisnes	14 %
Los Cerrillos	14 %	Puerto Aysén	18 %
Lo Espejo	14 %	Coyhaique	14 %
El Bosque	13 %	Balmaceda	13 %
Isla Juan Fernández	16 %	Chile Chico	11 %
San José de Maipo	12 %	Cabo Raper	19 %
Sewell	9 %	San Pedro	20 %
Rancagua	14 %	Puerto Edén	17 %
Rengo	15 %	Cerro Gwido	11 %
San Fernando	16 %	Puerto Bories	13 %
Curicó	16 %	Evangelistas	17 %
Molina	16 %	Punta Dungeness	14 %
Constitución	16 %	Punta Arenas	14 %
Talca	14 %	San Isidro	16 %
Punta Carranza	18 %	Navarino	17 %
Panimávida	16 %	Base Antártica "G.G.V."	13 %



TABLA Nº 6. CLASIFICACION CLIMATICO - HABITACIONAL DE 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 el 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 N. 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:	Entre ambas cordilleras y desde Copiapó hasta la cuenca del Río Aconcagua.	Copiapó-Vallenar-Vicuña-Ovalle-Combarbalá-Illapel.	Zona de cordones y valles transversales. Veranos largos (10 meses) y calurosos. Microclimas en los valles.
Central 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 del clima marítimo. Inviernos cortos de 4 a 6 meses.
Central valle longitudinal: Cvl.	Desde el Río Aconcagua hasta la cuenca del Itata y desde la Cordillera de la Costa hasta los faldeos de los Andes.	Los Andes-San Felipe-Santiago-Rancagua-Curicó-Talca-Linares-Chillán.	Zona del 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 la zona de influencia marítima (Cordillera de la Costa).	Tomé-Talcahuano-Concepción-Arauco-Lebu-Valdivia-Pto. 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-Lancoche-La Unión-Osorno-Río Bueno.	Zona lluviosa y fría, con heladas frecuentes. Veranos cortos de 4 meses. Lluvias y ríos numerosos.
Sur extremo: Se.	Desde el Canal de Chacao hasta Tierra del Fuego.	Ancud-Castro-Coyhaique-Puerto Natales-Punta Arenas.	Zona de grandes lluvias que disminuyen de W. a E. Clima marítimo. Fuertes vientos. Nubosidad casi permanente.
Andina *			

* Fuera de clasificación en esta norma.

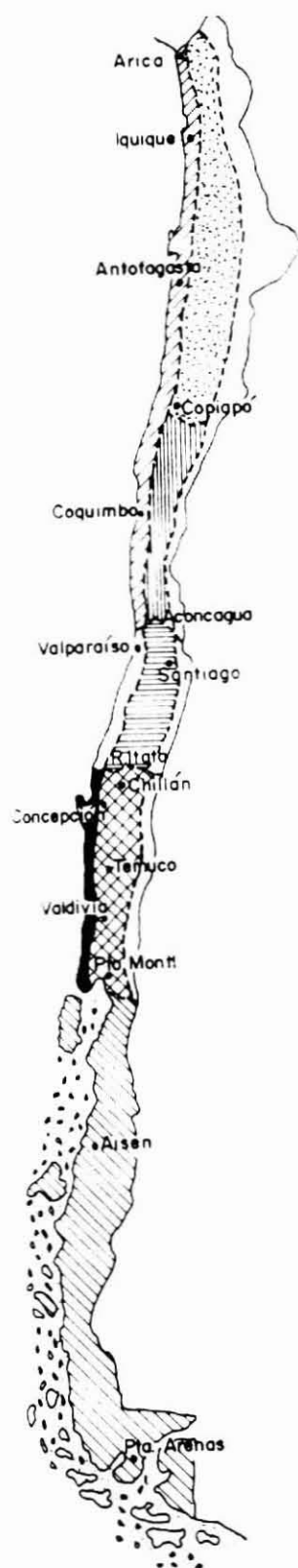


TABLA Nº 7. HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LAS ZONAS CLIMATICAS DEFINIDAS EN NCh 1079.

ZONA CLIMATICO HABITACIONAL	DESIGNACION	HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO	
		EXPERIMENTAL	TEORICO
NORTE LITORAL		14 %	16 %
NORTE DESERTIC		7 %	10 %
NORTE VALLE TRANSVERSAL		15 %	13 %
CENTRO LITORAL		15 %	16 %
CENTRO VALLE LONGITUDINAL		13 %	14 %
SUR LITORAL		18 %	17 %
SUR VALLE LONGITUDINAL		18 %	16 %
SUR EXTREMO		18 %	16 %

NOTA: - La humedad de equilibrio promedio experimental se obtuvo de la Tabla Nº 2.

- La humedad de equilibrio, promedio teórico: se obtuvo de las 102 estaciones en la Tabla Nº 5.

FIGURA Nº 4. Zonificación del Territorio Nacional definidas en NCh 1079.

para dichas zonas, como un valor promedio aproximado que deberá, posteriormente, ajustarse al valor exacto de acuerdo a la localidad que se consulta, a la especie y a la condición de exterior o interior del elemento de madera.

Estos valores se han calculado como un simple promedio de las humedades de equilibrio experimentales y teóricas de las localidades que están incluidas en cada zona entregada por la norma 1079 y deberán tomarse como tal.

2.1.3. 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 y el volumen de una madera pueden variar significativamente de acuerdo con el contenido de humedad, es importante expresar la condición bajo la cual la densidad es obtenida.

La Tabla N° 8 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.

La Tabla N° 9 muestra los valores obtenidos para la densidad anhidra, básica y nominal de las distintas especies madereras chilenas, de acuerdo a ensayos realizados por los diferentes laboratorios del país.



TABLA Nº 8. ASIGNACION DE NOMBRE A LA DENSIDAD DE ACUERDO AL CONTENIDO DE HUMEDAD QUE TIENE LA MASA Y EL VOLUMEN.

MASA	VOLUMEN	NOMBRE QUE TIENE LA DENSIDAD:
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 generalmente H = 12%.	Nominal
Contenido Humedad (H _i)	Contenido Humedad (H _i)	Referencia

PSF : Punto de Saturación de las Fibras.

H_i : Contenido de Humedad cualquiera.

TABLA Nº 9. DENSIDADES DE ESPECIES MADERERAS CHILENAS.

ESPECIE	DENSIDAD (Kg/m ³)		
	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
Coigüe	646	515	594
Coigüe de Magallanes	618	-	-
Eucalyptus globulus	800	623	720
Laurel	514	400	467
Lenga	545	464	527
Lingue	596	491	530
Luma	1080	1050	1150
Maño de hojas punzantes	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:

$$a) \quad \rho_H = \rho_o \left(\frac{100 + H}{100 + K \times H} \right) \quad \text{cuando } H < \text{P.S.F.}$$

$$b) \quad \rho_H = \rho_b \left(\frac{100 + H}{100} \right) \quad \text{cuando } H > \text{P.S.F.}$$

en que :

ρ_o = densidad anhidra.

ρ_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 Nº 12.

ρ_b = densidad básica.

Si no se conoce el coeficiente de contracción volumétrica, usar $0,85 \times 10^{-3}$ ρ_o si la densidad se expresa en (Kg/m³) y $0,85$ ρ_o si la densidad se expresa en (grs/cm³).

Cuando no se conozcan valores experimentales, es posible usar las relaciones entre densidades que se incluyen en la Tabla Nº 10 para contenidos de humedad menor que el Punto de Saturación de la Fibra y en la Tabla Nº 11 para contenidos de humedad mayor que el Punto de Saturación de la Fibra.

TABLA Nº 10. RELACION ENTRE DIFERENTES DENSIDADES, PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD $H \leq \text{PSF}$.

VARIABLE VA- RIABLE INDEPEND.	$H \leq \text{PSF}$			
	ρ_o	ρ_{H_1}	ρ_{H_2}	ρ_{PSF}
ρ_o		$\rho_{H_1} \left(\frac{100 + K H_1}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H_2} \left(\frac{100 + K H_2}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100 + 28 K}{128} \right)$
ρ_{H_1}	$\rho_o \left(\frac{100 + H_1}{100 + K H_1} \right)$		$\rho_{H_2} \left(\frac{100 + H_1}{100 + H_2} \right) \left(\frac{100 + K H_2}{100 + K H_1} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100 + H_1}{128} \right) \left(\frac{100 + 28 K}{100 + K H_1} \right)$
ρ_{H_2}	$\rho_o \left(\frac{100 + H_2}{100 + K H_2} \right)$	$\rho_{H_1} \left(\frac{100 + H_2}{100 + H_1} \right) \left(\frac{100 + K H_1}{100 + K H_2} \right)$		$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100 + H_2}{128} \right) \left(\frac{100 + 28 K}{100 + K H_2} \right)$
ρ_{PSF}	$\rho_o \left(\frac{128}{100 + 28 K} \right)$	$\rho_{H_1} \left(\frac{128}{100 + H_1} \right) \left(\frac{100 + K H_1}{100 + 28 K} \right)$	$\rho_{H_2} \left(\frac{128}{100 + H_2} \right) \left(\frac{100 + K H_2}{100 + 28 K} \right)$	

PSF = Punto de Saturación de la Fibra aproximado a un valor de 28%.

Ejemplo : $\rho_o = \rho_{H_1} \left(\frac{100 + K H_1}{100 + H_1} \right)$

TABLA N° 11. RELACION ENTRE DIFERENTES DENSIDADES, PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD $H \geq \text{PSF}$.

VARIABLE VA- RIABLE INDEPEND.	H $\geq$ PSF			
	ρ_b	ρ_{H_1}	ρ_{H_2}	ρ_{PSF}
ρ_b		$\rho_{H_1} \left(\frac{100}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H_2} \left(\frac{100}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100}{128} \right)$
ρ_{H_1}	$\rho_b \left(\frac{100 + H_1}{100} \right)$		$\rho_{H_2} \left(\frac{100 + H_1}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100 + H_1}{128} \right)$
ρ_{H_2}	$\rho_b \left(\frac{100 + H_2}{100} \right)$	$\rho_{H_1} \left(\frac{100 + H_2}{100 + H_1} \right)$		$\rho_{\text{PSF}} \left(\frac{100 + H_2}{128} \right)$
ρ_{PSF}	$\rho_b \times 1,28$	$\rho_{H_1} \left(\frac{128}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H_2} \left(\frac{128}{100 + H_2} \right)$	

PSF = Punto de Saturación de la Fibra aproximado a un valor de 28%.

Ejemplo : $\rho_b = \rho_{H_1} \left(\frac{100}{100 + H_1} \right)$

2.1.4. 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 al 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, 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 N° 5.

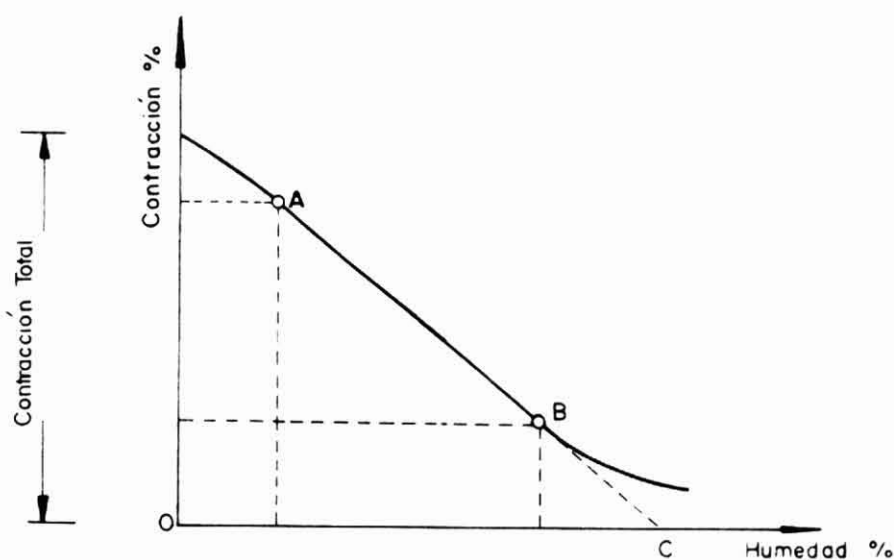


FIGURA N° 5. Curva de contracción lineal.

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). El valor de k expresa la contracción lineal para una variación unitaria del contenido de humedad.

C = Punto de intersección de la contracción.

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 Nº 12.

TABLA Nº 12. COEFICIENTE DE CONTRACCION LINEAL (k) DE ALGUNAS MADERAS COMERCIALES DE CHILE PARA UNA VARIACION DE 1% DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.*

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

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

NOTA: T = Tangencial
R = Radial

especies madereras debido a la contracción, es la siguiente:

$$\text{Dimensión}_H = \text{Dimensión}_{20} \left(1 - \frac{k \Delta H}{100} \right) \text{ (mm)}$$

donde :

H = contenido de humedad (entre 20 y 0%) (%).

k = coeficiente de contracción lineal.

ΔH = 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 N° 12.

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.

2.1.5. Propiedades Térmicas

La conducción del calor en la madera depende de la conductividad térmica y de su calor específico.

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 entre éstas exis

te una diferencia de temperatura de 1°C . La conductividad está directamente relacionada con la densidad de la madera. En especies madereras con baja densidad existe un gran volumen de cavidades celulares en relación con la substancia sólida de las paredes celulares. Las cavidades celulares en la madera seca (con humedad bajo el Punto de Saturación de la Fibra) están llenas de aire, el cual es un pobre conductor térmico, por lo tanto las maderas de baja densidad conducen menos calor que las de alta densidad.

La conductividad térmica es afectada también por el contenido de humedad de la madera. El agua libre contenida en las cavidades celulares y la fijada en las paredes celulares contribuyen notablemente a la transmisión del calor. La madera con un contenido de humedad menor de 12% tiene una conductividad térmica menor que aquella con mayor humedad.

La conductividad térmica queda expresada en watts por metro cuadrado, por grado celsius para un milímetro de espesor $[\text{W}/\text{m}^2 \times ^{\circ}\text{C} \times \text{mm}]$. El valor de conductividad térmica obtenido para el Douglas-fir, a 12% de contenido 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.

En general, el flujo de calor en los revestimientos y diafragmas, se produce en dirección normal a la fibra, por tal razón la conductividad térmica se mide en dicha dirección.

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

b) Calor Específico de la Madera:

El otro factor que incide en la conducción del calor en la madera es el calor específico, el cual se define como: la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de 1 gramo de madera. Diferentes estudios han demostrado que el calor específico de la madera no depende de la especie maderera ni de su densidad, pero sí 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. El calor específico se incrementa cuando la madera contiene agua (mayor humedad) debido a que la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C un gramo de agua contenida en la madera, es mayor que la correspondiente a la madera anhidra.

Al efecto combinado de la conductividad térmica y el calor específico de un material se le identifica como difusibilidad térmica que se define como la razón entre la conductividad térmica y el producto formado por la densidad y el calor específico.

$$\text{Difusibilidad térmica} = \frac{\text{Conductividad térmica}}{\text{Densidad} \times \text{Calor específico}}$$

Este concepto expresa la velocidad con la cual la madera puede absorber calor del medio donde ella se encuentra. Debido al bajo valor de la conductividad térmica de la madera y a su relativamente alto calor específico se obtiene que ella absorbe calor muy lentamente. Esto explica el porque, cuando se toca madera, ella no presenta una superficie muy fría ni demasiado caliente como es el caso de otros materiales.

La alta resistencia que ofrece la madera al paso del calor a través de ella, la convierte en un buen aislante térmico y en un material resistente a la acción del fuego.

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 los materiales convencionales, pero no despreciable.

El coeficiente de dilatación para madera seca, en dirección paralela a las fibras, varía entre 3×10^{-6} a 5×10^{-6} por cada grado celsius. Estos valores son, aproximadamente, $\frac{1}{3}$ del que se obtiene en el acero, y $\frac{1}{6}$ del correspondiente al aluminio. La dilatación térmica en dirección paralela a las fibras no queda afectada por la densidad, en cambio, en la dirección normal a la fibra existe una relación directa entre densidad y dilatación térmica.

El coeficiente de dilatación térmica en dirección perpendicular a las fibras es 5 a 15 veces mayor que el correspondiente a la dirección paralela a las fibras. Aun cuando esto es bastante superior a lo que acontece con otros materiales de construcción, tiene una limitada importancia práctica en el diseño de elementos estructurales. En aquellos elementos de grandes dimensiones que se encuentren sometidos a altas temperaturas, el efecto de dilatación térmica debe ser analizado conjuntamente con la contracción originada por la variación del contenido de humedad que provoca dicha temperatura elevada, recordando que tales efectos tienen direcciones opuestas.

2.1.6. Propiedades Acústicas

La propagación del sonido a través de la madera es un fenómeno complejo, difícil de determinar. Por su constitución y características anisotrópicas la madera es un buen conductor del sonido, independientemente de su porosidad. La absorción del sonido, es decir la relación entre la energía sonora absorbida y la incidente, es pequeña a pesar de ser la madera un material poroso.

La velocidad de propagación del sonido a través de la madera, en dirección paralela a las fibras, se puede determinar con la ecuación:

$$v = 32268,4 \sqrt{\frac{E_f}{\rho_o}}$$

en que :

v = velocidad de propagación del sonido, en mm/seg.

E_f = módulo de elasticidad en flexión, en MPa.

ρ_o = densidad anhidra de la madera, en gr/cm³.

Usando los valores de E_f y ρ_o para el Pino radiata (en estado seco) en la fórmula anterior, se obtiene una velocidad de propagación de:

$$v = 4,13 \times 10^6 \text{ mm/seg.} = 4.130 \text{ m/seg.}$$

Para otros materiales, la velocidad de propagación del sonido son las siguientes:

Aire ($t = 20^\circ\text{C}$) 343 m/seg.

Agua	1.450 m/seg.
Acero	5.050 m/seg.

Otra propiedad acústica importante de la madera es su gran capacidad para amortiguar vibraciones, debido a su alto valor de roce interno.

Se ha demostrado que tanto la velocidad del sonido como el amortiguamiento de las vibraciones dependen de la temperatura y contenido de humedad de la madera. Estas propiedades disminuyen a medida que aumentan los valores de temperatura y contenido de humedad.

2.1.7. Propiedades Eléctricas

La madera anhidra es un excelente aislador eléctrico, perdiendo esta cualidad con el aumento del contenido de humedad. En estado anhidro y a temperatura ambiental la resistencia eléctrica es de, aproximadamente, 10^{16} ohm-metro decreciendo a 10^4 ohm-metro cuando la madera está en estado verde. Esta gran diferencia que se produce en la resistencia eléctrica de la madera cuando su contenido de humedad varía entre 0% a 30%, es la base para el diseño de los instrumentos eléctricos que miden la humedad (xilohigrómetros) en forma no destructiva. Sin embargo, desde el Punto de Saturación de las Fibras hasta el estado de total saturación de la madera, la resistencia eléctrica de ésta sólo decrece, aproximadamente, 50 veces, lo cual es bastante poco en comparación a las 10^{12} veces que disminuye entre humedades 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 Punto de Saturación de la Fibra. Para humedades inferiores al 6% existen problemas de precisión instrumental al medir altas resistencias eléctricas, por lo que dichas mediciones son sólo estimativas.

2.2. Propiedades Mecánicas

El criterio y ecuaciones que un calculista usa en el diseño de estructuras es generalmente independiente del material empleado. Las ventajas particulares de un material sobre otro es determinado por sus propiedades y costo.

Este capítulo resume las propiedades mecánicas más importantes de la madera y como ellas se miden, e incluye una explicación de cómo estos datos de resistencia llegan a formar parte de la norma para el diseño de estructuras de madera (NCh 1198).

Las propiedades mecánicas de mayor interés para el diseño son las siguientes:

a) Tensión en la fibra extrema en flexión, F_f .

Las fibras extremas en flexión, son aquellas fibras ubicadas en los cantos superior e inferior de una pieza, mostradas en la Figura N° 6A. Se nota que las fibras de la cara más cercana de la carga está en compresión, mientras que aquéllas en la cara opuesta están en tracción.

b) Tensión de corte o cizalle longitudinal en flexión, F_{cz} .

Piezas flexionadas están también sometidas a un esfuerzo que tiende a deslizar horizontalmente una fibra con respecto a otra. Esta tensión se conoce como cizalle longitudinal u horizontal, y aunque su efecto en los apoyos es ignorado, se alcanza un valor máximo en la zona central de la pieza (Figura N° 6A).

c) Compresión perpendicular o normal a la fibra, F_{cn} .

Las vigas son soportadas generalmente por apoyos localizados en los extremos y en ubicaciones intermedias como se muestra en la Figura N° 6B. En este caso, la tensión de compresión perpendicular a la fibra de la madera debe ser suficientemente alta para prevenir el aplastamiento.

d) Compresión paralela a la fibra, F_{cp} .

Elementos como las columnas, postes y tornapuntas deben resistir cargas importantes de compresión paralela aplicadas a todo lo largo de la pieza (Figura N° 6C).

e) Tracción paralela a la fibra, F_{tp} .

Algunos elementos como el cordón inferior de una cercha, está sometido a una tracción paralela a la fibra (Figura N° 6D). Cuando los elementos están cargados de esta manera,



se produce una concentración de tensiones alrededor de los nudos y la desviación de la fibra tiene una influencia significativa en su resistencia.

f) Tracción perpendicular o normal a la fibra, F_{tn} .

La madera no posee alta resistencia de tracción perpendicular a la fibra, y los calculistas debieran evitar que se produzcan estas sollicitaciones siempre que sea posible. Por ejemplo, es una mala práctica de diseño hacer rebajes en la parte inferior de una viga, y unir vigas secundarias que cuelguen del canto inferior de otras vigas principales.

g) Módulo de elasticidad, E .

El módulo de elasticidad de un elemento es una medida de su resistencia a la deformación bajo carga (Figura Nº 6 E). El módulo de elasticidad más usado es aquel que se mide en dirección paralela a las fibras, el cual es designado como E_L o simplemente E_f .

En algunas aplicaciones (tales como estructuras con contrachapados) es necesario conocer el módulo de elasticidad perpendicular a las fibras, el cual se identifica por E_T si la deformación es en la dirección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) o por E_R si la deformación se produce en la dirección radial (normal a los anillos de crecimiento). No se han determinado valores exactos para E_T y E_R de las maderas que crecen en el país. Sin embargo, se puede estimar tales valores mediante las expresiones siguientes:

$$E_T \approx 0,05 E_L \quad E_R \approx 0,07 E_L$$

En las aplicaciones en las cuales una pieza queda sometida a cizalle, a veces resulta necesario conocer el módulo de elasticidad en cizalle, G , conocido también como módulo de corte. Para identificar el plano de deformación, a este módulo se le agregan subíndices, por ejemplo: G_{LT} que identifica la deformación que se produce en el plano longitudinal (L) tangencial (T). La información sobre los distintos valores de G es



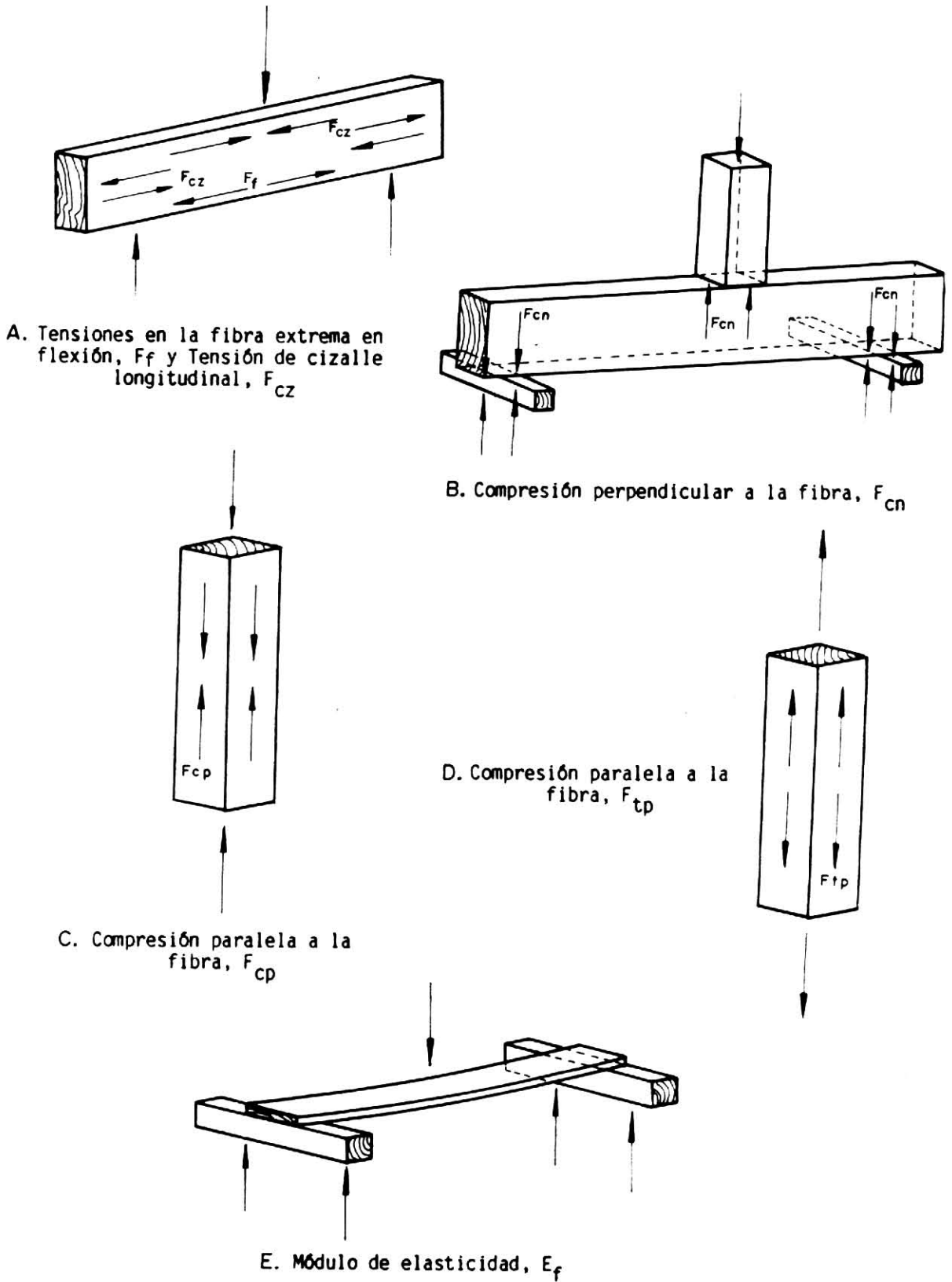


FIGURA N° 6. Tensiones de la madera.

aún incompleta y lo normal es estimar estos valores con las expresiones siguientes:

$$G_{LT} \approx 0,06 E_L; \quad G_{LR} \approx 0,075 E_L; \quad G_{RT} \approx 0,018 E_L$$

Las tensiones máximas de una especie, se determinan a través del ensayo de probetas libres de defectos. Estos ensays se realizan en estado verde y seco ($H = 12\%$) de acuerdo a las prescripciones de las normas chilenas correspondientes.

Las tensiones máximas correspondientes a las especies chilenas son las indicadas en las Tablas N° 13 y N° 14.

2.3. 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 maderas 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 de madera, 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. Este agrupamiento constituye una etapa necesaria para posteriormente proceder, con la asignación de las tensiones admisibles a las diferentes especies madereras que se destinan a la construcción.

TABLA N° 13.

TENSIONES MAXIMAS DE ESPECIES CHILENAS.

Estado : Verde

ESPECIE	PESO ESPE- CIFI- CO *	FLEXION			TENACIDAD		COMPRESION						TRACCION NORMAL		DUREZA		CIZALLE		CLIVAJE		EXTRACCION DE CLAVO	
		Tensión Límite Propor- cional.	Módulo de Rotura	Módulo de Elasti- cidad	TANGEN- CIAL	RADIAL	PARALELA			NORMAL			TANGEN- CIAL	RADIAL	NORMAL	PARALELA	TANGEN- CIAL	RADIAL	TANGEN- CIAL	RADIAL	NORMAL	PARALE- LA
					Resist. Máxima	Resist. Máxima	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima	Módulo de Elast- cidad	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Carga Máxima	Carga Máxima	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Carga Máxima	Carga Máxima	
					T_t N · cm	T_r N · cm	σ_{cp} Kg/cm ²	R_{cp} Kg/cm ²	E_{cp} Ton/cm ²	σ_{cn} Kg/cm ²	R_{cn} Kg/cm ²	R_{int} Kg/cm ²	R_{int} Kg/cm ²	R_{gn} Kg	R_{gp} Kg	R_{czt} Kg/cm ²	R_{czt} Kg/cm ²	R_{cvt} Kg/cm	R_{cvt} Kg/cm	R_{cla} Kg	R_{clg} Kg	
Kg/m ³	σ_f Kg/cm ²	R_f Kg/cm ²	E_f Ton/cm ²	T_t N · cm	T_r N · cm	σ_{cp} Kg/cm ²	R_{cp} Kg/cm ²	E_{cp} Ton/cm ²	σ_{cn} Kg/cm ²	R_{cn} Kg/cm ²	R_{int} Kg/cm ²	R_{int} Kg/cm ²	R_{gn} Kg	R_{gp} Kg	R_{czt} Kg/cm ²	R_{czt} Kg/cm ²	R_{cvt} Kg/cm	R_{cvt} Kg/cm	R_{cla} Kg	R_{clg} Kg		
ALERCE	424	380	649	57,7	1598	1359	293	435	39,7	76	121	15	15	200	220	55	55	36	36	76	53	
ALGARROBO	690	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ARAUCARIA	474	282	450	83,8	2880	4196	170	230	67,2	42	85	58	24	256	264	72	58	50	32	75	55	
AVELLANO	-	236	407	68	-	-	151	194	98	26	-	-	-	208	227	64	48	-	-	-	-	
ALAMO	302	188	353	50,6	2898	2443	78	162	68,5	17	40	52	35	100	129	48	40	42	33	-	-	
CANELO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CIPRES DE LA CORDILLERA	435	266	422	50,7	2596	2587	177	223	58,7	46	75	32	28	255	344	67	61	32	31	86	46	
COIGUE	493	315	522	83,3	3187	3641	198	258	92,5	108	160	70	54	397	394	98	75	75	65	109	74	
COIGUE DE MAGALLANES	-	-	560	95,9	-	-	-	46	-	-	-	-	-	240	299	73	62	-	-	-	-	
EUCALYPTUS GLOBULUS	624	386	778	120,2	-	-	242	363	141,6	74	178	84	80	365	408	128	98	95	72	-	-	
LAUREL	400	225	392	66	-	-	147	189	81,8	21	-	24	24	200	220	55	55	-	-	-	-	
LENGA	464	252	497	79,4	-	-	159	216	87,9	35	71	39	24	255	317	74	63	51	37	76	38	
LINGUE	493	294	505	81,5	2504	1811	180	231	100	42	-	45	45	310	340	71	71	-	-	-	-	
LUMA	1050	800	1150	160	-	-	397	496	214,8	230	-	80	80	-	-	160	140	-	-	-	-	
MARJO DE HOJAS CORTAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MARJO DE HOJAS LARGAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MARJO DE HO- JAS PUNZANTES	418	285	495	79,6	1546	1481	177	227	98,2	40	-	34	34	298	328	70	70	-	-	-	-	
OLIVILLO	406	280	480	77	2219	2376	173	222	96,3	38	-	32	32	280	320	68	68	-	-	105	75	
PINO RADIATA	448	190	357	65,5	2725	2551	86	149	66,2	28	-	26	26	149	178	51	44	35	29	44	21	
PINO OREGON	358	296	451	69,7	3405	2561	144	204	39,7	32	59	18	15	182	242	60	58	24	25	47	23	
RAULI	405	365	579	82,1	3355	3480	196	288	82,7	49	-	45	45	283	339	84	62	53	-	113	81	
ROBLE	447	359	531	87,7	2102	2548	157	263	110,9	97	-	57	57	428	410	89	67	65	-	132	101	
TAMARUGO	875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TEPA	420	256	524	81,9	2623	2732	162	214	85,5	41	84	42	28	250	322	71	59	55	40	88	47	
TINEO	584	-	-	-	2102	1675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ULMO	507	366	663	104,2	4081	4212	184	301	116,1	56	126	101	50	253	334	94	94	84	64	115	103	

(*) Basado en el peso seco y volumen en estado verde.

TABLA N° 14.

TENSIONES MAXIMAS DE ESPECIES CHILENAS.

Estado : Seco (H = 12%)

ESPECIE	PESO ESPECÍFICO	FLEXION			TENACIDAD		COMPRESION					TRACCION NORMAL		DIREZA		CIZALLE		CLIVAJE		EXTRACCION DE CLAVO	
		Tensión Límite Proporcional.	Módulo de Rotura	Módulo de Elasticidad	TANGENCIAL	RADIAL	PARALELA			NORMAL		TANGENCIAL	RADIAL	NORMAL	PARALELA	TANGENCIAL	RADIAL	TANGENCIAL	RADIAL	NORMAL	PARALELA
							Resist. Máxima	Resist. Máxima	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima	Módulo de Elasticidad	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima						
					T _t N · cm	T _r N · cm	σ _{cp} Kg/cm ²	σ _{cp} Kg/cm ²	E _{cp} Ton/cm ²	σ _{ca} Kg/cm ²	R _{ca} Kg/cm ²	R _{iat} Kg/cm ²	R _{iar} Kg/cm ²	R _{an} Kg	R _{ap} Kg	R _{cit} Kg/cm ²	R _{cir} Kg/cm ²	R _{cvt} Kg/cm	R _{cvr} Kg/cm	R _{c1a} Kg	R _{c1p} Kg
	Kg/m ³	σ _t Kg/cm ²	R _t Kg/cm ²	E _t Ton/cm ²																	
ALERCE	444	398	610	82	1173	1216	404	498	51,5	132	135	31	23	257	404	108	87	-	38	102	97
ALGARROBO	730	471	910	-	-	-	429	627	-	-	-	-	-	-	935	-	-	-	-	-	-
ARAUCARIA	518	473	772	116,7	2747	2283	278	424	106,7	81	150	75	41	310	412	127	90	48	70	109	90
AVELLANO	-	410	625	85	-	-	265	368	102	49	-	-	-	268	324	102	94	-	-	-	-
ALAMO	381	297	536	77,7	1331	1262	161	306	80,2	31	67	49	36	139	224	70	62	45	34	-	-
CANELO	-	416	706	94,4	-	-	243	372	97,3	52	108	85	31	154	155	109	86	76	42	-	-
CIPRES DE LA CORDILLERA	463	577	761	73,4	2195	1693	263	428	71,2	90	117	21	12	252	486	113	99	21	24	90	71
COIGUE	604	515	776	105,5	3196	3448	244	453	111,5	92	198	96	66	431	491	126	96	122	78	112	84
COIGUE DE MAGALLANES	-	-	708	103,1	-	-	-	83	-	-	-	-	-	315	425	139	119	-	-	-	-
EUCALYPTUS GLOBULUS	720	775	1198	160	-	-	575	698	170,3	120	-	70	70	700	745	130	130	-	-	-	-
LAUREL	495	531	762	113,9	-	-	324	518	124,3	68	125	78	48	242	330	131	108	92	75	-	-
LENGA	520	464	879	101,3	-	-	261	430	105	71	135	59	43	364	533	114	93	73	53	117	74
LINGUE	535	645	990	126,2	1946	1679	367	514	135	100	166	-	-	264	330	125	104	84	72	-	-
LUMA	1150	650	1300	210	-	-	685	786	273,2	200	-	120	120	442	643	266	254	-	-	-	-
MARJO DE HOJAS CORTAS	-	320	534	71	-	-	332	496	101,8	96	160	44	22	186	290	103	95	56	43	-	-
MARJO DE HOJAS LARGAS	-	508	934	105,6	-	-	359	565	127,3	123	187	62	42	359	468	133	124	64	45	-	-
MARJO DE HOJAS PUNZANTES	463	430	697	83,8	1626	1550	327	521	105,7	107	196	48	30	257	383	135	111	58	42	-	-
OLIVILLO	500	490	720	98,5	1549	1673	306	428	118,3	68	-	39	39	382	460	106	106	-	-	112	109
PINO RADIATA	448	373	657	85,3	1793	1823	185	370	93,8	71	135	41	24	207	290	76	68	44	33	40	28
PINO OREGON	408	492	788	93,6	2918	1731	241	380	102,3	62	115	18	12	270	424	80	85	26	25	85	34
RAULI	448	516	784	99,8	1971	2117	320	366	123,1	70	-	55	55	415	505	111	111	-	-	107	87
ROBLE	624	634	837	123,6	2090	1964	338	476	130,5	70	-	62	62	465	505	120	120	-	-	102	83
TAMARUGO	975	762	1633	-	-	-	516	803	-	-	-	-	-	-	2248	-	-	-	-	-	-
TEPA	494	465	791	98,0	2289	2568	270	417	100,8	69	141	50	30	348	553	99	81	67	50	104	79
TINEO	681	451	901	121,0	2618	2809	301	484	114,2	88	186	68	44	318	424	130	108	83	60	158	148
ULMO	648	513	887	112,5	3396	3332	409	654	169,9	91	163	63	62	283	439	143	131	70	74	156	155

(*) Basado en peso seco al horno y volumen en estado seco (H = 12%)

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 Nº 15.

2.4. 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.

2.4.1. Tensiones Máximas: El punto de partida del proceso es la obtención de las resistencias de probetas libres de defectos, de tamaño estandarizado, sometidas a ensayos normalizados.

En las Tablas Nº 13 y Nº 14 se incluyen los distintos valores de las tensiones máximas que han sido determinados en el país para las maderas que crecen en Chile.

2.4.2. Límite Inferior con Exclusión del 5%: 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 del 5% de la población en 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.



TABLA Nº 15. AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS CRECIDAS EN CHILE.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA			
VERDE (H ≥ 30%)		SECO (H = 12%)	
GRUPO	ESPECIE MADERERA	GRUPO	ESPECIE MADERERA
E 2	Eucalipto	ES 2	Eucalipto
E 3	Aromo australiano Ulmo	ES 3	Aromo australiano Lingue
E 4	Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Coigüe (Magallanes) Raulí Roble Roble (Maule) Tineo Renoval de raulí	ES 4	Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Laurel Lenga Maño hojas largas Roble Roble (Maule) Tineo Ulmo
E 5	Alerce Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Ciprés de las Guaitecas Laurel Lenga Lingue Maño macho Olivillo Pino oregón Tepa	ES 5	Alerce Canelo Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Coigüe (Magallanes) Maño macho Olivillo Pino radiata (*) Pino oregón Raulí Tepa Renoval de raulí
E 6	Alamo Pino radiata (*) Sequoia	ES 6	Alamo Ciprés de las Guaitecas Maño hembra Sequoia

(*) Ver Apéndice.

2.4.3. Tensiones Básicas: 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 aplicables a madera libre de defectos.

$$T.B. = \frac{R_{lm\ 5\%}}{n} \quad (\text{para: flexión - compresión paralela tracción paralela y cizalle})$$

$$T.B. = \frac{\bar{R}}{n} \quad (\text{para: compresión normal y módulo de elasticidad en flexión})$$

Los valores de n son los incluidos en la Tabla Nº 16.

TABLA Nº 16. FACTORES DE AJUSTE (n) A SER APLICADOS A LAS PROPIEDADES OBTENIDAS EN MADERA LIBRE DE DEFECTOS.

PROPIEDAD	CONIFERAS	LATIFOLIADAS
- Flexión	2,1	2,3
- Módulo de elasticidad	0,94	0,94
- Tracción paralela	2,1	2,3
- Compresión paralela	1,9	2,1
- Cizalle	4,1	4,5
- Tensión en el límite de proporcionalidad en compresión normal	1,5	1,5

- 2.4.4. Tensiones Admisibles: La madera estructural muy rara vez se presenta libre de defectos. Por el contrario ella contiene nudos, desviación de fibras, 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 máxima admisible de los defectos que un grupo o grado determinado puede aceptar.

Para transformar la resistencia de la madera libre de defectos (Tensiones Básicas) en resistencias aplicables 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 resistencias 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.

En Chile se han definido cuatro grados estructurales cuyas designaciones y razones de resistencia se incluyen en la Tabla N° 17. Las especificaciones de tales grados aparecen en la norma NCh 1970/1 para las latifoliadas, en la NCh 1970/2 para las coníferas y en la NCh 1207 para el Pino radiata.

TABLA N° 17. GRADOS ESTRUCTURALES DEFINIDOS PARA LAS MADERAS NACIONALES.

DESIGNACION	RAZON DE RESISTENCIA (RR)	ESPECIFICACIONES PARA		TIPO DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL
		Latifoliadas	Coníferas	
Grado Estructural N° 1	0,75	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Grado Estructural N° 2	0,60	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Grado Estructural N° 3	0,48	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual
Grado Estructural N° 4	0,38	NCh 1970/1	NCh 1970/2	Visual

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

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.

$$T. \text{ Adm.} = T. \text{ Básica} \times R.R.$$

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 solicitaciones 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 (E_f), las cuales se presentan en la Tabla N° 18.

La tensión admisible para compresión normal de una determinada especie maderera, depende del grupo al cual ella pertenece (ver Tabla N° 15) y su valor se incluye en la Tabla N° 19.

TABLA Nº 18. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION PARA MADERA ASERRADA, MPa.

CLASE ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES DE				MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION E_f
	FLEXION F_f	COMPRESION PARALELA F_{cp}	TRACCION PARALELA F_{tp}	CIZALLE F_{cz}	
F 34	34,5	26,0	20,7	2,45	18.150
F 27	27,5	20,5	16,5	2,05	15.000
F 22	22,0	16,5	13,2	1,70	12.600
F 17	17,0	13,0	10,2	1,45	10.600
F 14	14,0	10,5	8,4	1,25	9.100
F 11	11,0	8,3	6,6	1,05	7.900
F 8	8,6	6,6	5,2	0,86	6.900
F 7	6,9	5,2	4,1	0,72	6.100
F 5	5,5	4,1	3,3	0,62	5.500
F 4	4,3	3,3	2,6	0,52	5.000
F 3	3,4	2,6	2,0	0,43	4.600
F 2	2,8	2,1	1,7	0,36	4.350

TABLA Nº 19. TENSIONES ADMISIBLES DE COMPRESION NORMAL PARA MADERA ASERRADA, MPa.

AGRUPACION PARA MADERA EN ESTADO		TENSION ADMISIBLE PARA COMPRESION NORMAL F_{cn}
VERDE ($H \geq 30\%$)	SECO ($H = 12\%$)	
E 1	ES 1	9,0
	ES 2	7,4
	ES 3	6,1
	ES 4	5,0
	ES 5	4,1
	ES 6	3,4
	ES 7	2,8
E 2		2,3
E 3		1,9
E 4		1,6
E 5		
E 6		
E 7		

2.4.4.1. 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% y cualquier espesor.

- Espesor del elemento superior a 100 mm, cualquiera sea su condición de humedad.

se realiza mediante la relación entre:

i) La agrupación de la madera para el estado verde (ver Tabla Nº 15).

ii) El grado estructural especificado según su razón de resistencia, y

iii) Usando la interrelación establecida en Tabla Nº 20.

TABLA Nº 20.

RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CLASE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. MADERA EN ESTADO VERDE.

CLASIFICACION VISUAL		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES						
IDENTIFICACION DEL GRADO	RAZON DE RESISTENCIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
		CLASE ESTRUCTURAL						
Grado Estructural Nº 1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural Nº 2	0,60	F22	F17	F14	F11	F 8	F7	F5
Grado Estructural Nº 3	0,48	F17	F14	F11	F 8	F 7	F5	F4
Grado Estructural Nº 4	0,38	F14	F11	F 8	F 7	F 5	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 (ver Tabla Nº 15).
- ii) El grado estructural especificado según su razón de resistencia, y
- iii) Usando la interrelación establecida en Tabla Nº 21.

TABLA Nº 21.

RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CLASE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. MADERA EN ESTADO SECO (H = 12%).

CLASIFICACION VISUAL		AGRUPAMIENTO DE ESPECIES						
IDENTIFICACION DEL GRADO	RAZON DE RESISTENCIA	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		CLASE ESTRUCTURAL						
Grado Estructural Nº 1	0,75	-	F34	F27	F22	F17	F14	F11
Grado Estructural Nº 2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Grado Estructural Nº 3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Grado Estructural Nº 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 servicio.

se realiza por interpolación lineal entre los valores de tensión admisible para madera en estado verde (Tabla N° 20) y madera en estado seco (Tabla N° 21), la cual se puede lograr aplicando sobre la tensión admisible en condición seca ($H = 12\%$) el factor de modificación por corrección de humedad, K_H , de acuerdo al procedimiento descrito en 2.4.5.1.1.

Para valores del contenido de humedad menores de 12% se asume, para efectos de interpolación, 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.

2.4.4.2. 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 a 12% puede ser considerada en el ítem 2 de la Tabla N° 22, sólo cuando:

- a) el espesor de la madera no exceda de 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 a 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 Nº 22. CONDICIONES QUE SE DEBEN ASUMIR EN LA DETERMINACION DE TENSIONES ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.

ITEM	CONDICION DE HUMEDAD DE LA MADERA		CONDICION ASUMIDA PARA LA MADERA EN LA DETERMINACION 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	$H_C \leq 12\%$	$H_S \geq 20\%$	Verde	Seca (H = 12%)

H_C = Humedad de construcción.

H_S = Humedad de servicio.

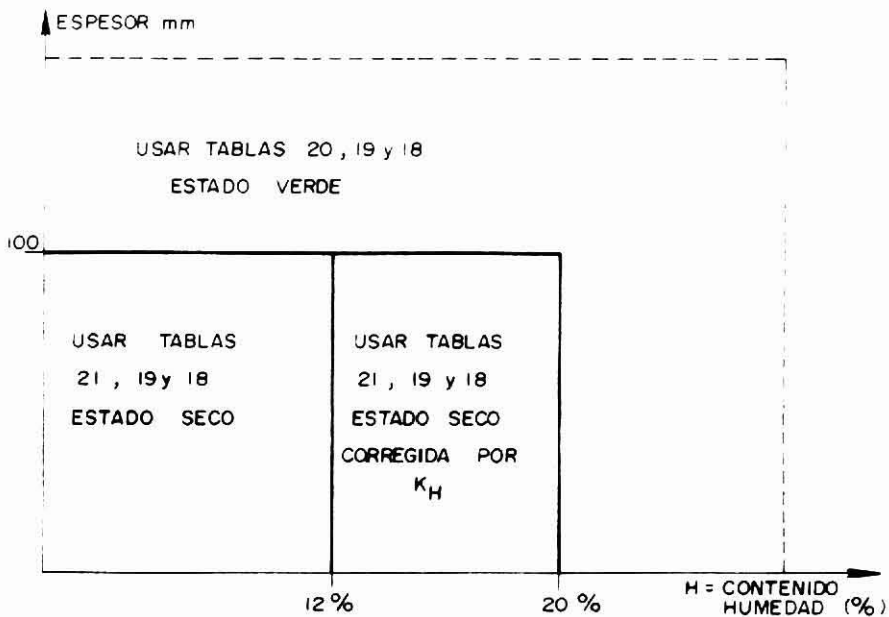


FIGURA Nº 7. Asignación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad.

2.4.4.3. Tal como se mencionó en el párrafo 2.1.2.2. la madera debe ser usada con un contenido de humedad igual al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicio. 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 N° 22 y en Figura N° 8 y a los requerimientos especificados en 2.1.2.2.; 2.3. y 2.4.4.

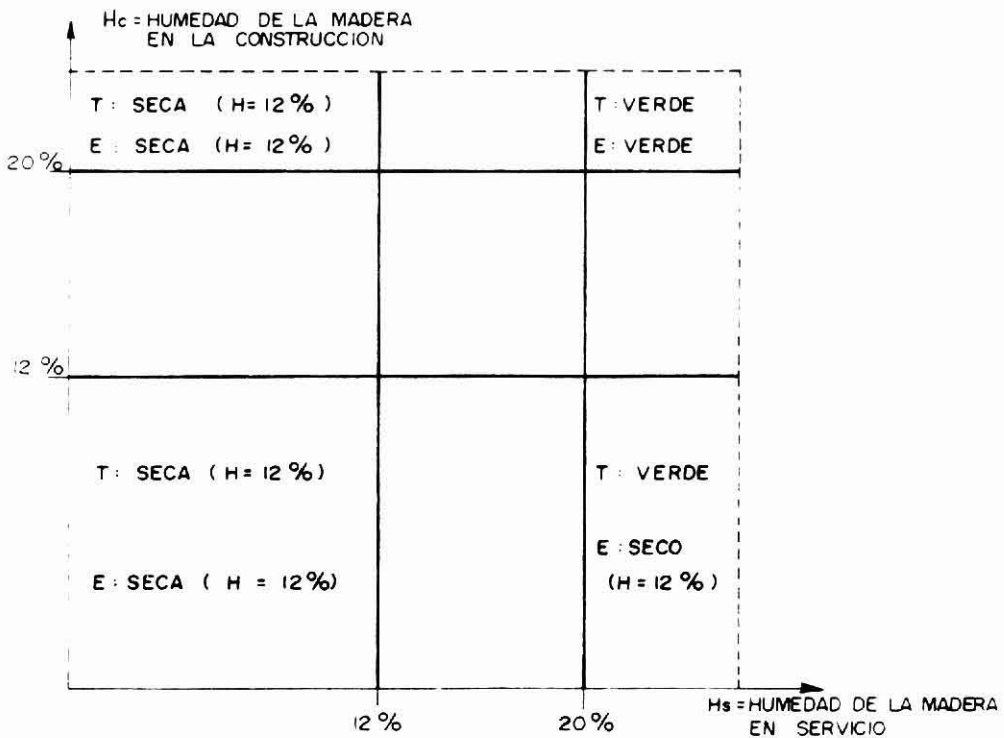


FIGURA N° 8.

Condiciones que se deben asumir en la determinación de las Tensiones Admisibles (T) y Módulo de Elasticidad (E), de acuerdo a la humedad de la madera en la construcción (H_c) y en servicio (H_s).

2.4.4.4. La asignación de tensiones admisibles puede realizarse también en base a 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, libres 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.

2.4.5. Factores de Modificación

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".

Se distinguen dos clases de Factores de Modificación:

2.4.5.1. Factores de Modificación de Aplicación General

i) Factor de Modificación 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 mediante una interpolación lineal entre los valores de tensión admisible para madera en estado verde (Tablas Nº 20 y 19) y madera en estado seco (Tablas Nº 21 y 19), lo cual se puede obtener aplicando sobre la tensión admisible en condición seca ($H = 12\%$) el Factor de Modificación siguiente:

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

en que :

K_H = Factor de Modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico, definidos para un contenido de humedad de 12% (Tablas Nº 21 y 19).

ΔH = Diferencia del contenido de humedad de servicio (H) y 12%.

ΔR = Variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad (ver Tabla Nº 23).

TABLA Nº 23. VARIACION DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES PARA UNA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL AL 1%.

SOLICITACION	PORCENTAJE DE VARIACION DE LA RESISTENCIA PARA $\Delta H = 1\%$
Flexión	2,05 %
Compresión paralela a las fibras	2,05 %
Tracción paralela a las fibras	2,05 %
Cizalle	1,60 %
Compresión normal a las fibras	2,67 %
Módulo de elasticidad en flexión	1,48 %

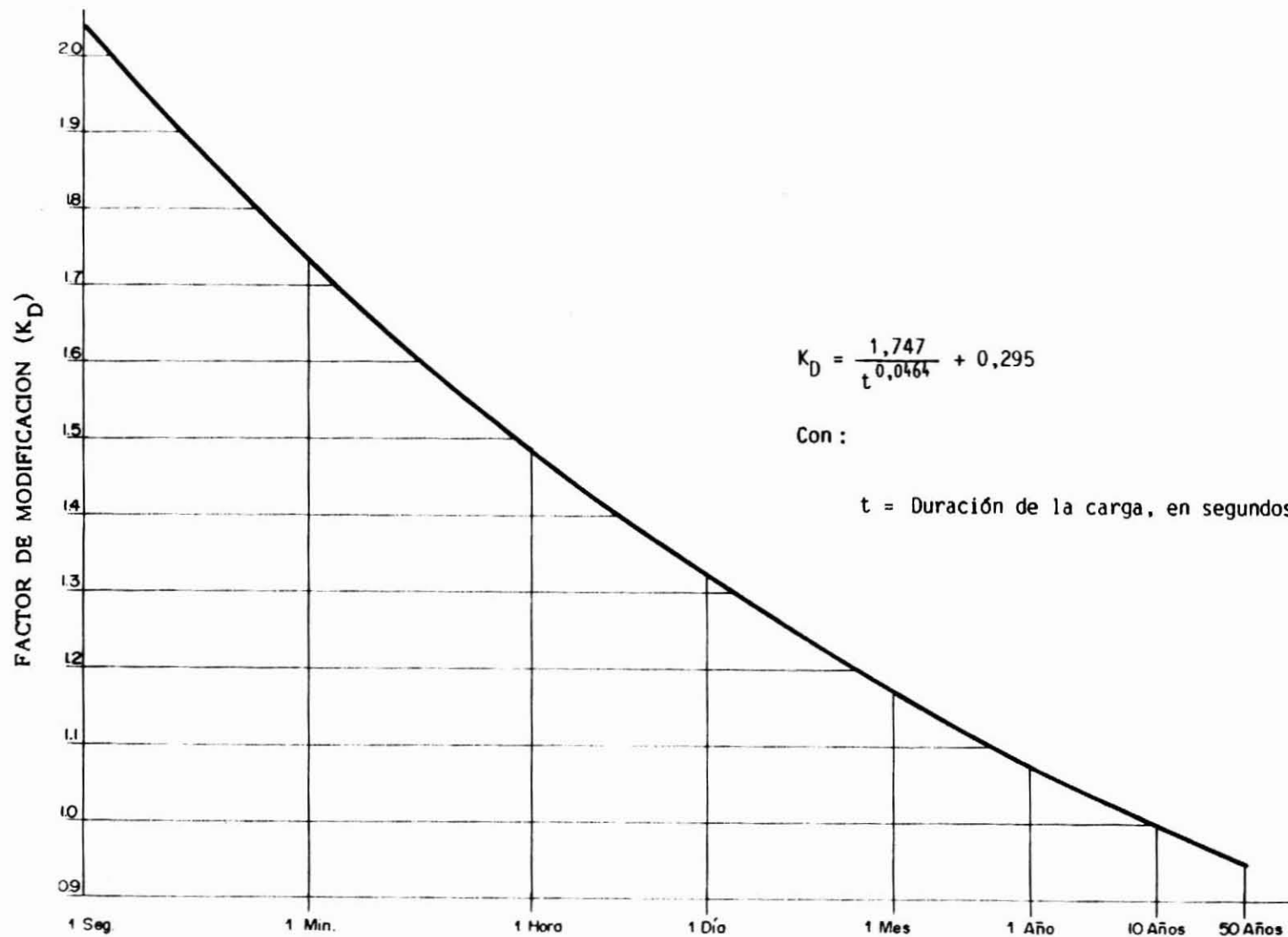
ii) Factor de Modificación por duración de la carga, K_D .

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 distinta a la indicada, tendrá que adoptarse una tensión de diseño igual al producto de la tensión admisible por el factor de modificación correspondiente a la duración real obtenido en la Figura Nº 9 o en la Tabla Nº 24.

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 apliquen 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:





$$K_D = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295$$

Con :

t = Duración de la carga, en segundos.

FIGURA Nº 9. Factor de modificación por duración de la carga.

DURACION DE LA CARGA

TABLA N° 24. FACTORES DE MODIFICACION POR DURACION DE LA CARGA, K_D .

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

- a) Determinar los factores de modificación de las car
gas individuales que pueden actuar sobre la estruc
tura.
- b) Computar la magnitud de todas las combinaciones po
sibles de cargas.
- c) Dividir el total de cada combinación por el factor
de modificación correspondiente a la carga de me
nor duración en dicha combinación.
- d) El mayor cuociente 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.

Ejemplo: Determinar la combinación crítica de car
gas correspondiente a un elemento estructural som
tido a las siguientes solicitaciones de tracción:

Peso propio : 200 Kg
Sobrecarga : 400 Kg
Nieve : 900 Kg
Viento : 150 Kg
Carga debido al montaje del resto de la
estructura : 360 Kg
Solución :

- a) Estimación de la duración de las cargas y de
terminación de los factores de modificación.

<u>Carga</u>	<u>Duración</u>	<u>Factor de</u> <u>Modificación</u>
Peso propio	30 años	0,965
Sobrecarga	30 años	0,965
Nieve	7 días	1,237
Viento	1 día	1,326
Montaje	2 días	1,293



b) Carga total en cada combinación elegida.

<u>Combinación</u>	<u>Carga Total</u>	<u>Menor Duración</u>	<u>Factor de Modificación</u>
Peso propio	200 Kgs	30 años	0,965
PP + Sobrecarga	600 Kgs	30 años	0,965
PP + Nieve	1.100 Kgs	7 días	1,237
PP + Viento	350 Kgs	1 día	1,326
PP + Montaje	560 Kgs	2 días	1,293
PP + SC + Nieve	1.500 Kgs	7 días	1,237
PP + SC + Viento	750 Kgs	1 día	1,326
PP + SC + Nieve + Viento	1.650 Kgs	1 día	1,326

c) Obtención del cuociente entre la carga total y el Factor de Modificación.

<u>Combinación</u>	<u>Cuociente</u>
PP + Sobrecarga	621,76
PP + Nieve	889,25
PP + Viento	263,95
PP + Montaje	433,10
PP + Sobrecarga + Nieve	1.212,61
PP + Sobrecarga + Viento	565,61
PP + SC + Nieve + Viento	1.244,34 *

d) * Combinación de carga crítica. Factor de Modificación = 1,326.

iii) Factor de Modificación por Temperatura, K_T .

La asignación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad a piezas de madera aserrada que estén sometidas a temperaturas inferiores o mayores a 20°C se puede obtener ponderando la tensión admisible correspondiente a 20°C por el Factor de Modificación siguiente:

$$K_T = (1 + \Delta T \times C_T)$$

en que :

K_T = factor de modificación por temperatura aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico definidos para una humedad de 12% (Tablas N° 21 y 19).

ΔT = diferencia entre 20°C y el valor de la temperatura de servicio (t). $\Delta T = (20^\circ - t)$.

C_T = variación de la resistencia por cada 1°C de variación de la temperatura (ver Tabla N° 25).

TABLA N° 25.

INCREMENTO O DECREMENTO PORCENTUAL DE LOS VALORES DE DISEÑO POR CADA 1°C DE INCREMENTO O DECREMENTO DE TEMPERATURA (C_T).

PROPIEDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	INCREMENTO POR EN FRIAMIENTO BAJO 20°C (NO INFERIOR A - 180°C).	DECREMENTO POR CALENTAMIENTO SOBRE 20°C (NO SUPERIOR A + 67°C).
Módulo de Elasticidad	0 12	0,07 % 0,27 %	0,07 % 0,38 %
Otras Propiedades	0 12	0,31 % 0,58 %	0,31 % 0,38 %

iv) Factor de Modificación por trabajo conjunto, K_C .

Las tensiones admisibles para elementos estructurales que conforman un sistema que comparte la carga, consistentes en tres o más elementos paralelos distanciados en no más de 610 mm y dispuestos en tal forma que en conjunto pueden soportar la carga aplicada, deben ser multiplicadas por el Factor de Modificación por trabajo

jo en conjunto (K_c), de acuerdo con la Tabla N° 26.

TABLA N° 26. FACTOR DE MODIFICACION POR TRABAJO CONJUNTO, K_c .

TENSION ADMISIBLE AFECTADA	MADERA ASERRADA CUYA MENOR DIMENSION EN mm, ES	
	Menor que 114 mm	114 mm o 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

v) Factor de Modificación por tratamiento químico, K_Q .

Cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de pudrición u otro tipo de deterioro en estructuras permanentes, la madera de tales estructuras debe ser sometida a un proceso de preservación con métodos y tipos de preservantes especificados en las normas chilenas correspondientes.

Todo tipo de perforación, rebaje o corte debe ejecutarse en lo posible antes del proceso de preservación. En caso contrario se efectuarán después de éste, sometiendo los cortes a un nuevo proceso de preservación.

La madera no preservada de estructuras permanentes no debe estar en contacto directo con hormigón, o suelo

si estos materiales pueden transferir humedad a la madera. Se considera como una protección adecuada cualquier método que logre eliminar tal transferencia de humedad, por ejemplo: un espacio de aire de 10 mm alrededor del elemento de madera.

El factor de modificación por tratamiento químico, K_Q , puede ser considerado igual a la unidad con excepción de los elementos estructurales de madera que se preservan con sustancias retardadoras de la acción del fuego (ignífugos) u otro tipo de producto químico que reduzca su resistencia y rigidez (ver Tabla Nº 27).

TABLA Nº 27. FACTOR DE MODIFICACION POR TRATAMIENTO QUIMICO, K_Q .

PARA MADERA ASERRADA, PREVIAMENTE SOMETIDA A INCISIONES Y CUYO ESPESOR ES 89 mm O MENOS.			PARA MADERA TRATADA CON IGNIFUGOS
EN SERVICIO	K_Q		
	E_f	TENSIONES ADMISIBLES	TODAS LAS PROPIEDADES
Verde	0,95	0,85	MADERA ASERRADA 0,90 POSTES 0,90
Seco	0,90	0,70	MADERA LAMINADA 0,90

2.4.5.2. Factores de Modificación de Aplicación Particular

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

2.4.6. Tensiones y Módulo de Elasticidad de Diseño

Queda definida como la carga por unidad de superficie que resulta de multiplicar la tensión admisible o módulo de elasticidad por el o los factores de modificación que resulten pertinentes, sean éstos de aplicación general y/o de aplicación particular.

Las tensiones de diseño se definen en los capítulos correspondientes a cada solicitud.

El módulo de elasticidad de diseño ($E_{f,dis}$) se determina como el producto del módulo de elasticidad en flexión (E_f) que se incluye en la Tabla N° 18 por los factores de modificación que resulten pertinentes y que se definen en los capítulos correspondientes a cada solicitud.

2.5. Propiedades Geométricas de la Madera Aserrada y Cepillada

Las escuadrías, 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.

2.5.1. Contenido de Humedad de Referencia

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

2.5.2. Unidades

- i) Las dimensiones nominales del espesor y del ancho de una pieza de madera se expresan en milímetros enteros.
- ii) La longitud nominal de una pieza de madera se expresa en metros con dos decimales.
- iii) El volumen de una pieza de madera se expresa en metros cúbicos con cinco decimales, siendo el quinto una aproximación a la cien milésima más cercana.

2.5.3. Dimensiones Nominales

- i) Los espesores y anchos nominales para la madera aserrada (cepillada) son los señalados en la Tabla N° 28.
- 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; 2,10; 2,40; 2,70; 3,00; 3,30; 3,60; 3,90; 4,20; 4,50; 4,80; 5,10; 5,40; 5,70; 6,00 m.

Para la longitud nominal se recomienda una sobredimensión igual a 0,05 m.

TABLA N° 28. 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.

2.5.4. 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 Tabla N° 28.

Se acepta una tolerancia de 5% con un máximo de 3 mm por sobre dicho espesor nominal.

- ii) Ancho : Las piezas de madera con una humedad igual al 20% no deben tener un ancho menor que el ancho nominal especificado en la Tabla N° 28.

Se acepta una tolerancia de 5% con un máximo de 5 mm por sobre dicho ancho nominal.

2.5.5. 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 cual 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 4,0 m de longitud.

En el tipo de elaboración se debe especificar si la pieza es aserrada o cepillada, debiendo esto ser consecuente con las dimensiones nominales.

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^3 .

2.5.6. 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, destinadas a compensar el efecto combinado de la contracción y el colapso, son las señaladas en la Tabla N° 29.

2.5.7. 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 N° 30.