



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 JUL 1993

FE DE ERRATAS

EN PAGINA	UBICACION	DEBE DECIR								
265	Tabla N° 61	VER TABLA N° 62								
285	6.2.2.2.A	$P_{cp,ad} = \frac{0,80 \times TB_{cp} \times D^2 \times 10^{-3} \times [(Z_{cp} - K_{cp}) \times \lambda_U + (K'_{cp} - Z_{cp}) \times K_{cp}]}{(K'_{cp} - K_{cp})}$ <p>Si : <math>\lambda_U \geq K'_{cp}</math></p>								
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	<p>1.- El largo del clavo (<math>l_c</math>) no incluye la cabeza ....</p> <p>2.- La tolerancia para el diámetro (<math>d_c</math>) del clavo es:  <math>\pm 0,1</math> mm para diámetros <math>d_c \geq 3</math> mm  <math>\pm 0,05</math> mm para diámetros <math>d_c &lt; 3</math> mm</p>								
322	6.5.2.6.i	$e_{m/n} = 3 \times d_c \quad (\text{para } d_c \leq 4,2 \text{ mm})$ $e_{m/n} = 4 \times d_c \quad (\text{para } d_c > 4,2 \text{ mm})$								
342	Tabla N° 94	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">CARGA ADMISIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>P_{cp,ad}</math></td> <td><math>P_{cn,ad}</math></td> <td><math>P_{cp,ad}</math></td> <td><math>P_{cn,ad}</math></td> </tr> </tbody> </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



INFOR

PROPIEDAD INTELECTUAL : INSCRIPCION N° 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
<b>CAPITULO PRIMERO : TERMINOLOGIA Y SIMBOLOGIA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Terminología .....	3
1.2. Simbología .....	33
1.2.1. Variables .....	33
1.2.2. Subíndices .....	35
 <b>CAPITULO SEGUNDO : PROPIEDADES FISICAS, MECANICAS Y GEOMETRICAS. ....</b>	 <b>39</b>
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



	Página
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
<b>CAPITULO TERCERO : DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE MADERA ASERRADA .....</b>	<b>117</b>
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, $K_\lambda$ .....	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
<b>CAPITULO CUARTO : DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR, CONSTANTE O VA RIABLE, DE PINO RADIATA Y EUCALIPTO .....</b>	<b>181</b>
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
<b>CAPITULO QUINTO : DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES...</b>	<b>191</b>
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 Triangula res .....	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 Re vestimiento .....	220
5.3.2.2. Tipos de Diafragmas Según su Dis posición .....	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
<b>CAPITULO SEXTO : UNIONES EN LA MADERA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>249</b>
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 Inclınadas 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
<b>ANEXO A : RECOMENDACION PARA EL DISEÑO DE UNIONES CON PERNOS.</b>	<b>347</b>
A.1. General .....	349
A.2. Procedimiento Recomendado .....	349
<b>APENDICE : PINO RADIATA. TENSIONES ADMISIBLES .....</b>	<b>353</b>



## 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 $\theta$ 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 $\theta$ , 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 N° 37. Diagrama de momento para un cordón superior de una cercha con carga repartida .....	219
FIGURA N° 38. Comportamiento de un edificio frente a cargas horizontales .....	221
FIGURA N° 39. Esfuerzos en un diafragma horizontal .....	224
FIGURA N° 40. Diafragma horizontal apoyado en un muro con vano..	225
FIGURA N° 41. Diafragma horizontal sin un muro de apoyo .....	225
FIGURA N° 42. Análisis estructural de un diafragma vertical ....	226
FIGURA N° 43. Carga sísmica en un muro de corte con vano interior .....	227
FIGURA N° 44. Fuerzas a considerar en el anclaje .....	228
FIGURA N° 45. Anclaje de un muro vertical para cargas paralelas a su plano .....	230
FIGURA N° 46. Anclaje de un muro vertical para cargas normales a su plano .....	230
FIGURA N° 47. Condicionantes geométricas de los diafragmas .....	232
FIGURA N° 48. Cizalle unitario admisible para entablado en ángulo recto .....	234
FIGURA N° 49. Estructura de un diafragma vertical con diagonal...	235
FIGURA N° 50. Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocado en unión de diagonal (45°) en pie-derechos o vigas .....	236
FIGURA N° 51. Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocado en dos capas en diagonal (45°) a pie-derechos o vigas .....	237
FIGURA N° 52. Riostra angular .....	238



	Página
FIGURA N° 53. Arriostramiento tipo X .....	239
FIGURA N° 54. Arriostramiento con pilares empotrados .....	240
FIGURA N° 55. Resistencia a la flexión de arcos y marcos .....	240
FIGURA N° 56. Diafragma curvo con entablado en diagonal .....	241
FIGURA N° 57. Longitud de pandeo en estructuras reticuladas ....	243
FIGURA N° 58. Longitud de pandeo en tijerales de cercha tipo "A" .....	244
FIGURA N° 59. Longitud de pandeo en marcos con vigas reticuladas .....	245
FIGURA N° 60. Longitud de pandeo a considerar en arcos .....	246
FIGURA N° 61. Longitud de pandeo en un marco simétrico bi o triarticulado .....	247
FIGURA N° 62. Longitudes de pandeo en un marco reticulado .....	248
FIGURA N° 63. Secciones transversales netas en las uniones .....	254
FIGURA N° 64. Sección transversal neta para pernos alternados...	254
FIGURA N° 65. Tensiones de cizalle en las uniones .....	256
FIGURA N° 66. Valor de " $h_e$ " para conectores .....	256
FIGURA N° 67. Valor de " $h_e$ " para pernos, barras de acero y tirafondos .....	256
FIGURA N° 68. Cargas inclinadas respecto a la fibra de la madera .....	257
FIGURA N° 69. Designaciones para los espaciamientos y bordes ...	260
FIGURA N° 70. Uniones de barras excéntricas .....	260
FIGURA N° 71. Hilera de conectores .....	261
FIGURA N° 72. Areas $A_1$ y $A_2$ para la aplicación de las Tablas N° 63 y N° 64 .....	270
FIGURA N° 73. Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número par de hileras .....	270
FIGURA N° 74. Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número impar de hileras .....	271

	Página
FIGURA N° 75. Tipos de ligazón en una viga constituida por dos elementos longitudinales .....	275
FIGURA N° 76. Espaciamiento condicionante ( $\bar{S}$ ) de una disposición multilínea de elementos de unión .....	278
FIGURA N° 77. Elemento de unión cilíndrico solicitado a cizalle doble .....	282
FIGURA N° 78. Solicitación normal a la fibra en la pieza central. Cizalle doble .....	287
FIGURA N° 79. Cargas admisibles para pernos y barras de Pino <u>ra</u> <u>diata</u> .....	289
FIGURA N° 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 N° 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 N° 82. Cizalle doble con piezas laterales desanguladas <u>res</u> <u>pecto</u> pieza central .....	291
FIGURA N° 83. Cizalle simple. Procedimiento para obtener las <u>car</u> <u>gas</u> admisibles .....	293
FIGURA N° 84. Pieza de madera anclada en hormigón o albañilería.	295
FIGURA N° 85. Descomposición de una unión de cizalle múltiple...	295
FIGURA N° 86. Carga desangulada respecto al eje del perno .....	296
FIGURA N° 87. Condiciones geométricas para el cálculo de la <u>car</u> <u>ga</u> admisible de extracción lateral .....	304
FIGURA N° 88. Tirafondo solicitado con carga normal a las fibras.	305
FIGURA N° 89. Uniones con tornillos .....	311
FIGURA N° 90. Clavado en vigas compuestas de alma llena .....	319
FIGURA N° 91. Definición de penetración efectiva ( $p_{ef}$ ) .....	319

	Página
FIGURA N° 92. Disposición de clavado .....	324
FIGURA N° 93. Cizalle simple .....	325
FIGURA N° 94. Cizalle doble .....	325
FIGURA N° 95. Espaciamientos de clavos traslapados .....	326
FIGURA N° 96. Espaciamientos entre clavos en uniones solicitadas a flexión .....	327
FIGURA N° 97. Uniones de planchas de acero y madera .....	329
FIGURA N° 98. Uniones de planchas de acero y madera con clavado sin disposición alternada .....	331
FIGURA N° 99. Correcta forma de colocar un "clavo lancero" .....	333
FIGURA N° 100. Forma de los conectores de anillo .....	334
FIGURA N° 101. Sección transversal neta en una unión con dos conectores de anillo y un perno .....	336
FIGURA N° 102. Espaciamiento al borde cargado en una pieza cortada desanguladamente .....	338
FIGURA N° 103. Unión de tope inclinada .....	343
FIGURA N° 104. Geometría y solicitaciones en un embarbillado simple .....	344

## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA MADERAS UBICADAS EN EDIFICIOS CON DISTINTAS CONDICIONES DE SERVICIO .....	47
TABLA N° 2. HUMEDADES DE EQUILIBRIO, EN PORCENTAJES, DE DIFERENTES ESPECIES PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS .....	49
TABLA N° 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 ANALITICA ...	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 M <u>A</u> DERA ASERRADA, MPa .....	81
TABLA Nº 20. RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CL <u>A</u> SE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. M <u>A</u> DERA EN ESTADO VERDE .....	82
TABLA Nº 21. RELACION ENTRE EL AGRUPAMIENTO DE ESPECIES, LA CL <u>A</u> SE ESTRUCTURAL Y LA CLASIFICACION VISUAL. M <u>A</u> DERA 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 M <u>A</u> DERA A <u>S</u> ERRADA VERDE PARA COMPENSAR LAS CONTRACCIONES Y CO <u>L</u> APSO, SEGUN GRUPOS DE ESPECIES .....	101



	Página
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 COMPRIMIDAS .....	158



	Página
TABLA N° 44. VALORES DEL COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD, $c$ ...	161
TABLA N° 45. FACTOR DE FLEXIBILIDAD, $\Psi$ .....	168
TABLA N° 46. FACTOR DE MODIFICACION POR CONCENTRACION DE TENSIONES, $K_{ct}$ .....	177
TABLA N° 47. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE $J_x$ , $J_y$ .....	180
TABLA N° 48. CONDICION ASUMIDA PARA LA DETERMINACION DE TENSIONES, MODULO DE ELASTICIDAD, DISEÑO DE UNIONES Y DIMENSIONES DE PIEZAS CON SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR .....	183
TABLA N° 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 N° 50. PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES CIRCULARES .....	184
TABLA N° 51. FACTOR DE MODIFICACION POR DESBASTADO O ALISADURA ( $K_d$ ) .....	186
TABLA N° 52. FACTOR DE MODIFICACION POR PRESERVACION CON TRATAMIENTO A VACIO Y PRESION ( $K_{pv}$ ) .....	187
TABLA N° 53. FACTOR DE MODIFICACION POR USO EN ESTADO SECO ....	187
TABLA N° 54. UBICACION DE LA SECCION TRANSVERSAL CRITICA ( $A_{crlft}$ ) EN POSTES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR .....	189
TABLA N° 55. VERIFICACION DE TENSIONES EN LA SECCION CRITICA DE UN POSTE DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR .....	190
TABLA N° 56. TENSION MAXIMA ADMISIBLE Y PRESION LATERAL ADMISIBLE DEL SUELO A UNA PROFUNDIDAD.....	204
TABLA N° 57. PESO APROXIMADO ( $Kg/m^2$ ) DE CERCHAS DE MADERA MEDIDO EN LA SUPERFICIE DE TECHUMBRE .....	216
TABLA N° 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 M <u>A</u> DERA 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 ( $\delta$ ) 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	

	Página
BLE PARA UN PERNO O BARRA DE ACERO CON SOLICITACION NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA EN LA PIEZA CENTRAL .....	288
TABLA N° 71. ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE PERNOS .....	298
TABLA N° 72. ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE BARRAS DE ACERO .....	299
TABLA N° 73. CARACTERISTICAS DE LOS TIRAFONDOS .....	300
TABLA N° 74. LONGITUD DE PENETRACION DE LA ZONA ROSCADA QUE DESARROLLA LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE TRACCION DEL TIRAFONDO .....	302
TABLA N° 75. VALORES DE LA CONSTANTE K .....	303
TABLA N° 76. FACTORES DE MODIFICACION POR ESPESOR ( $e_L$ ) DE LA PIEZA LATERAL .....	304
TABLA N° 77. FACTOR DE MODIFICACION POR PENETRACION DEL VASTAGO ( $p_V$ ) EN LA PIEZA PRINCIPAL .....	305
TABLA N° 78. FACTOR DE MODIFICACION POR DIAMETRO, $K_{tD}$ .....	306
TABLA N° 79. CARACTERISTICAS DE LOS TORNILLOS .....	308
TABLA N° 80. TIPOS DE CLAVOS FABRICADOS SEGUN Nch 1269 .....	314
TABLA N° 81. DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE LOS CLAVOS .....	315
TABLA N° 82. DENSIDADES ANHIDRAS CARACTERISTICAS DEL ALAMO, PINO RADIATA, TEPA Y COIGUE .....	317
TABLA N° 83. CARGAS ADMISIBLES Y FACTORES DE MODIFICACION POR PROFUNDIDAD DE PENETRACION EN EL CLAVADO .....	320
TABLA N° 84. ESPACIAMIENTOS MINIMOS DE CLAVOS DE DIAMETRO, $d_c$ , EN mm .....	323
TABLA N° 85. TAMAÑOS DE CONECTORES DE ANILLO ABIERTO Y TAMAÑOS MINIMOS DE ARANDELAS .....	335
TABLA N° 86. DIMENSIONES DE RANURAS CIRCULARES PARA CONECTORES DE ANILLO ABIERTO .....	337
TABLA N° 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. Terminologfa**

### **1.2. Simbologfa**



## 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 com puesta 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 ele mento 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 hu medad.
- Anillo de crecimiento** : Sección transversal de la capa de madera for mada durante un período vegetativo. Se carac teriza 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 superfi cies que forman dos lados adyacentes de una pieza.
- Arista faltante** : Ausencia de madera de una arista de una pie za. Se conoce también por "canto muerto".
- Arqueadura** : Alabeo de las caras en la dirección longitu dinal 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 escuadrfa 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.



- Coefficiente 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.
- Cuardeado** : 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 rollozo.
- 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 circunferencia.
- 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 icitación 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 deja 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 sos que se refiere a la resistencia para de jarse rayar, hender o penetrar.

## E

- Eje de pandeo** : Eje longitudinal de una pieza donde se produ 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 lámi nas, 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 caracte



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 fsicas 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".
- Higroscopía** : 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 horadadores** : 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 caracterís  
ticas, 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 escuadrfa 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 visible, 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 totalmente 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 caracteriza 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 madadera, 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 destacarse 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 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 superiores 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 libre.
- Secado por deshumidificación : Método de secado de baja temperatura consistente en extraerle la humedad al aire del interior 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 perpendicular 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 nominales.
- 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 sollicitaciones 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** : Dícese 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 / fuerza 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 individuales 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.
- $\rho$**  : densidad.
- $\Delta$**  : incremento / deformación.
- $\sigma$**  : tensión en el límite de proporcionalidad.
- $\delta$**  : deformación.
- $\lambda$**  : esbeltez.
- $\alpha$**  : ángulo.
- $\theta$**  : ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra de la madera.
- $\gamma$**  : coeficiente de reducción en el cálculo del momento de inercia efectivo.
- $\Psi$**  : factor de flexibilidad.
- $\pi$**  : 3,1416.
- $\alpha$**  : 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.
- cln : extracción de clavo normal.
- clp : 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 anomalías 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.

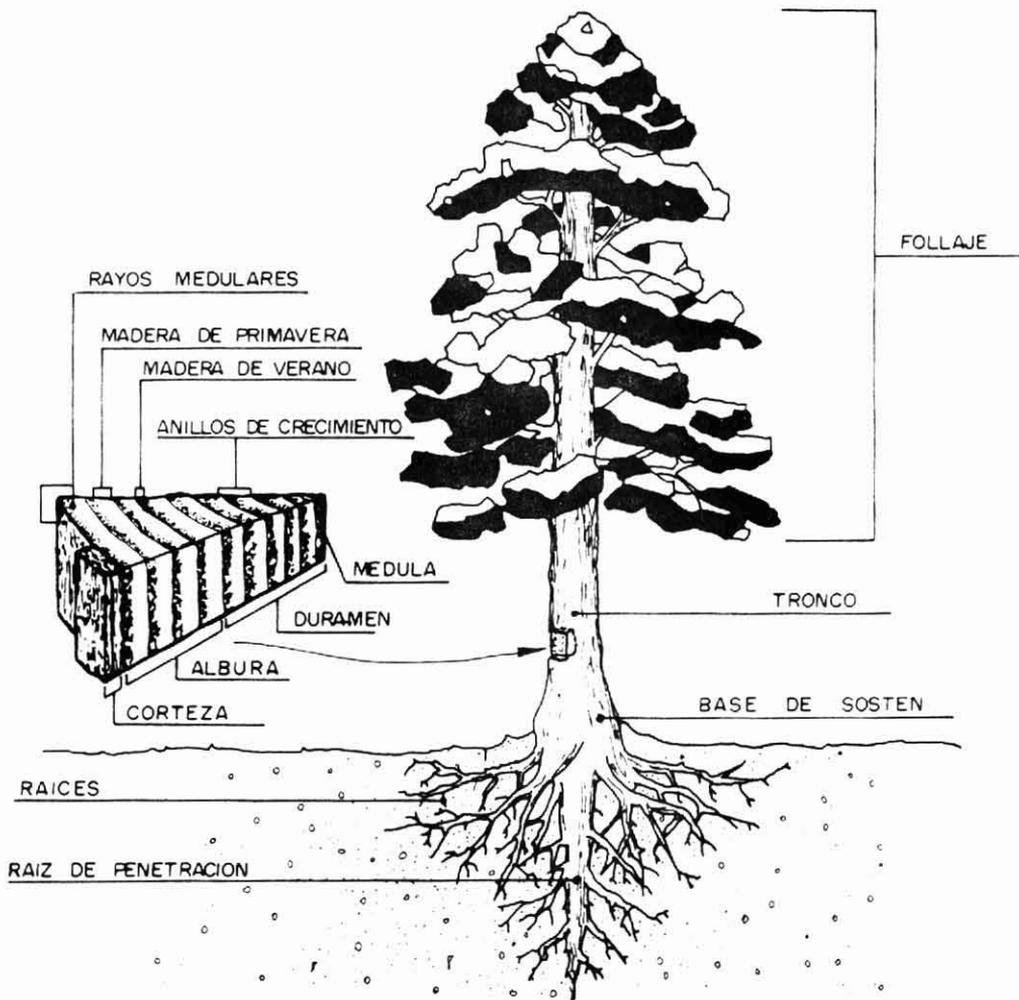
Botánicamente las coníferas son clasificadas en el grupo de las Gimnospermas, plantas que tienen semillas descubiertas, usualmente generadas dentro de conos y con hojas en forma de agujas que se mantienen en el árbol durante todo el año. Las latifoliadas pertenecen al grupo de las Angiospermas, plantas 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 N° 1). La savia, solución diluida de sales minerales,

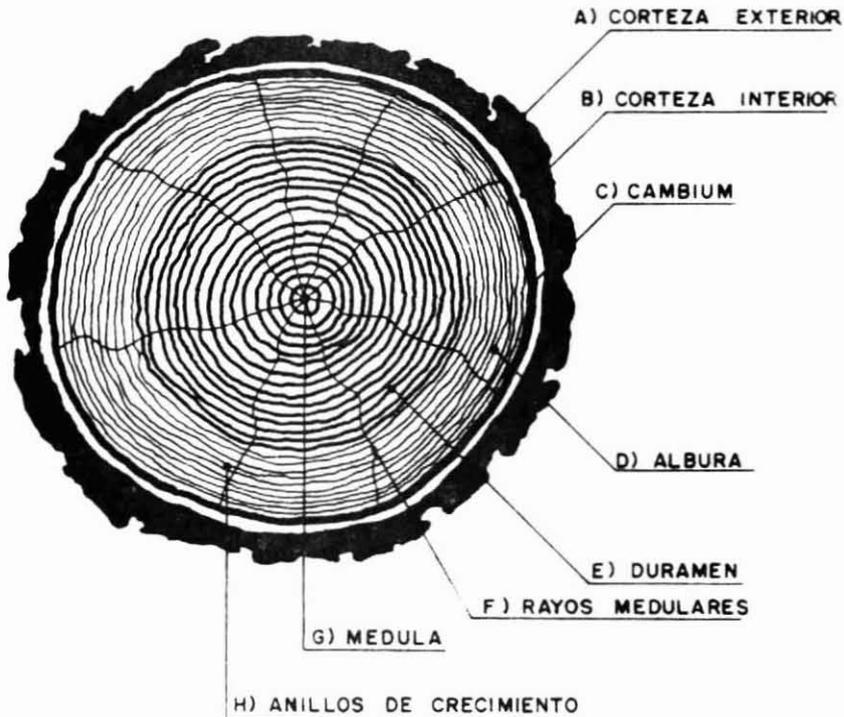


proveniente de las raíces, es conducida por las células que se ubican en las capas exteriores del tronco (albura) hacia las hojas del árbol. Allí, mediante el proceso conocido como fotosíntesis, la savia se combina con gases del aire y con la participación de rayos solares y de la clorofila, se produce 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 químicos que se depositan en sus tejidos. Estos compuestos químicos 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 vegetativo. 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 de 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 aserra

da (Figura N° 8 y Tabla N° 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 N° 1.

**TABLA N° 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	± 3%
Recintos cubiertos cerrados sin calefacción o calefaccionados intermitentemente.	12%	± 3%
Recintos continuamente calefaccionados.	9%	± 3%

**NOTA:** Las tolerancias establecidas en Tabla N° 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 especie 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.



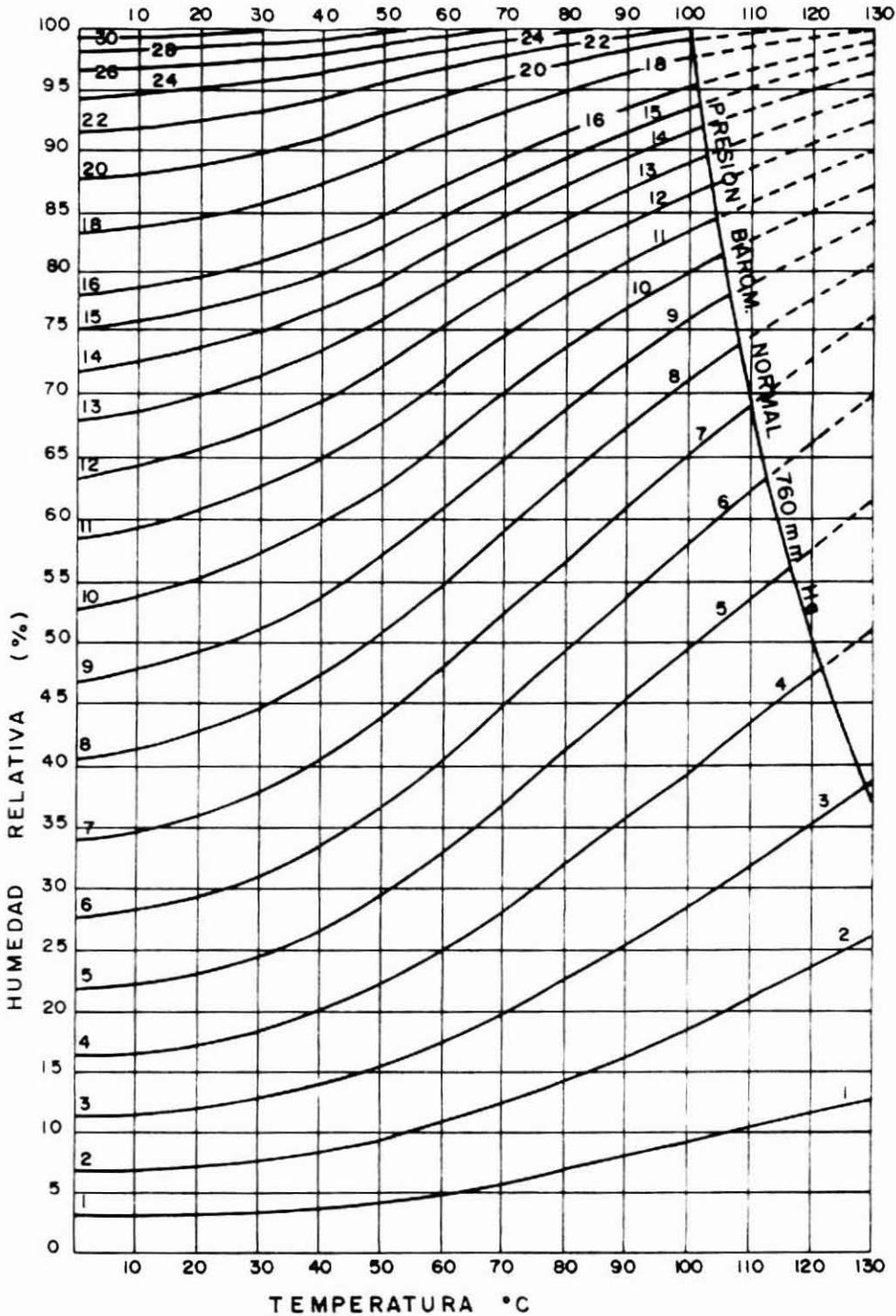
**TABLA N° 2.** HUMEDADES DE EQUILIBRIO, EN PORCENTAJES, DE DIFERENTES ESPECIES PARA ALGUNAS ZONAS DEL PAIS.

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 N° 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 ci ón de la temperatura y del estado higrométrico de éste.

**TABLA N° 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
Canchones	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-llay	14,3	69	Rfo 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	Rfo 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 humedad de equilibrio calculado según esta ecuación y los valores determinados experimentalmente (ver Tabla N° 3) es 20,62%.

La Tabla N° 5, muestra los valores de la humedad de equilibrio para las estaciones meteorológicas chilenas calculados en forma analítica.

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

La Tabla N° 6 proporciona la clasificación climático-habitacional de Chile, dada por la norma NCh 1079.

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

La Tabla N° 7 entrega los valores experimentales 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 Marfa	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-llay	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 N° 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 Rfo 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 Rfo Loa que forma en su cuenca un angosto microclima.
Norte valle transversal:	Entre ambas cordilleras y desde Copiapó hasta la cuenca del Rfo 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 Rfo 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 Rfo 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 rfos 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 Rfo 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-Rfo Bueno.	Zona lluviosa y fría, con heladas frecuentes. Veranos cortos de 4 meses. Lagos y rfos 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	[Diagonal lines /]	14 %	16 %
NORTE DESERTIC	[Dotted pattern]	7 %	10%
NORTE VALLE TRANSVERSAL	[Vertical lines]	15 %	13%
CENTRO LITORAL	[White box]	15 %	16%
CENTRO VALLE LONGITUDINAL	[Horizontal lines]	13 %	14%
SUR LITORAL	[Solid black box]	18 %	17 %
SUR VALLE LONGITUDINAL	[Cross-hatch pattern]	18 %	16 %
SUR EXTREMO	[Diagonal lines \]	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 N° 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 <sub>i</sub> )	Contenido Humedad (H <sub>i</sub> )	Referencia

PSF : Punto de Saturación de las Fibras.

H<sub>i</sub> : Contenido de Humedad cualquiera.

**TABLA N° 9.** DENSIDADES DE ESPECIES MADERERAS CHILENAS.

ESPECIE	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Anhidra	Básica	Nominal
Alamo	367	331	372
Alerce	460	405	436
Algarrobo	740	710	-
Araucaria	565	483	536
Avellano	470	410	430
Canelo	-	-	478
Ciprés de la Cordillera	474	424	462
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
Raulf	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 :

$\rho_o$  = densidad anhidra.

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

H = contenido de humedad, expresado como porcentaje.

K = coeficiente de contracción volumétrica para un cambio de 1% de contenido de humedad, calculado para cada especie, como la suma de los respectivos coeficientes de contracción lineal (k), radial y tangencial, que se incluyen en la Tabla N° 12.

$\rho_b$  = densidad básica.

Si no se conoce el coeficiente de contracción volumétrica, usar  $0,85 \times 10^{-3} \rho_o$  si la densidad se expresa en (Kg/m<sup>3</sup>) y  $0,85 \rho_o$  si la densidad se expresa en (grs/cm<sup>3</sup>).

Cuando no se conozcan valores experimentales, es posible usar las relaciones entre densidades que se incluyen en la Tabla N° 10 para contenidos de humedad menor que el Punto de Saturación de la Fibra y en la Tabla N° 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 ≤ PSF			
	$\rho_o$	$\rho_{H_1}$	$\rho_{H_2}$	$\rho_{\text{PSF}}$
$\rho_o$		$\rho_{H_1} \left( \frac{100 + K H_1}{100 + H_1} \right)$	$\rho_{H_2} \left( \frac{100 + K H_2}{100 + H_2} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + 28 K}{128} \right)$
$\rho_{H_1}$	$\rho_o \left( \frac{100 + H_1}{100 + K H_1} \right)$		$\rho_{H_2} \left( \frac{100 + H_1}{100 + H_2} \right) \left( \frac{100 + K H_2}{100 + K H_1} \right)$	$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_1}{128} \right) \left( \frac{100 + 28 K}{100 + K H_1} \right)$
$\rho_{H_2}$	$\rho_o \left( \frac{100 + H_2}{100 + K H_2} \right)$	$\rho_{H_1} \left( \frac{100 + H_2}{100 + H_1} \right) \left( \frac{100 + K H_1}{100 + K H_2} \right)$		$\rho_{\text{PSF}} \left( \frac{100 + H_2}{128} \right) \left( \frac{100 + 28 K}{100 + K H_2} \right)$
$\rho_{\text{PSF}}$	$\rho_o \left( \frac{128}{100 + 28 K} \right)$	$\rho_{H_1} \left( \frac{128}{100 + H_1} \right) \left( \frac{100 + K H_1}{100 + 28 K} \right)$	$\rho_{H_2} \left( \frac{128}{100 + H_2} \right) \left( \frac{100 + K H_2}{100 + 28 K} \right)$	

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  $H \geq$  PSF.

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

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

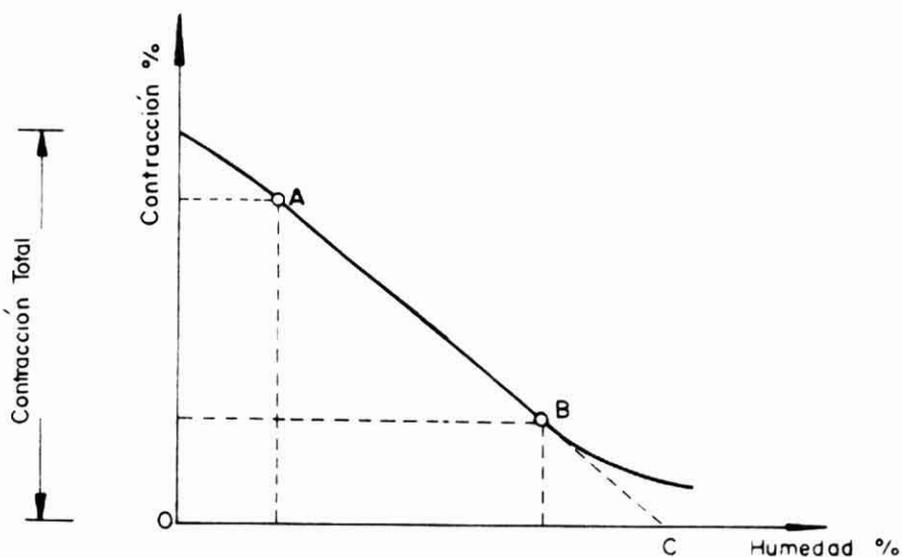
Ejemplo :  $\rho_b = \rho_{H_1} \left( \frac{100}{100 + H_1} \right)$

#### 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 N° 12.

**TABLA N° 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.

$\Delta H$  = diferencia entre humedad 20% y H.

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

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

La conductividad térmica queda expresada en watts por metro cuadrado, por grado celsius para un milímetro de espesor  $[W/m^2 \times ^\circ C \times mm]$ . 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  $3 \times 10^{-6}$  a  $5 \times 10^{-6}$  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.

$\rho_o$  = densidad anhidra de la madera, en  $\text{gr/cm}^3$ .

Usando los valores de  $E_f$  y  $\rho_o$  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° 6 A. 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° 6 A).

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° 6 B. 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° 6 C).

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° 6 D). 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.

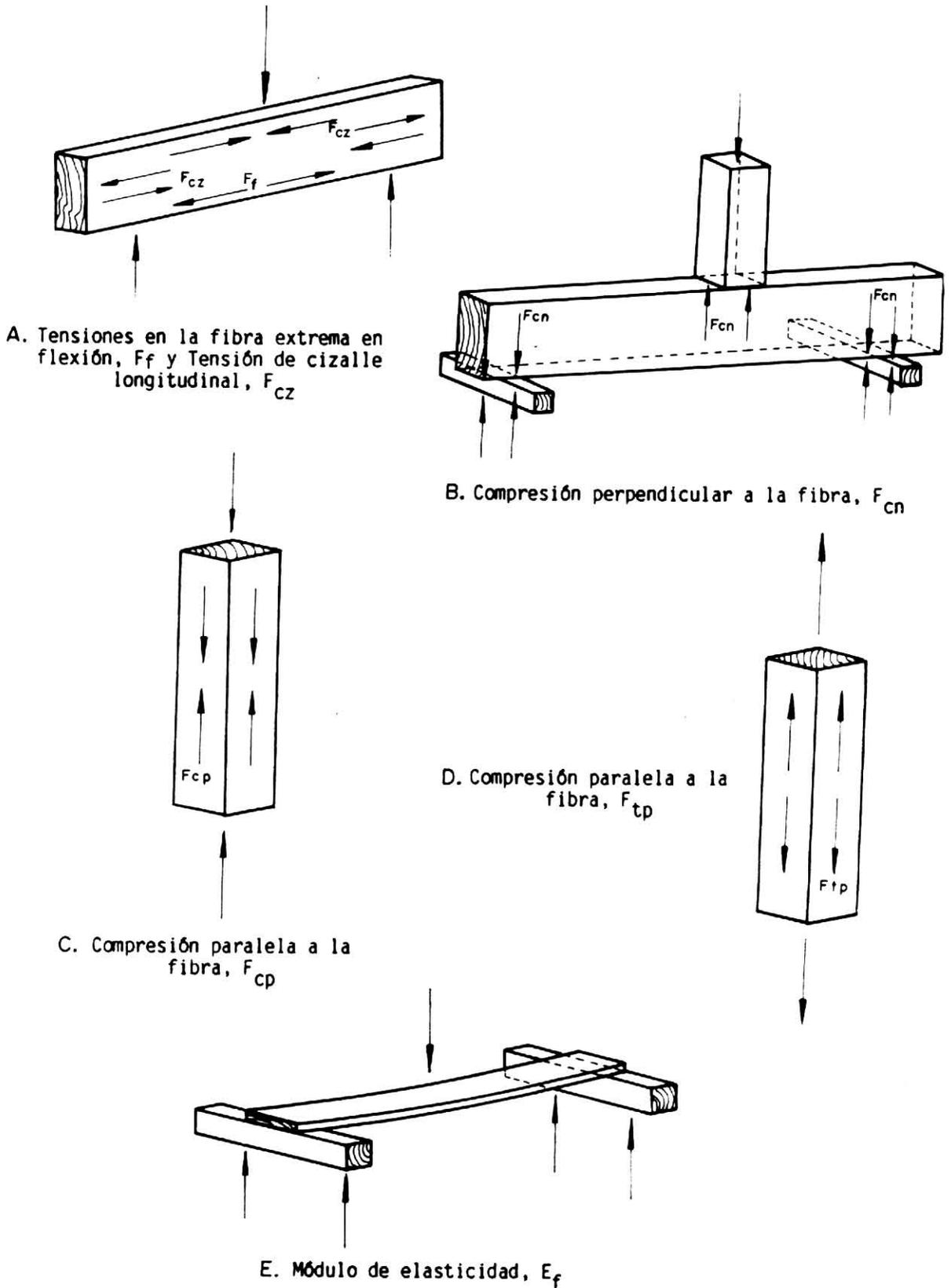
g) Módulo de elasticidad,  $E$ .

El módulo de elasticidad de un elemento es una medida de su resistencia a la deformación bajo carga (Figura N° 6E). 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 Nº 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 ensayos 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 madereras hipotéticas.

A fin de proporcionar valores de resistencia unitaria a nuestras maderas, aun cuando sea en forma aproximada y provisoria y mientras se implemente y desarrolle un sistema moderno de clasificación mecánica 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 ESPECIFICO *	FLEXION			TENACIDAD		COMPRESION					TRACCION NORMAL		DUREZA		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
		$\sigma_r$	$R_r$	$E_r$	Resist. Máxima	Resist. Máxima	Tensión Límite Proporc.	Tensión Máxima	Módulo de Elasticidad	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
		Kg/m <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Ton/cm <sup>2</sup>	T <sub>t</sub> N.cm	T <sub>r</sub> N.cm	$\sigma_{cp}$ Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cp</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>cp</sub> Ton/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{cn}$ Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cn</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>int</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>int</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>gn</sub> Kg	R <sub>gp</sub> Kg	R <sub>czt</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>czt</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cvt</sub> Kg/cm	R <sub>cvt</sub> Kg/cm	R <sub>cln</sub> 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 HOJAS 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.

- 74 -

TABLA N° 14.

TENSIONES MAXIMAS DE ESPECIES CHILENAS.

Estado : Seco (H = 12%)

ESPECIE	PESO ESPECÍFICO	FLEXION			TENACIDAD		COMPRESION				TRACCION NORMAL		DUREZA		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 Rotura	Tensión Máxima	Tensión Rotura	Carga Máxima	Carga Máxima	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Tensión Rotura	Carga Máxima	Carga Máxima
		Kg/m <sup>3</sup>	$\sigma_f$ Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>f</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>f</sub> Ton/cm <sup>2</sup>	T <sub>t</sub> N-cm	T <sub>r</sub> N-cm	$\sigma_{cp}$ Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cp</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>cp</sub> Ton/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{cn}$ Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cn</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>iat</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>iarr</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>dn</sub> Kg	R <sub>dp</sub> Kg	R <sub>crt</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>crr</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	R <sub>cvt</sub> Kg/cm	R <sub>cvr</sub> Kg/cm	R <sub>cln</sub> Kg	R <sub>clp</sub> Kg
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	
COTIGUE	604	515	776	105,5	3196	3448	244	453	111,5	92	198	96	66	431	491	126	96	122	78	112	84	
COTIGUE 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	
TINCO	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 N° 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 N° 13 y N° 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) Raulf Roble Roble (Maule) Tineo Renoval de raulf	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 Raulf Tepa Renoval de raulf
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 N° 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 N° 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 ( $H = 12\%$ )	
	ES 1	9,0
	ES 2	7,4
	ES 3	6,1
E 1	ES 4	5,0
E 2	ES 5	4,1
E 3	ES 6	3,4
E 4	ES 7	2,8
E 5		2,3
E 6		1,9
E 7		1,6



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	F 8
Grado Estructural Nº 3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F 8	F 7
Grado Estructural Nº 4	0,38	F22	F17	F14	F11	F 8	F 7	F 5

- 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.

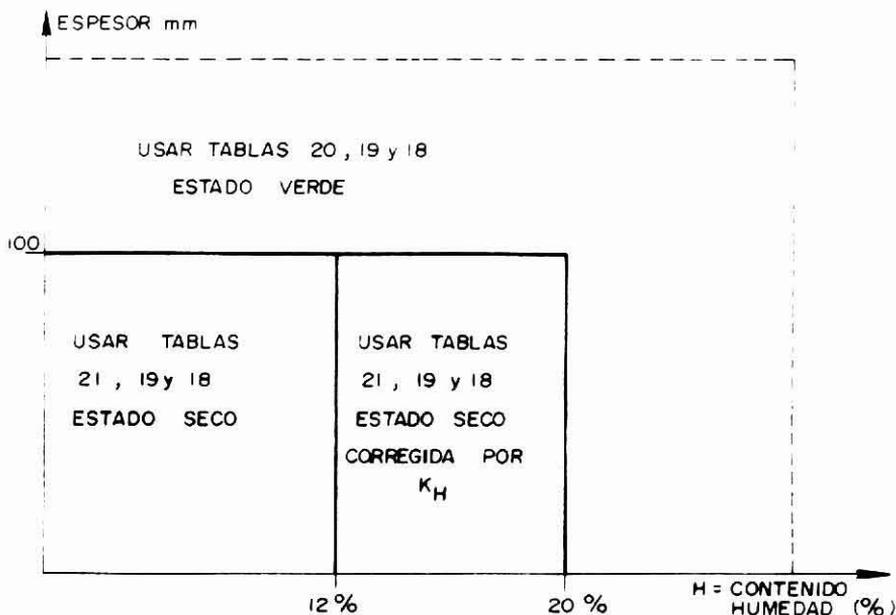


**TABLA Nº 22.** CONDICIONES QUE SE DEBEN ASUMIR EN LA DETERMINACION DE TENSIONES ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.

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%)

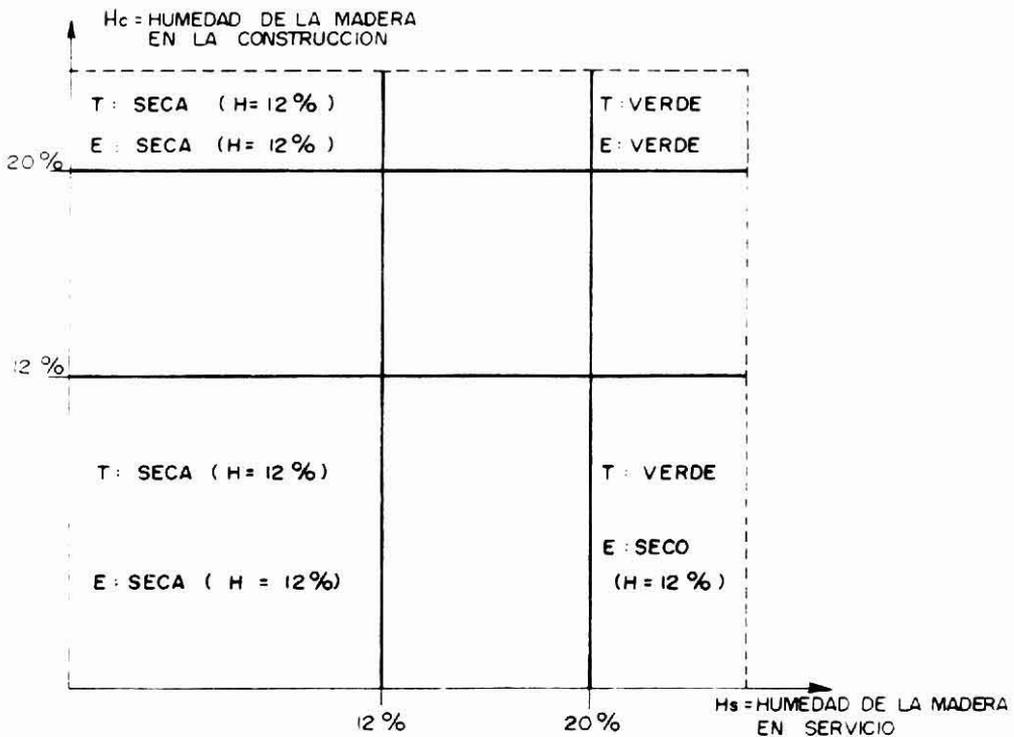
$H_C$  = Humedad de construcción.

$H_S$  = 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<sub>c</sub>) y en servicio (H<sub>s</sub>).

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).

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

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

**TABLA N° 23.** VARIACION DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES PARA UNA VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL AL 1%.

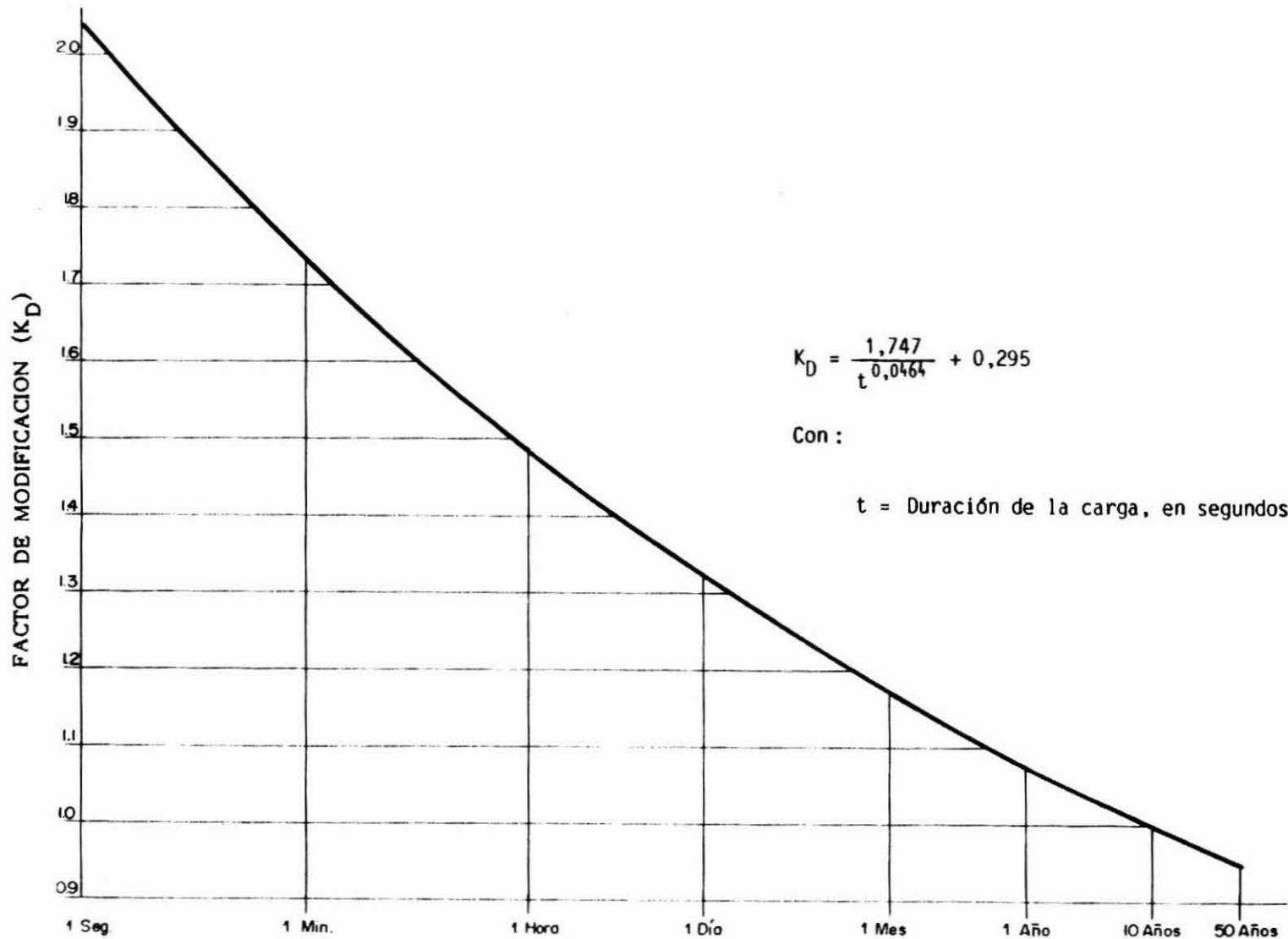
SOLICITACION	PORCENTAJE DE VARIACION DE LA RESISTENCIA PARA $\Delta H = 1\%$
Flexión	2,05 %
Compresión paralela a las fibras	2,05 %
Tracción paralela a las fibras	2,05 %
Cizalle	1,60 %
Compresión normal a las fibras	2,67 %
Módulo de elasticidad en flexión	1,48 %

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 N° 9 o en la Tabla N° 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:



**FIGURA Nº 9.** Factor de modificación por duración 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 cargas individuales que pueden actuar sobre la estructura.
- b) Computar la magnitud de todas las combinaciones posibles de cargas.
- c) Dividir el total de cada combinación por el factor de modificación correspondiente a la carga de menor duración en dicha combinación.
- d) El mayor cociente así obtenido indica cuál es la combinación crítica.
- e) Utilizar el factor de modificación correspondiente a la combinación crítica de cargas para aplicarlo en un cálculo de la tensión de diseño.

**Ejemplo:** Determinar la combinación crítica de cargas correspondiente a un elemento estructural sometido 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 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 cociente 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).

$\Delta T$  = 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	0,07 %	0,07 %
	12	0,27 %	0,38 %
Otras Propiedades	0	0,31 %	0,31 %
	12	0,58 %	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 <u>Fi</u> bras.	1,10	1,10
Tracción paralela a las <u>Fi</u> bras.	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 sollicitación 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 sollicitación.

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).

ESPELOR (mm)	ANCHO (mm)	50	63	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
		(45)	(58)	(70)	( 95)	(120)	(145)	(170)	(195)	(220)	(245)	(270)	(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  $\text{Kg/m}^3$ .

#### 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.



**TABLA N° 29.** SOBREDIMENSIONES QUE SE RECOMIENDAN EN MADERA ASERRADA VERDE PARA COMPENSAR LAS CONTRACCIONES Y COLAPSO, SEGUN GRUPOS DE ESPECIES.

DIMENSION NOMINAL A 20% CONTENIDO DE HUMEDAD mm	SOBREDIMENSION EN ESTADO VERDE SEGUN GRUPO DE ESPECIES mm		
	1	2	3
12	+ 1	+ 1	+ 1
19	+ 2	+ 2	+ 1
25	+ 3	+ 2	+ 1
32	+ 3	+ 2	+ 1
38	+ 4	+ 3	+ 2
45	+ 4	+ 3	+ 2
50	+ 5	+ 3	+ 2
63	+ 6	+ 4	+ 2
75	+ 7	+ 5	+ 3
100	+ 9	+ 6	+ 3
125	+ 11	+ 8	+ 4
150	+ 13	+ 9	+ 5
175	+ 15	+ 11	+ 5
200	+ 18	+ 12	+ 7
225	+ 20	+ 14	+ 7
250	+ 22	+ 16	+ 8
275	+ 24	+ 17	+ 9
300	+ 27	+ 19	+ 10

<u>GRUPO 1</u>	: COIGUE - EUCALIPTO - ROBLE - TINEO
<u>GRUPO 2</u>	: LINGUE - OLIVILLO - RAULI - ULMO
<u>GRUPO 3</u>	: ALERCE - ARAUCARIA - LAUREL - MAÑO PINO RADIATA - TEPA.



**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.

CONDICION DE LA HUMEDAD, H, DE LA MADERA ASERRADA		DIMENSIONES NOMINALES ESTABLECIDAS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE 20% EN LA NORMA NCh 174/1		
DURANTE LA CONSTRUCCION	EN SERVICIO	SIN OTRA RESTRICCION	CON LA ADECUADA CONSIDERACION DE LA CONTRACCION *) ENTRE	
			20% y H <sub>S</sub> 1)	20% y 12% 2)
H <sub>C</sub> ≥ 20 %	H <sub>S</sub> ≥ 20 %	X		
	20 % > H <sub>S</sub> > 12 %		X	
	12% ≥ H <sub>S</sub>			X
20 % ≥ H <sub>C</sub>	Cualquier H <sub>S</sub>			X

\*) En la Tabla N° 31 se incluyen los coeficientes C que permiten determinar las variaciones dimensionales.

**NOTA:** H<sub>C</sub> = humedad de construcción

H<sub>S</sub> = humedad de servicio.

1)  $\Delta H = 20 - H_S$

2)  $\Delta H = 20 - 12$

**TABLA Nº 31.** COEFICIENTE C PARA DETERMINAR LAS VARIACIONES DIMENSIONALES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA EN SERVICIO  H <sub>s</sub> (%)	COEFICIENTE (C)* POR EL QUE SE DEBE PONDERAR LAS DIMENSIONES NOMINALES (H = 20%) A FIN DE CONSIDERAR LA CONTRACCION Y COLAPSO HABIDA ENTRE H = 20% Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SERVICIO (H <sub>s</sub> )										
	C <sub>T</sub> : PARA DIMENSION TANGENCIAL EN						C <sub>R</sub> : PARA DIMENSION RADIAL EN				
	P. RADIATA ROBLE	TEPA	EUCALIPTO	COIGUE OLIVILLO	ULMO	TINEO	PINO RADIATA	TEPA COIGUE OLIVILLO	EUCALIPTO	ROBLE TINEO	ULMO
19	0,9971	0,9969	0,9958	0,9970	0,9965	0,9964	0,9980	0,9985	0,9976	0,9982	0,9978
18	0,9942	0,9938	0,9916	0,9940	0,9930	0,9928	0,9960	0,9970	0,9952	0,9964	0,9956
17	0,9913	0,9907	0,9874	0,9910	0,9895	0,9892	0,9940	0,9955	0,9928	0,9946	0,9934
16	0,9884	0,9876	0,9832	0,9880	0,9860	0,9856	0,9920	0,9940	0,9904	0,9928	0,9912
15	0,9855	0,9845	0,9790	0,9850	0,9825	0,9820	0,9900	0,9925	0,9880	0,9910	0,9890
14	0,9826	0,9814	0,9748	0,9820	0,9790	0,9784	0,9880	0,9910	0,9856	0,9892	0,9868
13	0,9797	0,9783	0,9706	0,9790	0,9755	0,9748	0,9860	0,9895	0,9832	0,9874	0,9846
12	0,9768	0,9752	0,9664	0,9760	0,9720	0,9712	0,9840	0,9880	0,9808	0,9856	0,9824

\* Calculado con la expresión :  $C = (1 - k \times \Delta H/100)$ . Ver párrafo 2.1.4.

### 2.5.8. Propiedades Geométricas

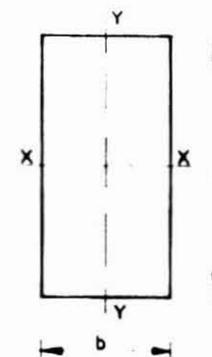
Las propiedades geométricas de las secciones transversales de madera con un contenido de humedad de 20%, a utilizar en la determinación de las tensiones de trabajo, son las indicadas en la Tabla N° 32 para madera aserrada y en la Tabla N° 33 para madera cepillada.

Las propiedades geométricas de las secciones transversales de madera aserrada con contenidos de humedad comprendidos entre 12 y 20% se calcularán con las expresiones señaladas en la Tabla N° 34.



**TABLA Nº 32.** PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%).

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
12	50	6,0	12	5	1,44	1	1	0,35
	63	7,6	25	8	1,82	1	2	0,35
	75	9,0	42	11	2,16	1	2	0,35
19	50	9,5	20	8	1,44	3	3	0,55
	63	12,0	40	12	1,82	4	4	0,55
	75	14,2	67	18	2,16	4	4	0,55
	100	19,0	158	32	2,89	6	6	0,55
25	50	12,5	26	10	1,44	6	5	0,72
	63	15,8	52	16	1,82	8	7	0,72
	75	18,8	88	23	2,16	10	8	0,72
	100	25,0	208	42	2,89	13	10	0,72
	125	31,2	407	65	3,61	16	13	0,72
	150	37,5	703	94	4,33	20	16	0,72
	175	43,8	1116	128	5,05	23	18	0,72
	200	50,0	1667	167	5,77	26	21	0,72



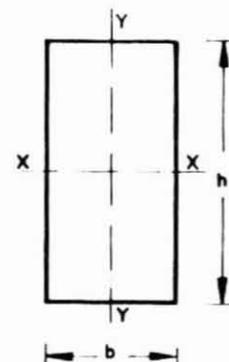
Continúa .....

**TABLA Nº 32.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIAS I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIAS I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
32	50	16,0	33	13	1,44	14	8	0,92
	63	20,2	67	21	1,82	17	11	0,92
	75	24,0	112	30	2,16	20	13	0,92
	100	32,0	267	53	2,89	27	17	0,92
	125	40,0	521	83	3,61	34	21	0,92
	150	48,0	900	120	4,33	41	26	0,92
	175	56,0	1429	163	5,05	48	30	0,92
	200	64,0	2133	213	5,77	55	34	0,92
38	50	19,0	40	16	1,44	23	12	1,10
	63	23,9	79	25	1,82	29	15	1,10
	75	28,5	134	36	2,16	34	18	1,10
	100	38,0	317	63	2,89	46	24	1,10
	125	47,5	618	99	3,61	57	30	1,10
	150	57,0	1069	142	4,33	69	36	1,10
	175	66,5	1697	194	5,05	80	42	1,10
	200	76,0	2533	253	5,77	92	48	1,10



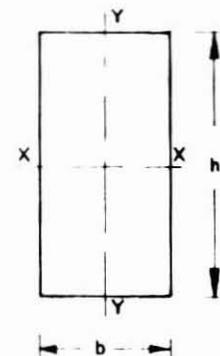
Continúa .....

TABLA Nº 32-

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
45	50	22,5	47	19	1,44	38	17	1,30
	63	28,4	94	30	1,82	48	21	1,30
	75	33,8	158	42	2,16	57	25	1,30
	100	45,0	375	75	2,89	76	34	1,30
	125	56,2	732	117	3,61	95	42	1,30
	150	67,5	1266	169	4,33	114	51	1,30
	175	78,8	2010	230	5,05	133	59	1,30
	200	90,0	3000	300	5,77	152	68	1,30
50	50	25,0	52	21	1,44	52	21	1,44
	63	31,5	104	33	1,82	66	26	1,44
	75	37,5	176	47	2,16	78	31	1,44
	100	50,0	417	83	2,89	104	42	1,44
	125	62,5	814	130	3,61	130	52	1,44
	150	75,0	1406	188	4,33	156	62	1,44
	175	87,5	2233	255	5,05	182	73	1,44
	200	100,0	3333	333	5,77	208	83	1,44
	225	112,5	4746	422	6,50	234	94	1,44
	250	125,0	6510	521	7,22	260	104	1,44



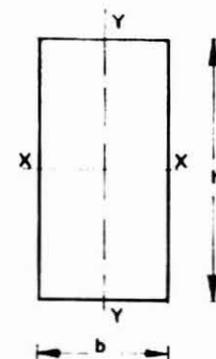
Continúa .....

TABLA Nº 32.

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
63	63	39,7	131	42	1,82	131	42	1,82
	75	47,2	222	59	2,16	156	50	1,82
	100	63,0	525	105	2,89	208	66	1,82
	125	78,8	1025	164	3,61	260	83	1,82
	150	94,5	1772	236	4,33	312	99	1,82
	175	110,2	2814	322	5,05	365	116	1,82
	200	126,0	4200	420	5,77	417	132	1,82
	225	141,8	5980	532	6,50	469	149	1,82
250	157,5	8203	656	7,22	521	165	1,82	
75	75	56,2	264	70	2,16	264	70	2,16
	100	75,0	625	125	2,89	352	94	2,16
	125	93,8	1221	195	3,61	440	117	2,16
	150	112,5	2109	281	4,33	527	141	2,16
	175	131,2	3350	383	5,05	615	164	2,16
	200	150,0	5000	500	5,77	703	188	2,16
	225	168,8	7119	633	6,50	791	211	2,16
	250	187,5	9766	781	7,22	879	234	2,16
	275	206,2	12998	945	7,94	967	258	2,16
	300	225,0	16875	1125	8,66	1055	281	2,16

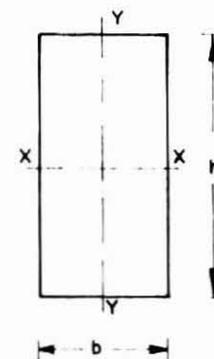


**TABLA N° 32.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA ASERRADA (H = 20%).

(Continuación)

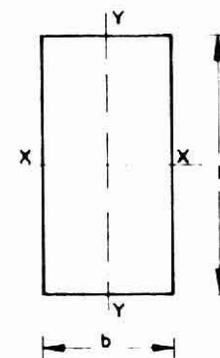
DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
100	100	100,0	833	167	2,89	833	167	2,89
	125	125,0	1628	260	3,61	1042	208	2,89
	150	150,0	2812	375	4,33	1250	250	2,89
	175	175,0	4466	510	5,05	1458	292	2,89
	200	200,0	6667	667	5,77	1667	333	2,89
	225	225,0	9492	844	6,50	1875	375	2,89
	250	250,0	13021	1042	7,22	2083	417	2,89
	275	275,0	17331	1260	7,94	2292	458	2,89
300	300,0	22500	1500	8,66	2500	500	2,89	



**TABLA Nº 33.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%).

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
9	45	4,1	6,8	3,0	1,30	0,3	0,6	0,26
	58	5,2	14,6	5,0	1,67	0,4	0,8	0,26
	70	6,3	25,7	7,4	2,02	0,4	0,9	0,26
16	45	7,2	12	5	1,30	2	2	0,46
	58	9,3	26	9	1,67	2	2	0,46
	70	11,2	46	13	2,02	2	3	0,46
	95	15,2	114	24	2,74	3	4	0,46
22	45	9,9	17	7	1,30	4	4	0,64
	58	12,8	36	12	1,67	5	5	0,64
	70	15,4	63	18	2,02	6	6	0,64
	95	20,9	157	33	2,74	8	8	0,64
	120	26,4	317	53	3,46	11	10	0,64
	145	31,9	559	77	4,18	13	12	0,64
	170	37,4	901	106	4,91	15	14	0,64
195	42,9	1359	139	5,63	17	16	0,64	



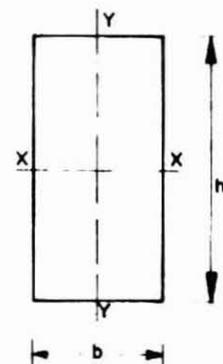
Continúa .....

**TABLA Nº 33.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
28	45	12,6	21	9	1,30	8	6	0,81
	58	16,2	46	16	1,67	11	8	0,81
	70	19,6	80	23	2,02	13	9	0,81
	95	26,6	200	42	2,74	17	12	0,81
	120	33,6	403	67	3,46	22	16	0,81
	145	40,6	711	98	4,19	26	19	0,81
	170	47,6	1146	135	4,91	31	22	0,81
195	54,6	1730	177	5,63	36	25	0,81	
34	45	15,3	26	11	1,30	15	9	0,98
	58	19,7	55	19	1,67	19	11	0,98
	70	23,8	97	28	2,02	23	14	0,98
	95	32,3	243	51	2,74	31	18	0,98
	120	40,8	490	82	3,46	39	23	0,98
	145	49,3	864	119	4,19	48	28	0,98
	170	57,8	1392	164	4,91	56	33	0,98
195	66,3	2101	216	5,63	64	38	0,98	



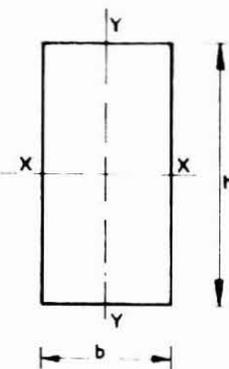
Continúa .....

**TABLA Nº 33.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
41	45	18,4	31	14	1,30	26	13	1,18
	58	23,8	67	23	1,67	33	16	1,18
	70	28,7	117	34	2,02	40	20	1,18
	95	39,0	293	62	2,74	54	27	1,18
	120	49,2	590	98	3,46	69	34	1,18
	145	59,4	1042	144	4,18	83	41	1,18
	170	69,7	1679	198	4,91	98	48	1,18
195	80,0	2533	260	5,63	112	55	1,18	
45	45	20,2	34	15	1,30	34	15	1,30
	58	26,1	73	25	1,67	44	20	1,30
	70	31,5	129	37	2,02	53	24	1,30
	95	42,8	322	68	2,74	72	32	1,30
	120	54,0	648	108	3,46	91	40	1,30
	145	65,2	1143	158	4,18	110	49	1,30
	170	76,5	1842	217	4,91	129	57	1,30
	195	87,8	2781	285	5,63	148	66	1,30
	220	99,0	3993	363	6,35	167	74	1,30
	245	110,2	5515	450	7,07	186	83	1,30



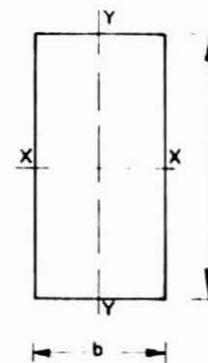
Continúa .....

**TABLA N° 33.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
58	58	33,6	94	32	1,67	94	32	1,67
	70	40,6	166	47	2,02	114	39	1,67
	95	55,1	414	87	2,74	154	53	1,67
	120	69,6	835	139	3,46	195	67	1,67
	145	84,1	1474	203	4,19	236	81	1,67
	170	98,6	2375	279	4,91	276	95	1,67
	195	113,1	3584	368	5,63	317	109	1,67
	220	127,6	5146	468	6,35	358	123	1,67
245	142,1	7108	580	7,07	398	137	1,67	
70	70	49,0	200	57	2,02	200	57	2,02
	95	66,5	500	105	2,74	272	78	2,02
	120	84,0	1008	168	3,46	343	98	2,02
	145	101,5	1778	245	4,18	414	118	2,02
	170	119,0	2866	337	4,91	486	139	2,02
	195	136,5	4325	444	5,63	557	159	2,02
	220	154,0	6211	565	6,35	629	180	2,02
	245	171,5	8579	700	7,07	700	200	2,02
	270	189,0	11482	850	7,79	772	220	2,02
	295	206,5	14976	1015	8,52	843	241	2,02



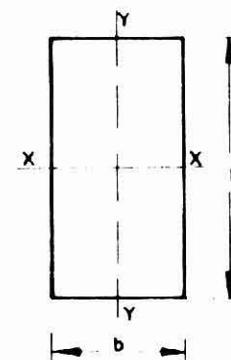
Continúa .....

**TABLA N° 33.**

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES DE MADERA CEPILLADA (H = 20%).

(Continuación)

DIMENSION			PROPIEDADES GEOMETRICAS					
ESPESOR b (mm)	ANCHO h (mm)	SECCION TRANSVERSAL A (cm <sup>2</sup> )	EJES x - x			EJES y - y		
			MOMENTO INERCIA I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>x</sub> (cm)	MOMENTO INERCIA I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	MODULO FLEXION W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	RADIO GIRO i <sub>y</sub> (cm)
95	95	90,2	679	143	2,74	679	143	2,74
	120	114,0	1368	228	3,46	857	180	2,74
	145	137,8	2414	333	4,19	1036	218	2,74
	170	161,5	3890	458	4,91	1215	256	2,74
	195	185,2	5870	602	5,63	1393	293	2,74
	220	209,0	8430	766	6,35	1572	331	2,74
	245	232,8	11642	950	7,07	1750	368	2,74
	270	256,5	15582	1154	7,79	1929	406	2,74
	295	280,2	20324	1378	8,52	2108	444	2,74



**TABLA N° 34.**

EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES  
CON HUMEDADES COMPRENDIDAS ENTRE 12 - 20%.

PROPIEDAD	FORMULA	PARA	EXPRESION PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD H
Espesor - Ancho - Radio de Giro	D	. Dimensión Tangencial	$D_H = C_T \times D_{20}$
		. Dimensión Radial	$D_H = C_R \times D_{20}$
Superficie (A) de la Sección Transversal	$A = b \times h$	b → Tang. o Radial h → Tang. o Radial	$A_H = C_T \times C_R \times A_{20}$
Módulo de Flexión (W)	$W = \frac{b h^2}{6}$	b → Dim. Tangencial h → Dim. Radial	$W_H = C_T \times C_R^2 \times W_{20}$
		h → Dim. Tangencial b → Dim. Radial	$W_H = C_T^2 \times C_R \times W_{20}$
Momento de Inercia (I)	$I = \frac{b h^3}{12}$	b → Dim. Tangencial h → Dim. Radial	$I_H = C_T \times C_R^3 \times I_{20}$
		h → Dim. Tangencial b → Dim. Radial	$I_H = C_T^3 \times C_R \times I_{20}$

H = Contenido de humedad comprendido entre 12 y 20%; 20 = Contenido de humedad de 20%.

b = Espesor de la pieza, h = ancho de la pieza;  $D_{20}$ ,  $A_{20}$ ,  $W_{20}$  e  $I_{20}$  aparecen en Tabla N° 32 y 33 para madera aserrada y ce pillada, respectivamente. Los valores de  $C_T$  y  $C_R$  aparecen en Tabla N° 31.

## **CAPITULO TERCERO**

### 3.0 DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE MADERA ASERRADA

#### 3.1. Consideraciones Generales de Diseño

#### 3.2. Elementos en Flexión

#### 3.3. Elementos en Compresión Paralela a las Fibras

#### 3.4. Elementos en Compresión Normal a la Dirección de la Fibra

#### 3.5. Elementos en Compresión Inclínada respecto a la Fibra de la Madera

#### 3.6. Elementos en Tracción según la Dirección de la Fibra

#### 3.7. Dimensionamiento de Piezas Sometidas a Esfuerzos Combinados



### 3.0 DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE MADERA ASERRADA

#### 3.1. Consideraciones Generales de Diseño

##### 3.1.1. Secciones Transversales Mínimas

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

Los entablados deben tener un espesor mínimo de 16 mm y una sección transversal mínima de 1100 mm<sup>2</sup>.

##### 3.1.2. Debilitamiento de Sección Transversal

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

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

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

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

## 3.2. Elementos en Flexión

### 3.2.1. Generalidades

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

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

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

3.2.1.4. Empalmes. En los puntos de empalme se debe asegurar el traspaso de los esfuerzos internos por medio de cubrejuntas y elementos de unión. Las cubrejuntas deben poseer a lo menos las propiedades estáticas de la pieza flexionada en el punto de empalme. En cordones comprimidos de vigas de alma llena, el momento de inercia requerido debe ser reemplazado por el de las cubrejuntas, pudiendo diseñarse los elementos de unión para la mitad de la fuerza de compresión, siempre que la unión de

tope esté ajustada y materializada en dirección normal al eje del cordón.

3.2.1.5. Si se desarrolla la verificación para neutralizar la carga concentrada correspondiente al peso de un hombre (1kN), se puede incorporar en el cálculo el ancho colaborante (t) de cubiertas de techumbre o de piso, considerando como ancho de aplicación de carga los siguientes valores de t :

i ) en cubiertas de techumbre y pisos constituidos de tablas y tablonés unidos entre sí por machihembrados o semejantes, independientemente del ancho de la pieza individual ..... t = 35 cm;

ii) para tablas o tablonés no interconectados ..... t = 16 cm.

### 3.2.2. Flexión en Vigas Simples

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

a) las tensiones de trabajo no sobrepasen las correspondientes tensiones de diseño en flexión, cizalle y compresión normal.

b) la flecha de cálculo no exceda los límites especificados en la Tabla N° 40.

Lo anterior se puede resumir en las siguientes expresiones:

$$\frac{f_f}{F_{f,dis}} \leq 1; \frac{f_{cz}}{F_{cz,dis}} \leq 1; \frac{f_{cn}}{F_{cn,dis}} \leq 1; \frac{\delta_{c\acute{a}lc}}{\delta_{m\acute{a}x,adm}} \leq 1$$

en donde :

$f_f$  = tensión de trabajo de flexión en la fibra extrema, según 3.2.2.2.a).

$F_{f,dis}$  = tensión de diseño en flexión, según 3.2.2.2.b).

$f_{cz}$  = tensión de trabajo de cizalle longitudinal, según 3.2.2.3.a).

$F_{cz,dis}$  = tensión de diseño de cizalle longitudinal, según 3.2.2.3.b).

$f_{cn}$  = tensión de trabajo de compresión normal a las fibras, según 3.2.2.4.a).

$F_{cn,dis}$  = tensión de diseño de compresión normal a las fibras, según 3.2.2.4.b).

$\delta_{cálcl}$  = flecha de cálculo.

$\delta_{máx,adm}$  = deformación máxima admisible, según Tabla N° 40.

### 3.2.2.2. Verificación de las Tensiones de Flexión en la Fibra Extrema

a) La tensión de trabajo de flexión en la fibra extrema de una viga simple de madera se debe determinar de acuerdo con la expresión:

$$f_f = \frac{M_{máx}}{W_n}$$

en que :  $M_{máx}$  = momento de flexión, y

$W_n$  = módulo de flexión de la sección transversal neta, determinado con respecto al eje neutro.

b) La tensión de diseño en flexión se determina:

i) en piezas flexionadas donde no existe efectos de inestabilidad lateral o en la zona flexo-traccionada de vigas afectas a inestabilidad lateral, según la expresión:

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



en que :

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

$F_f$  = tensión admisible en flexión, determinada según 2.4.4.

$K_H$  = factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 2.4.5.1.i).

$K_D$  = factor de modificación por duración de carga, determinado según 2.4.5.1.ii).

$K_T$  = factor de modificación por temperatura, calculado según 2.4.5.1.iii).

$K_C$  = factor de modificación por trabajo conjunto, determinado según 2.4.5.1.iv).

$K_Q$  = factor de modificación por tratamiento químico, determinado según 2.4.5.1.v).

$K_{hf}$  = factor de modificación por altura, determinado según 3.2.2.2.c. i).

ii) en piezas flexionadas donde existe efecto de inestabilidad lateral, según la expresión:

$$F_{fv,dis} = F_{fc,dis} \times K_v$$

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

$K_v$  = factor de modificación por volcamiento, determinado según, 3.2.2.2.c. ii).

$F_{fc,dis}$  = tensión de diseño en flexión no modificada por  $K_{hf}$  (ver 3.2.2.2.b).

c) Factores de modificación de aplicación particular:

Los factores de modificación de aplicación particular que afectan a la tensión admisible de flexión son el factor de modificación por altura ( $K_{hf}$ ) y el factor de modificación por volcamiento ( $K_v$ ).

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

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

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

en que :  $h$  = altura de la viga, en mm.

ii) Factor de modificación por volcamiento ( $K_v$ )

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

Para elementos estructurales solicitados en flexión que se apoyan lateralmente de acuerdo a las especificaciones de Tabla N° 35, se acepta un factor de modificación por volcamiento igual a la unidad ( $K_v = 1,0$ ).

**TABLA N° 35.** GRADO DE SUJECION LATERAL PARA DIFERENTES RAZONES MAXIMAS h/b DE UNA VIGA SIMPLE DE MADERA ASERRADA.

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

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

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

Para los elementos estructurales solicitados en flexión, que no cuentan con los apoyos laterales señalados en Tabla N° 35 y cuya razón formada por la altura ( $h$ ) de la viga y su ancho ( $b$ ) excede el valor 2, se debe calcular el factor de modificación por volcamiento ( $K_V$ ) de acuerdo con el procedimiento señalado a continuación:

- Determinar la esbeltez de volcamiento ( $\lambda_V$ ) según la expresión siguiente:

$$\lambda_V = \sqrt{\frac{h \times \ell_V}{b^2}}$$

en que :

$h$  = altura de la viga, en mm.

$b$  = ancho de la viga, en mm.

$\ell_V$  = longitud efectiva de volcamiento, en mm, evaluada según Tabla N° 36.

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

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

**TABLA N° 36.** VALORES DE LA LONGITUD EFECTIVA,  $l_v$ , DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION.

TIPO DE VIGA	LONGITUD EFECTIVA DE VOLCAMIENTO, $l_v$
Vigas simplemente apoyadas con:	
- Cualquier carga	$1,84 \times l_a^*$ ; Si $\frac{l_a}{h} > 14,3$
	$1,63 \times l_a + 3 \times h$ ; Si $\frac{l_a}{h} \leq 14,3$
- Carga uniformemente distribuida	$1,63 \times l_a + 3 \times h$
- Carga concentrada en el centro	$1,37 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/3	$1,43 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/4	$1,31 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/5	$1,43 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/6	$1,47 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/7	$1,51 \times l_a + 3 \times h$
- Cargas concentradas en L/8	$1,56 \times l_a + 3 \times h$
- Momentos iguales y de distinto signo en los extremos.	$1,84 \times l_a$
Vigas en voladizo con:	
- Cualquier carga	$1,84 \times l_a$ ; Si $\frac{l_a}{h} > 14,3$
	$1,63 \times l_a + 3 \times h$ ; Si $\frac{l_a}{h} \leq 14,3$
- Carga uniformemente distribuida	$0,90 \times l_a + 3 \times h$
- Carga concentrada en extremo libre.	$1,44 \times l_a + 3 \times h$

\*  $l_a$  = distancia entre apoyos laterales.

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

- Verificar que el valor de la esbeltez de volcamiento ( $\lambda_v$ ) no exceda de 50.

$$\lambda_v \leq 50$$

- Con el valor de la esbeltez de volcamiento ( $\lambda_v$ )

determinar el factor de modificación por volcamiento de acuerdo a la Tabla N° 37.

**TABLA N° 37.** FACTOR DE MODIFICACION POR VOLCAMIENTO,  $K_V$ .

SI	VALOR DE $K_V$	EN QUE
$\lambda_V \leq 10$	$K_V = 1,0$	$\lambda_{VO} = 0,775 \sqrt{\frac{E_{f,dis}}{F_{fc,dis}}}$ $\lambda_V = \sqrt{\frac{h \times \ell_V}{b^2}}$
$10 < \lambda_V \leq \lambda_{VO}$	$K_V = 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda_V}{\lambda_{VO}} \right)^4$	
$\lambda_{VO} < \lambda_V \leq 50$	$K_V = \frac{0,4 \times E_{f,dis}}{\lambda_V^2 \times F'_{f,dis}}$	

- $\lambda_{VO}$  = esbeltez característica de volcamiento.
- $\lambda_V$  = esbeltez de volcamiento.
- $E_{f,dis}$  = módulo de elasticidad de diseño, determinado según 2.4.6.
- $F_{fc,dis}$  = tensión de diseño en flexión, calculada según 3.2.2.2.b, excluyendo el factor de modificación por altura ( $K_{hf}$ ).

3.2.2.3. Verificación de las Tensiones de Cizalle

- a) La tensión de trabajo máxima de cizalle longitudinal ( $f_{CZ}$ ) en elementos flexionados de madera aserrada con o sin rebajes, se debe calcular mediante la fórmula:

$$f_{CZ} = \frac{1,5 Q}{b h}$$

en que :

Q = esfuerzo de corte máximo.



b = dimensión nominal de la sección transversal, normal a la dirección de la carga aplicada.

h = dimensión nominal de la sección transversal, paralela a la dirección de la carga aplicada.

- b) La tensión de diseño de cizalle longitudinal ( $F_{Cz,dis}$ ) se determina con la expresión:

$$F_{Cz,dis} = F_{Cz} \times K_H \times K_D \times K_T \times K_C \times K_Q \times K_R$$

en que:

$F_{Cz}$  = tensión admisible de cizalle longitudinal, determinada según 2.4.4.

$K_H$  = factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 2.4.5.1.i).

$K_D$  = factor de modificación por duración de la carga, determinado según 2.4.5.1.ii).

$K_T$  = factor de modificación por temperatura, determinado según 2.4.5.1.iii).

$K_C$  = factor de modificación por trabajo conjunto, determinado según 2.4.5.1.iv).

$K_Q$  = factor de modificación por tratamiento químico, determinado según 2.4.5.1.v).

$K_R$  = factor de modificación por rebaje, determinado según 3.2.2.3.c).

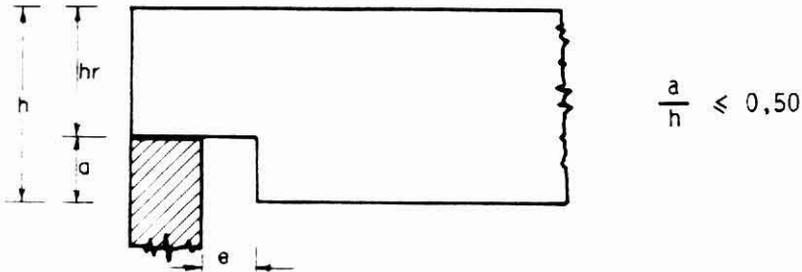
- c) Factor de modificación por rebaje,  $K_R$

El factor de modificación  $K_R$  que se entrega en las Tablas N° 38 y N° 39 se aplica en vigas rectangulares que tienen los extremos rebajados en forma recta o inclinada, en las cuales la razón de entalladura  $a/h$  no excede el valor 0,50 según lo señalado en las Figuras N° 10 y N° 11 para rebajes inferiores o superiores, respectivamente.

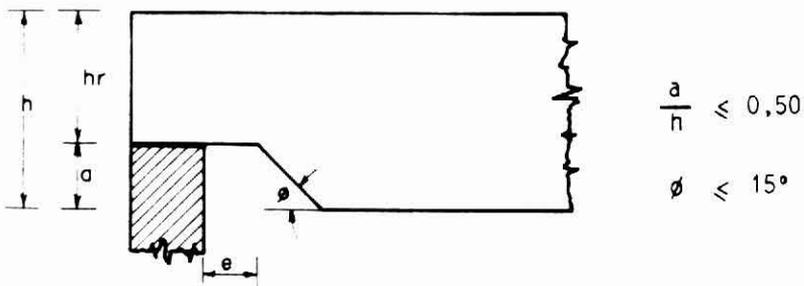


En estos rebajes no se aceptan profundidades (a) superiores a 0,50 h.

a) Rebaje recto



b) Rebaje inclinado

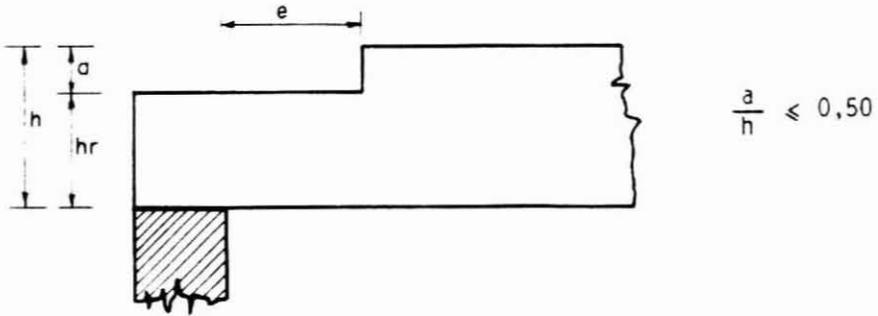


**FIGURA N° 10.** Vigas con rebaje inferior.

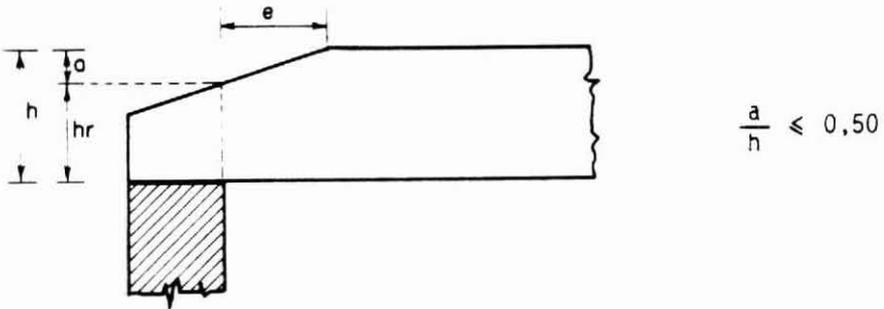
**TABLA N° 38.** FACTOR DE MODIFICACION POR REBAJE INFERIOR,  $K_r$ .

TIPO DE REBAJE INFERIOR	VALOR DE $K_r$	CONDICION
Rebaje recto (Ver Figura N° 10 a)	$K_r = \left(\frac{h_r}{h}\right)^2$	Siempre que:  $a \leq 0,50 h$
Rebaje inclinado (Ver Figura N° 10 b)	$K_r = \frac{h_r}{h}$	

a) Rebaje recto



b) Rebaje inclinado



**FIGURA N° 11.** Vigas con rebaje superior.

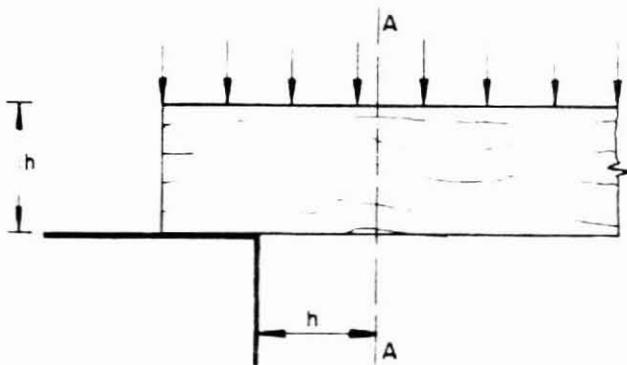
**TABLA N° 39.** FACTOR DE MODIFICACION POR REBAJE SUPERIOR,  $K_r$ .

PARA EL CASO EN QUE	VALOR DE $K_r$	CONDICION
$e \leq h_r$ (Ver Figura N° 11)	$K_r = 1 - \frac{a}{h} \times \frac{e}{h_r}$	$a \leq 0,50 h$
$e > h_r$ (Ver Figura N° 11)	$K_r = \frac{h_r}{h}$	



d) Determinación del esfuerzo de corte, Q

En vigas soportadas por medio de un apoyo completo sobre un canto y con cargas aplicadas sobre el canto opuesto, se pueden despreciar todas las cargas ubicadas a una distancia no superior a la altura (h) de la pieza flexionada. Ver Figura N° 12.



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

**FIGURA N° 12.** Determinación del esfuerzo de corte, Q.

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

3.2.2.4. Verificación de las Tensiones de Compresión Normal

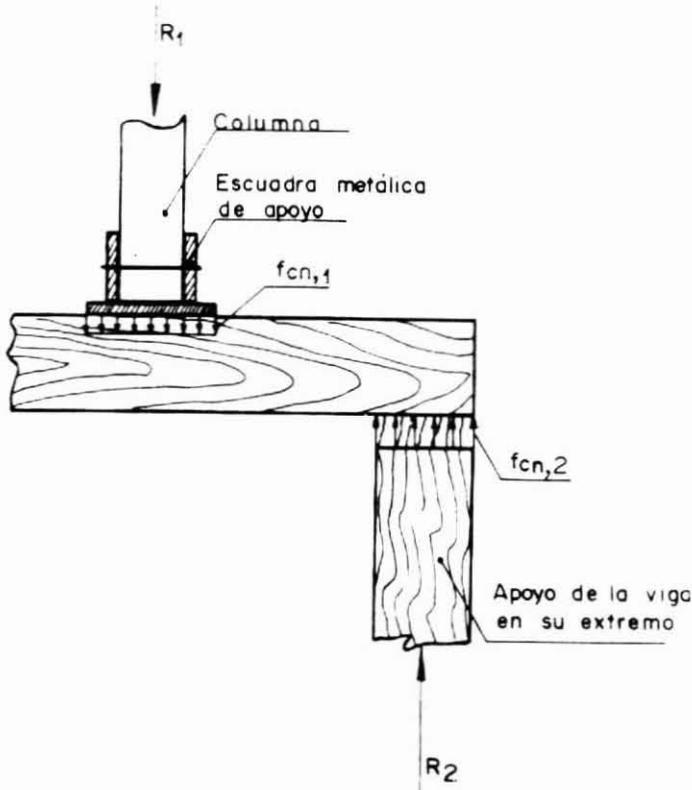
Las tensiones de compresión normal a las fibras (aplastamiento) en una viga de madera pueden ocurrir en los apoyos de la viga o en puntos donde descargan otros



elementos estructurales sobre la vida. Ver Figura N° 13.

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

$$f_{cn} = \frac{R_i}{A_{ap}}$$



**FIGURA N° 13.** Compresión normal a las fibras en vigas.

Cuando las tensiones de aplastamiento tienen una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la fibra de la pieza (ver Figura N° 14), la tensión de trabajo por aplastamiento debe cumplir:

$$\frac{f_{c,\theta}}{F_{c,\theta,dis}} < 1$$

Con :

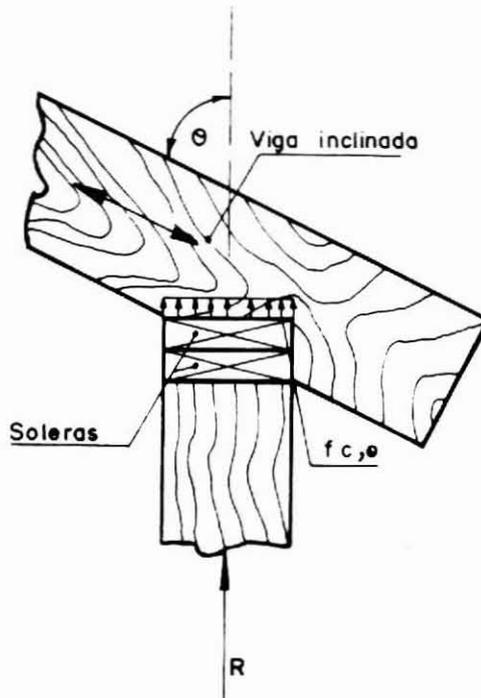
$$f_{c,\theta} = \frac{R}{A_{ap,\theta}}$$

$F_{c,\theta,dis}$  = tensión de diseño por compresión en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la fibra de la madera, calculada según 3.5.1.b).

$f_{c,\theta}$  = tensión de trabajo por aplastamiento en una dirección que forma ángulo  $\theta$  con las fibras de la pieza, calculada según 3.5.1.a).

$R$  = reacción o carga aplicada.

$A_{ap,\theta}$  = área de aplastamiento.



**FIGURA Nº 14.** Aplastamiento en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la fibra.

- b) La tensión de diseño de compresión normal ( $F_{cn,dis}$ ) y de compresión inclinada respecto a la fibra ( $F_{c,\theta,dis}$ ) se calculan de acuerdo a los procedimientos señalados en 3.4.1.b) y 3.5.1.b), respectivamente.

3.2.2.5. Verificación de la Deformación

- a) La flecha de una viga se calcula considerando su luz efectiva, condiciones de apoyo, tipo y magnitud de las cargas aplicadas, usando el análisis estructural.
- b) La deformación máxima admisible de un elemento sometido a flexión se debe fijar, en general de acuerdo al tipo de estructura, teniendo en cuenta la posibilidad de daño de los materiales de recubrimiento (tabiques, cielos, terminaciones, etc.) y las exigencias estéticas y funcionales. En ausencia de requisitos especiales para la deformación máxima admisible, se deben aportar los valores indicados en la Tabla N° 40.

**TABLA N° 40.** DEFORMACIONES MAXIMAS ADMISIBLES EN VIGAS DE MADERA.

TIPOS DE VIGAS	DEFORMACIONES MAXIMAS ADMISIBLES	
	SOBRECARGA	PESO PROPIO + SOBRECARGA
1. VIGAS DE TECHO		
1.1 Construcciones industriales		L/200
1.2 Oficinas o construcciones habitacionales.		
1.2.1 Con cielos enyesados o similares.	L/360	L/200
1.2.2 Sin cielos enyesados o similares.		L/200
2. VIGAS DE PISO		
2.1 Construcciones en general	L/360	L/300
2.2 Puentes carreteros.	L/360	

L = luz efectiva de la viga.

c) Deformaciones de flujo plástico en el tiempo (creep)

En piezas solicitadas en flexión y cuando las solicitaciones de naturaleza permanentes "g" excedan el 50% de la solicitación total "q", la verificación de flecha debe incorporar la componente por deformación por "creep", la que se puede suponer proporcional a la deformación elástica.

La expresión de la deformación total de una pieza flexionada,  $\delta_{tot}$ , se calcula de acuerdo con la expresión:

$$\delta_{tot} = \delta_e \times (1 + \rho)$$

en que :

$\delta_e$  = deformación elástica instantánea determinada por la totalidad de las cargas que solicitan la pieza.

$\rho$  = factor de creep.

El factor de creep,  $\rho$ , se puede calcular según la igualdad:

$$\rho = \frac{1}{K_\delta} - 1$$

Para madera con un contenido de humedad inferior a 20% se debe considerar:

$$K_\delta = \frac{3}{2} - \frac{g}{q}$$

Si el contenido de humedad es mayor o igual que 20%:

$$K_\delta = \frac{5}{3} - \frac{4}{3} \times \frac{g}{q}$$

- d) En vigas simplemente apoyadas cuya relación  $L/h$  resulte menor que 20 ( $L/h < 20$ ) es recomendable incorporar, en la verificación de la flecha, la componente de deformación por corte ( $\delta_Q$ ) que en forma aproximada se puede estimar con la siguiente expresión:

$$\delta_Q = \frac{1,2 M}{G A}$$

en que :

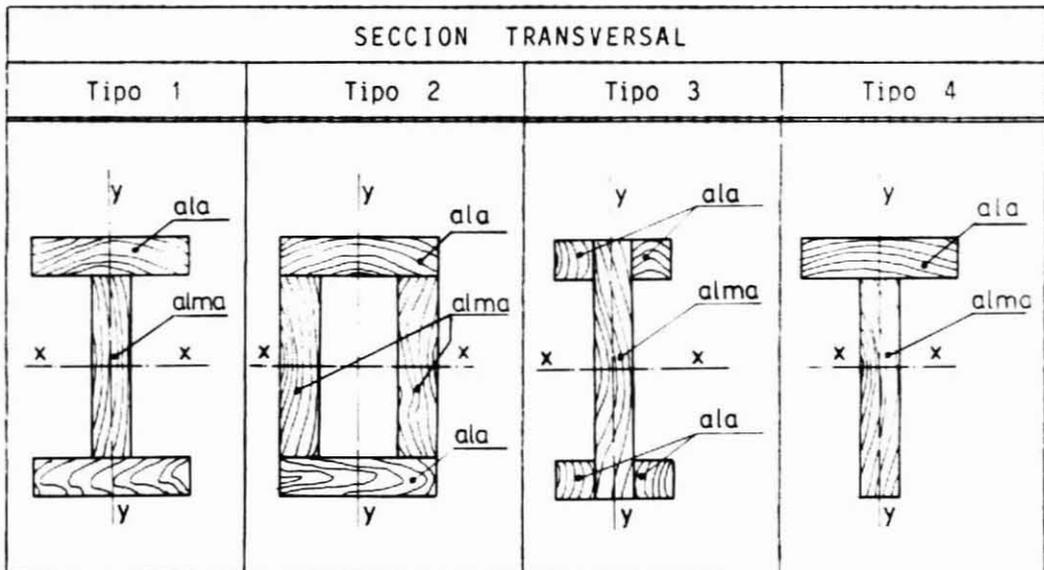
M = momento flector máximo

G = módulo de corte

A = sección transversal de la viga.

### 3.2.3. Flexión Uniaxial en Vigas Compuestas

- 3.2.3.1. Los tipos de secciones transversales de vigas compuestas que se analizarán en este capítulo, son los incluidos en la Figura Nº 15.



**FIGURA Nº 15.**

Tipos de secciones transversales de vigas compuestas.

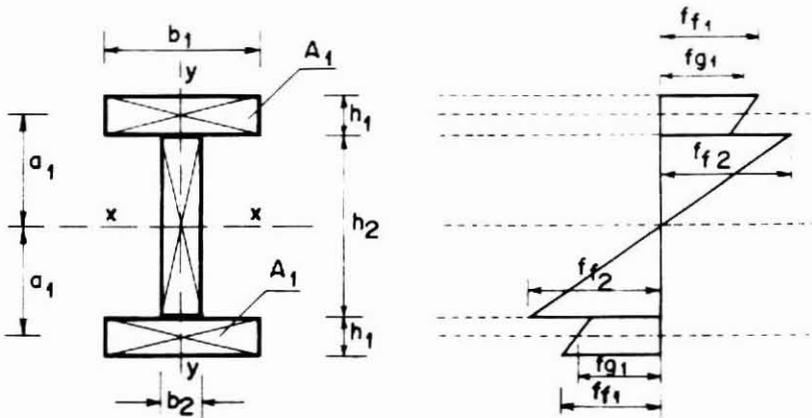
Las vigas compuestas deben ser, con excepción del Tipo 4 señalado en Figura N° 15, simétricas con respecto al eje de flexión (x - x) y estar conectadas con elementos de unión flexibles tales como clavos, pernos, conectores, etc.

En este Manual se tratarán sólo las vigas compuestas con elementos de una misma madera, unidas con clavos.

Cuando una ala se conforme con dos piezas de madera aserrada (Tipo 3) o un alma se constituya con dos elementos de madera aserrada (Tipo 2), ambos elementos serán considerados como el ala o el alma, respectivamente.

3.2.3.2. La identificación de las diferentes magnitudes geométricas que configuran la sección transversal compuesta, el desarrollo supuesto para las tensiones de trabajo en flexión, sus magnitudes y la expresión que permite evaluarlas son las siguientes:

a) TIPO 1



$$f_{f_i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[ \gamma \times a_i \frac{A_i}{A_{1d}} + \frac{h_i \times I_i}{2 \times I_{1d}} \right]$$

$$f_{f_2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{h_2 \times I_2}{2 \times I_{2D}}$$

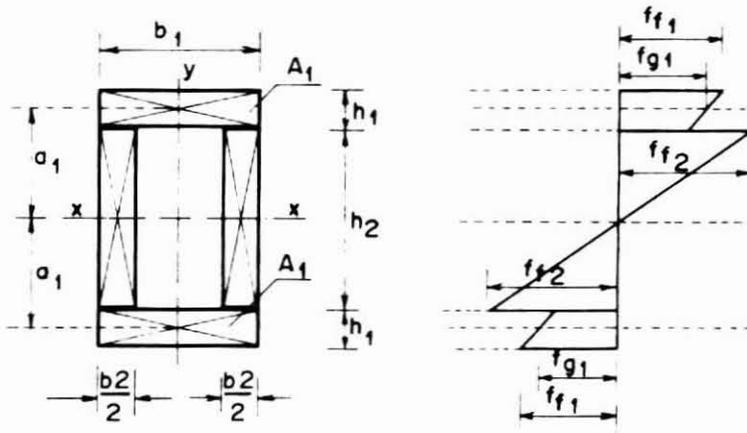
$$f_{g_1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{\gamma \times a_1 \times A_1}{A_{1D}}$$

en que :

- M = momento flector.
- $f_{f_1}$  = tensión de trabajo de flexión, en la fibra extr<sup>u</sup>ma del ala.
- $f_{f_2}$  = tensión de trabajo de flexión, en la fibra extr<sup>u</sup>ma del alma.
- $f_{g_1}$  = tensión de trabajo de tracción, determinada en el centro de gravedad del ala traccionada.
- $I_2, I_{2D}$  = momentos de inercia de los componentes del alma (brutos y debilitados, respectivamente) con respecto al eje x-x.
- $I_1, I_{1D}$  = momentos de inercia de los componentes del ala (brutos y debilitados, respectivamente) refe<sup>r</sup>idos a su eje principal paralelo al eje de flexión.
- $I_{ef}$  = momento de inercia eficaz de la sección transversal bruta, calculado según 3.2.3.3.
- $A_1, A_{1D}$  = superficie de las secciones transversales (brutas y debilitadas, respectivamente) de las alas.
- $\gamma$  = coeficiente de reducción en el cálculo de  $I_{ef}$  (ver 3.2.3.3.).
- $a_1$  = distancia entre los ejes de gravedad principales de las secciones transversales no debilitadas y el eje neutro de flexión.
- $h_1$  = altura del ala.

NOTA : Los momentos de inercia de los componentes de sección transversal debilitados pueden refe<sup>r</sup>irse a los ejes principales de la sección transversal bruta. En vigas clavadas, el cuociente entre las propiedades estáticas de la sección bruta y la sección debilitada pueden considerarse igual a la unidad, siempre que el clavado se realice con perforación gufa.

b) TIPO 2



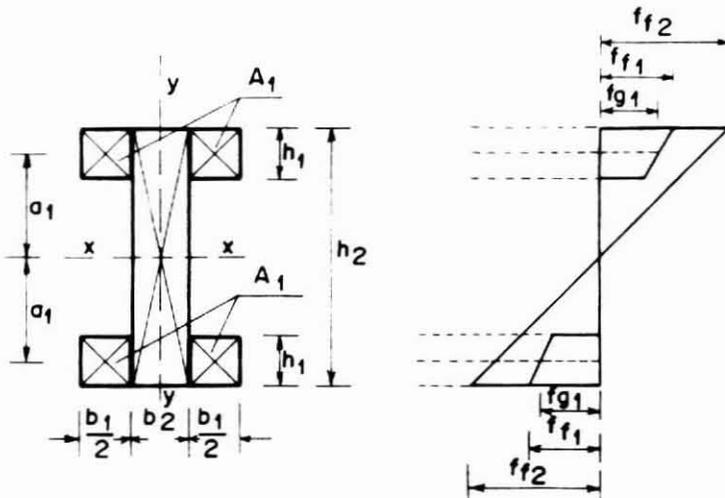
$$f_{f1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[ \gamma \times a_1 \times \frac{A_1}{A_{1d}} + \frac{h_1 \times I_1}{2 \times I_{1d}} \right]$$

$$f_{f2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{h_2 \times I_2}{2 \times I_{2d}}$$

$$f_{g1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{\gamma \times A_1 \times a_1}{A_{1d}}$$

Los términos definidos tienen el significado que se incluye en el Tipo 1.

c) TIPO 3



$$f_{f_1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[ \gamma \times a_1 \times \frac{A_1}{A_{1d}} + \frac{h_1 \times I_1}{2 \times I_{1d}} \right]$$

$$f_{f_2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{h_2 \times I_2}{2 \times I_{2d}}$$

$$f_{g_1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{\gamma \times A_1 \times a_1}{A_{1d}}$$

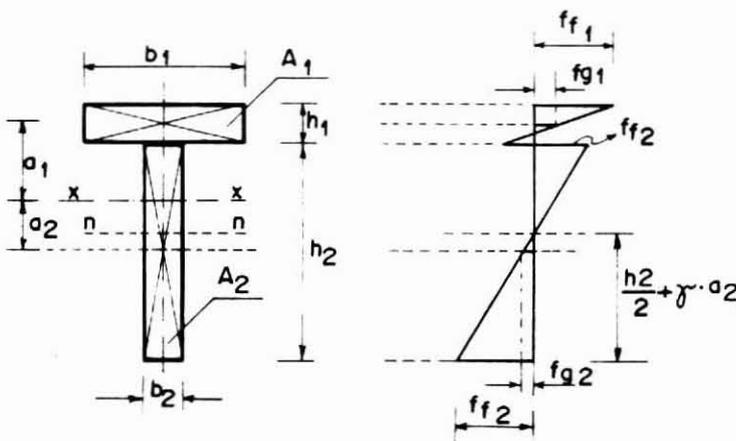
Los términos definidos tienen el significado que se incluye en el Tipo 1.

d) TIPO 4

En este tipo de sección transversal se tiene que:

$$h_3 = 0 \quad b_3 = 0 \quad I_3 = 0 \quad A_3 = 0$$

por lo que las expresiones para determinar las tensiones de trabajo son las siguientes:



Si: n - n = eje neutro de la sección transversal:

$$f_{f_1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[ \frac{\gamma \times a_1 \times A_1}{A_{1d}} + \frac{h_1 \times I_1}{2 \times I_{1d}} \right]$$

$$f_{g_1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{\gamma \times a_1 \times A_1}{A_{1D}}$$

$$f_{g_2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \times \frac{\gamma \times a_2 \times A_2}{A_{2D}}$$

$$f_{f_2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left[ \frac{\gamma \times a_2 \times A_2}{A_{2D}} + \frac{h_2 \times I_2}{2 \times I_{2D}} \right]$$

en donde :

$f_{f_1}$ ,  $M$ ,  $I_{ef}$ ,  $\gamma$ ,  $a_1$ ,  $A_1$ ,  $A_{1D}$ ,  $h_1$ ,  $I_1$ ,  $I_{1D}$  tienen el significado dado en el Tipo 1.

$f_{f_2}$  = tensión de trabajo en flexión en la fibra extrema del elemento  $A_2$ .

$f_{g_1}$  = tensión de trabajo en compresión, determinada en el centro de gravedad del elemento  $A_1$ , trabajando en compresión.

$f_{g_2}$  = tensión de trabajo en tracción, determinada en el centro de gravedad del elemento  $A_2$ , trabajando en tracción.

$a_2$  = distancia del centroide del elemento  $A_2$ , al eje de flexión.

$A_2, A_{2D}$  = superficie de la sección transversal (bruta y debilitada, respectivamente) del componente  $A_2$ .

$h_2$  = altura del componente  $A_2$ .

$I_2, I_{2D}$  = momentos de inercia de la sección transversal del elemento  $A_2$  (bruta y debilitada, respectivamente), respecto a su eje principal paralelo al eje de flexión.

### 3.2.3.3. Cálculo del Momento de Inercia Eficaz ( $I_{ef}$ )

El momento de inercia eficaz,  $I_{ef}$ , de la sección transversal bruta para los tipos de secciones transversales incluidos en Figura N° 15 se determina mediante la expresión:

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^n (I_i) + \gamma \sum_{i=1}^n (A_i \times a_i^2)$$

Con :  $\gamma = \frac{1}{1+k}$

en que :  $k = \frac{\pi^2 \times E_f \times A_1 \times s^1}{L^2 \times C}$  (Para Tipos 1, 2 y 3 de Figura N° 15)

y :  $k = \frac{\pi^2 \times E_f \times A_1 \times A_2 \times s^1}{L^2 (A_1 + A_2) C}$  (Para Tipo 4 de Figura N° 15)

en donde :

$I_i$  = momento de inercia de los componentes individuales de la sección transversal, respecto a su eje principal, paralelo a eje de flexión.

$A_i$  = sección transversal de los componentes individuales de la sección transversal compuesta.

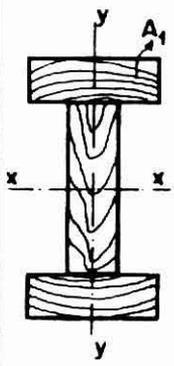
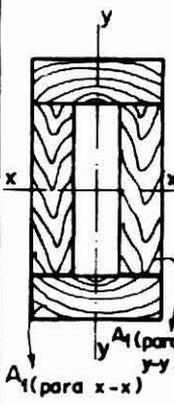
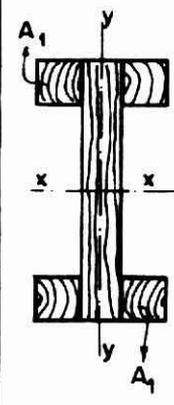
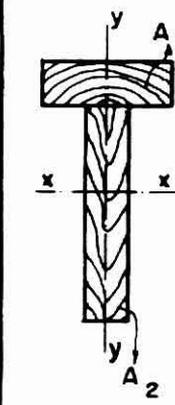
$E_f$  = módulo de elasticidad admisible de los componentes individuales de la sección transversal compuesta, según 2.4.4.

$s^1$  = espaciamiento medio de los elementos de unión, suponiendo una disposición en una misma hilera, según Figura N° 76.

$L$  = distancia entre apoyos (luz).

$C$  = módulo de corrimiento de los elementos de unión, determinado según la Tabla N° 41.

**TABLA N° 41.** VALORES DE DISEÑO PARA EL MODULO DE CORRIMIENTO, C, EN N/mm.

EJE REGULADOR DE LA FLEXION O EL PANDEO RESPECTIVAMENTE	ELEMENTO DE UNION		SECCION TRANSVERSAL			
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
						
x - x	Clavos a Cizalle	Simple	600	600	900	600
		Doble	700 por plano de contacto	700 por plano de contacto	900 por plano de contacto	-
y - y		Simple	-	900	600	-
		Doble	-	900 por plano de contacto	700 por plano de contacto	-
x - x e y - y	Conectores, pernos embutidos y barras de acero.		0,7 P <sub>dis</sub>			-

**NOTA :** P<sub>dis</sub> = Capacidad de carga de diseño determinada para una sección transversal sometida a cizalle.

En el cálculo de k no se deben considerar reducciones por concepto de humedad sobre el módulo de elasticidad (E<sub>f</sub>) y el módulo de corrimiento (C).

En vigas continuas y cuando se desee prescindir de un cálculo exacto, el valor de k, que se obtiene con la ex

presión entregada en el párrafo 3.2.3.3., se puede de terminar considerando una luz efectiva equivalente a  $\frac{4}{5}$  de la luz real.

En la verificación de tensiones sobre apoyos intermedios de vigas continuas se debe considerar la menor de las luces concurrentes.

En vigas en voladizo se debe calcular con una luz  $L = 2a$ , siendo "a" la longitud del voladizo.

#### 3.2.3.4. Verificación de Tensiones

En las vigas compuestas analizadas se debe verificar:

$$a) \quad \frac{f_{f_1}}{F_{f,dis}} \leq 1 \quad ; \quad \frac{f_{f_2}}{F_{f,dis}} \leq 1$$

en donde :

$f_{f_1}$  y  $f_{f_2}$  = tensiones de trabajo (de borde) en flexión.

$F_{f,dis}$  = tensión de diseño en flexión, calculada según 3.2.2.2.b).

$$b) \quad \frac{f_{g_1}}{F_{tp,dis}} \leq 1 \quad ; \quad \frac{f_{g_2}}{F_{tp,dis}} \leq 1 \quad \text{y/o}$$

$$c) \quad \frac{f_{g_1}}{F_{cp,dis}} \leq 1 \quad ; \quad \frac{f_{g_2}}{F_{cp,dis}} \leq 1$$

en donde :

$f_{g_1}$  y  $f_{g_2}$  = tensiones de trabajo centroidales de los elementos  $A_1$  y  $A_2$ , respectivamente.

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción, calculada según 3.6.1.b).



$F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión, calculada según 3.3.2.1.b).

$$d) \frac{f_{cz,m\acute{a}x}}{F_{cz,dis}} \leq 1$$

en donde :

$f_{cz,m\acute{a}x}$  = tensión de trabajo en cizalle, en el plano de la fibra neutra del alma calculada según 3.2.3.5.

$F_{cz,dis}$  = tensión de diseño en cizalle, calculada según 3.2.2.3.b).

3.2.3.5. La Tensión de Trabajo de Cizalle en el plano de la fibra neutra del alma,  $f_{cz,m\acute{a}x}$ , se obtiene con las siguientes expresiones:

a) Para secciones transversales del Tipo 1, 2 y 3 de la Figura N<sup>o</sup> 15, con eje de flexión x - x, y

b) Para las secciones transversales Tipo 2 y 3 de Figura N<sup>o</sup> 15 con eje de flexión y - y, se debe usar:

$$f_{cz,m\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{b_2 \times I_{ef}} (\gamma S_1 + S_2)$$

c) Para las secciones transversales compuestas por dos elementos (Tipo 4 de Figura N<sup>o</sup> 15), con eje de flexión x - x, usar:

$$f_{cz,m\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{b_2 \times I_{ef}} \times S_2$$

en que :  $b_2 < b_1$

En estas expresiones se tiene que:

i )  $S_1 = A_1 \times a_1$



$$ii) S_2 = \frac{b_2 \times h_2^3}{8}$$

y es el momento estático de la mitad superior o inferior del alma, referido al eje x-x que pasa por el centro de gravedad de la sección transversal componente.

$$iii) S_2 = \frac{b_2}{2} \left( \frac{h_2}{2} + \gamma \times a_2 \right)^2$$

y es el momento estático del sector inferior al eje neutro de la componente de la sección transversal de superficie  $A_2$  (ver 3.2.3.2 d) referido al eje neutro.

3.2.3.6. La unión de las piezas que conforman una viga compuesta se debe diseñar considerando el flujo de cizalle máximo,  $t_{cz,ef,m\acute{a}x}$ , que se genera sobre una junta de contacto entre los componentes de la sección transversal. Este se calcula con el momento de inercia eficaz ( $I_{ef}$ ) y la fuerza de corte máximo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) usando la expresión:

$$t_{cz,ef,m\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}x} \times \gamma \times S_1}{I_{ef}}$$

en que :

$S_1 = A_i \times a_i =$  momento estático de cada ala, referido al eje que pasa por el centro de gravedad de la sección transversal compuesta.

El espaciamiento requerido,  $e_{req}$ , entre los elementos de unión queda dado por:

$$e_{req.} = \frac{n \times P_{dis}}{t_{cz,ef,m\acute{a}x}}$$



en que :

n = número de hileras en que se disponen los elementos de unión.

$P_{dis}$  = capacidad admisible de carga de cada elemento de unión, determinado según capítulo 6.

Los elementos de unión se deben distribuir en forma uniforme en toda la longitud de la viga, independientemente del desarrollo del esfuerzo de corte a lo largo de ella.

3.2.3.7. En la Verificación de la Deformación Máxima, de acuerdo a lo señalado en 3.2.2.5. se debe considerar el momento de inercia eficaz ( $I_{ef}$ ). Además, se debe considerar el mayor módulo de corrimiento C que resulte entre:

- i ) 1,25 veces los valores de la Tabla N° 41; y
- ii ) los valores de la Tabla N° 94.

En vigas compuestas con las secciones transversales señaladas en Figura N° 15, se debe evaluar la componente de flecha por corte, considerando sólo el aporte resistente del alma.

En vigas simplemente apoyadas, la componente de la flecha máxima por corte ( $\delta_{Q,máx}$ ) se puede estimar, en forma aproximada, con la expresión:

$$\delta_{Q,máx} = \frac{M_{máx}}{G \times A_2}$$

en que :

$M_{máx}$  = momento flector máximo.

G = módulo de corte.

$A_2$  = sección transversal del alma.

3.2.3.8. La estabilidad lateral de una viga compuesta se debe controlar considerando el ala comprimida como una columna que tiende a pandearse entre los puntos de apoyo.

Cuando se desee prescindir de una verificación exacta se deben materializar las condiciones de apoyo lateral establecidas en Tabla N° 42, en función de la razón máxima de los momentos de inercia ( $I_x/I_y^*$ ) de la sección transversal total, supuesta homogénea.

**TABLA N° 42.** VOLCAMIENTO. RAZONES MAXIMAS  $I_x/I_y^*$  DE UNA VIGA COMPUESTA.

SI RAZON MAXIMA $I_x/I_y^*$ ES	GRADO DE SUJECION LATERAL
Hasta 5	1) Sin apoyos laterales.
5 a 10	2) Ala inferior fijada lateralmente en los apoyos.
10 a 20	3) Apoyos fijados lateralmente a través de toda la sección transversal en planos normales al eje de la viga.
20 a 30	4) Se fija un canto (superior o inferior), además de las sujeciones señaladas en 3).
30 a 40	5) Sujeción señalada en 4) más arriostramiento en diagonal, colocado en planos verticales (normales al eje de la viga) ubicados a distancias no mayores que 2,4 m.
Más de 40	6) El movimiento lateral del canto superior de la viga impedido por un diafragma rígido ubicado a todo el largo de la viga.

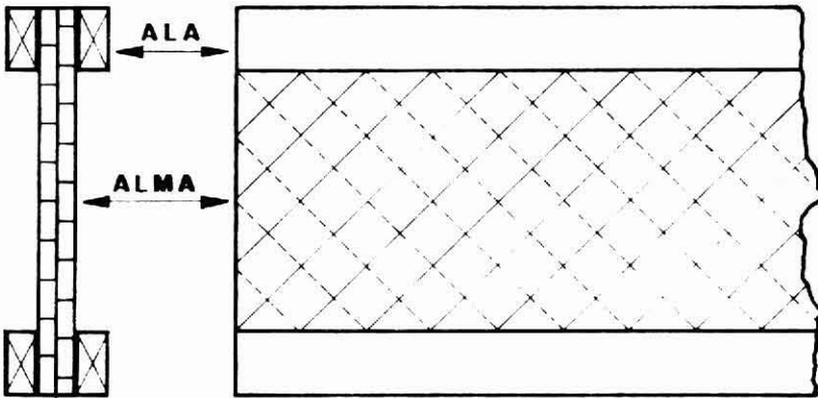
\*  $I_x$  e  $I_y$  son los momentos de inercia correspondientes a la sección transversal supuesta homogénea y referidos a los ejes principales de inercia máximo y mínimo.

### 3.2.4. Flexión en Vigas de Alma Llena Entablada

#### 3.2.4.1. Tipos de Vigas de Alma Llena Entablada

Las vigas de alma llena entabladas tienen el alma constituida por dos entablados diagonales, contrapuestos, clavados a las alas y entre sí (Tipos A y B de Figura N° 16).

TIPO A



TIPO B

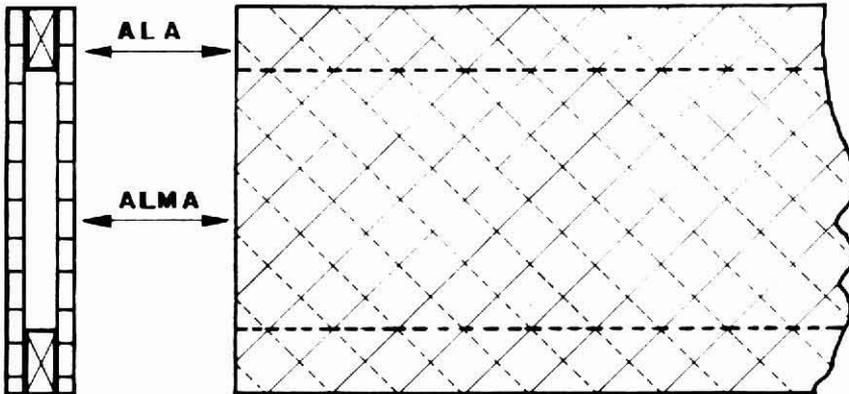


FIGURA N° 16. Tipos de vigas de alma llena entablada.

En este tipo de vigas no se considera el aporte del alma en la determinación del momento de Inercia Eficaz ( $I_{ef}$ ), el cual se puede calcular, en forma aproximada, con la expresión:

$$I_{ef} = 2 \gamma \times A_1 \times a_1^2$$

### 3.2.4.2. Verificación de Tensiones

En las vigas de alma llena entablada se debe verificar:

$$\frac{f_{f,b}}{F_{f,dis}} \leq 1 ; \frac{f_{cp,g_1}}{F_{cp,\lambda,dis}} \leq 1 ; \frac{f_{tp,g_1}}{F_{tp,dis}} \leq 1$$

$f_{f,b}$  = tensión de trabajo en flexión en el borde exterior de las alas, evaluada según 3.2.3.2.a).

$F_{f,dis}$  = tensión de diseño en flexión, calculada según 3.2.2.2.b).

$f_{cp,g_1}$  = tensión de trabajo en compresión, determinada en el centro de gravedad de las alas comprimidas y evaluada según 3.2.3.2.a).

$f_{tp,g_1}$  = tensión de trabajo en tracción, determinada en el centro de gravedad de las alas traccionadas, evaluada según 3.2.3.2.a) TIPO 1.

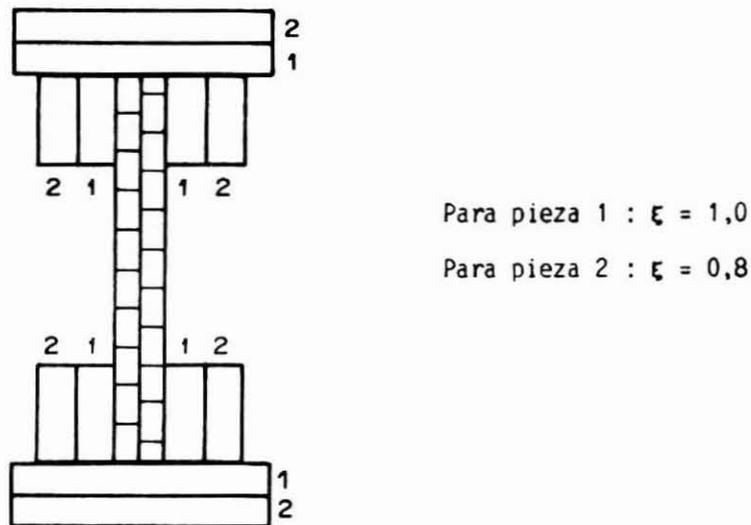
$F_{cp,\lambda,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, calculada según 3.3.2.1.b).

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción paralela, calculada según 3.6.1.b).

La verificación tensional anteriormente señalada se debe efectuar considerando la flexibilidad de los elementos de unión.

Cuando cada cordón esté constituido por dos o más pie

zas individuales y no se desee desarrollar una verificación exacta, se debe tomar en los cálculos las áreas de las piezas individuales multiplicadas por los factores  $\xi$  definidos en la Figura N° 17. Desde el punto de vista de la verificación, en el cálculo no se deben tomar, como efectivas, más de dos piezas individuales dispuestas consecutivamente, tanto en posición vertical como horizontal.



**FIGURA N° 17.** Sección transversal compuesta de una viga clavada de alma llena.

Las tablas del alma deben verificarse para la fuerza axial que sobre ellas induce el flujo de cizalle longitudinal. Debe verificarse, además, la seguridad al pandeo de las tablas del alma solicitadas por compresión, salvo que se encuentren suficientemente conectadas con las tablas traccionadas.

En vigas donde, además de las fuerzas axiales inducidas por flexión, existen otras fuerzas axiales (por ejemplo: en marcos), no se debe considerar la colaboración del entablado del alma para resistir dichas fuerzas axiales adicionales.



La estabilidad lateral de una viga de alma llena entablada, se debe determinar de acuerdo con la Tabla N° 42.

### 3.2.5. Flexión en Vigas Enrejadas

#### 3.2.5.1. Tipos de Vigas Enrejadas

Las vigas enrejadas de cordones paralelos que se esquematizan en la Figura N° 18, deben tener elementos de unión flexibles en la unión de las barras.

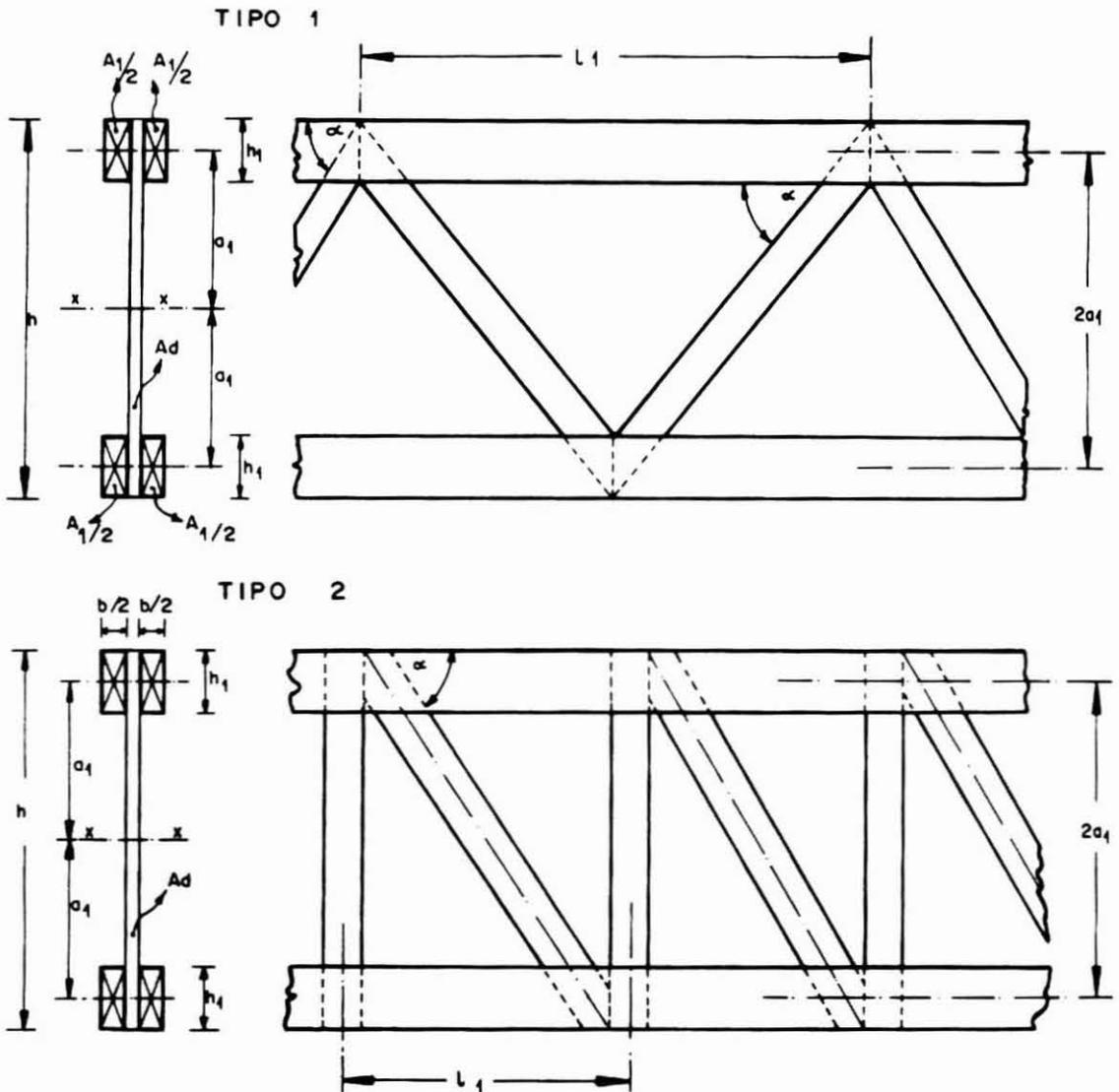


FIGURA N° 18. Vigas enrejadas con cordones paralelos.

En este tipo de vigas el Momento de Inercia Eficaz ( $I_{ef}$ ) adopta la expresión:

$$I_{ef} = 2 b \times h_1 \times a_1^2 \left( \frac{h_1}{12 a_1^2} + \gamma \right)$$

en que :

$$\gamma = \frac{1}{1 + k}$$

$$y \quad : \quad k = \frac{\pi^2 \times E_f \times A_1 \times \ell_1}{L^2 \times C_{eq.}}$$

en donde:

$\ell_1$  = distancia entre unión barra-cordón paralelo.

$C_{eq.}$  = módulo de corrimiento equivalente obtenido con las expresiones siguientes:

i ) Para el TIPO 1 (Figura N° 18)

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{2 \cos^2 \alpha} \left( \frac{a_1}{E_f \times A_d \times \sin \alpha} + \frac{1}{n_d \times C} \right)$$

ii) Para el TIPO 2 (Figura N° 18)

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \left[ \frac{a_1}{E_f \times A_d \times \sin \alpha} + \frac{a_1 \times \sin^2 \alpha}{E_f \times A_m} + \frac{1}{C} \left( \frac{1}{n_d} + \frac{\sin^2 \alpha}{n_m} \right) \right]$$

en que :

$n_d, n_m$  = cantidad de elementos de unión requeridos para el traspaso de las fuerzas que solicitan las diagonales y montantes, respectivamente;

$A_d, A_m$  = sección transversal de diagonales y montantes, respectivamente;

$C$  = módulo de corrimiento del elemento



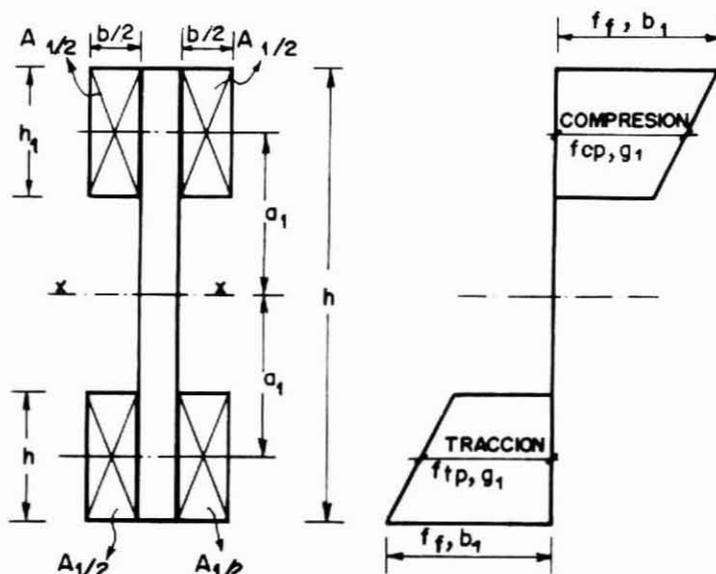
de unión utilizado para fijar diagonales y montantes, según Tabla N° 41.

$E_f$  = módulo de elasticidad admisible de los elementos que componen la viga enrejada, evaluado según 2.4.4.

Cuando montantes y/o diagonales se conforman con dos o más piezas individuales, las áreas de la sección transversal ( $A_d$  y  $A_m$ ) y la cantidad de elementos de unión ( $n_d$  y  $n_m$ ) que se deben considerar en las expresiones anteriores, son las totales.

### 3.2.5.2. Verificación de Tensiones

Si la altura ( $h_1$ ) de los cordones (ver Figuras N° 18 y N° 19) excede  $1/7$  de la altura ( $h$ ) de la viga se debe proceder con la verificación de las tensiones de flexión en los cordones.



**FIGURA N° 19.** Diagrama de tensiones en vigas enrejadas.

La verificación contempla las siguientes tensiones :

$$\frac{f_{f,b_1}}{F_{f,dis}} \leq 1 ; \quad \frac{f_{cp,g_1}}{F_{cp,dis}} \leq 1 ; \quad \frac{f_{tp,g_1}}{F_{tp,dis}} \leq 1$$

en que :

$f_{f,b_1}$  = tensión de trabajo de flexión en la fibra de borde de los cordones, calculada según 3.2.3.2.c) TIPO 3.

$f_{cp,g_1}$  = tensión de trabajo axial en el centro de gravedad del cordón comprimido, evaluado según 3.2.3.2.c).

$f_{tp,g_1}$  = tensión de trabajo axial en el centro de gravedad del cordón traccionado, evaluado según 3.2.3.2.c).

$F_{f,dis}$  = tensión de diseño en flexión calculada según 3.2.2.2.b).

$F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, considerando como longitud de pandeo la distancia entre puntos de fijación lateral del cordón comprimido, calculada según 3.3.2.1.b).

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción paralela, calculada según 3.6.1.b).

### 3.2.6. Arriostramientos Laterales

Los elementos constructivos dispuestos para servir de apoyo contra desplazamientos laterales, tanto de vigas como de cordones comprimidos de vigas enrejadas, se deben diseñar de acuerdo con las siguientes recomendaciones que corresponden a soluciones aproximadas de situaciones generales quedando abierta la posibilidad de desarrollar una solución exacta para cada caso particular.

#### 3.2.6.1. Vigas de Sección Transversal Rectangular

Cuando la relación altura/espesor no excede el valor 10, puede considerarse el efecto equivalente a una carga, "q<sub>s</sub>", uniformemente distribuida, actuando en ambos sentidos según la dirección normal al plano de la estructura arriostrada, de magnitud:

$$q_s = \frac{m \times M_{\text{máx}}}{350 \times \ell \times b}$$

Con :

m = número de vigas que se deben arriostrar.

$M_{\text{máx}}$  = momento flector máximo de una viga individual inducido por las cargas verticales.

$\ell$  = distancia entre apoyos de la construcción arriostrante.

b = ancho de la viga.

El arriostramiento debe apoyar lateralmente el borde flexo-comprimido de la viga. No es recomendable utilizar relaciones altura/espesor mayores que 10.

### 3.2.6.2. Cordón Comprimido de Vigas Enrejadas

En este tipo de elementos se puede considerar el efecto equivalente a una carga " $q_s$ " uniformemente distribuida actuando en ambos sentidos según la dirección normal al plano de la estructura arriostrada, de magnitud:

$$q_s = \frac{m \times N_c}{30 \times \ell}$$

en que :

m = número de cordones que se deben arriostrar.

$N_c$  = compresión media en el cordón, para el estado de cargas más desfavorable, y

$\ell$  = distancia entre apoyos de la construcción arriostrante.

### 3.2.6.3. Efecto Simultáneo de Inestabilidad Lateral y Solicitación de Viento

Las construcciones arriostrantes solicitadas por cargas de viento que sirvan, simultáneamente, como elementos estabilizadores de cordones comprimidos de enrejados o vigas con luces no superiores a 30 m, pueden ser consi



deradas para la neutralización de una carga lateral que a lo más ascienda a la mitad del valor de la solicita  
ción inducida por el viento. Ante cargas laterales que superen este límite, el excedente debe ser neutraliza  
do por arriostramientos especiales o bien, las contra  
ventaciones se deben diseñar considerando esta carga adicional.

Cuando la luz exceda 40 metros, se deben considerar las cargas de viento y laterales completas. Para luces com  
prendidas entre 30 y 40 metros se podrá interpolar li  
nealmente entre las cargas resultantes de aplicar am  
bos criterios.

Para efectos del dimensionamiento de las líneas de apun  
talamientos que fijan las vigas o cordones comprimidos al sistema arriostrante, se deben considerar, adiciona  
lmente, lo establecido en 3.3.6. de modo que la situa  
ción más exigente controle el diseño.

#### 3.2.6.4. Control de Deformaciones y de Distribución de Arriostramiento

Bajo la acción de la carga de diseño la deformación no  
rizontal de una construcción arriostrante no debe so  
brepasar  $1/1000$  de la luz. Se podrá prescindir de esta verificación de deflexión cuando la relación altura/luz de la construcción arriostrante sea mayor que  $1/12$ .

En consideración tanto a las deformaciones de los ele  
mentos constructivos dispuestos entre las construccio  
nes arriostrantes, como a la flexibilidad de los ele  
mentos de unión en estos sectores, para menos de dos construcciones arriostrantes y cuando no se desee rea  
lizar una verificación exacta, la distancia libre entre arriostramientos vecinos no debe exceder de 25 metros.

### 3.3. Elementos en Compresión Paralela a las Fibras

#### 3.3.1. Generalidades

Las especificaciones que siguen son aplicables sobre piezas estructurales solicitadas en forma centrada (con respec



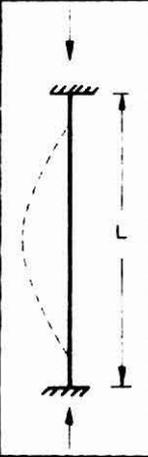
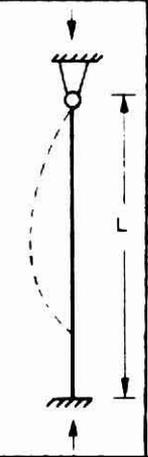
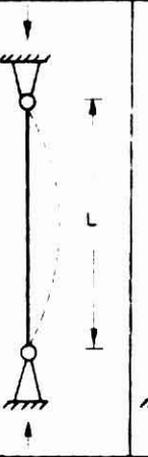
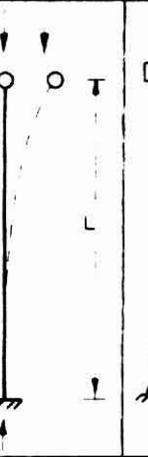
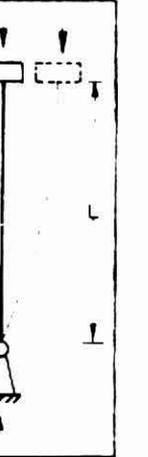
to a su eje longitudinal) por fuerzas de compresión orientadas según la dirección de la fibra.

a) Longitud Efectiva de Pandeo,  $\ell_p$

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

Para piezas comprimidas rectas, sujetas en sus extremos por medio de elementos de unión mecánicos (clavos, conectores, pernos, etc.) los valores de " $\ell_p$ " pueden adoptarse de la Tabla Nº 43, en la cual la longitud real de la pieza se ha designado como L, o bien de las recomendaciones establecidas en Anexo A.

**TABLA Nº 43.** LONGITUDES EFECTIVAS DE PANDEO,  $\ell_p$ , DE PIEZAS COMPRIMIDAS.

CONFIGURACION DE PANDEO						
VALORES PARA $\ell_p/L$	0,70	0,85	1,50	1,0	2,50	2,50
CONDICIONES DE APOYO	<p style="text-align: center;"> : Impedimento de giros y desplazamientos.</p> <p style="text-align: center;"> : Libertad de giro, impedimento de desplazamiento.</p> <p style="text-align: center;"> : Impedimento de giro, libertad de desplazamiento.</p> <p style="text-align: center;"> : Libertad de giros y desplazamientos.</p>					

b) Esbeltez,  $\lambda$

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

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

La esbeltez debe cumplir las siguientes restricciones:

- i)  $\lambda \leq 170$  Para piezas principales.
- ii)  $\lambda \leq 200$  Para elementos constituyentes de sistemas de arriostramientos que quedan comprimidos sólo bajo los efectos de viento y sismo.

3.3.2. Compresión Paralela en Piezas Simples

3.3.2.1. Verificación de Tensiones

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

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

Con :

$f_{cp}$  = tensión de trabajo de compresión paralela, determinada según 3.3.2.1.a).

$F_{cp,\lambda,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, determinada según 3.3.2.1.b).

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

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

en que :  $N$  = carga axial aplicada.

$A$  = área de la sección transversal.

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

$$F_{cp,\lambda,dis} = F_{cp} \times K_H \times K_D \times K_T \times K_C \times K_Q \times K_\lambda$$

Con :  $F_{cp}$  = tensión admisible de compresión paralela determinada según 2.4.4.

$K_H, K_D, K_T, K_C, K_Q$  = factores de modificación de aplicación general (ver párrafo 2.4.5.1).

$K_\lambda$  = factor de modificación por esbeltez de terminado según 3.3.2.2.

### 3.3.2.2. Factor de Modificación por Esbeltez, $K_\lambda$

Para elementos estructurales solicitados en compresión paralela, tales que:

i)  $\lambda < 5$  : se acepta un factor de modificación por esbeltez igual a la unidad ( $K_\lambda = 1,0$ ).

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

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

$$\text{Con : } A = \frac{B \times c (1 + \lambda/200) + 1}{2c}$$

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

Con :  $c$  = coeficiente de proporcionalidad y cuyos valores se obtienen de la Tabla N° 44.

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

$F'_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela y que no incluye el factor de modifica



ción  $K_{\lambda}$  ni el factor de modificación por traba  
bajo conjunto  $K_c$  (ver párrafo 3.3.2.1.b).

**TABLA N° 44.** VALORES DEL COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD,  $c$ .

CLASIFICACION VISUAL		COEFICIENTE DE PROPORCIONALIDAD
GRADO ESTRUCTURAL	RAZON DE RESISTENCIA	
N° 1	0,75	0,85
N° 2	0,60	0,85
N° 3	0,48	0,80
N° 4	0,36	0,80

NOTA: Para Pino radiata,  $c = 0.80$ .

3.3.3. Compresión Paralela en Piezas de Sección Transversal Compuestas

3.3.3.1. Tipos de Secciones Transversales Compuestas

La norma chilena NCh 1198 incluye los siguientes tipos:

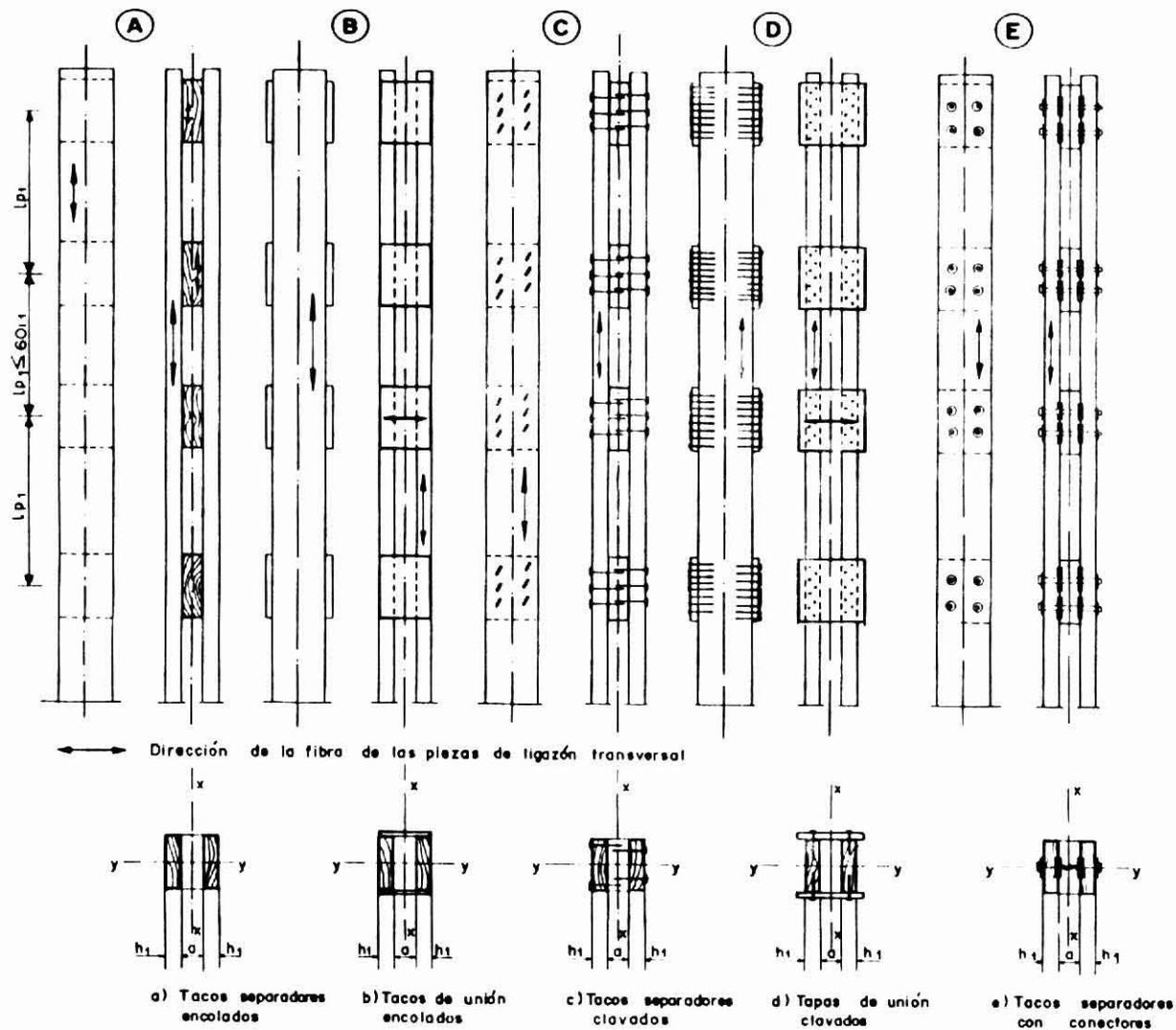
- a) Piezas compuestas no espaciadas, en las que se consideran los tipos de secciones transversales incluidos en la Figura N° 15.
- b) Piezas compuestas espaciadas con las formas constructivas esquematizadas en las Figuras N° 20 y N° 21.

3.3.3.2. Piezas Compuestas no Espaciadas

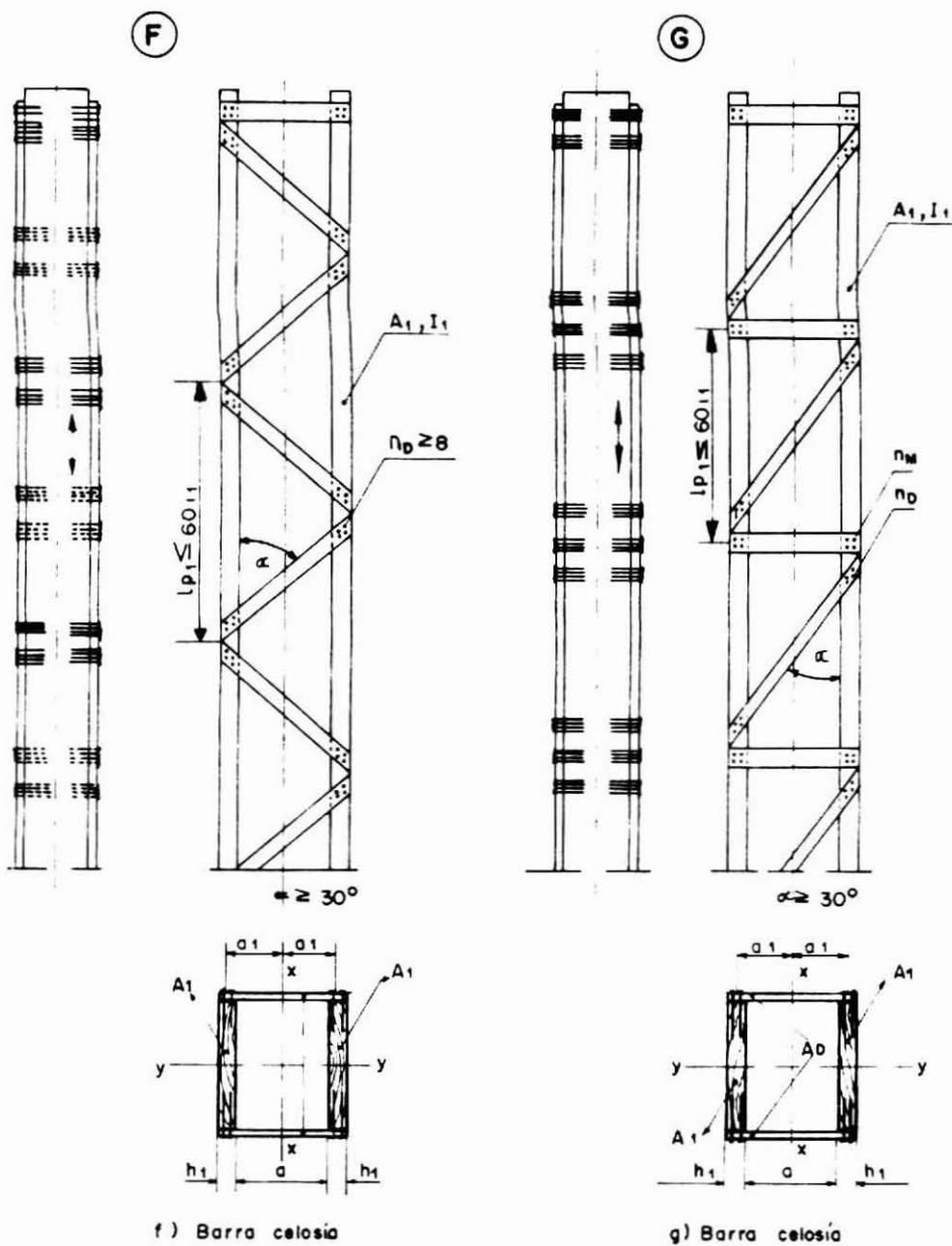
- i ) En piezas no espaciadas con secciones transversales según Figura N° 15, la verificación del pandeo con respecto al eje  $x-x$  se debe realizar considerando el momento de inercia eficaz calculado según 3.2.3.3.

En piezas no espaciadas con secciones transversales según Tipos 1 y 4, de la Figura N° 15, la verificación del pandeo según el eje  $y-y$ , se debe realizar considerando un momento de inercia igual





**FIGURA N° 20.** Columnas compuestas espaciadas y tacos separadores.



**FIGURA N° 21.** Columnas compuestas espaciadas, reticuladas.

a la sumatoria de los momentos de inercia de las piezas que conforman la sección de la columna.

Para los tipos de sección transversal 2 y 3 de la Figura N° 15, la verificación del pandeo según el eje y-y, se debe realizar considerando el momento de inercia eficaz, calculado según 3.2.3.3.

- ii ) Cuando las secciones transversales compuestas de la Figura N° 15 se materializan con uniones en forma continua (con adhesivo), el momento de inercia eficaz es igual al momento de inercia homogéneo ( $I_{ef} = I_{homogéneo}$ ).
- iii) Si en la conexión de las piezas individuales se utilizan elementos de unión flexibles, el momento de inercia eficaz ( $I_{ef}$ ) se debe calcular en forma análoga a lo establecido para vigas de sección transversal compuesta (ver 3.2.3.3). En las expresiones establecidas para  $k$ , en lugar de la luz (L) se debe incorporar la longitud de pandeo ( $l_p$ ) correspondiente, determinándose los valores del módulo de corrimiento (C) de los elementos de unión, con la Tabla N° 41.
- iv ) Con el valor de  $I_{ef}$ , se calcula la esbeltez eficaz ( $\lambda_{ef}$ ) y el correspondiente factor de modificación por pandeo ( $K_\lambda$ ).
- v ) Los elementos de unión se deben diseñar suponiendo un esfuerzo de corte que se supone de magnitud constante en toda la longitud de la columna y cuya expresión es:

$$Q_i = \frac{N}{60 \times K_{\lambda,ef}}$$

en que :

N = esfuerzo de compresión que solicita la pieza compuesta.

$K_{\lambda,ef}$  = factor de modificación por pandeo evaluado con la esbeltez eficaz,  $\lambda_{ef}$ .

Para  $\lambda_{ef} \leq 60$ , el valor de  $Q_i$  se puede reducir en la razón  $\lambda_{ef}/60$  con una reducción máxima del 50%.

- vi) El cálculo del flujo de cizalle eficaz máximo ( $t_{cz,ef,m\acute{a}x}$ ) se desarrolla de acuerdo con la expresión indicada en 3.2.3.6.
- vii) La determinación del espaciamiento requerido ( $e_{req}$ ) entre los elementos de unión, se efectúa de acuerdo con 3.2.3.6.

### 3.3.3.3. Piezas Compuestas Espaciadas

- i) Las especificaciones que siguen son aplicables sobre las columnas conformadas por piezas espaciadas y tacos separadores (Tipos A, C y E de la Figura N<sup>o</sup> 20) que se construyen con razones de espaciamiento:  $a/h_1 \leq 3$ , o con tapas de unión (Tipos B y D de la Figura N<sup>o</sup> 20) para razones de espaciamiento:  $3 < a/h_1 < 6$ .

Sobre la correspondiente unión transversal de estas columnas (tacos separadores o tapas de unión) actúa una fuerza de cizalle T, cuya magnitud puede determinarse, aproximadamente, como:

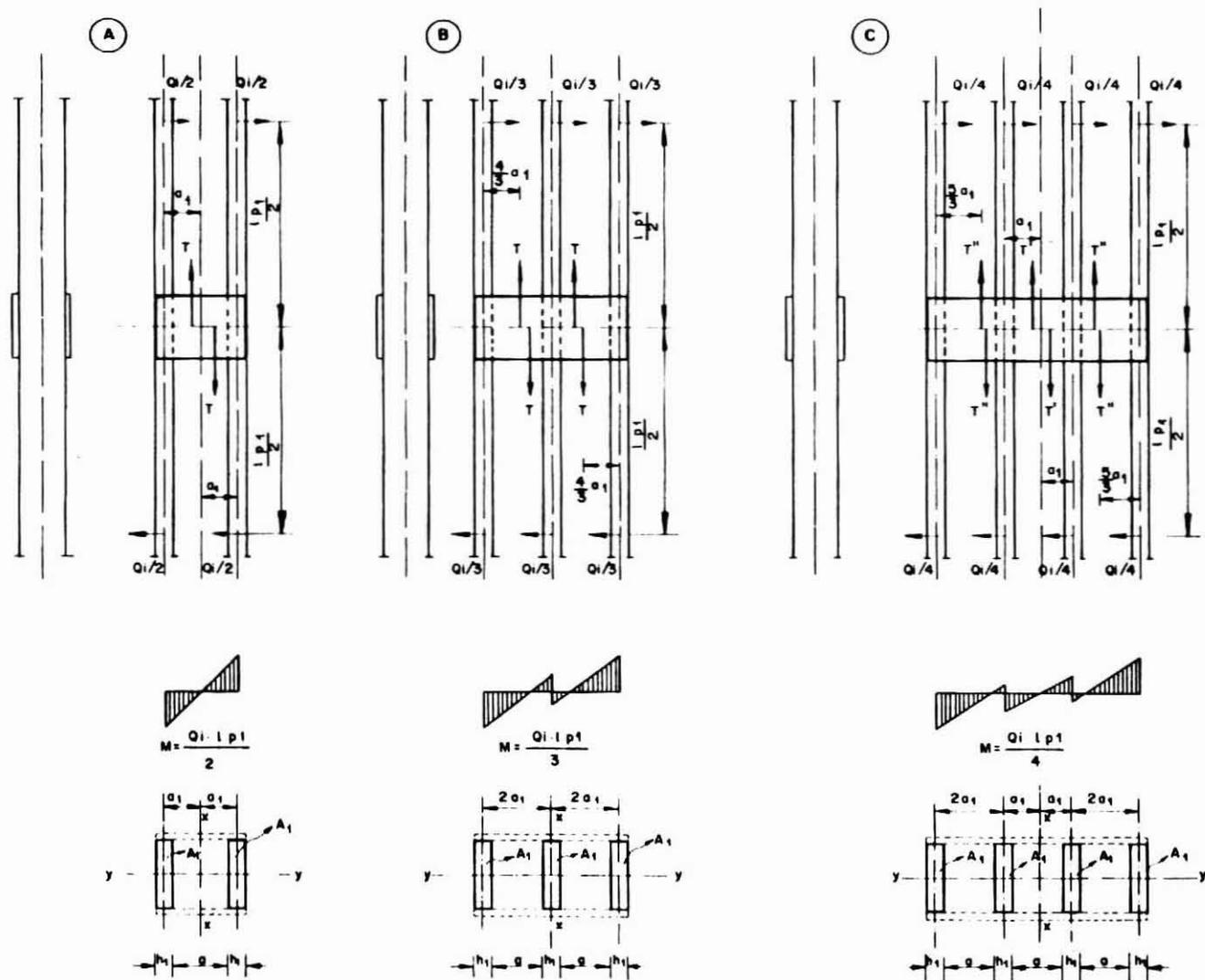
a)  $T = \frac{Q_i \times \ell p_1}{2a_1}$  Para columnas constituidas por dos piezas individuales ( $m=2$ ). Ver Figura N<sup>o</sup> 22 A.

b)  $T = \frac{0,5 \times Q_i \times \ell p_1}{2a_1}$  Para columnas constituidas por tres piezas individuales ( $m=3$ ). Ver Figura N<sup>o</sup> 22 B.

c)  $T' = \frac{0,4 \times Q_i \times \ell p_1}{2a_1}$  } Para columnas constituidas por cuatro piezas individuales ( $m=4$ ). Ver Figura N<sup>o</sup> 22C.  
 $T'' = \frac{0,3 \times Q_i \times \ell p_1}{2a_1}$  }

- ii) En la verificación del pandeo con respecto al eje Y-Y (ver Figuras N<sup>o</sup> 20 y N<sup>o</sup> 21), la sección transversal compuesta se debe considerar como una pie





**FIGURA Nº 22.** Esfuerzo de cizalle, T, sobre tacos de columnas espaciadas.

za simple cuyo momento de inercia  $I_y$  corresponde a la suma de los momentos de inercia de las piezas individuales.

- iii) En los elementos Tipos A, B, C, D y E de la Figura N° 20, el pandeo con respecto al eje principal X-X se verifica considerando la esbeltez eficaz,  $\lambda_{ef,x}$ , calculada con la expresión:

$$\lambda_{ef,x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \times \Psi \times \lambda_1^2}$$

en que :

$$\lambda_x = \frac{\ell_{p,x}}{i_x} = \text{esbeltez de la sección transversal total, respecto al eje X-X.}$$

$i_x$  = radio de giro calculado al considerar el momento de inercia de la pieza, referido al eje X-X.

$m$  = número de piezas individuales que conforman la sección transversal de la columna compuesta.

$\Psi$  = factor de flexibilidad que depende de la materialización de la unión transversal entre piezas individuales, según lo establece la Tabla N° 45.

$\lambda_1 = \frac{\ell_{p_1}}{i_1}$  = esbeltez de la pieza individual, medida entre uniones transversales y evaluada respecto a su eje principal menor.

$\ell_{p_1}$  = longitud de pandeo de la pieza individual definida como la distancia entre centros de uniones transversales.

$i_1$  = radio de giro mínimo de la pieza individual.

**TABLA Nº 45. FACTOR DE FLEXIBILIDAD,  $\Psi$ .**

TIPO DE UNION TRANSVERSAL	ELEMENTO DE UNION	FACTOR DE FLEXIBILIDAD $\Psi$
TACOS SEPARADORES	Adhesivo	1,0
	Conectores	2,5
	Clavos, tornillos, tira fondos, grampas, barras de acero. (Para pernos ver 3.3.3.3 iv).	3,0
TAPAS DE UNION	Adhesivo	3,0
	Clavos	4,5

En el cálculo de las variables anteriormente señaladas se debe cumplir:

- a)  $\lambda_1 \leq 60$
- b)  $\ell_{p_1} \leq \ell_{p,x}/3$

Para esbelteces  $\lambda_1 < 30$ , en la evaluación de  $\lambda_{ef}$  se debe considerar  $\lambda_1 = 30$ .

- iv) Si los tacos separadores se fijan exclusivamente mediante pernos se puede considerar  $\Psi = 3,0$  siempre que se trate de elementos para construcciones provisionarias o de andamiaje. En este caso debe existir accesibilidad a la unión, una vez construida, a fin de permitir un reapriete de los pernos.

En cualquier otra situación, las columnas compuestas unidas con pernos se deben verificar como una agrupación de piezas individuales que no trabajan en conjunto.

- v ) Para razones de espaciamentos mayores ( $6 < \lambda_1 \leq 10$ ) se deben preferir las columnas espaciadas reticuladas, como las esquematizadas en los Tipos F y G de la Figura N° 21.

En estas columnas la esbeltez eficaz ( $\lambda_{ef}$ ) se puede calcular según la expresión dada en 3.3.3.3. iii), reemplazando el término " $\lambda_1^2$ " por:

$$i ) \frac{4 \pi^2 \times E_f \times A_1}{a_1 \times n_D \times C_D \times \text{sen } 2 \alpha}$$

si la columna es del Tipo F de la Figura N° 21, o por la expresión:

$$ii ) \frac{4 \pi^2 \times E_f \times A_1}{a_1 \times \text{sen } 2 \alpha} \left( \frac{1}{n_D \times C_D} + \frac{\text{sen}^2 \alpha}{n_M \times C_M} \right)$$

si la columna es del Tipo G de la Figura N° 21.

en que :

$A_1$  = sección transversal de la pieza individual.

$C_D$  = módulo de corrimiento del elemento de unión empleado para fijar las diagonales, obtenido de la Tabla N° 41.

$C_M$  = id. para los montantes.

$\alpha$  = ángulo de inclinación de las barras diagonales. Debe ser mayor o igual que 30°.

$n_D$  = cantidad de elementos de unión que se requiere para traspasar la fuerza total que solicita cada diagonal.

$n_M$  = id. para los montantes.

$E_{f,dis}$  = módulo de elasticidad en flexión de



las piezas individuales, según Tabla Nº 18. No incorpora corrección por humedad.

$a_i$  = distancia del centroide de cada pieza individual al eje de gravedad principal de la sección transversal compuesta.

#### 3.3.3.4. Uniones Transversales

- a) Los tacos separadores, las tapas de unión, las barras de relleno y sus respectivas uniones deben diseñarse considerando el esfuerzo de corte  $Q_i$ , de terminado según 3.3.3.2.v).
- b) El número de tramos que se deben disponer en la columna debe ser igual o superior a tres, ubicando uniones transversales al menos en los tercios de la longitud de la columna.
- c) Las columnas diseñadas con tacos separadores o tapas de unión y las reticuladas deben poseer, además, una unión transversal en cada extremo, salvo que en cada unión intermedia se dispongan, por lo menos, dos conectores ubicados consecutivamente en el sentido longitudinal o bien, 4 clavos alineados longitudinalmente.
- d) La unión transversal mínima entre una pieza individual y el taco o tapa debe constar de al menos dos conectores o cuatro clavos.
- e) Si se emplean tacos separadores encolados, la longitud de éstos debe ser igual o mayor que el doble de la distancia libre entre piezas individuales.
- f) Cuando la razón de espaciamiento,  $s/h_c$ , sea menor o igual que dos, se puede prescindir de la verificación del momento flector que la fuerza de cizalle (T) induce sobre los tacos separadores.

### 3.3.4. Empalmes

En empalmes de barras comprimidas que se materialicen como uniones de tope con una suficiente precisión de ajuste, se deben asegurar posicionalmente los extremos de las piezas empalmadas mediante la colocación de elementos que eviten desplazamientos laterales (cubrejuntas, tarugos metálicos, etc.). Cuando la precisión de la ejecución asegure el traspaso de las fuerzas por contacto directo, de acuerdo a las restricciones establecidas en 3.3.5., los elementos de unión requeridos para la fijación se determinan considerando la mitad de la fuerza de compresión. En caso contrario el diseño se debe efectuar con el total de la fuerza. Esta solución es aplicable sólo en los cuartos extremos de la longitud de pandeo de la columna.

Cuando el empalme se ubique en cualquier otra posición deben usarse cubrejuntas dimensionadas de modo que la suma de los momentos de inercia de las piezas usadas (referidos a su eje principal de inercia, paralelo al eje de pandeo) sea igual o mayor que el momento de inercia de la pieza empalmada con respecto al eje de pandeo.

### 3.3.5. Aplastamiento en Columnas

La tensión de aplastamiento en apoyos solicitados según la dirección de la fibra, se evalúa considerando el área neta de aplastamiento debiendo controlarse que dicha tensión no exceda el 75% del valor de la tensión de diseño en compresión paralela,  $F_{cp,dis}$ , valor éste calculado sin aplicar el factor de modificación  $K_\lambda$ , ver párrafo 3.3.2.1.b).

### 3.3.6. Arriostramientos de Elementos Comprimidos

Las piezas que se empleen para subdividir la longitud de pandeo en puntos intermedios de un elemento comprimido, se deben diseñar para una fuerza de apuntalamiento de magnitud  $K$ , que para piezas comprimidas de madera aserrada asciende a:

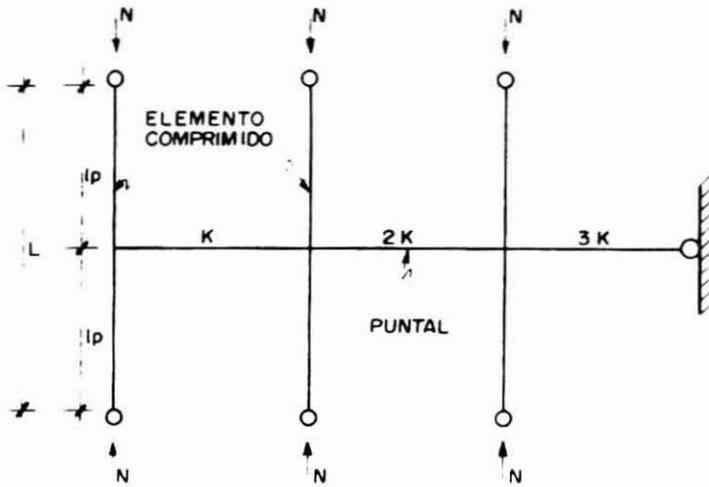
$$K = N/50$$

y para madera laminada encolada a:

$$K = N/100$$

En estas expresiones  $N$  corresponde a la máxima fuerza de compresión que solicita las barras apoyadas por el puntal.

Si un puntal debe apoyar simultáneamente varias barras comprimidas, deben sumarse las correspondientes fuerzas de apuntalamiento en cada uno de los sectores. Ver Figura N° 23.



Apoyo del puntal, por ejemplo por un sistema de arriostamiento, muros de albañilería, elemento de hormigón armado o similares.

**FIGURA N° 23.** Apuntalamiento individual de piezas comprimidas.

### 3.4. Elementos en Compresión Normal a la Dirección de la Fibra

#### 3.4.1. Verificación de Tensiones

Para elementos comprimidos en dirección normal a la dirección de las fibras de la madera, debe controlarse que:

$$\frac{f_{cn}}{F_{cn,dis}} \leq 1$$

en donde :  $f_{cn}$  = tensión de trabajo en compresión normal a la fibra, determinada según 3.4.1.a).

$F_{cn,dis}$  = tensión de diseño de compresión normal a la fibra, determinada según 3.4.1.b).

a) La tensión de trabajo en compresión normal ( $f_{cn}$ ) se determina con:

$$f_{cn} = \frac{P}{A_{apl.}}$$



en que :  $P$  = sollicitación en compresión normal o de aplastamiento.

$A_{apl.}$  = área neta aplastada.

b) La Tensión de Diseño en Compresión Normal a la Fibra ( $F_{cn,dis}$ ) se determina con la expresión:

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \times K_H \times K_T \times K_C \times K_Q \times K_{cn}$$

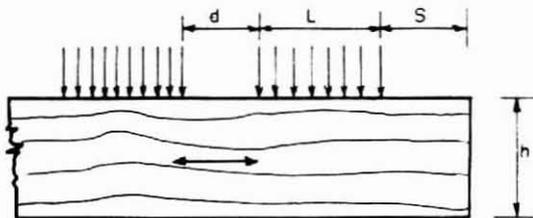
en que :  $F_{cn}$  = tensión admisible en compresión normal, determinada según 2.4.4.

$K_H, K_T, K_C, K_Q$  = factores de modificación explicados en 2.4.5.1.

$K_{cn}$  = factor de modificación por aplastamiento, determinado según 3.4.2.

### 3.4.2. Factor de Modificación por Aplastamiento, $K_{cn}$

En todo elemento sollicitado en compresión normal a la fibra y cuya superficie aplastada está distanciada de otra en una magnitud ( $d$ ) mayor o igual que 150 mm, se puede incrementar el valor de tensión admisible en compresión normal siempre que se cumplan las siguientes restricciones, (ver Figura N° 24).



**FIGURA N° 24.** Superficie sollicitada en compresión normal.

i ) la longitud ( $\ell$ ) o diámetro de la superficie aplastada del elemento, medida en dirección de la fibra, no excede de 150 mm:

$$\ell \leq 150 \text{ mm}$$

ii ) la distancia ( $S$ ) entre la superficie aplastada y el extremo del elemento (ver Figura N° 23), medida en la dirección de la fibra, cumple con:

$$\begin{array}{ll} S \geq 100 \text{ mm} & \text{si : } h > 60 \text{ mm} \\ S > 75 \text{ mm} & \text{si : } h \leq 60 \text{ mm} \end{array}$$

El factor de modificación ( $K_{CN}$ ) que incrementa la tensión admisible de compresión normal queda expresado por:

$$K_{CN} = \left(\frac{150}{l}\right)^{1/4} \leq 1,80$$

Si en una pieza no se satisfacen los requisitos establecidos anteriormente, el factor de modificación por aplastamiento toma el valor:

$$K_{CN} = 0,80$$

### 3.5. Elementos en Compresión Inclinada respecto a la Fibra de la Madera

#### 3.5.1. Verificación de Tensiones

Para elementos comprimidos con carga cuya dirección forma un ángulo con la fibra de la madera, debe controlarse que:

$$\frac{f_{C,\theta}}{F_{C,\theta,dis}} \leq 1$$

$f_{C,\theta}$  = tensión de trabajo en compresión inclinada respecto a la fibra, determinada según 3.5.1.a).

$F_{C,\theta,dis}$  = tensión de diseño en compresión inclinada respecto a la fibra, determinada según 3.5.1.b).

a) La tensión de trabajo en compresión desangulada respecto a la fibra ( $f_{C,\theta}$ ) se determina con la expresión:

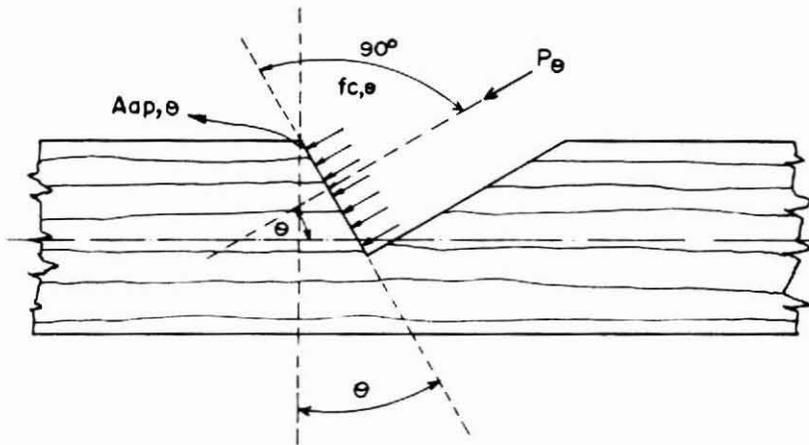
$$f_{C,\theta} = \frac{P_{\theta}}{A_{ap,\theta}}$$



en donde :

$P_{\theta}$  = carga inclinada, en un ángulo  $\theta$ , respecto a la fibra.

$A_{ap,\theta}$  = área neta aplastada, que forma un ángulo  $\theta$  con la sección transversal de la pieza. Ver Figura N° 25.



**FIGURA N° 25.** Carga de compresión inclinada en un ángulo  $\theta$ , respecto a la fibra de la madera.

- b) La tensión de diseño en compresión inclinada en un ángulo  $\theta$  respecto a la fibra,  $(F_{c,\theta,dis})$  se calcula aplicando la fórmula de Hankinson.

$$F_{c,\theta,dis} = \frac{F_{cp,dis} \times F_{cn,dis}}{F_{cp,dis} \times \text{sen}^2 \theta + F_{cn,dis} \times \text{cos}^2 \theta}$$

Con :

$F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, de terminada según 3.3.2.1.b).



$F_{cn,dis}$  = tensión de diseño en compresión normal, determinada según 3.4.1.b).

$\theta$  = ángulo formado por la dirección de la carga y la dirección de la fibra. Ver Figura N° 25.

La tensión de diseño determinada para una carga inclinada ( $F_{c,\theta,dis}$ ) se usa sólo para comprobar tensiones locales.

### 3.6. Elementos en Tracción según la Dirección de la Fibra

#### 3.6.1. Verificación de Tensiones

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

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

en que :

$f_{tp}$  = tensión de trabajo en tracción paralela a las fibras, determinada según 3.6.1.a).

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño de tracción paralela a la fibra, según 3.6.1.b).

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

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

en donde :

$P$  = sollicitación en tracción paralela a la fibra.

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

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

$$F_{tp,dis} = F_{tp} \times K_H \times K_D \times K_T \times K_C \times K_Q \times K_{ct}$$

en que :

$F_{tp}$  = tensión admisible en tracción paralela a la fibra, determinada según 2.4.4.

$K_{ct}$  = factor de modificación por concentración de tensiones, determinado según 3.6.2.

Los restantes factores de modificación han sido explicados en 2.4.5.

3.6.2. Factor de Modificación por Concentración de Tensiones,  
 $K_{ct}$

Este factor de modificación considera el efecto de las concentraciones de tensiones en regiones traccionadas de madera con perforaciones, vaciados, entalladuras, etc. Los valores de este factor de modificación se pueden obtener de la Tabla N° 46.

TABLA N° 46. FACTOR DE MODIFICACION POR CONCENTRACION DE TENSIONES,  $K_{ct}$ .

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



### 3.6.3. Empalmes y Uniones

Los empalmes y uniones se materializan respetando la simetría con respecto al o los ejes del elemento traccionado. Las piezas laterales que queden solicitadas excéntricamente se diseñan para 1,5 veces la fuerza de tracción correspondiente.

## 3.7. Dimensionamiento de Piezas Sometidas a Esfuerzos Combinados

### 3.7.1. Flexión en dos Ejes Principales de Inercia

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

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

en que :

$f_{f,x}$  ;  $f_{f,y}$  = tensiones de trabajo en flexión referidas a los ejes x-x e y-y, respectivamente, según 3.2.2.2.a).

$F_{f,dis,x}$  ;  $F_{f,dis,y}$  = tensiones de diseño de flexión, referidas a los ejes x-x e y-y, respectivamente y calculadas de acuerdo a 3.2.2.2.b).

### 3.7.2. Flexión y Tracción Axial

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

1 ) Para la zona traccionada :

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



ii ) Para la zona comprimida :

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

en que :

$f_{tp}$  = tensión de trabajo por tracción paralela, según 3.6.1.a).

$f_f$  = tensión de trabajo por flexión, según 3.2.2.2.a).

$F_{tp,dis}$  = tensión de diseño en tracción paralela, según 3.6.1.b).

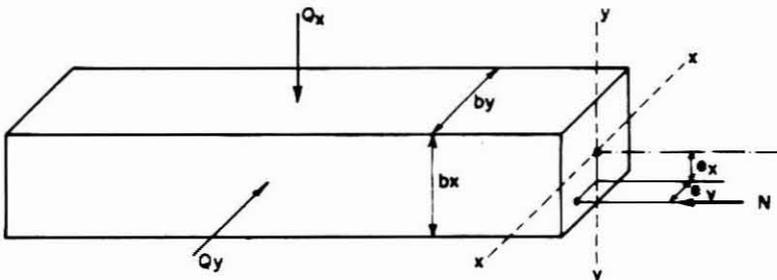
$F_{ft,dis}$  = tensión de diseño en flexión en el borde traccionado y calculado según 3.2.2.2.b).

$F_{fv,dis}$  = tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad y calculado según 3.2.2.2.b).

### 3.7.3. Flexión y Compresión Paralela

Las piezas sometidas simultáneamente a flexión y compresión paralela a la fibra, según se ilustra en la Figura N° 26, se dimensionan de manera que se verifique la siguiente expresión:

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



**FIGURA N° 26.** Flexión bi-axial y compresión excéntrica.

Con :

- $f_{cp}$  = tensión de trabajo por compresión paralela a la fibra, según 3.3.2.1.a).
- $f_{f,x} ; f_{f,y}$  = tensiones de trabajo por flexión, según ejes x-x e y-y, respectivamente, según 3.2.2.2.a).
- $F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, según 3.3.2.1.b).
- $F_{f,dis,x} ; F_{f,dis,y}$  = tensiones de diseño en flexión según ejes x-x e y-y, respectivamente, según 3.2.2.2.b).
- $e_x, e_y$  = excentricidades de la carga axial (N) perpendiculares a las x-x e y-y, respectivamente.
- $b_x, b_y$  = dimensiones de la escuadría (sección transversal) perpendiculares a los ejes x-x e y-y, respectivamente.
- $J_x, J_y$  = según Tabla N° 47.

**TABLA N° 47.** PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE  $J_x, J_y$ .

SI	VALOR DE $J_i$ (i=x,y)	CON
$\lambda_i \leq 35$	$J_i = 0$	$\lambda_o = 2,324 \sqrt{\frac{E_{f,dis}}{F_{cp,dis}}}$ $\lambda_i = \frac{l_p}{i_i}$ (i = x,y)
$35 < \lambda_i \leq \lambda_o$	$J_i = \frac{\lambda_i - 35}{\lambda_o - 35}$	
$\lambda_o \leq \lambda_i$	$J_i = 1$	

en que :

- $\lambda_o$  = esbeltez característica.
- $\lambda_i$  = esbeltez.
- $E_{f,dis}$  = módulo de elasticidad de diseño, según 2.4.6.
- $F_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela, no incluido el factor de modificación por esbeltez,  $K_\lambda$ , según 3.3.2.1.b).

## **CAPITULO CUARTO**

### 4.0 DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR, CONSTANTE O VARIABLE, DE PINO RADIATA Y EUCALIPTO

#### 4.1. Generalidades

#### 4.2. Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad

#### 4.3. Propiedades Geométricas

#### 4.4. Factores de Modificación

#### 4.5. Elementos de Sección Circular en Flexión

#### 4.6. Elementos de Sección Circular en Compresión



4.0 DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS ESTRUCTURALES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR, CONSTANTE O VARIABLE, DE PINO RADIATA Y EUCALIPTO

4.1. Generalidades

Si se emplean piezas de sección transversal circular, constantes o variables, como elementos estructurales, sin otra elaboración que el descortezado, como es el caso de postes, pilotes o componentes de una estructura, el procedimiento de diseño debe ser el establecido en el Capítulo Tercero con excepción de las consideraciones que se establecen en este capítulo.

Las piezas estructurales de sección transversal circular se considerarán en estado verde o seco, de acuerdo al contenido de humedad que ellas tengan en el momento de la fabricación o instalación y a la humedad que alcancen en servicio, según lo establecido en la Tabla N° 48.

TABLA N° 48. CONDICION ASUMIDA PARA LA DETERMINACION DE TENSIONES, MODULO DE ELASTICIDAD, DISEÑO DE UNIONES Y DIMENSIONES DE PIEZAS CON SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR.

CONDICION DE LA MADERA EN LA FABRICACION O INSTALACION	CONDICION DE LA MADERA EN SERVICIO	CONDICION ASUMIDA PARA LA DETERMINACION DE TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO ELASTICO	CONDICION ASUMIDA PARA EL DISEÑO DE LAS UNIONES	DIMENSIONES A USAR EN EL DISEÑO (O DIMENSIONES REALES)
Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Verde	Seco	Verde	Verde	Verde
Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
Seco	Verde	Verde (para el módulo elástico) y Seco para las tensiones.	Verde	Seco



#### 4.2. Tensiones Admisibles y Módulo de Elasticidad

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad a usar en piezas con sección transversal circular son las incluidas en la Tabla N° 49.

**TABLA N° 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.

ESPECIE MADERERA	TENSION ADMISIBLE DE					MODULO DE ELASTICIDAD
	Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Cizalle	Compresión Normal	
Pino radiata	13,8	8,3	5,4	0,71	2,45	6.423
Eucalipto	32,5	19,5	17,7	1,73	8,47	12.425

#### 4.3. Propiedades Geométricas

Las propiedades geométricas de las secciones circulares de madera son las incluidas en la Tabla N° 50.

**TABLA N° 50.** PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES CIRCULARES.

DIAMETRO		Sección Transversal (cm <sup>2</sup> )	Momento de Inercia (cm <sup>4</sup> )	Módulo de Flexión (cm <sup>3</sup> )	Radio de Giro (cm)
(Pulg.)	(cm)				
4	10,2	81,1	523,1	103,0	2,5
4 1/2	11,4	102,6	837,8	146,6	2,9
5	12,7	126,7	1.277,0	201,1	3,2
5 1/2	14,0	153,3	1.869,6	267,7	3,5
6	15,2	182,4	2.647,9	347,5	3,8
6 1/2	16,5	214,1	3.647,2	441,8	4,1
7	17,8	248,3	4.905,7	551,8	4,4
7 1/2	19,1	285,0	6.464,7	678,7	4,8
8	20,3	324,3	8.368,8	823,7	5,1
8 1/2	21,6	366,1	10.665,5	988,0	5,4

Continúa .....

**TABLA N° 50.** (Continuación)

DIAMETRO		Sección Transversal (cm <sup>2</sup> )	Momento de Inercia (cm <sup>4</sup> )	Módulo de Flexión (cm <sup>3</sup> )	Radio de Giro (cm)
(Pulg.)	(cm)				
9	22,9	410,4	13.405,2	1.172,8	5,7
9½	24,1	457,3	16.641,8	1.379,3	6,0
10	25,4	506,7	20.431,7	1.608,8	6,3
10½	26,7	558,6	24.834,9	1.862,4	6,7
11	27,9	613,1	29.914,1	2.141,3	7,0
11½	29,2	670,1	35.735,2	2.446,8	7,3
12	30,5	729,7	42.367,2	2.780,0	7,6
12½	31,8	791,7	49.882,1	3.142,2	7,9
13	33,0	856,3	58.355,0	3.534,5	8,3
13½	34,3	923,5	67.864,1	3.958,2	8,6
14	35,6	993,1	78.490,5	4.414,5	8,9
14½	36,8	1.065,4	90.318,5	4.904,6	9,2
15	38,1	1.140,1	103.435,5	5.429,7	9,5
15½	39,4	1.217,4	117.932,0	5.991,0	9,8
16	40,6	1.297,2	133.901,3	6.589,6	10,2
16½	41,9	1.379,5	151.440,0	7.226,9	10,5
17	43,2	1.464,4	170.647,7	7.904,0	10,8
17½	44,5	1.551,8	191.627,1	8.622,1	11,1
18	45,7	1.641,7	214.483,9	9.382,5	11,4
18½	47,0	1.734,2	239.327,0	10.186,3	11,7
19	48,3	1.829,2	266.268,1	11.034,7	12,1
19½	49,5	1.926,8	295.422,3	11.929,0	12,4
20	50,8	2.026,8	326.907,4	12.870,4	12,7
20½	52,1	2.129,4	360.844,6	13.860,0	13,0
21	53,3	2.234,6	397.358,0	14.899,1	13,3
21½	54,6	2.342,3	436.574,7	15.988,8	13,7

**4.4. Factores de Modificación**

4.4.1. De Aplicación General. Se deben aplicar los factores de modificación por duración de carga ( $K_D$ ), por trabajo conjunto ( $K_C$ ) y por tratamiento químico ( $K_Q$ ).

4.4.2. De Aplicación Particular. Se aplicarán las siguientes:

4.4.2.1. Factor de Modificación por Desbastado o Alisaduras ( $K_d$ )

Cuando una pieza de madera de sección circular es transformada de su forma natural a una forma cilíndrica o cónica mediante un proceso mecánico (alisado o desbastado) o cuando se extrae material de la pieza para obtener una superficie plana, las tensiones admisibles y el módulo elástico deben multiplicarse por el valor que se presenta en la Tabla N° 51.

**TABLA N° 51.** FACTOR DE MODIFICACION POR DESBASTADO O ALISADURA ( $K_d$ ).

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

4.4.2.2. Factor de Modificación por Preservación que Involucre Tratamiento a Vacío y Presión ( $K_{pv}$ )

Las tensiones admisibles y el módulo elástico de piezas que sean tratadas con métodos de preservación que involucren tratamientos a vacío y presión deben ser afectados por el factor que se entrega en la Tabla N° 52.

**TABLA N° 52.** FACTOR DE MODIFICACION POR PRESERVACION CON TRATAMIENTO A VACIO Y PRESION ( $K_{pv}$ ).

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

4.4.2.3. Factor de Modificación por Uso en Estado Seco  
( $K_s$ )

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad de piezas de sección transversal circular utilizadas en estado seco, deben quedar afectadas por los factores que se entregan en la Tabla N° 53.

**TABLA N° 53.** FACTOR DE MODIFICACION POR USO EN ESTADO SECO.

APLICAR A TENSION ADMISIBLE DE	VALOR DE $K_s$	
	Pino radiata	Eucalipto
- Flexión	1,25	1,25
- Compresión Paralela	1,25	1,25
- Compresión Normal	1,25	1,25
- Cizalle	1,12	1,06
- Tracción Paralela	1,25	1,25
- Módulo de Elasticidad en Flexión	1,12	1,12

#### 4.5. Elementos de Sección Circular en Flexión

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

$$f_f = \frac{32 \times M_{\text{máx}}}{\pi D^3} = \frac{32 \times \pi^2 \times M_{\text{máx}}}{C_\theta^3}$$

en que :

$f_f$  = tensión de trabajo efectiva en flexión.

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

$C_\theta$  = perímetro del poste en la sección transversal con momento máximo.

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

#### 4.6. Elementos de Sección Circular en Compresión

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

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

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

en donde :

P = carga axial aplicada.

$A_{ES}$  = sección transversal en el extremo superior del poste.



$F'_{cp,dis}$  = tensión de diseño en compresión paralela calculada con los factores de modificación especificados en 4.4.

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

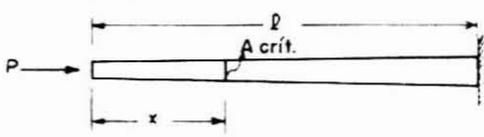
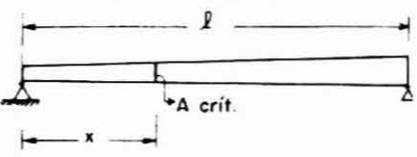
$$f'_{cp} = \frac{P}{A_{crit}}$$

Con :

$P$  = definido en el subpárrafo 4.6.1.

$A_{crit}$  = sección transversal crítica de un poste. Si él tiene inercia constante, corresponde a su sección; si tiene inercia variable, ver Tabla Nº 54.

**TABLA Nº 54.** UBICACION DE LA SECCION TRANSVERSAL CRITICA ( $A_{crit}$ ) EN POSTES DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR.

TIPO DE SECCION	TIPO DE APOYO	UBICACION x
VARIABLE		0,6 l
		0,43 l
	Otra condición	0,33 l
CONSTANTE	Cualquiera	Determinada por el Análisis <u>Es</u> tructural.

La tensión de trabajo crítica en compresión paralela a las fibras ( $f'_{cp}$ ) debe cumplir con lo establecido en Tabla Nº 55.



**TABLA N° 55.** VERIFICACION DE TENSIONES EN LA SECCION CRITICA DE UN POSTE DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR.

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

en que :

$F'_{cp,dis}$  = definida en el subpárrafo 4.6.1.

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

en donde :

$\lambda$  = esbeltez.

$l_p$  = longitud de pandeo.

$D$  = diámetro de la sección crítica.

$$\lambda_o = 0,58 \sqrt{\frac{E_{f,dis}}{F'_{cp,dis}}}$$

Con :

$\lambda_o$  = esbeltez característica.



## **CAPITULO QUINTO**

### 5.0 DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES

5.1. Marcos

5.2. Cerchas

5.3. Diafragmas

5.4. Arriostramientos

5.5. Reglas de Dimensionamiento de Elementos  
Comprimidos. Longitudes de Pandeo



## 5.0 DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES

### 5.1. Marcos

#### 5.1.1. Generalidades

Los marcos deberán analizarse de acuerdo con los métodos corrientes de cálculo estructural. El diseño deberá considerar el efecto de las solicitaciones especiales producidas por la fabricación, transporte y montaje, y las tensiones secundarias originadas por excentricidades, contracciones, etc.

#### 5.1.2. Uniones

Las uniones deberán diseñarse a fin de garantizar el cumplimiento de las hipótesis de cálculo. Siempre que sea posible, los empalmes de momento se ubicarán en los puntos donde el momento de flexión sea mínimo.

#### 5.1.3. Arriostramientos

Los marcos deberán arriostarse para evitar el pandeo lateral de piezas comprimidas. Para tal efecto la longitud de pandeo se considerará igual a la distancia entre los puntos con momento de flexión nulo.

#### 5.1.4. Deformaciones

Las deformaciones admisibles del marco y de sus elementos se fijarán, en general, de acuerdo al tipo de estructura y teniendo en cuenta la posibilidad de daño de los materiales y componentes constructivos que se apoyan en ellos, y las exigencias estéticas y funcionales.

#### 5.1.5. Diseño

Una vez establecidas las diferentes solicitaciones, se fijarán las dimensiones de los distintos elementos estructurales según las prescripciones establecidas en los capítulos Cuarto y Quinto de este Manual.

Los casos más frecuentes que ocurren en la práctica lo constituyen marcos conformados con pilares y vigas de madera aserrada o cepillada o con postes como pilares y madera aserrada o cepillada como viga. Otro caso frecuente es el fabricado con madera laminada encolada.

#### 5.1.6. Marcos con Postes

##### 5.1.6.1. Generalidades

Consisten en postes de madera impregnada empotrados en suelo compactado o en hormigón que actúan como pilares del marco. Es posible también usar madera aserrada preservada o madera laminada encolada preservada, en lugar de postes. La perforación en la cual se ubica el poste provee tanto el soporte horizontal como vertical de la estructura. El empotramiento permite evitar la rotación de la base del poste con lo cual se proporciona todo o parte del arriostamiento que necesita la estructura. La viga del marco se conforma con madera aserrada o laminada encolada.

Las consideraciones que se deben adoptar al diseñar marcos con postes son los siguientes:

- i ) Se debe ubicar un sistema de arriostamiento en el extremo superior del poste para reducir los momentos de flexión en la base, traspasando así las cargas horizontales a los apoyos por medio de las riostras. El diseño de edificios soportados por postes sin este arriostamiento requiere de un buen conocimiento de la resistencia del suelo con la finalidad de evitar deformaciones excesivas.
- ii ) Verificar las tensiones de aplastamiento del terreno en contacto con el extremo inferior del poste. Una práctica común consiste en rellenar el hueco alrededor del poste con terreno natural bien compactado, arena o grava. Un relleno con hormigón o suelo-cemento resulta más efectivo pues conforma un mayor diámetro en el empotramien



to del poste. Al usar este sistema resultan menores las profundidades de empotramiento requeridas.

El relleno de hormigón aumenta el área cilíndrica de contacto lateral con el terreno, incrementando el roce y por lo tanto disminuyendo las tensiones de aplastamiento en la base de la fundación. Esta mayor capacidad de roce es también efectiva cuando existe succión sobre la estructura debido a la acción del viento.

- iii) A fin de aumentar la capacidad de aplastamiento en la zona comprendida entre la Línea de Tierra y el extremo inferior del poste se puede usar una fundación de hormigón. Esta debe diseñarse de modo que resista la carga aplicada y el efecto de "punzonamiento" del poste sobre el concreto. Las fundaciones de hormigón deben considerarse aún en suelos firmes tales como arcilla dura seca, arena gruesa firme o grava.

Las características generales del marco (altura, luz, etc.), quedan determinadas por el uso que tendrá la estructura.

#### 5.1.6.2. Tensiones de Diseño

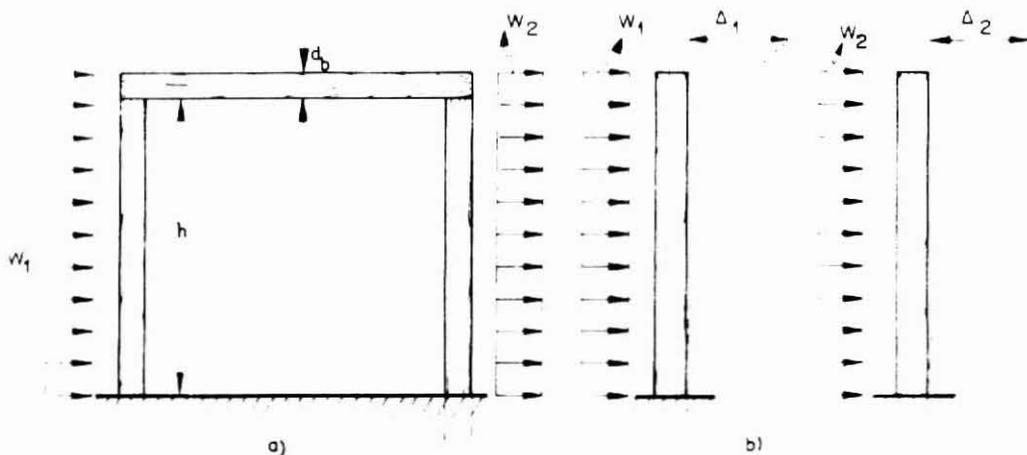
Las tensiones de diseño de los postes se calcularán con las indicaciones dadas en el Capítulo Cuarto. Las correspondientes a madera aserrada o cepillada con aquellas proporcionadas en el Capítulo Tercero.

#### 5.1.6.3. Procedimiento de Diseño

- i ) Determinación de las solicitaciones. La principal carga que afecta a un marco es la proveniente de la acción del viento con dirección horizontal. A ésta habrá que agregar las cargas verticales propias del peso propio y otras de tipo eventual.



- Determinación de la resultante de las solicici taciones horizontales sobre los postes y su ubica ción respecto a la Línea de Tierra. Cuando se usa un sistema rígi do en el extremo superior de los postes (el cual puede provenir de la techum bre) los postes del marco se deforman en forma similar en dicho extremo. Debido a que las solici taciones de sotavento (lado contrario a la dire cción del viento) pueden ser menores que las de barlovento (superficie que recibe el viento), el poste ubicado en sotavento ayuda a soportar las fuerzas de barlovento. A continuacio n se anali zará el caso de un marco con dos pilares solici tados con cargas horizontales, uniformemente repartida, producto de la acción del viento.



**FIGURA N° 27.** Diseño de un marco. Deformación.

- Aceptemos primero que los postes no están conc ectados entre sí y que cada uno de ellos se defo rma separadamente (Figura N° 27 b).

Sea :

$\Delta_1$  = deformación de barlovento (carga  $w_1$ )

$\Delta_2$  = deformación de sotavento (carga  $w_2$ )

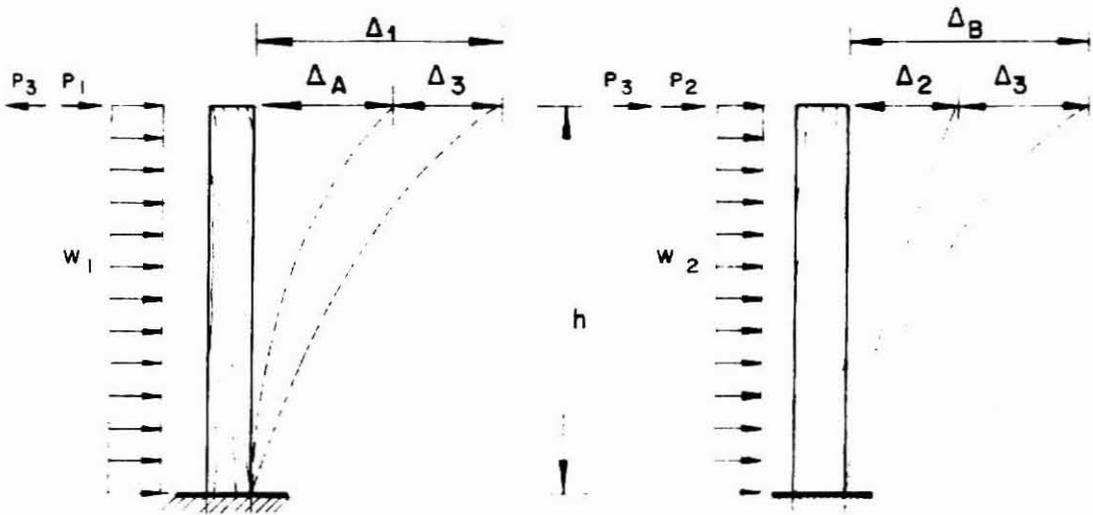
Siendo:  $\Delta_1 > \Delta_2$

- Para que las deformaciones sean iguales es necesario restar una deformación ( $\Delta_3$ ) a  $\Delta_1$  y sumar el mismo valor a  $\Delta_2$ .

Luego:  $\Delta_1 - \Delta_3 = \Delta_2 + \Delta_3$

Si :  $\Delta_A = \Delta_1 - \Delta_3$   
 $\Delta_B = \Delta_2 + \Delta_3$

Se tendrá :  $\Delta_A = \Delta_B$  (Ver Figura N° 28)



**FIGURA N° 28.** Comportamiento del marco con deformaciones iguales en cada pilar.

en que:

$$\Delta_1 = \frac{W_1 \times h^4}{8 EI} + \frac{W_1 \times d_b \times h^3}{3 EI}$$

$$\Delta_2 = \frac{W_2 \times h^4}{8 EI} + \frac{W_2 \times d_b \times h^3}{3 EI}$$

Con :

$$P_1 = W_1 \times d_b \quad (d_b = \text{altura de la viga horizontal})$$

$$P_2 = W_2 \times d_b$$

Si :  $P_3$  = carga que provoca la deformación  $\Delta_3$ ,

$$\Delta_3 = \frac{P_3 h^3}{3 EI}$$

Luego :  $\Delta_1 - \Delta_3 = \Delta_2 + \Delta_3$ ,

$$\frac{W_1 \times h^4}{8 EI} + \frac{W_1 d_b \times h^3}{3 EI} - \frac{P_3 \times h^3}{3 EI} = \frac{W_2 \times h^4}{8 EI} + \frac{W_2 \times d_b \times h^3}{3 EI} + \frac{P_3 \times h^3}{3 EI}$$

de donde :

$$P_3 = \frac{3h (W_1 - W_2)}{16} + \frac{d_b (W_1 - W_2)}{2}$$

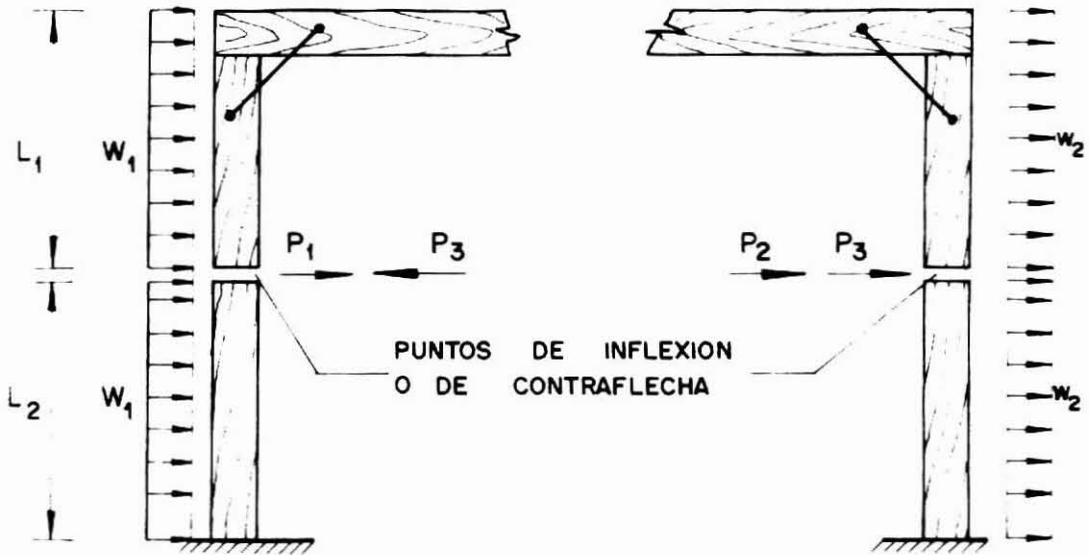
La resultante (P) de las fuerzas sobre el poste más solicitado (barlovento) y su línea de acción ubicada a la distancia  $h'$ , medida con respecto a la línea de tierra es:

$$P = W_1 \times h + P_1 - P_3$$

$$h' = \frac{W_1 \times h^2}{2P} + \frac{(P_1 - P_3)}{P} \times h$$

- Cuando se usan riostras inclinadas que unen el pilar y la viga es posible aceptar, sin gran error, que en los puntos de inflexión las deformaciones son iguales.

Las solicitaciones que actúan sobre el poste de barlovento, en y bajo el punto de inflexión se pueden calcular en forma similar al procedimiento descrito para postes sin riostras (ver Figura Nº 29).



**FIGURA N° 29.** Comportamiento de marco con riostras.

En este caso se obtiene :

$$P_1 = W_1 L_1$$

$$P_3 = \frac{L_1 (W_1 - W_2)}{2} + \frac{3 L_2 (W_1 - W_2)}{16}$$

$$P = W_1 \times (L_2 + L_1) - P_3$$

$$h' = \frac{(P_1 - P_3)}{P} \times L_2 + \frac{W_1 L_2^3}{P}$$

Con tales valores se determina el momento solicitante.

- ii ) Determinación de las tensiones admisibles del terreno usando los antecedentes locales o según de la Tabla N° 56.

iii) Estimación de la sección transversal del poste.

Con la ayuda de la Tabla N° 50 y las tensiones de diseño obtenidas según 5.1.6.2 será posible estimar el diámetro del poste que se necesita considerando, en esta primera etapa, sólo el momento solicitante.

Recordar que los diámetros dados en Tabla N° 50 normalmente se aplican al extremo superior (el más delgado) del poste. Si se necesitan dimensiones en otra zona de él se debe usar el valor de la conicidad de la especie considerada.

El tamaño del poste queda determinado, en mayor grado, por los esfuerzos de flexión, siendo menos influyentes los de compresión paralela. Sin embargo, estas sollicitaciones son interactivas y en el diseño final, habrá que aplicar la fórmula de interacción correspondiente.

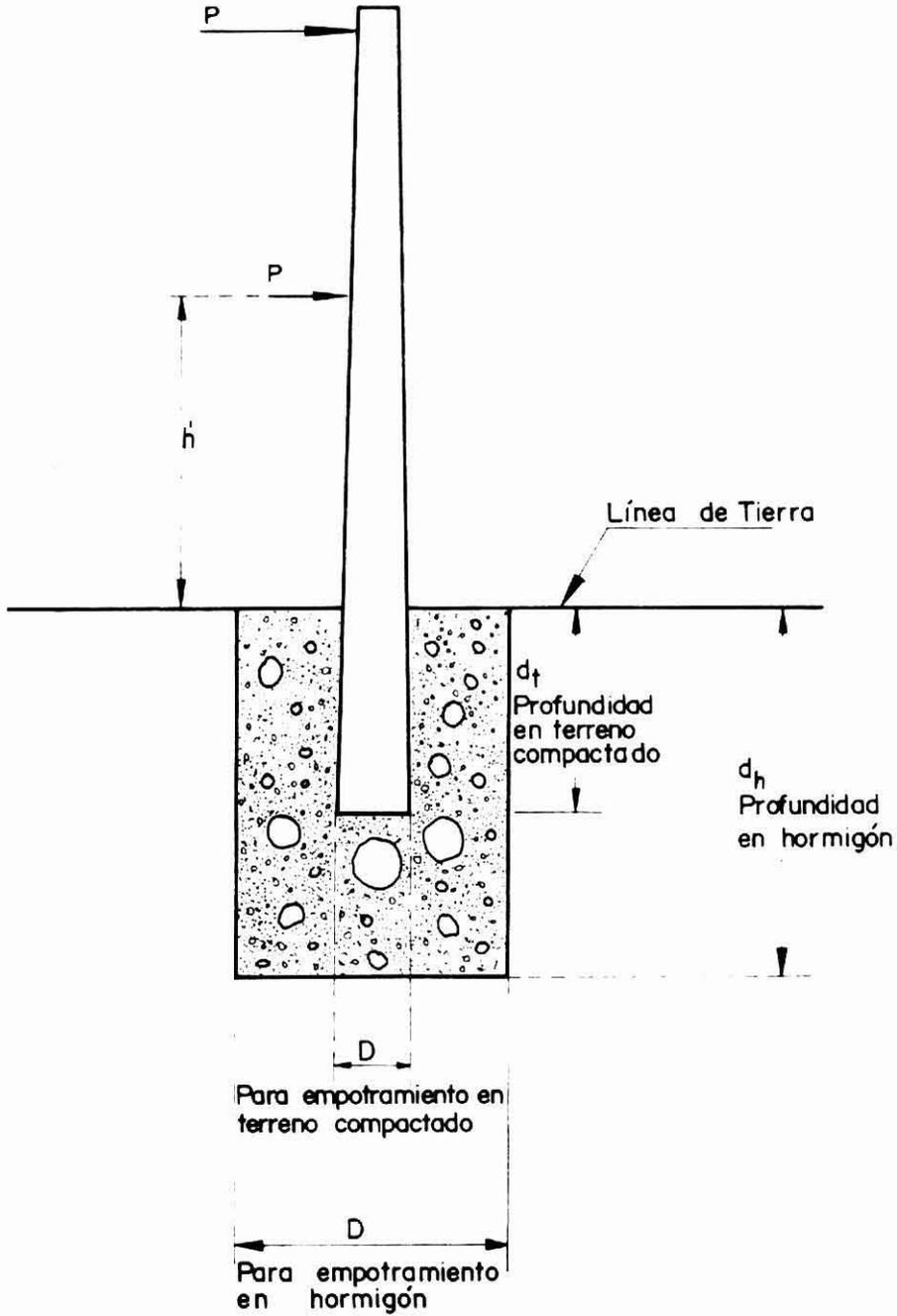
iv ) Determinación de la profundidad de empotramiento del poste.

El empotramiento que debe tener el poste, ya sea en terreno compactado o en una fundación de hormigón (ver Figura N° 30) se determina según las siguientes prescripciones:

a) Postes en terreno natural o compactado:

La profundidad ( $d_t$ ) de postes colocados en terreno natural o compactado se determina iterando con la expresión:

$$d_t = \frac{k}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{4,36 h}{k}} \right) \quad (\text{mm})$$



**FIGURA Nº 30.** Poste empotrado.

en que :

$$k = \frac{2340 \times P}{S_1 \times D} \times 10^3$$

P = carga horizontal aplicada en el poste, kN;

$S_1$  = presión de aplastamiento lateral admisible del suelo, (en MPa), basada en una profundidad igual a un tercio de la profundidad de empotramiento del poste, calculada según:

$$i) \quad S_1 = \frac{S_0 \times d}{900} \quad \text{Si: } 300 < d \leq 3.600 \text{ mm}$$

$$ii) \quad S_1 = 4 \times S_0 \quad \text{Si: } d > 3.600 \text{ mm}$$

$S_0$  = ver Tabla N° 56, MPa/mm.

h = altura, sobre la línea de tierra, a la cual se aplica la carga horizontal P cuando el extremo superior del poste está libre, mm.

D = diámetro del extremo inferior del poste, mm, diagonal de un pilar cuadrado o diámetro de la envoltura cilíndrica de hormigón ubicada en el extremo empotrado del poste.

NOTA: La penetración mínima, d, debe ser 300 mm en terreno natural o relleno compactado.

b) Postes en hormigón:

La profundidad,  $d_h$ , de empotramiento de postes en fundaciones de hormigón se determina iterando con la fórmula:

$$d_h = 2,062 \sqrt{\frac{P \times h^3}{S_3 \times D}}$$

en que :

P y D = tienen el significado expresado en a).



$S_3$  = presión de aplastamiento lateral admisible del suelo, en MPa, basada en una profundidad igual a la profundidad de empotramiento, calculada según:

$$i) S_1 = S_0 \times \frac{d}{300} \quad \text{Si: } 300 < d \leq 4.500 \text{ mm}$$

$$ii) S_1 = 15 \times S_0 \quad \text{Si: } d > 4.500 \text{ mm}$$

$S_0$  = ver Tabla N° 56, MPa/mm.

$h'$  = altura sobre la línea de tierra a la cual se aplica la carga horizontal, P, cuando el extremo superior del poste es tá impedido de desplazarse, mm.

c) En determinadas situaciones resulta más conveniente el uso de las siguientes expresiones para:

i) Empotramiento en terreno compactado:

$$d_t = 13,26 \sqrt[3]{\frac{P (h + 0,93 d_t)}{S_4 \times D} \times 10^3} \text{ (mm)}$$

ii) Empotramiento en fundación de hormigón:

$$d_h = 10,97 \sqrt[3]{\frac{P \times h}{D \times S_4} \times 10^3} \text{ (mm)}$$

en que :

P, h, D y  $d_h$  = tienen el significado expresado en a).

$S_4 = S_0 \times K_D \times K_t$  = valor tabulado de  $S_0$ , en MPa/mm, presión lateral del suelo) ajustado por duración de carga y desplazamiento máximo posible. Ver Tabla N° 56.

$K_D$  = factor de modificación por duración de carga.

$K_1$  = factor de mayoración por desplazamiento.

$K_1 = 2$  si se cumple nota de Tabla N° 56.

$K_1 = 1$  en cualquier otra situación.

**TABLA N° 56.** TENSION MAXIMA ADMISIBLE Y PRESION LATERAL ADMISIBLE DEL SUELO A UNA PROFUNDIDAD.

CLASE DE MATERIAL	TENSION ADMISIBLE DEL SUELO MPa $S_B$	PRESION DE APLASTAMIENTO LATERAL ADMISIBLE DEL SUELO POR cm DE PROFUNDIDAD MPa/mm $S_0$
<b>BUENO:</b> Arena compacta de granulometría uniforme y grava. Arcilla dura. Arena fina de granulometría.	0,35	0,0196
<b>MEDIO:</b> Arena fina compactada. Arcilla medianamente dura - Arcilla arenosa compactada - Arena gruesa suelta con grava (con drenaje de modo que el agua no pueda estacionarse).	0,12	0,0098
<b>POBRE:</b> Arcilla blanda - Arcillosa con barro - Arena pobremente compactada - Arcillas que contienen grandes cantidades de sedimento (tarrones que se saturan durante periodos húmedos).	0,073	0,0049

**NOTA:** En el cálculo de  $S_4$  se acepta duplicar el valor tabulado para  $S_0$ , en postes aislados tales como mástiles de bandera o de letreros y en aquéllos que soportan edificios que no quedan afectados por una deformación, de 12,5 mm en la Línea de Tierra, debida a la acción de cargas de corta duración.

v ) Verificación de las tensiones de flexión.

La tensión de trabajo efectiva de flexión, calculada según 4.5.1., no debe sobrepasar la tensión de diseño en flexión, obtenida según 5.1.6.2.

Cuando se usa arriostramientos entre pilar y  $v_i$

ga, el momento máximo de flexión, en el tramo sobre el punto de inflexión del pilar, se produce en el punto de unión de arriostramientos y pilar. Las tensiones efectivas de flexión, en este punto, deben ser verificadas a fin de asegurarse que ellas no excedan la tensión de diseño en flexión.

- vi ) Verificación de las tensiones de compresión paralela.

La tensión efectiva de compresión paralela, calculada según 4.6.1., no debe sobrepasar la tensión de diseño correspondiente, obtenida según 5.1.6.2.

- vii) Verificación por flexo-compresión.

Aplicar la expresión definida en 3.7.3 en el punto donde se produce el momento máximo. Puede asumirse que este punto se ubica en la Línea de Tierra cuando se usa relleno de hormigón o suelo-cemento o a  $1/4$  de la profundidad de empotramiento, bajo la Línea de Tierra cuando se usa relleno de suelo compactado.

- viii) Verificación de las tensiones sobre el terreno.

Las tensiones sobre el terreno ( $\sigma_t$ ) se pueden determinar con la expresión:

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

en que :

P = carga vertical total, aplicada sobre el poste, en N.

A = sección transversal del extremo inferior del poste, en mm<sup>2</sup>.

Si esta tensión de trabajo excede la capacidad de aplastamiento del terreno en cuestión ( $S_0$  en Tabla N<sup>o</sup> 56), deberá recurrirse a una fundación de hormigón.

La sección transversal horizontal (inferior) de la fundación de hormigón ( $A_h$ ) que se requiere, puede ser obtenida con la expresión:

$$A_h = \frac{P}{S_B}$$

Con :

$P$  = carga vertical total.

$S_B$  = tensión admisible del suelo, obtenida de la Tabla N° 56.

## 5.2. Cerchas

### 5.2.1. Generalidades

Esta presentación se limitará a los procedimientos básicos de diseño, dando énfasis únicamente a las cerchas de madera.

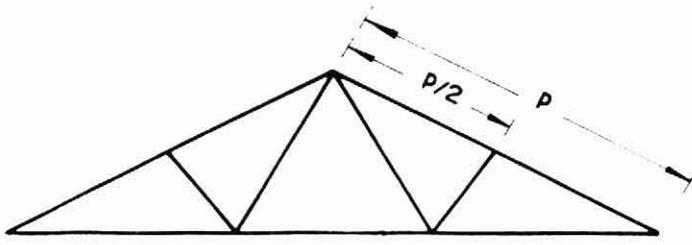
Los tipos de cerchas más usadas (ver Figuras N° 31 y N° 32), son:

- a) Triangulares o con pendiente.
- b) Rectangulares o con cordones paralelos.
- c) Con cordón superior curvo.
- d) Con cordón superior poligonal.
- e) Especiales (tales como tipo tijeras, diente de sierra, etc.).

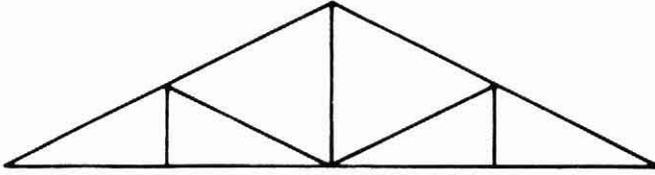
Algunas formas de techumbre quedan determinadas por consideraciones arquitectónicas. Sin embargo, la mayoría de las veces es el calculista el que selecciona el tipo de cercha a usar, tomando en cuenta factores como: economía, luz y la estética deseada para la estructura. La luz máxima que económicamente se puede recomendar para los diferentes tipos de cerchas de madera dependerá del material disponible, solicitudes, método de fabricación y mano de obra con que se cuenta. En la Figura N° 33 se señalan los tipos de cerchas triangulares y los elementos de unión que se recomiendan para diferentes luces.

Se ha demostrado que la cercha con cordón superior curvo (de radio igual a la luz), es la más económica cuando las cargas solicitantes son uniformemente repartidas, ya que éstas inducen esfuerzos pequeños en las diferentes barras, sean éstas perimetrales o internas. Esto es particularmente importante, debido a que resultan elementos de unión simples y compactos.

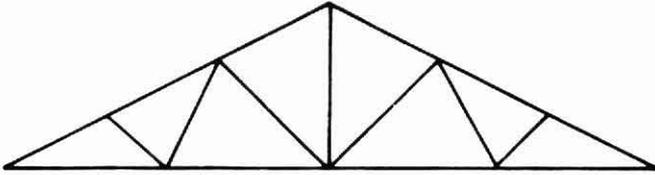




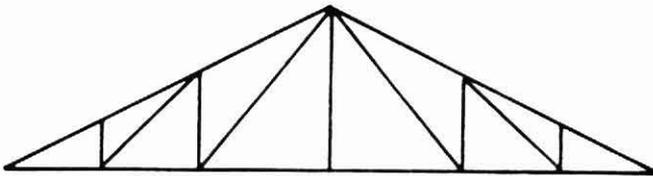
W FINK



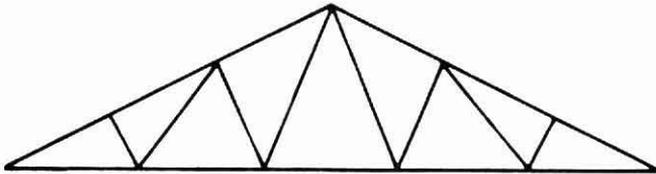
HOWE



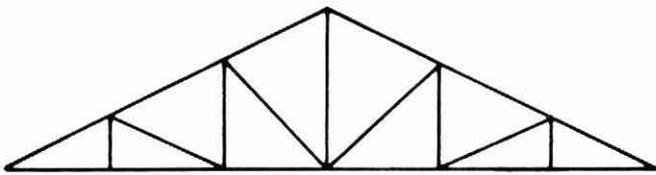
QUEEN - POST



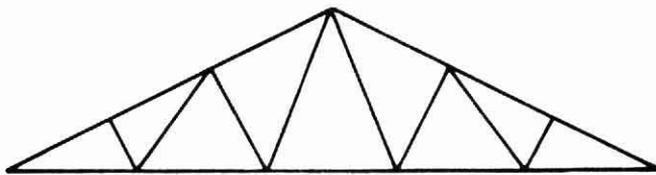
PRATT



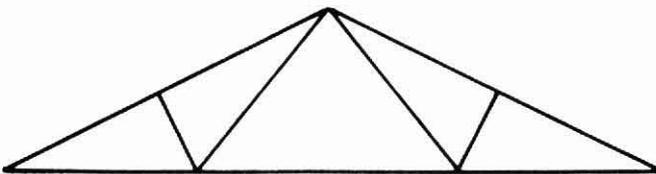
WW FINK



DOBLE HOWE

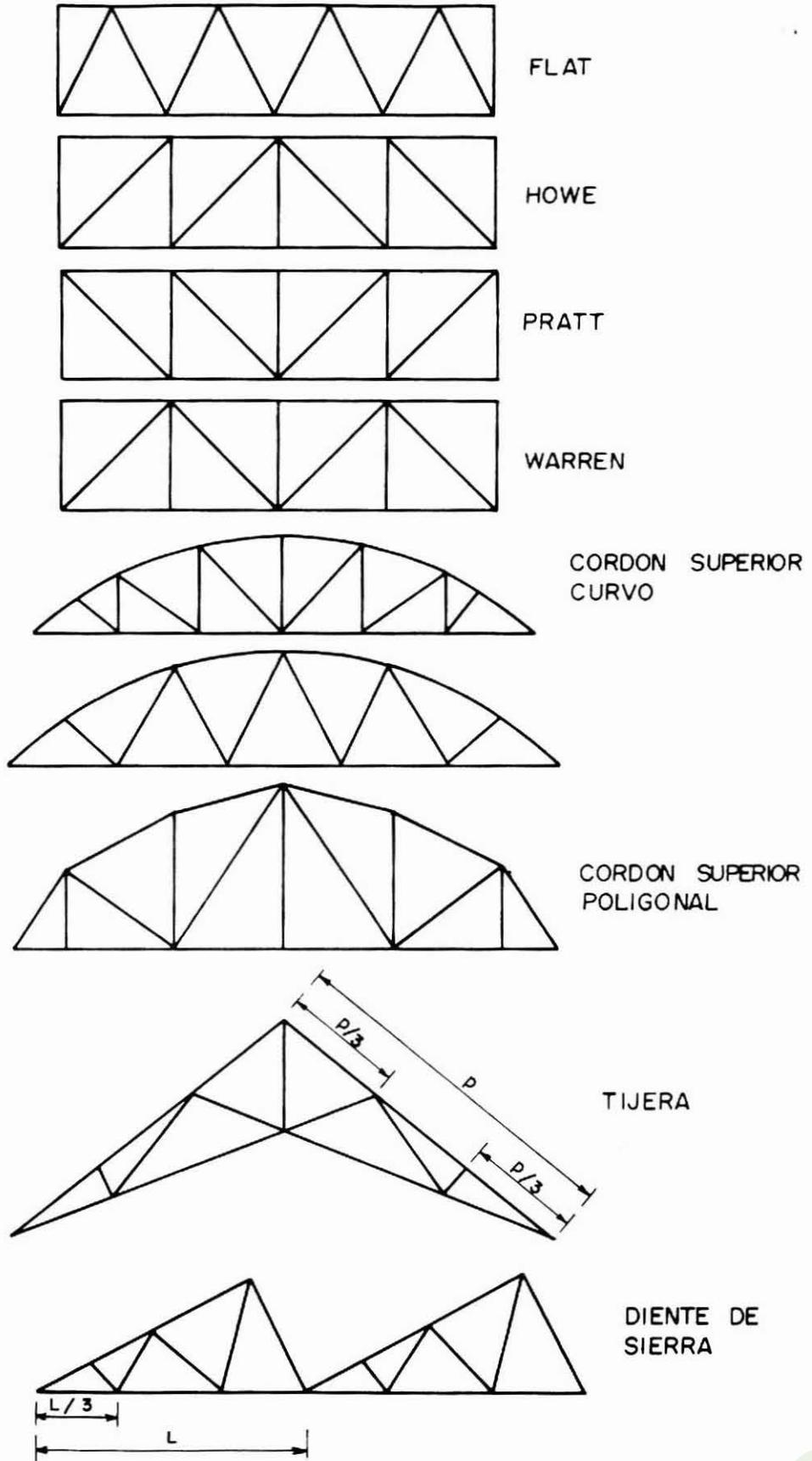


FINK



FINK

FIGURA Nº 31. Tipos de cerchas.



**FIGURA Nº 32.** Tipos de cerchas.

	TIPO DE CERCHA	LUZ metros	TIPO DE UNION																	
			A									B								
			1			2			3			B								
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	4	5	
1		3-6	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
2		3-6	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
3		3-6	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
4		3-6	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
5		5-10	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
6		5-10	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
7		5-10	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
8		5-10	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢	█	▢
9		8-15					█	█					█	█						
10		8-15					█	█					█	█						
11		8-15					█	█					█	█						
12		8-15					█	█					█	█						
13		8-15					█	█					█	█						

A. Barras en el mismo plano

1. Gusset de tablas

- 1 Clavos
- 2 Tornillos
- 3 Adhesivos
- 4 Adhesivos + clavos
- 5 Adhesivos + tornillos

2. Gusset de contrachapado

- 1 Clavos
- 2 Tornillos
- 3 Pernos
- 4 Adhesivos
- 5 Adhesivos + clavos
- 6 Adhesivos + tornillos

3. Gusset de metal

- 1 Clavos
- 2 Tornillos
- 3 Pernos

B. Barras en distinto plano

- 1 Clavos
- 2 Tornillos
- 3 Pernos
- 4 Adhesivos + clavos
- 5 Adhesivos + tornillos

**FIGURA N° 33.**

Información básica para cerchas triangulares de madera.

La cercha de tipo triangular se recomienda cuando las cargas se transmiten a la cercha en puntos específicos (cargas concentradas). La cercha tipo PRATT tiene la ventaja que, para cargas verticales, las diagonales (que son los elementos más largos), quedan traccionadas y los elementos más cortos, comprimidos. Esta cercha si tiene poca pendiente, resulta muy económica para luces de hasta 24 m.

La cercha PRATT y la WW FINK pueden usarse para luces de hasta 30 m. Ellas resultan más económicas que el tipo W FINK para pendientes comprendidas entre 25% y 45% y luces superiores a 15 m. La luz óptima del tipo W FINK está comprendida entre 12 y 18 m, siempre que la pendiente sea superior a 45%.

El tipo TIJERA puede usarse eficientemente con luces hasta de 24 m y se utiliza para dar mayor altura en el centro del recinto.

En las cerchas rectangulares se recomiendan alturas comprendidas entre  $\frac{1}{8}$  y  $\frac{1}{10}$  de su luz y en las de cordón superior curvo (con radio de curvatura igual a la luz de la cercha) una altura total igual a 0,134 de la luz; sin embargo, en este último caso, si las cerchas deben tener una altura menor se pueden tomar radios de curvatura mayores y viceversa.

Los cordones pueden estar constituidos por uno, dos o varios elementos. En el caso de cordones (superiores o inferiores) con dos elementos, las diagonales y montantes se ubicarán entre ellos.

Los elementos constituidos por una pieza, soportarán cargas a lo menos iguales que aquéllos conformados por dos o más piezas que proporcionen igual sección transversal, pero estarán propensos a pandearse con mayor facilidad.

La distancia entre nudos estará determinada por la ubicación deseada de las costaneras, por las cargas concentradas o por el arriostramiento entre cerchas.

Para cerchas de cordón superior curvo, sometidas a cargas uniformemente distribuidas, conviene elegir una distancia

entre nudos comprendida entre 2,4 y 3,6 m, dependiendo de la luz de la cercha.

La distancia entre cerchas estará controlada por la disposición más económica que sea capaz de soportar las cargas que actúan sobre la estructura de la techumbre. Para costaneras de madera aserrada, la distancia más económica y práctica es 4,8 m. Cuando se utilicen costaneras de madera laminada, esta distancia sólo será limitada por aspectos económicos, pues dichos elementos laminados se pueden fabricar de cualquier longitud, considerándose económicas distancias de 9 m.

En cuanto a los arriostramientos, será conveniente colocar entre cerchas aquéllos del tipo X en un plano vertical o semejante, perpendicular al plano de éstas, usando para ello madera aserrada.

Otro tipo de arriostramiento es el requerido para soportar la acción del viento lateral, el cual puede disponerse a nivel del cordón superior de las cerchas, entre éstas y que puede estar constituido por elementos de madera aserrada o barras de acero redondo provistas de pernos de ajuste, calculándose como cercha horizontal con cargas de viento lateral para determinar sus secciones transversales y elementos de unión.

## 5.2.2. Procedimiento General de Diseño

### 5.2.2.1. Hipótesis de Cálculo

Ninguna estructura real es factible de ser analizada estructuralmente. El análisis debe efectuarse en modelos o analogías de la estructura definitiva. A fin de crear un modelo de dicha estructura deberán aceptarse ciertas hipótesis de cálculo, lo cual es común a todo tipo de estructuras y materiales. Los elementos, sus propiedades, uniones, cargas, apoyos y la geometría de la estructura deben ser idealizados de modo que se puedan



aplicar los procedimientos analíticos. Las hipótesis generales de cálculo que se adoptan para el análisis estructural de las cerchas, son las siguientes:

- i ) La cercha es una estructura bidimensional, contenida en un plano.
- ii ) Los elementos o barras son inicialmente rectos, prismáticos, de material elástico con propiedades uniformes.
- iii) Las cargas son aplicadas en el plano de la cercha con cargas de peso propio y eventuales (nieve) que la solicitan verticalmente y cargas de viento que actúan en dirección normal al cordón superior de la cercha.
- iv ) El sistema de fuerza conformado por cargas y reacciones está en equilibrio.
- v ) El desplazamiento de los nudos y de las barras es relativamente pequeño.
- vi ) Los ejes centroidales de las barras se interceptan en un punto en los nudos.
- vii) Las solicitaciones de las barras tienen una dirección que coincide con su eje centroidal.

#### 5.2.2.2. Cálculo de las Solicitaciones en las Barras

Las solicitaciones axiales en las barras pueden determinarse a través de diferentes métodos de análisis estructural. En general, estos métodos requieren que se establezcan y acepten las siguientes hipótesis:

- i ) Las barras de la cercha deben considerarse como rótulas en sus puntos de encuentro (nudos).
- ii ) Las cargas se aplican sólo en los nudos, con lo cual se obtienen sólo solicitaciones axiales en las barras.
- iii) Las cargas y reacciones se aplican puntualmente sobre la estructura (en un punto).

A continuación se analizarán, brevemente, un método gráfico y dos analíticos a usar en la determinación de las solicitaciones en las barras.

a) METODO GRAFICO. Se basa en el hecho de que si en un cuerpo en equilibrio actúa un sistema de fuerzas conocidas conjuntamente con otras dos fuerzas (P y Q) de las cuales se conocen sus direcciones pero no sus magnitudes, éstas se pueden obtener mediante la confección del polígono de fuerzas que consulta todas las fuerzas en equilibrio (ver Figura Nº 34).

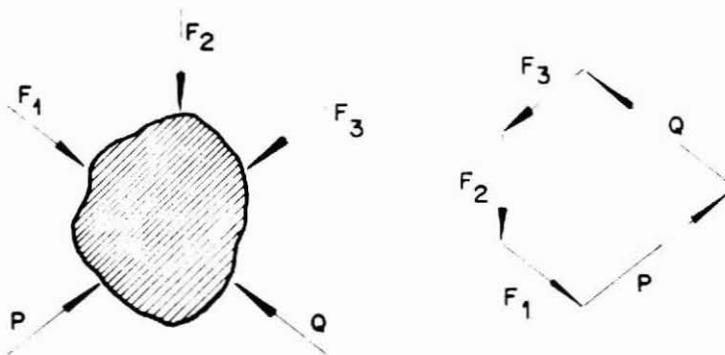
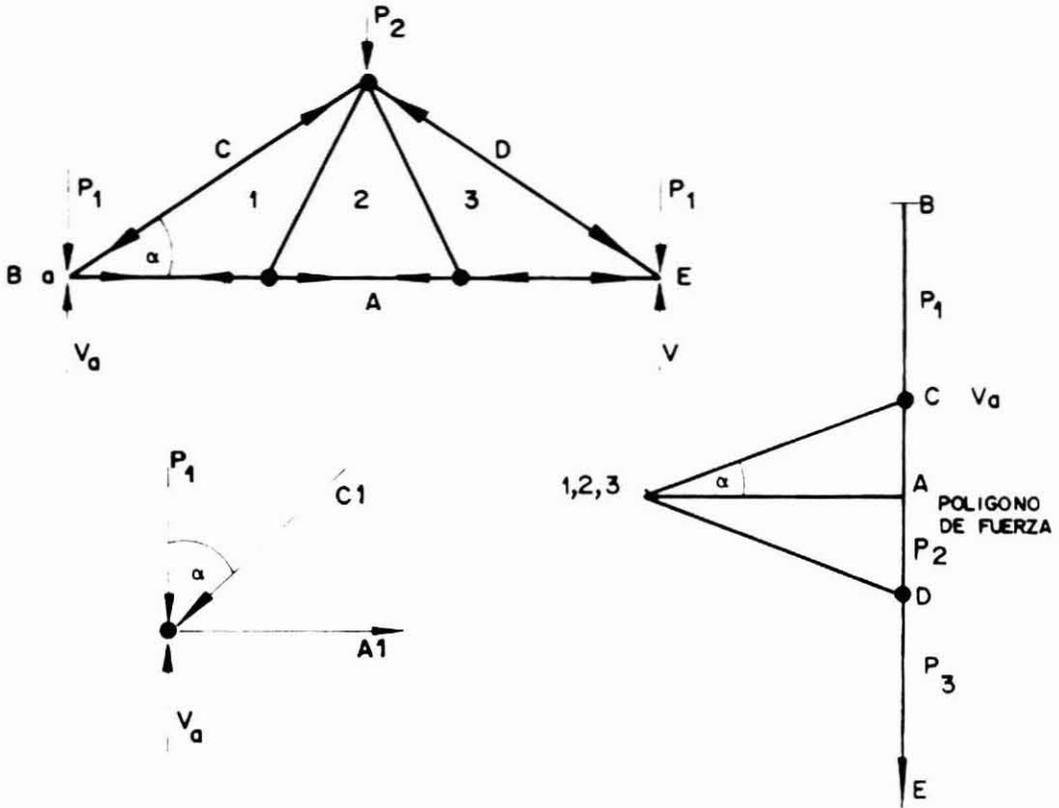


FIGURA Nº 34. Polígono de fuerzas.

Así una cercha puede ser completamente analizada para las fuerzas que concurren en los nudos y de las cuales



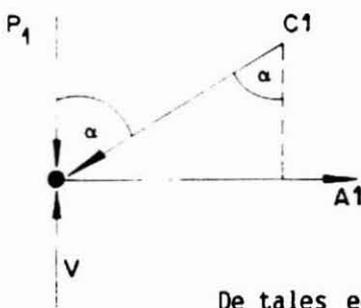
sólo dos magnitudes son desconocidas. El análisis ha  
brá que hacerlo en cada uno de la totalidad de los nu  
dos. (Ver Figura Nº 35).



**FIGURA Nº 35.** Ejemplo de aplicación del método gráfico.

b) METODO ANALITICO 1. Corresponde a la solución ma  
temática del criterio gráfico. Cada nudo de la cercha  
se analiza aisladamente como un cuerpo en equilibrio  
por la acción de las fuerzas externas e internas (de  
las barras) que concurren en él. Sólo se podrán consi  
derar aquellos nudos en los cuales sólo existen dos fuer  
zas concurrentes desconocidas. Esto requiere de una  
cuidadosa selección del orden a elegir en la solución  
de los diferentes nudos. En general, se debe solucio  
nar un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, siste  
ma que queda dado por las ecuaciones de equilibrio de  
las fuerzas proyectadas sobre un eje horizontal y otro  
vertical.

Para el caso del nudo a, analizado en el método gráfico, se tiene:



Datos :  $P_1$ ;  $V$ ;  
 Incógnitas :  $C_1$ ;  $A_1$

- i )  $A_1 - C_1 \text{ sen } \alpha = 0$  (sobre eje horizontal)
- ii)  $P_1 + C_1 \text{ cos } \alpha - V = 0$

De tales ecuaciones será posible conocer la magnitud de las incógnitas  $A_1$  y  $A_2$ .

c) METODO ANALITICO 2. A veces interesa conocer sólo los esfuerzos que actúan en una o dos barras de la cercha. En tal caso debe usarse el método de las secciones, el cual permite conocer hasta tres incógnitas, usando las tres ecuaciones de equilibrio de la estática. El método consulta el trazado de secciones que aisla una parte de la cercha la que se trata como un cuerpo en equilibrio, en el cual pueden existir no más de tres fuerzas desconocidas que se pueden calcular resolviendo las tres ecuaciones de equilibrio.

En el caso de la cercha analizada anteriormente, se tiene en la Figura Nº 36.

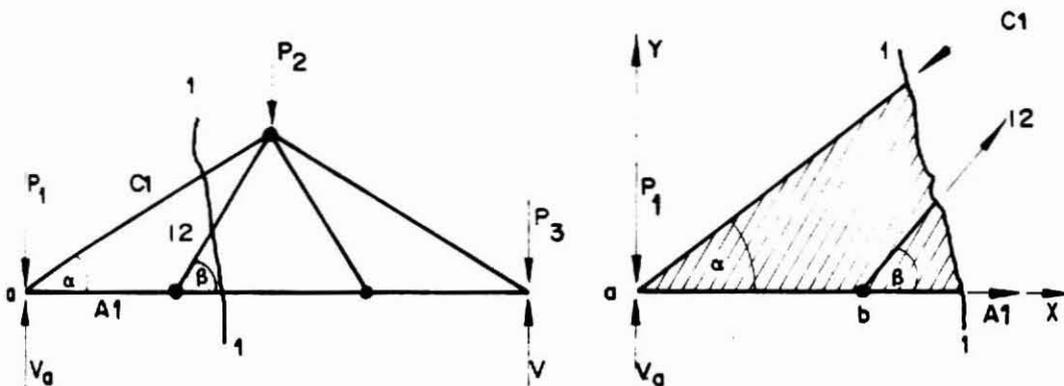


FIGURA Nº 36. Ejemplo de aplicación de método analítico.

Datos :  $P_1$ ;  $V_a$ ;  $\alpha$ ;  $\beta$   
 Incógnitas :  $C_1$ ;  $A_1$ ;  $12$

Ecuaciones a usar :  $\Sigma F_x = 0$        $\Sigma M_a = 0$   
 $\Sigma F_y = 0$

5.2.2.3. Diseño de las Cerchas Triangulares

El procedimiento a seguir en el diseño de las cerchas triangulares, es el siguiente:

- i ) Determinación de las cargas solicitantes. Las cargas que actúan sobre las cerchas se pueden determinar con los antecedentes que se entregan en las normas nacionales, incluidas en el Tomo II de este Manual y con la Tabla Nº 57.

**TABLA Nº 57.** PESO APROXIMADO (Kg/m<sup>2</sup>) DE CERCHAS DE MADERA MEDIDO EN LA SUPERFICIE DE TECHUMBRE.\*

LUZ (m)	INCLINACION O PENDIENTE			
	<sup>1</sup> / <sub>2</sub> ( $\alpha = 26,6^\circ$ )	<sup>1</sup> / <sub>3</sub> ( $\alpha = 18,4^\circ$ )	<sup>1</sup> / <sub>4</sub> ( $\alpha = 14,0^\circ$ )	Horizontal ( $\alpha = 0^\circ$ )
Hasta 11 m	14,7 Kg/m <sup>2</sup>	17,1 Kg/m <sup>2</sup>	18,3 Kg/m <sup>2</sup>	19,5 Kg/m <sup>2</sup>
11 - 15 m	15,9 Kg/m <sup>2</sup>	18,3 Kg/m <sup>2</sup>	19,5 Kg/m <sup>2</sup>	22,0 Kg/m <sup>2</sup>
15 - 18 m	17,1 Kg/m <sup>2</sup>	19,5 Kg/m <sup>2</sup>	22,0 Kg/m <sup>2</sup>	23,2 Kg/m <sup>2</sup>
18 - 21 m	18,3 Kg/m <sup>2</sup>	22,0 Kg/m <sup>2</sup>	23,2 Kg/m <sup>2</sup>	25,7 Kg/m <sup>2</sup>
21 - 24 m	20,8 Kg/m <sup>2</sup>	24,4 Kg/m <sup>2</sup>	26,9 Kg/m <sup>2</sup>	29,3 Kg/m <sup>2</sup>

\* H. J. Hansen. "Design loads for wooden roof trusses".

- ii ) Cálculo de las solicitaciones en los diferentes elementos de las cerchas. De acuerdo a los antecedentes señalados en 5.2.2.2.

- iii) Selección de la especie y grado de calidad estructural de la madera a usar. La elección de la especie maderera de la localidad en donde se va a ubicar la estructura y de las maderas más comunes de la zona. El grado estructural debe seleccio

narse en función de la resistencia que de la ma  
dera se desea, sin embargo, algunos grados son  
más fáciles de obtener y, por lo tanto, se usan  
con mayor frecuencia. Como regla general, deben  
preferirse los grados con las tensiones más ba  
jas porque ellos proveen el diseño más eficiente  
y económico.

- iv ) Determinación de las escuadras requeridas en los distintos elementos de la cercha. El dimen  
sionamiento de las escuadras deberá seguir las recomendaciones entregadas en el Capítulo Terce  
ro de este texto.
  
- v ) Diseño de las uniones. Considerando primero aqué  
llas que soportan las solicitaciones mayores. Se  
debe establecer el espaciamiento entre elementos  
de unión y la distancia de ellos al borde y a los  
extremos de la pieza que se une. Además, se de  
be evitar la distribución excéntrica de los me  
dios de unión. Si ello ocurre, se debe conside  
rar el efecto de los momentos de flexión que se  
inducen.

#### 5.2.2.4. Cálculo de la Deformación de una Cercha

La deformación  $\Delta_j$  de un nudo "j" de una cercha puede ser determinada mediante el método de los trabajos vir  
tuales. En este método, se aplica en el nudo (j) cuya deformación se desea determinar, una carga unitaria con la dirección del desplazamiento que se necesita con  
ocer. Esta carga unitaria provoca esfuerzos axiales in  
ternos ( $f_{ij}$ ), en todas las barras ("i") de la cercha con magnitudes que pueden determinarse con los métodos reseñados en 5.2.2.2. La deformación final ( $\Delta_j$ ) se de  
termina sumando los efectos ( $f_{ij}$ ), de la carga unita  
ria y de la carga real de diseño ( $F_i$ ), mediante el uso de la expresión:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \times f_{ij} \times L_i}{A_i E_i}$$



en que :

$\Delta_j$  = desplazamiento del nudo "j".

$F_i$  = carga real en la barra "i".

$f_{ij}$  = solicitación en la barra "i" originada por la carga unitaria aplicada en el nudo "j".

$L_i$  = longitud de la barra "i".

$A_i$  = sección transversal de la barra "i".

$E_i$  = módulo de elasticidad de la barra "i".

$n$  = número de orden de la barra.

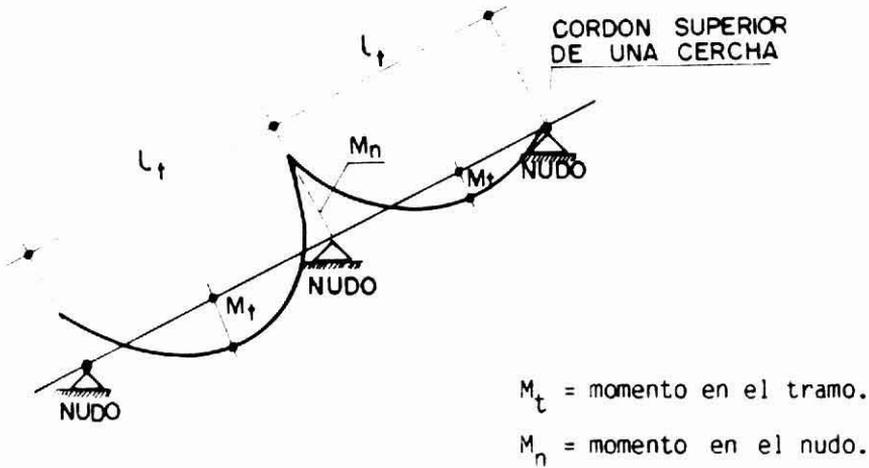
Las deformaciones máximas admisibles se pueden asimilar a las definidas para vigas de techumbre y que aparecen en la Tabla Nº 40.

### 5.2.3. Diseño de Cerchas con Cargas Repartidas

Es común que sobre el perímetro de una cercha se apliquen cargas repartidas, alejándose así de una de las hipótesis aceptadas; cual es: "las cargas se aplican sólo en los nudos". En este caso el procedimiento a seguir es:

- 1) Determinar el área tributaria de cada nudo y calcular la carga concentrada equivalente a la carga repartida que actúa sobre dicha área tributaria, aplicándola sobre el nudo correspondiente.
- 2) Con tales cargas concentradas, aplicadas en los nudos, calcular las solicitaciones de las barras según 5.2.2.2.
- 3) Debido a carga repartida se producen momentos de flexión en el tramo de las barras y en sus apoyos (nudos). El análisis

acepta que el cordón es una viga continua sobre los apoyos.  
Ver Figura Nº 37.



**FIGURA Nº 37.** Diagrama de momento para un cordón superior de una cercha con carga repartida.

La ecuación para calcular estos momentos es:

$$M_i = K \times q \times \ell_t^2$$

en que :

$M_i$  = momento de flexión en el tramo o en el nudo.

$q$  = carga uniformemente distribuida.

$\ell_t$  = longitud del tramo.

$K$  = coeficiente que se obtiene usando las fórmulas estándares de ingeniería para vigas continuas de 2 o más tramos. Ver Tomo II.

### 5.3. Diafragmas

#### 5.3.1. Generalidades

Un aspecto crítico en el diseño de las construcciones en madera es el que tiene relación con su baja resistencia a cargas laterales de viento o sismo, debido a la dificultad que se presenta en la rigidización, en forma eficiente, de sus nudos, resultando deformaciones mayores que las admisibles.

El método más usado para el arriostramiento lateral de edificios de madera es mediante el empleo de muros o diafragmas verticales que toman el esfuerzo de corte originado en las estructuras de techumbre y/o de piso (diafragmas horizontales), transmitiéndolo a las fundaciones. Ver Figura N° 38.

Un diafragma se puede definir como un elemento estructural delgado, normalmente rectangular formado por pie-derechos o vigas y revestimiento, capaz de soportar solicitaciones de cizalle y que por rigidez limita las deformaciones de una estructura. Como revestimiento se puede usar cualquier producto apropiado tales como: madera elaborada, tableros derivados de la madera o de otros materiales. La diferencia entre los distintos tipos de revestimientos se refleja en la rigidez y resistencia final del diafragma.

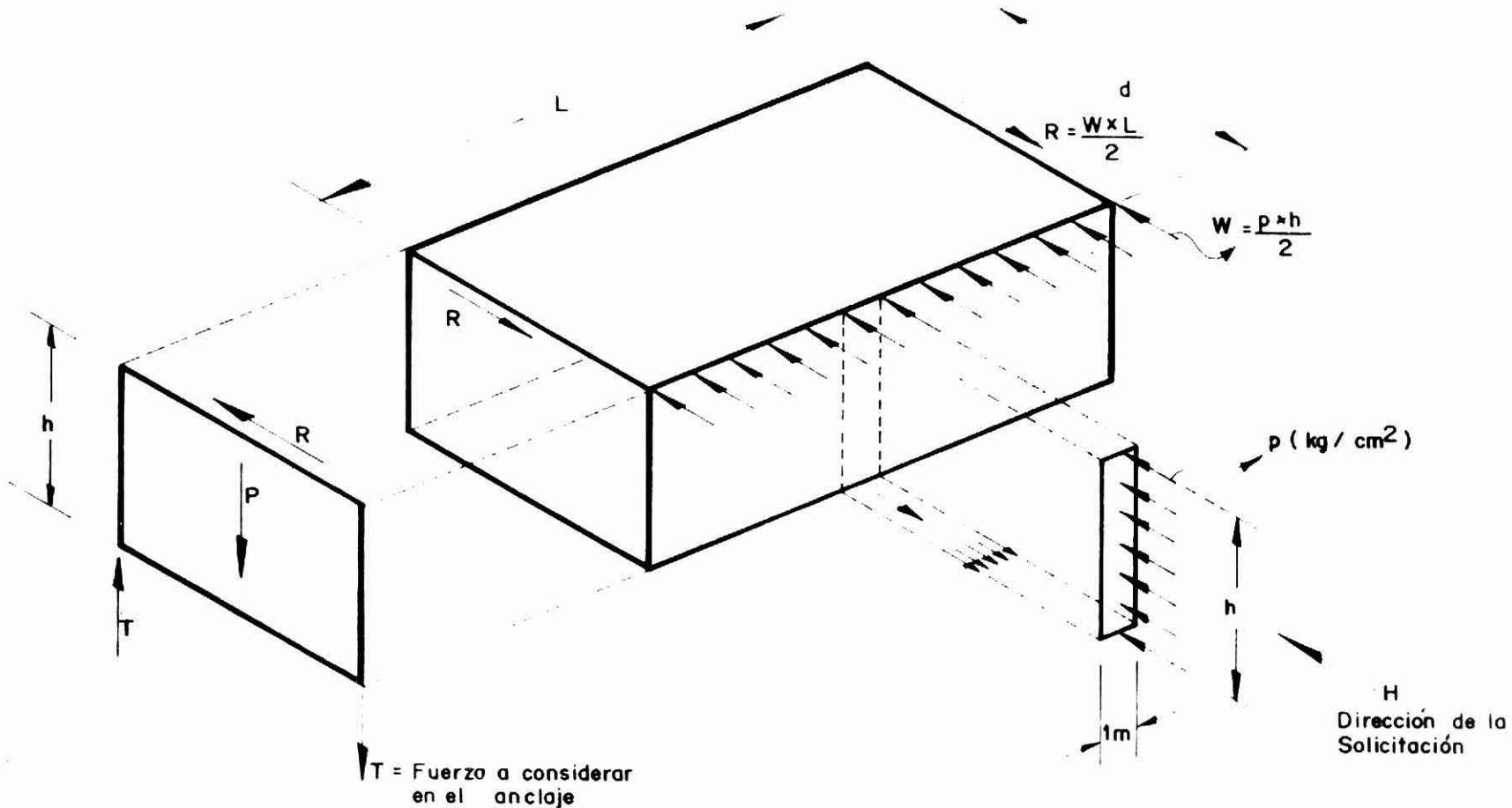
#### 5.3.2. Tipos de Diafragmas de Madera

En general los tipos de diafragmas más usados se pueden clasificar de acuerdo a:

- su revestimiento
- su disposición.

##### 5.3.2.1. Tipos de Diafragmas según su Revestimiento

- a) Diafragma con estructura de madera conformada por soleras y pie-derechos y con un revestimiento constituidos por tablas elaboradas de canto recto, machihembradas o tingladas, con su eje formando ángulo recto con soleras o pie-derechos y clavadas a ellos en cada encuentro.



**FIGURA Nº 38.** Comportamiento de un edificio frente a cargas horizontales.

- b) Diafragma con estructura de madera (soleras y pie-de-rechos) forrado con un entablado en diagonal, que generalmente se ubica formando un ángulo de  $45^\circ$  con los pie-derechos y soleras.
- c) Diafragma con estructura de madera, forrado por ambos lados con entablado en diagonal, ubicado a  $45^\circ$  respecto a pie-derechos y soleras pero contrapuesto entre sí, de modo que los ejes de las tablas de ambos revestimientos formen un ángulo recto.
- d) Diafragma con estructura de madera, forrado por uno o ambos lados con contrachapado. Este tipo posee mejores características para transmitir esfuerzos de corte.

#### 5.3.2.2. Tipos de Diafragmas según su Disposición

- a) Diafragmas Horizontales.

Toman esta designación aquellos elementos planos horizontales (pisos) o inclinados (techumbres) los cuales, además de resistir solicitaciones verticales de peso propio y sobrecarga, pueden soportar fuerzas horizontales (viento o sismo) y transmitir las a las subestructuras verticales (muros de corte) conectadas a ellos.

Un diafragma horizontal solicitado en su plano se comporta en forma similar a una viga compuesta, dispuesta en el plano horizontal. El revestimiento de piso o techumbre actúa como el alma, las vigas intermedias de apoyo corresponden a los atiesadores del alma y los elementos de borde, perpendiculares a la dirección de la fuerza toman el nombre de cuerdas y se comportan como las alas de la viga compuesta. Los elementos de borde paralelos a la dirección de la fuerza se denominan montantes.



Las solicitaciones normales al plano del diafragma de terminan, en primera instancia, el espesor del revestimiento y las dimensiones de la sección transversal de los elementos interiores (vigas) de dicho diafragma.

Las solicitaciones que actúan en el plano del diafragma dimensionarán los elementos perimetrales. La compresión o tracción en las cuerdas se calculan dividiendo el momento de flexión por la distancia existente entre ambas cuerdas. Los montantes extremos están constituidos por las vigas de borde ubicadas sobre un muro de corte y su esfuerzo axial es igual a la reacción. Ver Figura Nº 39.

El corte, en el diafragma, deberá ser tomado por el revestimiento.

Cuando existan muros interiores, habrán distintos cortes unitarios ( $v$ ) en el diafragma, excepto si las luces y cargas resulten ser iguales para los diferentes diafragmas, lo cual constituiría una casualidad.

Cuando el diafragma de piso es soportado por un muro que no tiene todo el ancho del edificio, o si hay vanos en el muro, se requerirá un elemento que amarre los muros y que, además, sea capaz de equilibrar el corte proveniente del piso. Ver Figura Nº 40.

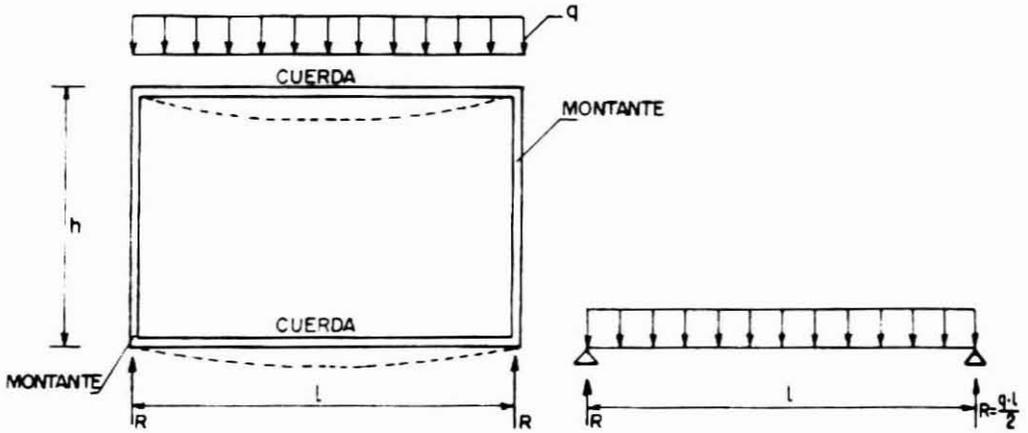
Cuando el diafragma horizontal no está apoyado en sus cuatro bordes o cuando la planta del edificio es asimétrica se induce un momento de torsión que debe ser absorbido por los muros de corte (diafragmas verticales) en los cuales él se apoya. Ver Figura Nº 41.

#### b) Diafragmas Verticales.

Son los elementos estructurales verticales que transmiten las cargas de los pisos o techumbres (diafragmas horizontales) a las fundaciones. Comúnmente son denominados muros de corte debido a que las solicitaciones horizontales son absorbidas mediante esfuerzos de corte.

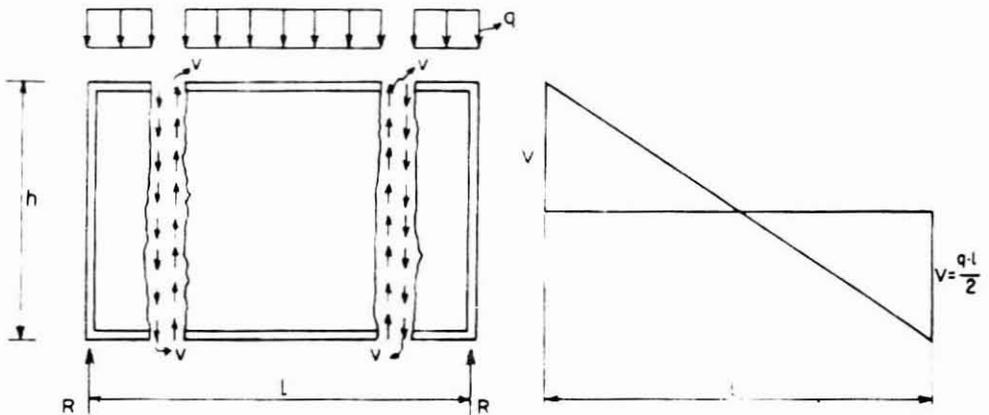


a) DIAGRAMA DE CARGA

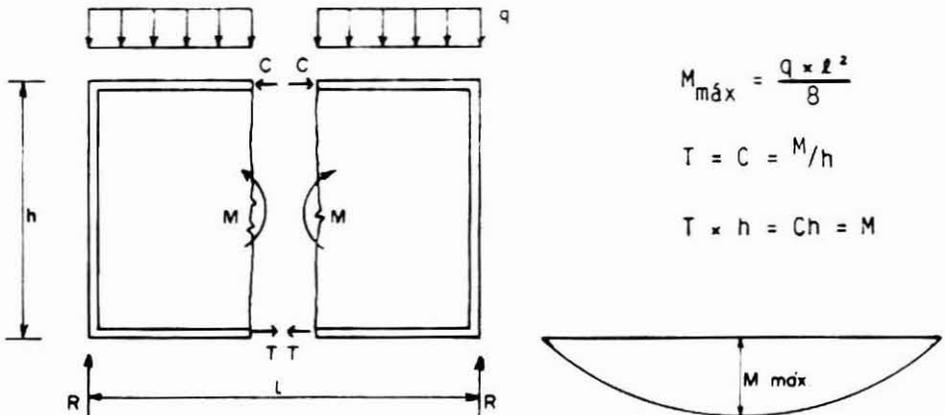


b) DIAGRAMA DE CORTE

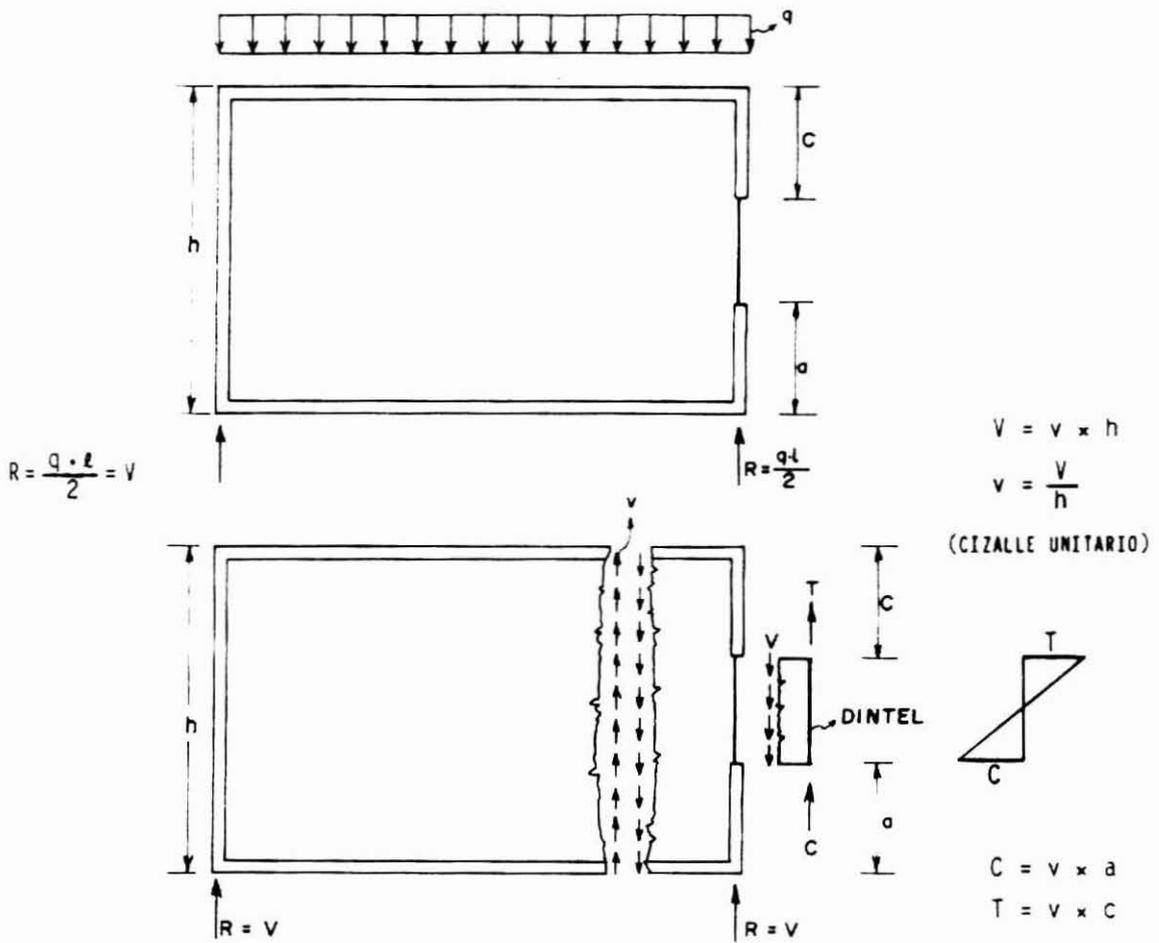
$h \times v = V$   
 $v = \frac{V}{h}$   
 (CIZALLE UNITARIO)



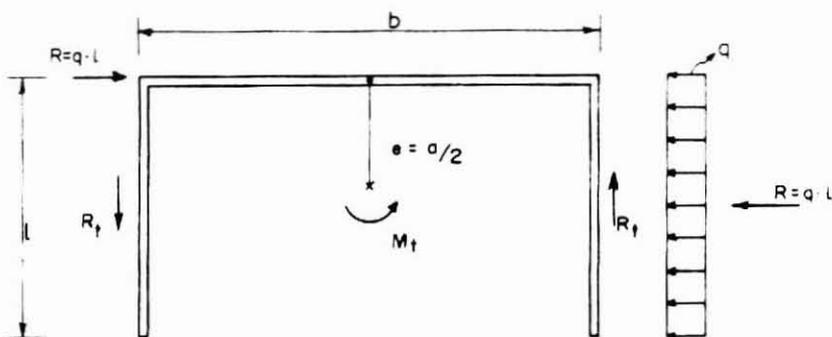
c) DIAGRAMA DE MOMENTO



**FIGURA N° 39.** Esfuerzos en un diafragma horizontal.



**FIGURA Nº 40.** Diafragma horizontal apoyado en un muro con vano.



$$M_t = R \times e = \frac{q \cdot l^2}{2}$$

$$R_t = \frac{M_t}{b} = \frac{q \cdot l^2}{2 \cdot b}$$

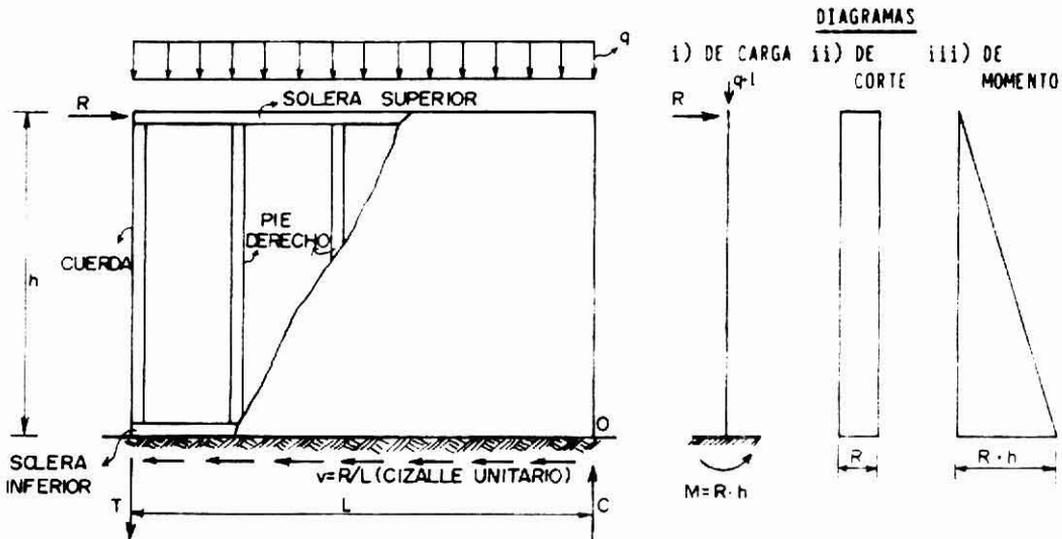
**FIGURA Nº 41.**

Diafragma horizontal sin un muro de apoyo.



La estructura de un muro de corte queda constituida por pie-derechos, cuerdas o pie-derechos extremos, soleras inferiores, soleras superiores y revestimientos. Las soleras son los elementos perimetrales que están conectados al diafragma horizontal (solera superior) o al piso (solera inferior). En el caso de una construcción de dos o más pisos dichas conexiones se realizan a los diafragmas superior e inferior, respectivamente.

Las cargas a los muros de corte se calculan como la suma de las reacciones provenientes de los diafragmas horizontales que están soportados por éstos. Ver Figura Nº 38. El esfuerzo de corte unitario ( $v$ ) provocado por dicha sollicitación se supone uniformemente repartido y de igual magnitud tanto en el borde superior como inferior del diafragma. Las sollicitaciones en las cuerdas (pie-derechos extremos) se determinan haciendo un análisis de volcamiento del muro considerado. Ver Figura Nº 42.



$M_V = \text{Momento de volcamiento} = R \times h$  (respecto punto  $O$ )

$M_R = \text{Momento resistente} = q \times L^2/2$

Condición de equilibrio :  $M_O = 0$

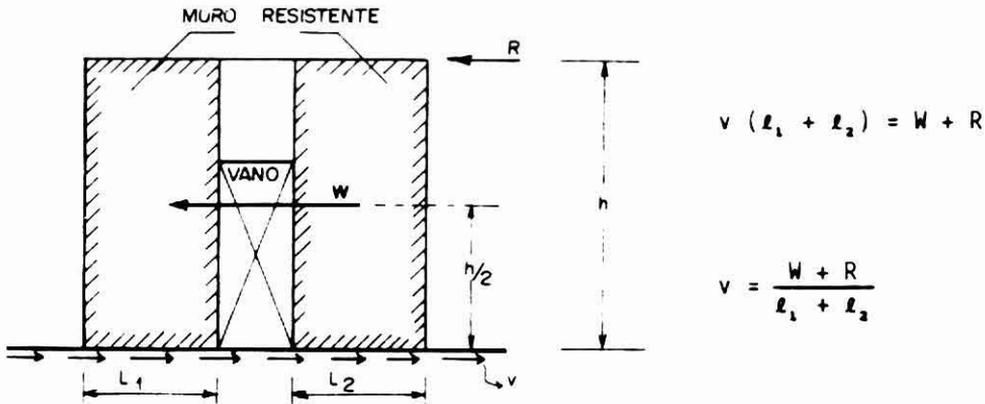
$M_V - T \times L - M_R = 0$

$$T_{\text{máx}} = \frac{M_V - M_R}{L}$$

$$C_{\text{máx}} = T_{\text{máx}} + q \times L$$

**FIGURA Nº 42.** Análisis estructural de un diafragma vertical.

Si se presentan solicitaciones laterales adicionales, por ejemplo las originadas por un sismo, ellas se considerarán como una fuerza lateral, cuya intensidad dependerá de la masa del muro de corte y cuya dirección pasa por la mitad de éste. Ver Figura N° 43.



**FIGURA N° 43.** Carga sísmica en un muro de corte con vano interior.

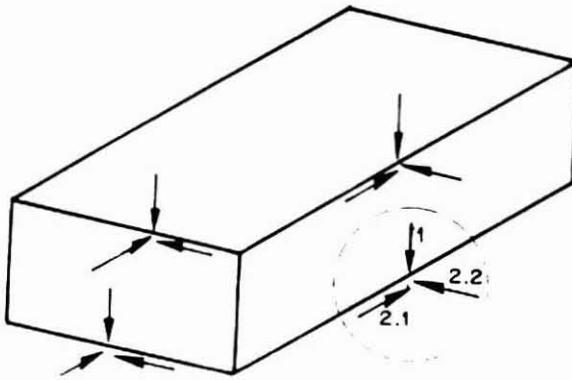
Las características de rigidez de un tipo de diafragma generalmente se determina mediante ensayos. Estos han demostrado que para ciertas relaciones de longitud-al<sup>tu</sup>ra ( $L/h$ ), las deformaciones no superan los límites requeridos para mantener la integridad de la estructura. Estas relaciones límites dependen del tipo de diafragma y se incluyen en la Tabla N° 58.

### 5.3.3. Requerimientos de Anclaje

Los diafragmas horizontales y verticales deben ser amarrados o anclados a los elementos de apoyo de tal forma que ellos puedan mantenerse unidos a fin de que el edificio funcione como una sola unidad para resistir las cargas que lo solicitan.

El proceso de anclaje de un edificio se puede visualizar considerando cargas en sus tres direcciones principales. Ver Figura N° 44. Las ubicaciones críticas son:

- i ) la unión del diafragma horizontal con el vertical, y
- ii) la unión de los muros con las fundaciones.



Fuerzas de Anclaje

- 1. Cargas Verticales
- 2. Cargas Laterales

- 2.1. Paralelas al muro
- 2.2. Normales al muro

**FIGURA Nº 44.** Fuerzas a considerar en el anclaje.

Si se tiene presente el esquema de la Figura Nº 44, especialmente en los puntos de unión entre diafragmas horizontales y verticales y además, en la unión de muro con las fundaciones, el resultado será un edificio correctamente anclado.

El tema de anclaje comprende, fundamentalmente, dimensionamiento de uniones, lo cual está más allá del objetivo del presente capítulo. En lo que sigue se analizarán sólo los métodos para determinar la magnitud de la fuerza que se debe considerar en el diseño de las uniones.

a) **Cargas Verticales:** El diseño de las uniones para las cargas verticales involucra la sucesiva transferencia de las cargas desde sus orígenes, en la techumbre, a través de la estructura y hasta las fundaciones. La determinación de las magnitudes de las cargas a transferir es fácil de obtener. Una vez conocidas tales solicitaciones, será necesario diseñar las siguientes uniones:

- i ) Costaneras a cerchas o vigas de techumbre.
- ii ) Cerchas o vigas de techumbre a vigas longitudinales o muros.
- iii) Vigas longitudinales a pilares o columnas.



- iv ) Dinteles a columnas o muros.
- v ) Columnas a fundaciones o pie-derechos a soleras, y solera a fundación.

b) Carga Lateral paralela al muro: Un diafragma vertical recibe cargas que son paralelas al muro o están contenidas en el plano del diafragma. En esta forma trabaja como una viga en voladizo empotrada en su fundación, por lo que en tal tipo de apoyo existe un momento y una fuerza de cizalle como reacciones. Se deben considerar fijaciones independientes que absorban cada una de estas reacciones.

La primera a considerar debe ser el momento, que como se recordará es absorbido por un par de fuerzas que actúan en las cuerdas del diafragma. La más importante de ellas es la traccionada que tiende a levantar el diafragma de su fundación. Ver Figura N° 42.

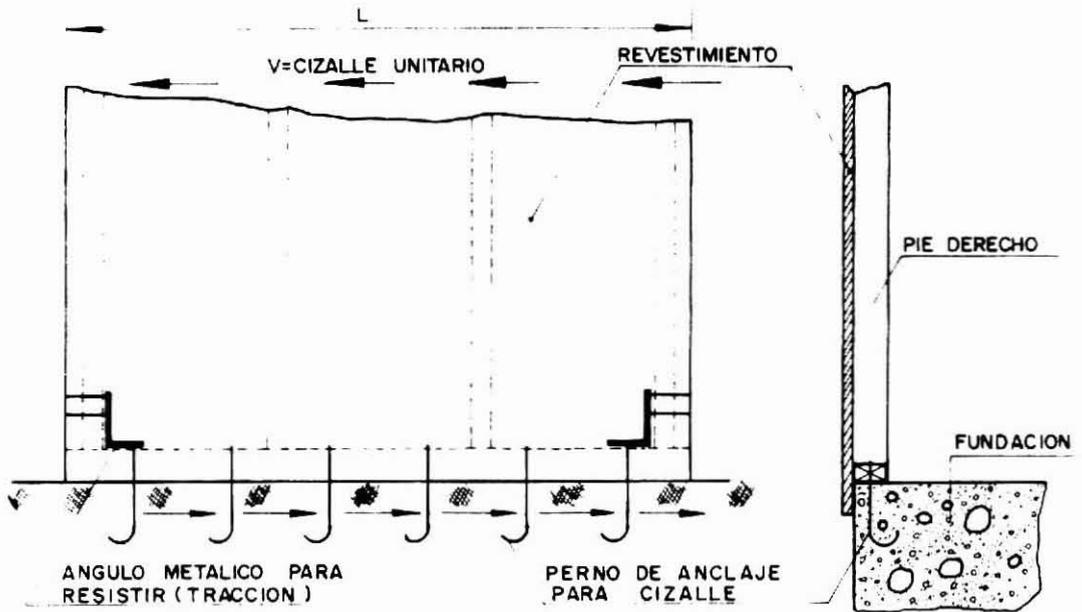
El cizalle se absorbe con una serie de pernos o espárragos diseñados para transferir este esfuerzo desde el diafragma a la fundación. La resistencia de uno de estos elementos de unión se determina con el menor valor de tensión entre:

- i ) Capacidad de aplastamiento de la madera cuando ella es solicitada por el metal (perno o espárrago) en dirección paralela a la fibra.
  - ii ) Resistencia al cizalle del metal empotrado en hormigón. Ver Figura N° 45.
- c) Carga Lateral perpendicular al muro: Además de las cargas horizontales y verticales que actúan en el plano de un diafragma vertical, éste debe resistir las cargas normales a su plano provenientes de la acción del viento o sismo.

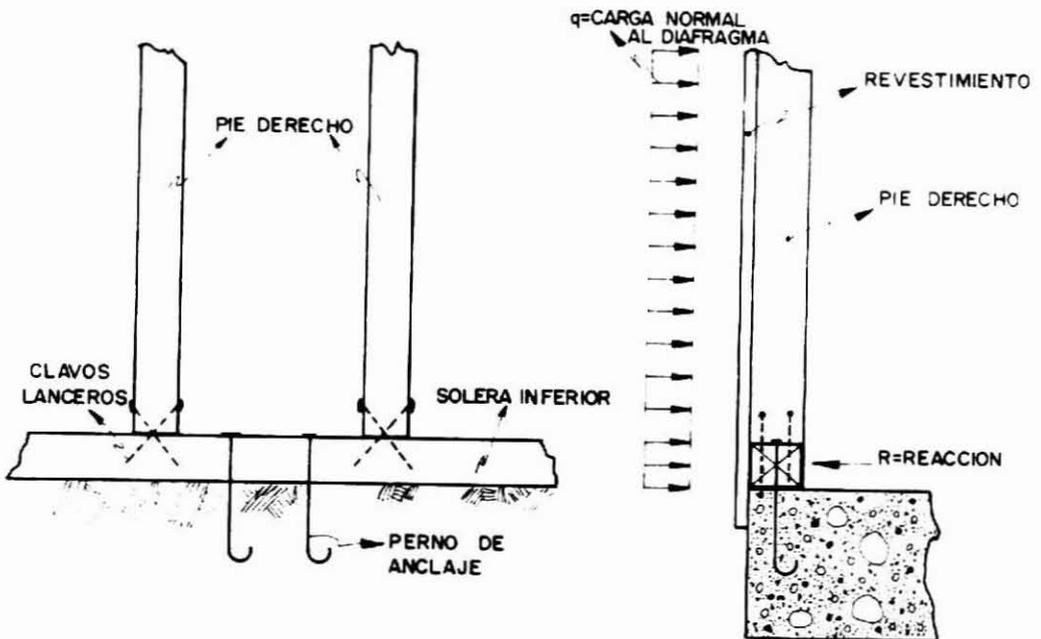
En las construcciones en madera, por lo general las cargas provenientes de la acción del viento son mayores que las correspondientes al sismo. En este caso, las cargas son transferidas al elemento perimetral inferior (solera) a través de los pie-derechos mediante el uso de "clavos lanceros".



Si ellos no son suficiente se debe buscar otro tipo de anclaje como por ejemplo ángulos metálicos o oletinas. Ver Figuras Nº 45 y Nº 46.



**FIGURA Nº 45.** Anclaje de un muro vertical para cargas paralelas a su plano.



**FIGURA Nº 46.** Anclaje de un muro vertical para cargas normales a su plano.

El amarre de la solera inferior a la fundación se hace también con pernos o espárragos. Debido a que las cargas paralelas al muro no se consideran actuando en forma simultánea con aquéllas de dirección normal al plano del diafragma, pueden usarse los mismos elementos dispuestos para resistir el cizalle originado con cargas paralelas al muro. (Ver Figura N° 45). La determinación del número (n) de pernos a ubicar se hace considerando la expresión siguiente:

$$n = \frac{R \times L}{q_{\text{perno}}}$$

en donde :

R = reacción inferior del diafragma, en Kg/cm lineal.

L = longitud del diafragma, en cm.

$q_{\text{perno}}$  = el menor valor entre la resistencia del perno empotrado en hormigón y la resistencia al aplastamiento normal a la fibra de la madera usada, en Kg.

Este número de pernos se debe comparar con el que se determina en el caso de cargas paralelas al muro y elegir de entre ellos, el valor mayor.

#### 5.3.4. Deformaciones de los Diafragmas

La deformación de un diafragma sometido a solicitaciones contenidas en su plano, no puede ser calculada por métodos analíticos racionales debido a la complejidad de la distribución de esfuerzos en los diferentes componentes del diafragma.

Los ensayos han demostrado que si se mantiene la razón longitud/altura ( $L/h$ ) por bajo de los límites incluidos en la Tabla N° 58, es posible asegurar que la deformación del diafragma no es excesiva y que por tal razón no necesita ser calculada.

La deformación de un diafragma incluye la deformación por flexión de éste, por corte y por corrimiento de los elementos de unión tanto en las piezas perimetrales como en el revestimiento.

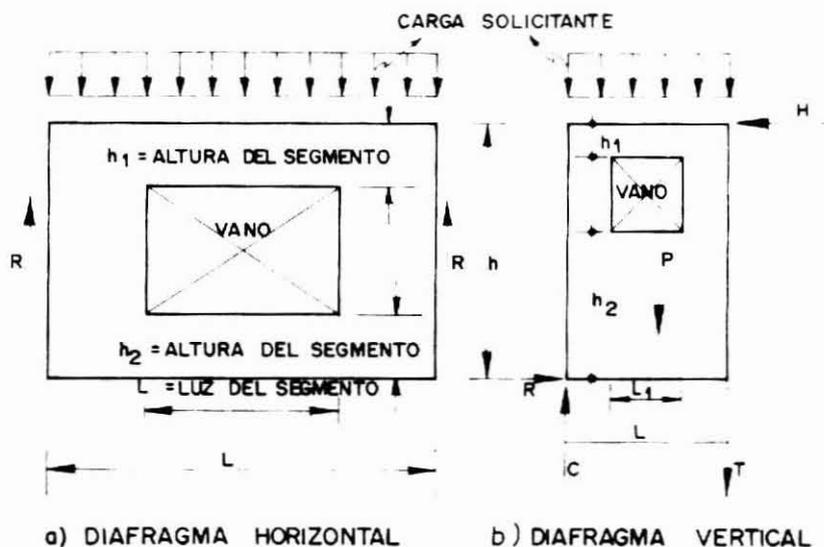


**TABLA Nº 58.** RESTRICCIONES GEOMETRICAS EN DIAFRAGMAS.

TIPO DE REVESTIMIENTO	TIPO DE DIAFRAGMA	
	HORIZONTAL Razón Máxima $L/b$	VERTICAL Razón Máxima $L/h$
1.- Entablado Transversal (perpendicular a pie-derechos o vigas).	Limitado por deformación máxima aceptada.	Limitado por deformación máxima aceptada.
2.- Entablado Diagonal Convencional.	3:1	2:1
3.- Entablado Diagonal Especial (por ambas caras y perpendicular entre sí).	4:1	3,5:1
4.- Contrachapado (clavado en todo el borde).	4:1	3,5:1
5.- Contrachapado, con zonas pequeñas sin clavado en los bordes.	4:1	2:1

$L$  = longitud;  $b$  = ancho;  $h$  = altura.

**NOTA:** Estas restricciones geométricas se aplican no sólo al diafragma como un todo, sino que también a cada una de las zonas llenas de él, tales como áreas bajo las ventanas o de cualquier otro vano. Ver Figura Nº 47.



**FIGURA Nº 47.** Condicionantes geométricas de los diafragmas.

### 5.3.5. Revestimientos

Se ha mencionado en 5.3.2.1. que se pueden usar distintos materiales como revestimiento, siendo el contrachapado el más conveniente, especialmente cuando las sollicitaciones de cizalle son altas. Sin embargo, si tales sollicitaciones son bajas, los otros materiales enumerados en 5.3.2.1 proporcionan su suficiente rigidez y resistencia para absorber tales sollicitaciones menores.

#### 5.3.5.1. Cizalle Unitario en los Diafragmas

El cizalle unitario que solicita un diafragma se asume resistido por su revestimiento. Se presenta a continuación el procedimiento para determinar el valor del cizalle unitario en los tipos de diafragmas tradicionales.

a) Cizalle unitario admisible ( $v_{adm}$ ) para entablado en ángulo recto. Ver Figura N° 48.

El valor del cizalle unitario admisible ( $v_{adm}$ ) queda determinado por las características del revestimiento y se puede expresar con la ecuación:

$$v_{adm} = \frac{m}{a \times s} = \frac{R_{CZS} \times d}{a \times s}$$

en donde :

$m$  = momento resistente aportado por los dos clavos que unen la pieza del revestimiento al pie-derecho o viga ( $Kg \times cm$ ).

$R_{CZS}$  = resistencia a la extracción lateral en cizalle simple del clavo usado ( $Kg$ ).

$d$  = distancia entre los dos clavos usados ( $cm$ ).

$a$  = ancho de la pieza usada en el revestimiento ( $cm$ ).

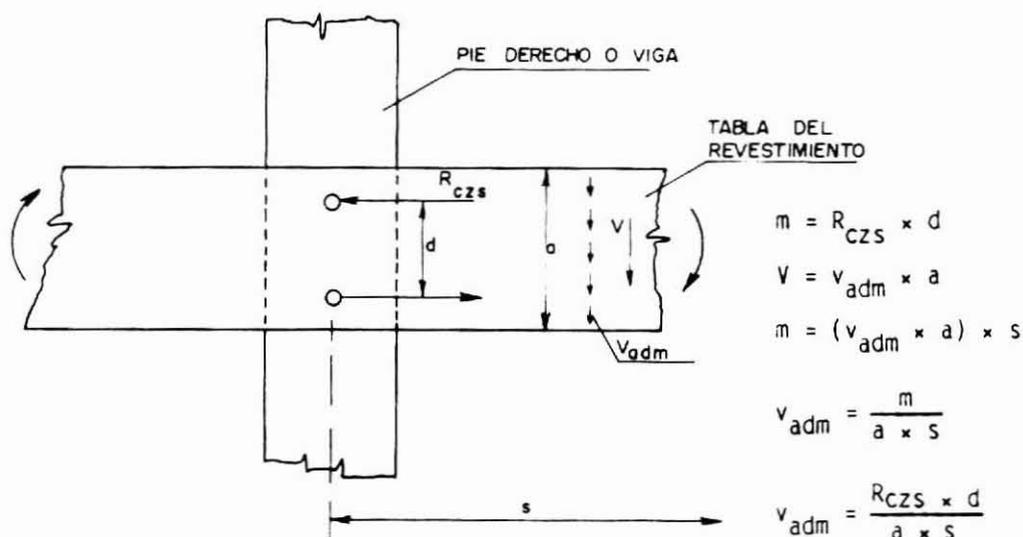
$s$  = espaciamiento entre pie-derechos o vigas del diafragma ( $cm$ ).

Se deberá verificar que :

$$\frac{v}{v_{adm}} \leq 1$$

Con :

$v$  = cizalle unitario de trabajo, calculado según Figura N° 39 y Figura N° 40.



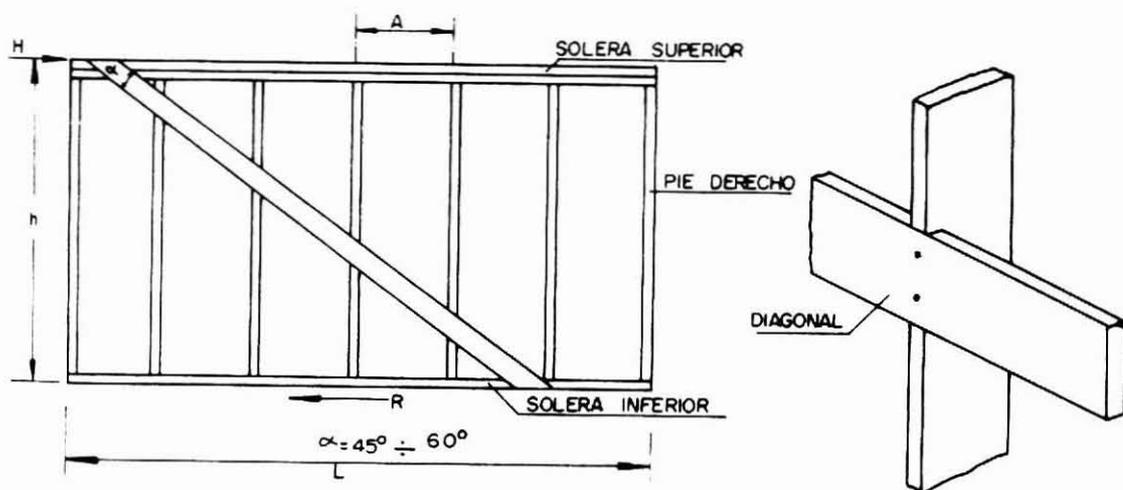
**FIGURA N° 48.** Cizalle unitario admisible para entablado en ángulo recto.

Debido a que la resistencia de un diafragma vertical con revestimiento normal a los pie-derechos es muy baja comparada con otros revestimientos, resulta conveniente colocarles una diagonal a fin de incrementar tal resistencia. Ella debe ir incrustada en los pie-derechos, sin cortarlos. Ver Figura N° 49.

b) Cizalle unitario admisible ( $v_{adm}$ ) para entablado en diagonal (45°)

Quando el diafragma vertical tiene revestimiento simple o doble, en diagonal (45° respecto a pie-derechos), la resistencia resulta mucho mayor que el caso anterior,

debido a la triangulación del sistema resistente. Las tablas del revestimiento resultan comprimidas o traccionadas y estos esfuerzos se transmiten a los pie-derechos o vigas a través de la cupla de fuerzas que se origina en los dos clavos que se colocan en cada encuentro entre pie-derecho y revestimiento. Este traspaso resulta máximo en los elementos perimetrales y bastará usar estos valores en el diseño del diafragma.



**FIGURA N° 49.** Estructura de un diafragma vertical con diagonal.

Las solicitaciones axiales en un revestimiento en diagonal son mayores en el perímetro del diafragma, por lo cual el clavado de las diagonales a dicho perímetro debe diseñarse para absorber tales solicitaciones. En tal caso, de acuerdo a Figura N° 50, el cizalle unitario admisible ( $v_{adm}$ ) está dado por la expresión:

$$v_{adm} = \frac{n \times R_{czs} \times \text{sen}^2 45}{a} \text{ (Kg/cm)}$$

en donde :

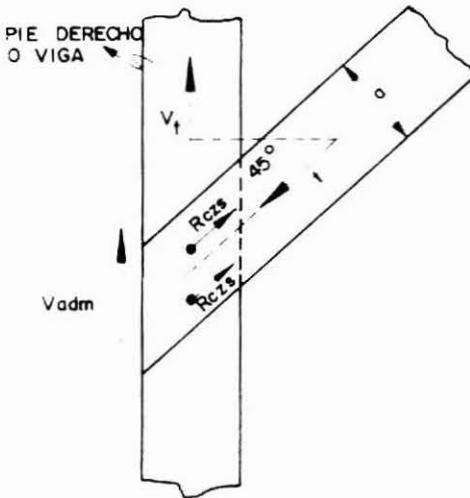
n = número de clavos ubicados en cada pieza en la unión revestimiento-perímetro.

$R_{CZS}$  = resistencia a la extracción lateral del clavo usado, Kg.

$a$  = ancho de la tabla usada, cm.

Se debe cumplir que el cizalle unitario de trabajo ( $v$ ), calculado según Figura N° 42 no supere el valor del cizalle unitario admisible, es decir:

$$\frac{v}{v_{adm}} \leq 1$$



$$t = n \times R_{CZS}$$

$$v_t = t \times \text{sen } 45^\circ$$

$$v_{adm} = \frac{v_t}{(a/\text{sen } 46^\circ)}$$

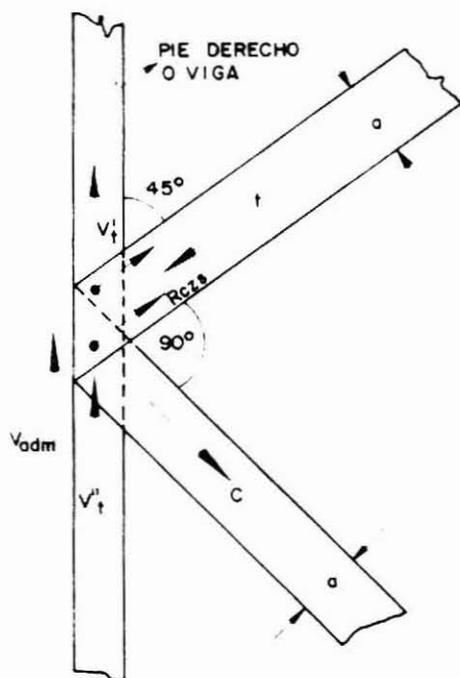
$$v_{adm} = \frac{n \times R_{CZS} \times \text{sen}^2 45}{a}$$

**FIGURA N° 50.**

Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocado en unión de diagonal (45°) en pie-de-rechos o vigas.

- c) Para diafragmas horizontales con doble revestimiento en diagonal.

Un notorio aumento de la resistencia y rigidez se obtiene en el diafragma cuando el revestimiento se conforma con dos capas de tablas colocadas formando 45° con los elementos perimetrales y de tal forma que los ejes de las tablas de una de las capas formen 90° con los de la otra. (Ver Figura N° 51).



$$t = n \times R_{Czs} = c$$

$$v_t' = t \times \text{sen } 45^\circ$$

$$v_t'' = c \times \text{sen } 45^\circ$$

Pero:  $v_t' = v_t'' = v_t$

$$v_{adm} = 2 \times \frac{v_t}{(a/\text{sen } 45^\circ)}$$

$$v_{adm} = \frac{2 \times n \times R_{Czs} \times \text{sen } 45^\circ}{(a/\text{sen } 45^\circ)}$$

$$v_{adm} = \frac{2 \times n \times R_{Czs} \times \text{sen}^2 45^\circ}{a}$$

**FIGURA N° 51.** Valor de cizalle unitario para revestimiento de madera elaborada, colocada en dos capas en diagonal (45°) a pie-derechos o vigas.

Se debe verificar que se cumpla :

$$\frac{v}{v_{adm}} \leq 1$$

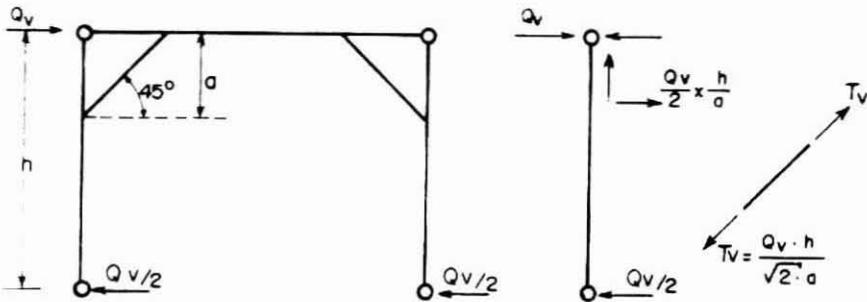
El clavado de la capa inferior del revestimiento se hace al perímetro y debe ser capaz de transmitir la suma de ambos cizalles por tabla ( $v_t$ ), a los elementos del perímetro. En tanto que el clavado de la capa superior se hace a la capa inferior, y su función es la de transmitir el cizalle ( $v_t$ ) de la capa superior a la inferior. El área de clavado en los elementos perimetrales debe ser lo suficientemente extensa para acomodar el número de clavos requeridos.

#### 5.4. Arriostramientos

En este capítulo se analizarán algunos métodos de arriostramientos que pueden ser usados para proporcionar a las estructuras de madera, de la adecuada resistencia frente a solicitaciones horizontales tales como las originadas por el sismo y el viento.

##### 5.4.1. Riostras Angulares

Son usadas según se señala en la Figura N° 52 a fin de convertir un mecanismo estructural en un marco rígido.



**FIGURA N° 52.** Riostra angular.

Si la estructura simétrica de la Figura N° 52 es solicitada por una carga de viento  $Q_v$ , las reacciones horizontales en las bases de las columnas serán:  $Q_v/2$ . Considerando cada columna como un cuerpo libre y tomando momentos con respecto a la rótula superior, se obtiene que el valor de la sollicitación de tracción ( $T_v$ ) a la cual queda sometida la riostra angular izquierda es:

$$T_v = \frac{Q_v \times h}{\sqrt{2} \times a}$$

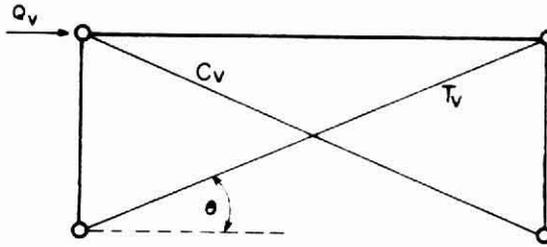
La riostra angular de la derecha quedará comprimida con una fuerza de igual magnitud:

$$C_v = \frac{Q_v \times h}{\sqrt{2} \times a}$$



### 5.4.2. Arriostamiento Tipo X

En este tipo de arriostamiento se pueden usar cables, barras de acero, perfiles metálicos, madera laminada encolada, etc., en la forma indicada en la Figura N° 53.



**FIGURA N° 53.** Arriostamiento tipo X.

Cuando se aplica la carga  $Q_v$ , una de las diagonales queda traccionada y la otra comprimida. La resistencia que ésta última aporta al sistema es muy pequeña debido a su gran esbeltez y al pandeo que se producirá en ella.

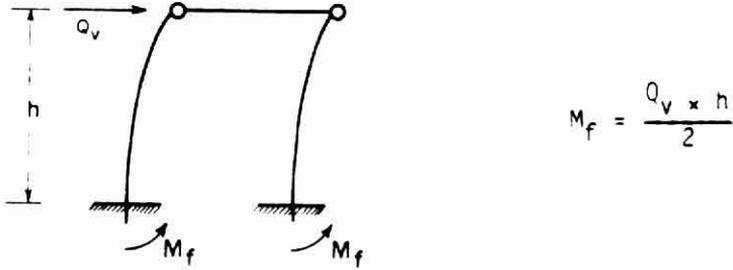
Al despreciar la diagonal comprimida, la estructura queda estáticamente determinada y la fuerza axial en la barra traccionada es:

$$T_v = Q_v / \cos \theta$$

### 5.4.3. Arriostamiento con Pilares Empotrados

Este método es el usado en el sistema constructivo denominado "Poste-Viga", en el cual las columnas quedan sometidas tanto a cargas verticales como a fuerzas horizontales.

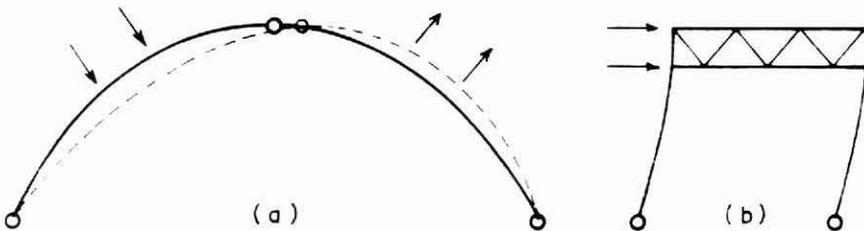
Para la estructura simétrica señalada en la Figura N° 54, las bases de las dos columnas quedan solicitadas por momentos de flexión iguales, y cuya magnitud es la mitad del momento solicitante.



**FIGURA N° 54.** Arriostramiento con pilares empotrados.

#### 5.4.4. Arcos y Marcos

Las cargas horizontales son resistidas por la capacidad soportante en flexión del arco (ver Figura N° 55.a) y del marco (ver Figura N° 55.b).

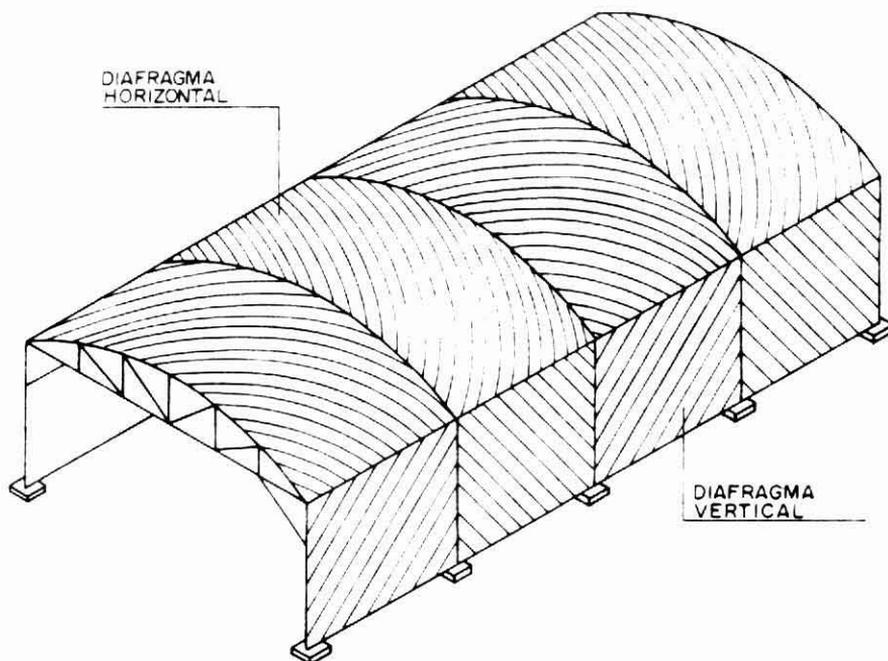


**FIGURA N° 55.** Resistencia a la flexión de arcos y marcos.

#### 5.4.5. Diafragmas

Las techumbres y pisos constituyen elementos comunes en una construcción. Por ello es que, frecuentemente, resulta más económico diseñar el revestimiento de estos elementos como diafragmas a fin de eliminar el arriostramiento tipo X u otro destinado a resistir las fuerzas horizontales. El diafragma puede funcionar eficientemente en una techumbre plana, en un techo a dos aguas o en una cubierta curva, tal como se indica en la Figura N° 56. En edificios, cada piso puede considerarse como un

diafragma además de cumplir su función fundamental, cual es soportar las cargas verticales.



**FIGURA Nº 56.** Diafragma curvo con entablado en diagonal.

Siempre que un edificio quede subdividido con muros permanentes, éstos y los frontones o muros extremos pueden utilizarse, económicamente, como diafragmas arriostrantes destinados a resistir las sollicitaciones laterales.

La clasificación, conformación y análisis estructural de los diafragmas se incluye en capítulo 5.3.

#### 5.4.6. Arriostramiento de Cerchas

En este caso se pueden distinguir dos tipos de arriostramiento:

- De montaje
- Permanentes

El arriostramiento de montaje se coloca sólo durante la instalación de la cercha a fin de mantenerla en su posición has

ta que los elementos arriostrantes permanentes estén en su sitio.

El arriostramiento permanente forma parte integral de toda la estructura y se debe ubicar tanto en planos paralelos como perpendiculares al plano de la cercha.

Las fuerzas laterales con dirección paralela al plano de la cercha, pueden ser soportadas mediante riostras angulares colocadas entre la cercha y los pilares o columnas, lo que permitirá repartir tales solicitaciones tanto en las cerchas como en los pilares. Alternativamente, las cargas laterales paralelas al plano de la cercha pueden ser trasladadas a los muros extremos y/o intermedios mediante la acción de diafragmas horizontales (techumbre) o por un arriostramiento horizontal tipo X u otro similar. Esto requiere que los muros sean diseñados como muros de corte de modo que permitan transferir las solicitaciones de cizalle a las fundaciones.

Las fuerzas laterales cuya dirección es perpendicular al plano de la cercha, generalmente son trasladadas a los muros laterales mediante la acción de la techumbre diseñada como diafragma. Esto se puede materializar con un entablado rígido (machihembrado) o un tablero (contrachapado) colocado sobre las cerchas, el cual es unido (clavado) a las costaneras, las que a su vez quedan firmemente conectadas a las cerchas. Se deberá consultar un adecuado sistema de unión en el perímetro del diafragma que se enlaza con los muros laterales.

Si la techumbre no puede tomar las funciones de un diafragma, se deberá disponer de un arriostramiento horizontal y ubicarlo ya sea en el plano del cordón superior o en el del cordón inferior de las cerchas. El sistema elegido debe ser complementado por un arriostramiento tipo X que se ubique en un plano vertical, perpendicular a las cerchas, el que debe asegurar que dichas fuerzas sean transferidas al cordón inferior de la cercha y además, que los cordones comprimidos tengan apoyos tales que aseguren en ellos la ausencia de pandeo o volcamiento lateral.

En una construcción con cerchas de madera se requiere,

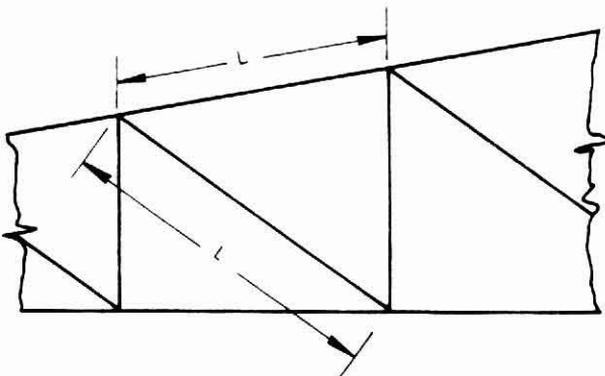


además, de un arriostramiento para proporcionar estabilidad al sistema de techumbre. Usualmente consiste en un arriostramiento tipo X, vertical, entre cerchas, ubicado en paños alternados complementado por una línea continua de puntales ubicados entre los cordones inferiores de las cerchas. Estos puntales deben tener un espaciamiento no mayor que 10 metros, tal que la esbeltez de los tramos de cordón inferior, que quedan entre puntales, no exceda del valor 50.

### 5.5. Reglas de Dimensionamiento de elementos Comprimidos. Longitudes de Pandeo

Cuando debido a la acción de elementos constructivos la barra comprimida quede asegurada en sus extremos contra desviaciones laterales, se puede suponer un apoyo rotulado en ambos extremos. Si en una pieza comprimida existen puntos intermedios apoyados contra otros puntos fijos, se puede suponer como longitud efectiva de pandeo en el sentido en que los apoyos son efectivos, la distancia entre los puntos de apoyo.

En los cordones comprimidos de estructuras reticuladas (cerchas) se debe considerar como longitud de pandeo,  $l_p$ , en el plano de la cercha, el largo del eje de la estructura reticular análoga. Para barras interiores se puede calcular con  $l_p = 0,8 \times l$ , siendo  $l$ , el largo de su eje en el reticulado análogo. Sin embargo, si una barra interior se fija en sus extremos únicamente mediante embarbillados, conectores con un solo perno o exclusivamente con pernos se debe suponer  $l_p = l$ . Ver Figura N° 57.



**FIGURA N° 57.** Longitud de pandeo en estructuras reticuladas.

Para el pandeo fuera del plano de la estructura se consideran como longitudes de pandeo de los cordones, la distancia entre los puntos de arriostramiento. La verificación de las barras interiores deberán asumir siempre una longitud de pandeo igual a la longitud del eje del reticulado análogo.

En cerchas tipo "A" (ver Figura Nº 58) con travesaño desplazable la verificación de pandeo del tijeral en el plano de la estructura se puede desarrollar en forma aproximada, considerando la fuerza de compresión máxima y una longitud de pandeo:  $\ell_p = 0,8 \ell$ .

Para la aplicación de la expresión anterior se debe cumplir que:

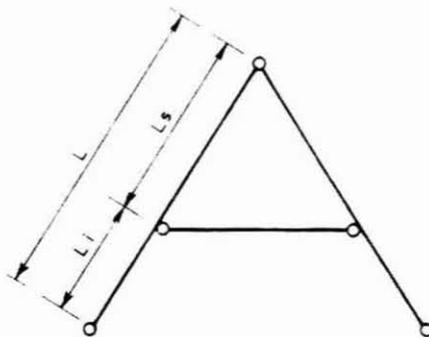
$$0,3 \ell < \ell_i < 0,7 \ell$$

Con :

$\ell$  = longitud total del tijeral; y

$\ell_i$  = longitud del tramo inferior del tijeral.

En caso contrario ( $\ell_i > 0,7 \ell$ ) se debe tomar  $\ell_p = \ell$ .



**FIGURA Nº 58.** Longitud de pandeo en tijerales de cercha tipo "A".

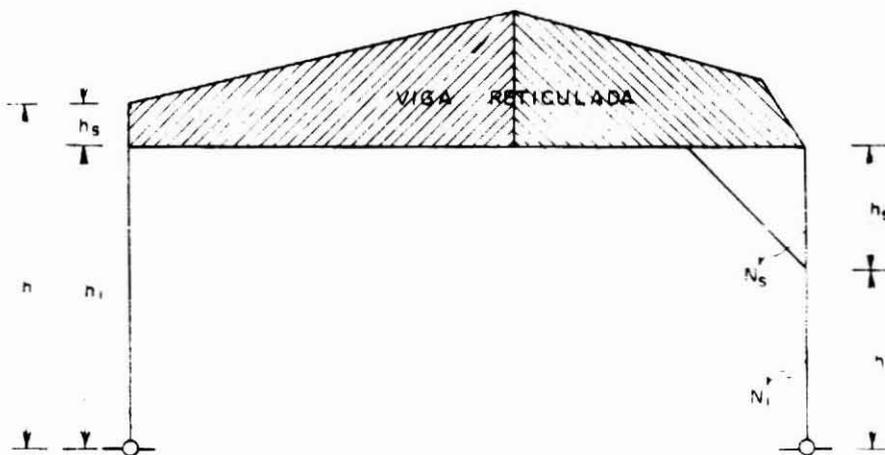
En cerchas con travesaños desplazables cada tramo del tijeral se verifica independientemente.

El pandeo fuera del plano de la estructura queda condicionado por la distancia entre los puntos de arriostramiento transversal.

En los pilares de marcos conformados con una viga reticulada y cuando no se desee hacer una verificación exacta del pandeo, se puede considerar como valor aproximado de la longitud de pandeo en el plano de la estructura, el entregado por la expresión:

$$l_p = 2h_i + 0,7 h_s$$

Para el análisis se debe considerar que la compresión máxima actúa sobre toda la longitud  $h$  o  $h_i$  del pilar. Ver Figura N° 59.



**FIGURA N° 59.** Longitud de pandeo en marcos con vigas reticuladas.

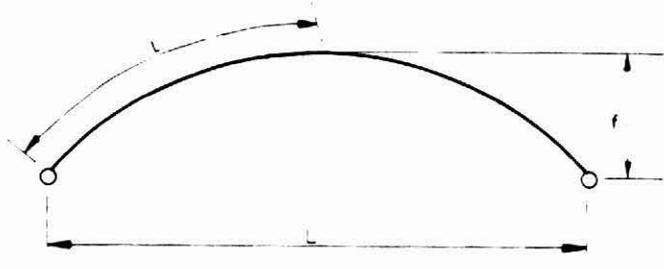
Quando no se desee verificar en forma exacta el pandeo en el plano de arcos bi y triarticulados, con una relación de flecha  $f/L$ , comprendida entre 0,15 y 0,5 y una sección transversal poco variable, se puede suponer como longitud de pandeo la expresión:

$$l_p = 1,25 \ell \quad (\text{Ver Figura N° 60})$$

en donde :

$\ell$  = longitud del semi-arco, mm.

En la verificación del pandeo se debe considerar la solicitación de compresión que existe en los puntos cuartos.



$$0,15 \leq f/L \leq 0,50$$

**FIGURA N° 60.** Longitud de pandeo a considerar en arcos.

En marcos simétricos, bi y triarticulados, según Figura N° 61, una solución aproximada para el pandeo en el plano de la estructura se obtiene:

i ) Para la columna del marco:

$$l_p^C = 2h \sqrt{1 + 0,4 \times c}$$

Con :  $c = 2 \times i \times s / (I_0 \times h)$

en donde :

$l_p^C$  = longitud de pandeo de la columna, mm.

h = altura de la columna, mm.

I = momento de inercia de la columna, mm<sup>4</sup>.

s = longitud del tijeral, mm; y

$I_0$  = momento de inercia del tijeral, mm<sup>4</sup>.

ii ) Para el tijeral del marco:

$$l_p^t = 2h \sqrt{k_r} \times \sqrt{1 + 0,4 \times c}$$

Con :  $k_r = I_0 \times N / (I \times N_0)$

en donde :

$e_p^t$  = longitud de pandeo del tijeral del marco, mm.

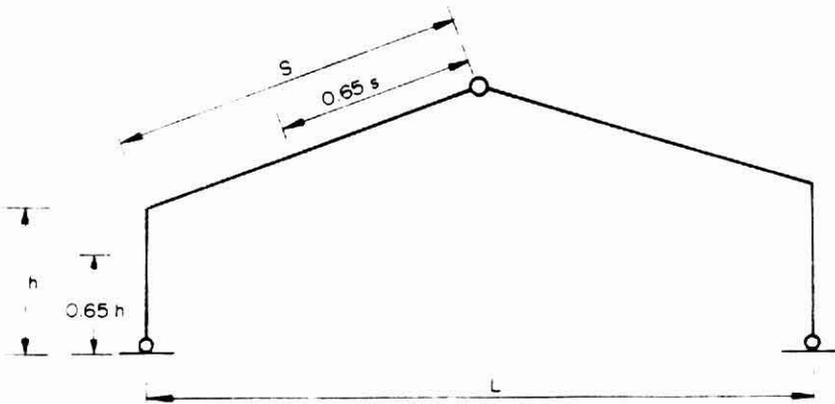
$h, l, c, l_0$  = tienen el significado dado en 5.5.i).

$N$  = fuerza axial promedio de la columna, kN; y

$N_0$  = fuerza axial promedio en el tijeral, kN.

Si los momentos de inercia son variables, en las expresiones dadas se debe incorporar el momento de inercia correspondiente a  $0,65 h$  o  $0,65 s$ , respectivamente, calculándose el radio de giro con la sección transversal existente en dichos puntos.

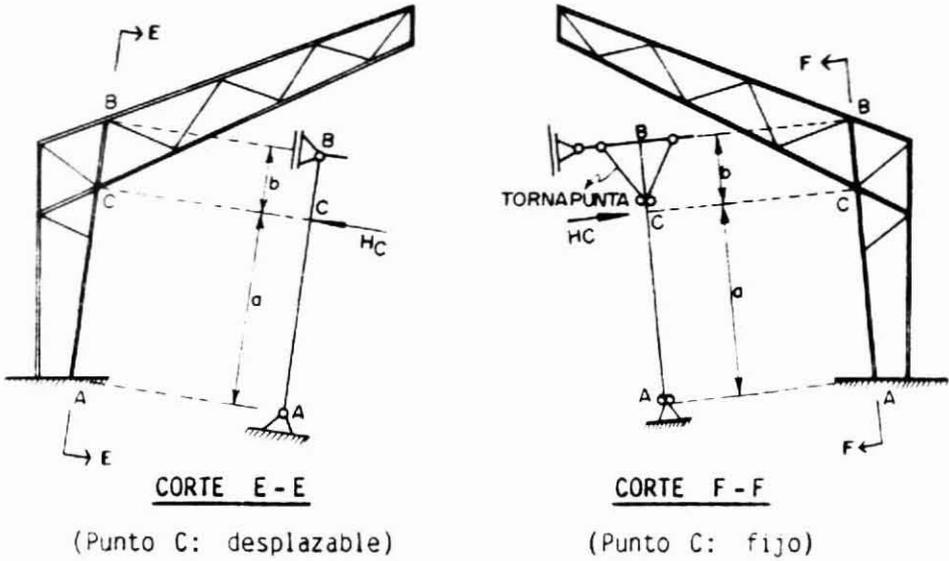
En la verificación de pandeo de la ecuación de interacción flexo-compresión, se deben considerar los valores máximos de momento flector y compresión del sector de marco, pilar o travesaño que se analiza.



**FIGURA N° 61.** Longitud de pandeo en un marco simétrico bi o triarticulado.

En marcos reticulados en los que la esquina de interacción de los cordones de columna y tijeral no está fijado lateralmente, el análisis de pandeo de los cordones interiores comprimidos de las columnas del marco, fuera del plano de la estructura debe considerar como longitud de pandeo, la distancia entre la base de apoyo de las columnas y el borde inferior de

la cubierta de techo, ver Figura N° 62. Adicionalmente, se debe considerar la acción de una fuerza lateral de una magnitud equivalente a  $1/100$  ó  $1/50$  de la mayor de las solicitaciones de compresión en los cordones concurrentes a la esquina interior del marco dependiendo de las características del punto C (ver Figura N° 62). Esta fuerza lateral debe ser aplicada en el punto de intersección de los cordones interiores.



a)  $H_C = N_{m\acute{a}x}/100$

$M_C = H_C \times a \times b / (a + b)$

$l_p = a + b$

b)  $H_C = N_{m\acute{a}x}/50$

$l_p = a$

o,  $l_p = b$

**FIGURA N° 62.** Longitudes de pandeo en un marco reticulado.

Si existen tornapuntas apoyando el cordón AB (ver Figura N° 62, Corte F-F), la fuerza lateral debe considerarse como:

$$H_C = N_{m\acute{a}x}/50$$

y las longitudes de pandeo :

$$l_p = a$$

$$l_p = b$$

según sea la zona a verificar.



## **CAPITULO SEXTO**

### 6.0 UNIONES EN LA MADERA ESTRUCTURAL

6.1. Generalidades

6.2. Uniones con Barras de Acero y Pernos

6.3. Uniones con Tirafondos

6.4. Uniones con Tornillos

6.5. Uniones con Clavos

6.6. Uniones con Conectores de Anillo

6.7. Embarbillado



## 6.0 UNIONES EN LA MADERA ESTRUCTURAL

### 6.1. Generalidades

Las consideraciones que siguen se aplican, en general, a todos los elementos mecánicos de unión, tales como: clavos, tirafondos, pernos, barras de acero, tornillos y conectores para madera. Las disposiciones que afectan a un elemento particular de unión se podrán encontrar más adelante.

Un elemento mecánico de unión es aquel que, al quedar sometido por fuerzas de cizalle, admiten corrimientos relativos entre las piezas conectadas y cuyas magnitudes dependen de la fuerza solicitante. Estos corrimientos se originan como consecuencia de las deformaciones por aplastamiento de la madera en la zona de contacto con el elemento de unión y, adicionalmente, en el caso de elementos de unión de forma cilíndrica (clavos, pernos, etc.), por las deformaciones de flexión que ellos experimentan.

Dependiendo de su disposición en la unión, estos elementos pueden quedar, también, solicitados según su dirección axial.

Los factores que requieren ser considerados, debido a que ellos afectan la resistencia de la unión y que son comunes a todos los elementos de unión son:

- La especie maderera (densidad).
- Sección transversal crítica y tensiones de cizalle.
- Dirección de la carga respecto a la fibra de la madera.
- Espaciamientos.
- Excentricidad.
- Acción en grupo de los medios de unión.
- Factores de modificación.

#### 6.1.1. Especie Maderera

La resistencia de un elemento mecánico de unión varía con la madera en la cual él se utiliza. Para los efectos del diseño de uniones, las especies madereras se consideran agrupadas,

según su densidad anhidra ( $\rho_o$ ), en la forma que se indica en la Tabla N° 59.

**TABLA N° 59.** AGRUPACION DE ESPECIES, SEGUN SU DENSIDAD ANHIDRA, A SER CONSIDERADA EN EL DISEÑO DE UNIONES.

GRUPO	DENSIDAD ANHIDRA (Kg/m <sup>3</sup> )		ESPECIES COMERCIALES DE MAYOR USO EN LA CONSTRUCCION
	CONDICION	VALOR MEDIO ( $\bar{\rho}_o$ )	
A	$\bar{\rho}_o \leq 400$	370	Alamo ( <i>Populus nigra</i> )
B	$400 < \bar{\rho}_o \leq 500$	460 470 470 470 410 450	Alerce ( <i>Fitzroya cupressoides</i> ) Canelo ( <i>Drymis winteri</i> ) Ciprés de la Cordillera ( <i>Austrocedrus chilensis</i> ) Ciprés de las Guaitecas ( <i>Pilgerodendron uvifera</i> ) Pino oregón ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> ) Pino radiata ( <i>Pinus radiata</i> )
C	$500 < \bar{\rho}_o \leq 600$	570 590 510 540 596 520 550 510 520	Araucaria ( <i>Araucaria araucana</i> ) Coigüe de Chiloé ( <i>Nothofagus nitida</i> ) Laurel ( <i>Laurelia sempervirens</i> ) Lenga ( <i>Nothofagus pumilio</i> ) Lingue ( <i>Persea lingue</i> ) Mañío hojas punzantes ( <i>Podocarpus nubigenus</i> ) Olivillo ( <i>Aextoxicon punctatum</i> ) Raulf ( <i>Nothofagus alpina</i> ) Tepa ( <i>Laurelia philippiana</i> )
D	$\bar{\rho}_o > 600$	740 650 620 800 630 680 700 630	Algarrobo ( <i>Prosopis chilensis</i> ) Coigüe ( <i>Nothofagus dombeyi</i> ) Coigüe de Magallanes ( <i>Nothofagus betuloides</i> ) Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> ) Roble ( <i>Nothofagus alpina</i> ) Roble del Maule ( <i>Nothofagus glauca</i> ) Tineo ( <i>Weinmannia thrischosperma</i> ) Ulmo ( <i>Eucryphia cordifolia</i> )

Las cargas admisibles que se entregan para los distintos elementos de unión, en una determinada especie, son aplicables sobre todos los grados estructurales de dicha especie maderera y supone, además, que en su instalación se han seguido todas las prácticas que aseguren un correcto funcionamiento del conector.

#### 6.1.2. Sección Transversal Crítica y Tensiones de Cizalle

La sección transversal crítica de una pieza de madera que contiene una unión es aquella sección transversal, normal al eje longitudinal de la pieza, que presenta las tensiones de trabajo máximas, calculadas éstas con la sección transversal neta. La sección transversal neta es igual a la sección transversal bruta de la pieza menos las áreas de perforaciones o de cualquier otra remoción de madera (ver Figura N° 63).

La sección transversal neta requerida, en piezas traccionadas o comprimidas, se determina dividiendo la carga total que se traspa a través de la sección transversal neta crítica por el correspondiente valor de tensión de diseño en tracción ( $F_{tp,dis}$ ) o de compresión paralela a la fibra ( $F_{cp,dis}$ ) para la especie y grado del material empleado. En el primer caso  $F_{tp,dis}$  debe incorporar el factor de modificación por concentración de tensiones, establecido en la Tabla N° 46.

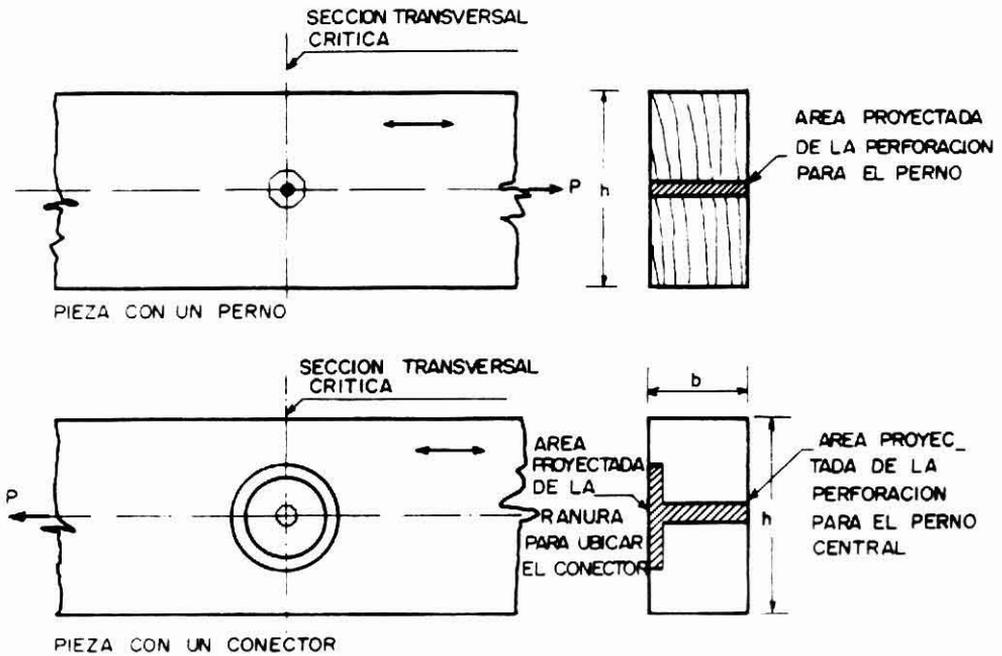
Para solicitaciones paralelas a la dirección de la fibra con pernos, barras de acero, tirafondos o conectores alineados en forma alternada, éstos se consideran dispuestos sobre una misma sección transversal crítica, salvo que el espaciamiento entre las secciones sea mayor o igual a:

- i ) 8 diámetros, en el caso de pernos, barras de acero y tirafondos; (ver Figura N° 64).
- ii ) 2 diámetros, en el caso de conectores.

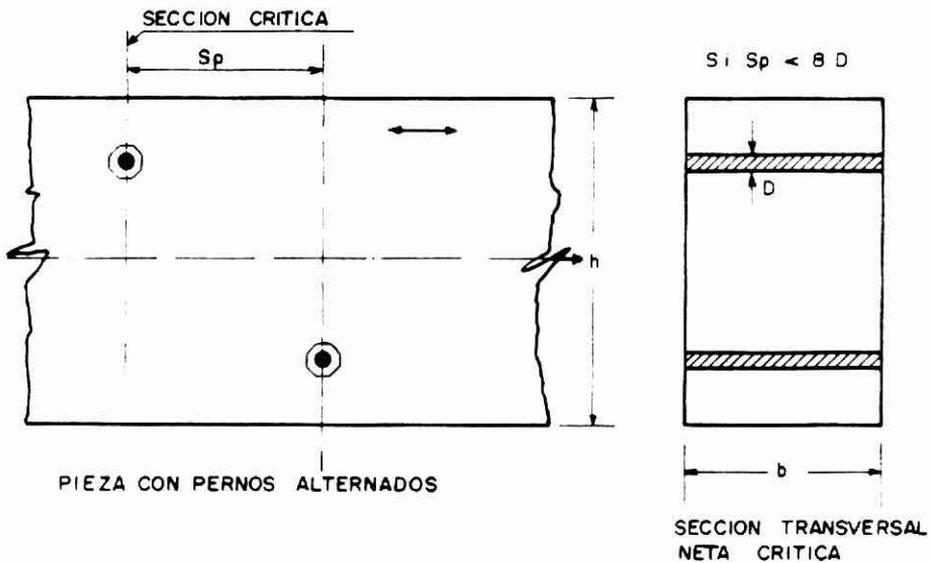
En uniones solicitadas por fuerzas de corte y materializadas con pernos, tirafondos, barras de acero o conectores, se debe verificar que las tensiones de cizalle,  $f_{cz}$ , inducidas



Sección transversal neta =  $b \times h - \left\{ \begin{array}{l} \text{Area proyectada del material} \\ \text{removido de la pieza, en la} \\ \text{unión.} \end{array} \right.$



**FIGURA N° 63.** Secciones transversales netas en las uniones.



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sección transversal} \\ \text{neto crítica.} \end{array} \right\} = b \times h - 2 \times (b \times D) \quad (\text{Si } S_p < 8D)$$

**FIGURA N° 64.** Sección transversal neta para pernos alternados.

por las fuerzas de corte Q y evaluadas con las relaciones que siguen, no excedan los valores indicados:

- a) en uniones alejadas del extremo de la pieza en 5 o más veces la altura (h) de la misma (ver Figura N° 65 ), con :

$$f_{cz} = \frac{1,5 Q}{b \times h_e}$$

verificar :

$$f_{cz} \leq 1,5 F_{cz,dis}$$

- b) en uniones separadas del extremo de la pieza en menos de 5 veces la altura de la misma, con :

$$f_{cz} = \frac{1,5 Q}{b \times h_e} \times \frac{h}{h_e}$$

verificar :

$$f_{cz} \leq F_{cz,dis}$$

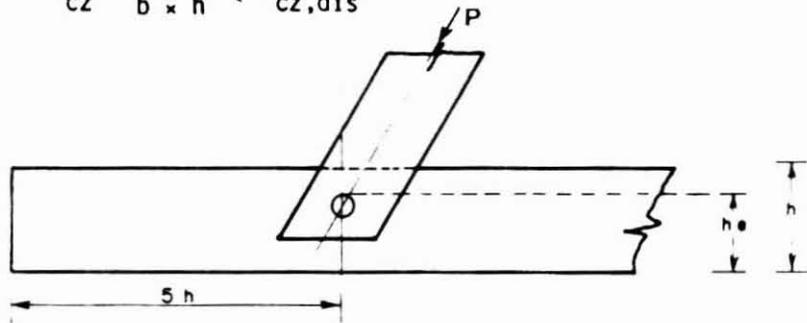
En el caso de conectores, "h<sub>e</sub>" corresponde a la altura de la pieza menos la distancia desde el borde descargado hasta el borde del conector más cercano. (Ver Figura N° 66 ).

En el caso de pernos, tirafondos y barras de acero, "h<sub>e</sub>" se evalúa deduciendo de la altura, la distancia entre el borde descargado y el centro del perno, tirafondo o barra de acero más próximo. Ver Figura N° 67.

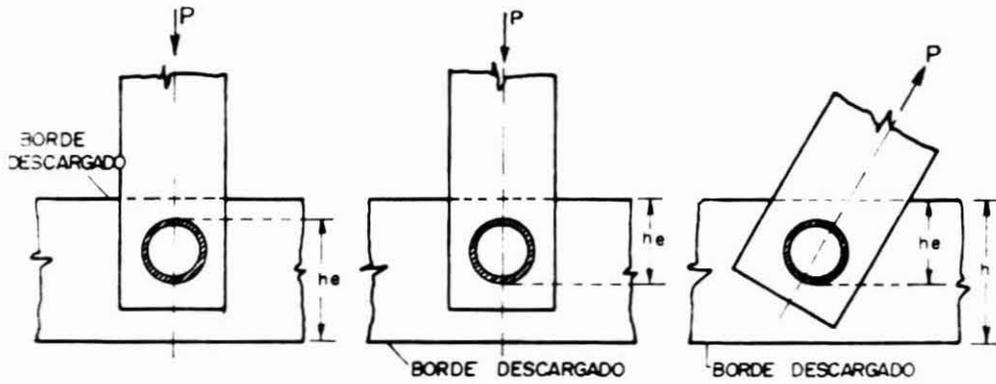
Adicionalmente se debe verificar la sección transversal bruta de acuerdo con la relación:



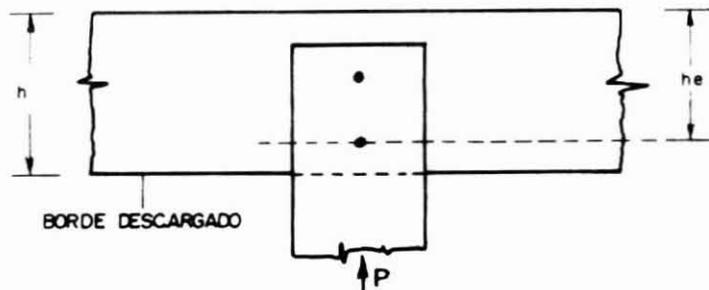
$$f_{cz} = \frac{1,5 Q}{b \times h} \leq F_{cz,dis}$$



**FIGURA N° 65.** Tensiones de cizalle en las uniones.



**FIGURA N° 66.** Valor de " $h_e$ " para conectores.



**FIGURA N° 67.** Valor de " $h_e$ " para pernos, barras de acero y tirafondos.

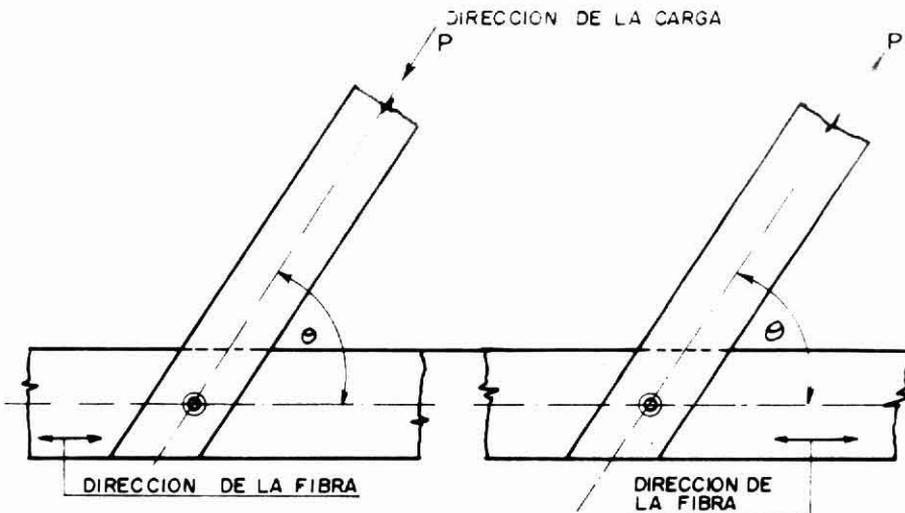
En las expresiones y figuras anteriores se tiene que:

- Q = esfuerzo de corte en el extremo del elemento.
- b = ancho de la pieza.
- h = altura de la pieza.
- $h_e$  = distancia medida desde el borde descargado hasta el borde del conector más cercano.

Para aclarar los conceptos sobre esta materia, ver ejemplo de aplicación en Tomo II.

### 6.1.3. Dirección de la Carga Respecto a la Fibra de la Madera

El ángulo formado por las direcciones de la carga y de la fibra, en una unión, es un factor que, para algunos tipos de elementos de unión, incide sobre la determinación de las cargas de diseño, obteniéndose valores mayores en la dirección paralela a la fibra de la madera. El ángulo de inclinación ( $\theta$ ) es el comprendido por la dirección de la fuerza con que el medio de unión actúa sobre la pieza y la fibra de esa pieza, la que puede suponerse coincidente con su eje axial. (Ver Figura N° 68).



**FIGURA N° 68.** Cargas inclinadas respecto a la fibra de la madera.

La carga admisible,  $P_{\theta,ad}$ , se determina en función de los valores de diseño para cargas paralelas,  $P_{p,ad}$  ( $\theta = 0^\circ$ ), y normal,  $P_{n,ad}$  ( $\theta = 90^\circ$ ) a la fibra, aplicando la fórmula de Hankinson:

$$P_{\theta,ad} = \frac{P_{p,ad} \times P_{n,ad}}{P_{p,ad} \times \text{sen}^2 \theta + P_{n,ad} \times \text{cos}^2 \theta}$$

en que :

$P_{\theta,ad}$  = carga admisible para un ángulo,  $\theta$ , entre carga y la fi  
bra.

$P_{p,ad}$  = carga admisible para carga paralela a la fibra.

$P_{n,ad}$  = carga admisible para carga normal a la fibra.

#### 6.1.4. Espaciamientos

Se entiende por espaciamiento a la distancia que debe existir entre centros de elementos de unión para que cada uno de ellos desarrolle su resistencia total.

El espaciamiento puede medirse en dirección paralela o normal a la fibra. Ver Figura Nº 69. Se le da, también, el nombre de espaciamiento a la distancia que debe dejarse entre el centro de un medio de unión vecino a un borde y éste.

Los bordes pueden tomar la designación de:

- a) borde cargado, cuando la carga inducida por el elemento de unión actúa hacia dicho borde.
- b) borde descargado, cuando la carga inducida por el medio de unión actúa alejándose de tal borde.

Con estos antecedentes se puede definir los siguientes

tipos de espaciamentos, los cuales se grafican en la Figura N° 69, tanto para la pieza solicitante como para la solicitada:

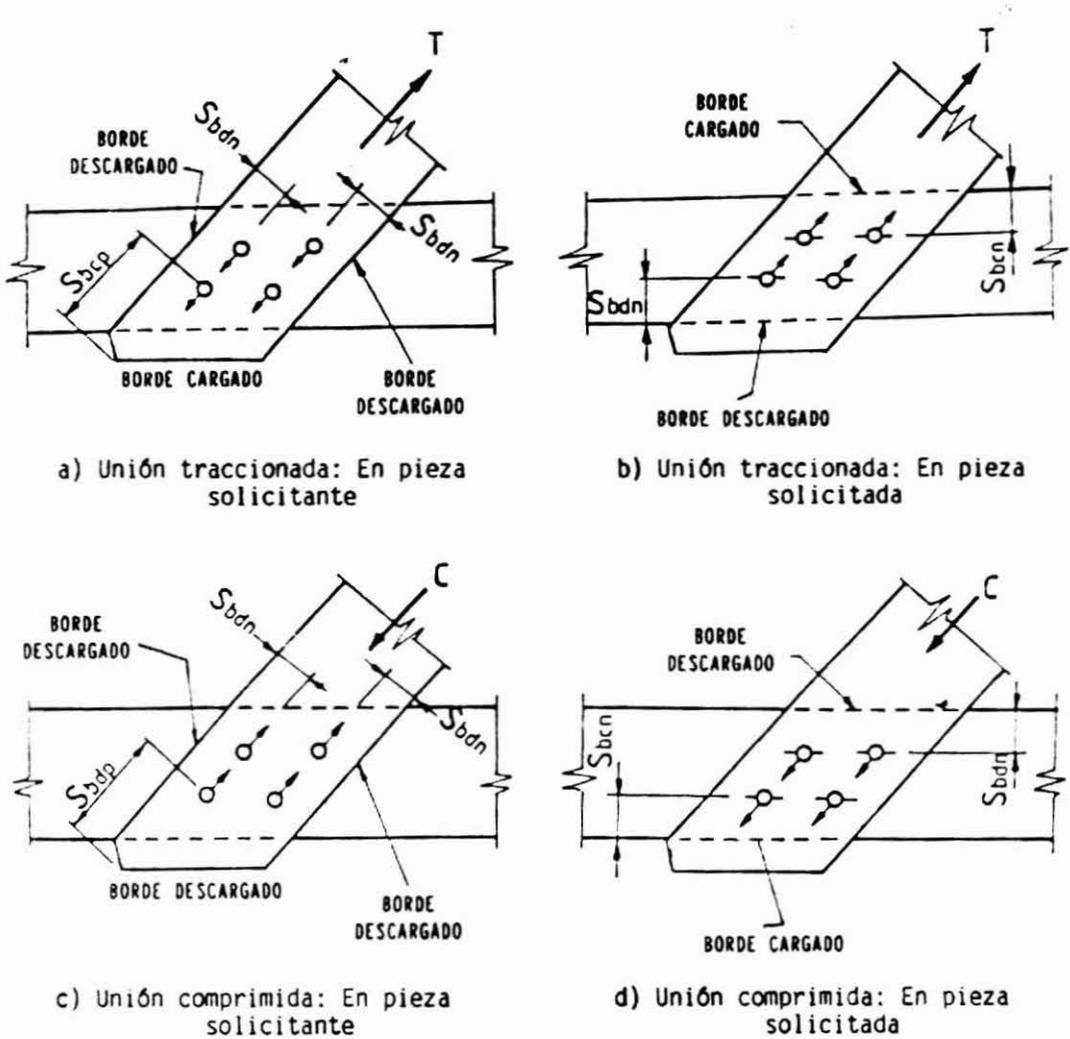
- i ) Espaciamiento mínimo entre elementos de unión medido en dirección paralela a las fibras de la pieza:  $S_p$ .
- ii ) Espaciamiento mínimo entre elementos de unión medido en dirección normal a las fibras de la pieza:  $S_n$ .
- iii ) Espaciamiento mínimo entre un elemento de unión y un borde cargado, medido en dirección paralela a las fibras de la pieza:  $S_{bcp}$ .
- iv ) Espaciamiento mínimo entre un elemento de unión y un borde cargado medido en dirección normal a las fibras de la pieza:  $S_{bcn}$ .
- v ) Espaciamiento mínimo entre un elemento de unión y un borde descargado, medido en dirección paralela a las fibras de la pieza:  $S_{bdp}$ .
- vi ) Espaciamiento mínimo entre un elemento de unión y un borde descargado medido en dirección normal a las fibras de la pieza:  $S_{bdn}$ .

#### 6.1.5. Excentricidad

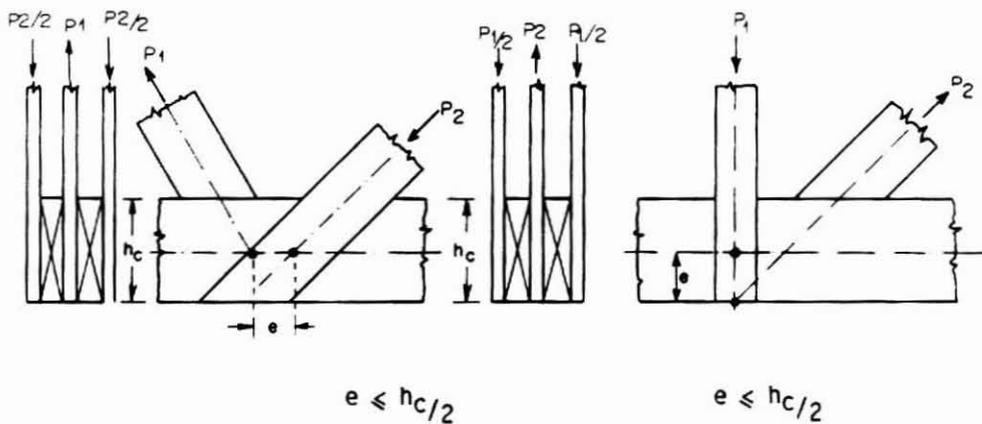
Las uniones deben conformarse, en lo posible, de modo que los ejes de las barras sean concéntricos.

En uniones y empalmes, los elementos de unión se deben disponer simétricamente con respecto al eje de la pieza.

La unión de barras en enrejados debe materializarse en la forma más centrada posible. En el caso de uniones clavadas y con placas dentadas, las tensiones que se induzcan debido a excentricidades no necesitan ser verificadas si la excentricidad "e" no excede la mitad de la altura del cordón (ver Figura N° 70).



**FIGURA Nº 69.** Designaciones para los espaciamientos y bordes.



**FIGURA Nº 70.** Uniones de barras excéntricas.

En estas uniones excéntricas se debe verificar la combinación de:

- a ) tensiones principales, debido a las solicitaciones que transmiten las barras, y
- b ) tensiones secundarias, debido al momento generado por la excentricidad,

de manera que no se sobrepasen los valores de diseño, tanto en las piezas estructurales como en los elementos de unión.

#### 6.1.6. Acción en Grupo de los Elementos de Unión

Una hilera de elementos de unión consiste en dos o más elementos del mismo tipo y tamaño alineados en la dirección de la carga, solicitados en cizalle simple y/o múltiple.

Las últimas investigaciones han indicado que una carga transferida por una hilera de elementos de unión, no queda repartida en forma equitativa entre todos los medios de unión. Los conectores extremos, tales como A y G en Figura N° 71, tienden a recargarse con una mayor proporción de la solicitación, que aquellos intermedios. De esta forma la eficiencia de una conexión se reduce a medida que se incrementa el número de elementos de unión. La distribución de la carga solicitante queda determinada por la rigidez relativa entre la pieza central y las piezas laterales.

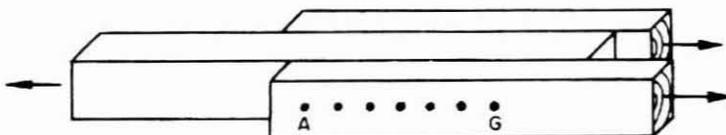


FIGURA N° 71. Hilera de conectores.



### 6.1.7. Factores de Modificación

Las cargas admisibles que se indican en este capítulo, rigen para un elemento individual, que una piezas de madera, ubicado con los espaciamientos que le permitan desarrollar su total resistencia, solicitado por una carga de duración normal y usado en las condiciones de contenido de humedad previamente establecidas.

Cuando existan otras condiciones, estas cargas admisibles deben ser ajustadas por los factores de modificación que a continuación se señalan:

- $K_D$  = por duración de la carga.
- $K_{UH}$  = por contenido de humedad.
- $K_Q$  = por tratamiento químico (ignífugos).
- $K_T$  = por temperatura.
- $K_S$  = por espaciamiento.
- $K_U$  = por longitud de hilera.
- $K_{cm}$  = por cubrejunta metálica.
- $K_{pp}$  = por profundidad de penetración.

La Tabla Nº 60 señala la aplicabilidad de estos factores de modificación a los diferentes tipos de medios de unión.

#### 6.1.7.1. Por Duración de la Carga, $K_D$

Las cargas admisibles tabuladas o deducidas en este capítulo para elementos de unión, corresponden a las máximas para cargas de duración normal (10 años). Cuando se consideren cargas de distinta duración estos valores deben ser multiplicados por los factores de modificación que se entregan en Tabla Nº 24.

El factor de modificación  $K_D$  es aplicable a las cargas admisibles de elementos de unión solicitados en dirección paralela y normal a la fibra. Se recuerda que este factor no se aplica en la deducción de las tensiones de diseño de madera sometida a compresión normal a la fibra.

**TABLA N° 60.** APLICABILIDAD DE LOS FACTORES DE MODIFICACION.

TIPO DE ELEMENTO DE UNION	FACTOR DE MODIFICACION							
	$K_D$	$K_{UH}$	$K_Q$	$K_T$	$K_S$	$K_U$	$K_{cm}$	$K_{pp}$
Barras de acero	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Pernos	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Tornillos	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Tirafondos	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Conectores de anillo	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Clavos	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Placa metálica dentada	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO

6.1.7.2. Por Contenido de Humedad,  $K_{UH}$

En relación con los medios de unión, la condición de la madera se define como:

- i ) Seca : Si su contenido de humedad,  $H$ , es menor que 20% ( $H < 20\%$ ).
- ii ) Semiseca : Si su contenido de humedad,  $H$ , está comprendido entre 20% y el punto de saturación de la fibra ( $20\% \leq H < P.S.F.$ ).
- iii) Verde : Si el contenido de humedad,  $H$ , es igual o superior al P.S.F. ( $H \geq P.S.F.$ ), asumiéndose como valor para el punto de saturación de la fibra un contenido de humedad igual a 28%.

Las cargas admisibles tabuladas o derivadas en este capítulo corresponden a elementos de unión colocados en madera seca. Para madera semiseca o verde durante la construcción, los valores admisibles se deben multi

plicar por los factores de modificación ( $K_{UH}$ ) señalados en las Tablas N° 61 y N° 62.

Las uniones deben ensamblarse de modo que las superficies de las piezas queden en pleno contacto. Las estructuras que se construyen con madera verde o semiseca deben ser inspeccionadas regularmente en intervalos de tiempo que no excedan de 6 meses, hasta que resulte aparente que las contracciones en la madera son despreciables. En cada inspección se debe proceder a reapretar las uniones hasta que las superficies de las piezas vuelvan a quedar en contacto, sin deformarse.

#### 6.1.7.3. Por Tratamiento Químico, $K_Q$

Las cargas admisibles de los elementos de unión que unen madera tratada con ignífugos por método de vacío-presión deben ser afectadas por el factor  $K_Q$ , señalado en la Tabla N° 27.

#### 6.1.7.4. Por Temperatura, $K_T$

La resistencia de los elementos de unión usados en madera, generalmente es controlada por la resistencia al aplastamiento de ella. En aquellos pocos casos en los cuales se debe alterar la resistencia de la madera por temperatura, será también necesario afectar las cargas admisibles de los medios de unión por el factor  $K_T$ , que se incluye en la Tabla N° 25.

#### 6.1.7.5. Por Espaciamiento, $K_S$

Las cargas admisibles que se entregan en este capítulo para pernos, tirafondos y conectores son válidas para espaciamientos que aseguren el desarrollo de la resistencia total del elemento de unión. Cuando no se usen estos espaciamientos mínimos, establecidos en el texto para cada medio de unión, las cargas admisibles deben ser afectadas por el factor  $K_S$  que se señalan para cada tipo de conector.



**TABLA N° 61.** FACTORES DE MODIFICACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE ELEMENTOS DE UNION, POR CONTENIDO DE HUMEDAD,  $K_{UH}$ -

ELEMENTO DE UNION	CONDICION DE LA MADERA		$K_{UH}$
	DURANTE LA FABRICACION	EN SERVICIO	
PERNOS, BARRAS DE ACERO Y TIRAFONDOS	SECA SEMISECA O VERDE <sup>3)</sup> SECA O VERDE SECA O VERDE	SECA SECA A LA INTEMPERIE <sup>1)</sup> VERDE	1,0 VER TABLA Nº 63 0,75 0,67
CLAVOS			
- Extracción Lateral	SECA SEMISECA O VERDE SECA	SECA SECA O VERDE SEMISECA O VERDE	1,0 0,75 0,75
- Extracción Directa	SECA SEMISECA O VERDE SEMISECA O VERDE SECA	SECA VERDE SECA CICLOS HUMEDO-SECO <sup>1)</sup>	1,0 1,0 0,25 0,25
PLACAS METALICAS DENTADAS	SECA SEMISECA O VERDE	SECA SECA O VERDE	1,0 0,80
CONECTORES <sup>2)</sup>	SECA SEMISECA <sup>3)</sup> VERDE SECA O VERDE	SECA SECA SECA SEMISECA O VERDE	1,0 VER NOTA 3 0,80 0,67
TORNILLOS	SECA O VERDE SECA O VERDE SECA O VERDE	SECA A LA INTEMPERIE VERDE	1,0 0,75 0,67

NOTAS: 1) - A la intemperie: Si en servicio, H varía de seco a semisecho, sin llegar al P.S.F. en el momento en que la unión esté bajo la carga total de diseño.

- Ciclos húmedo-seco: Si en servicio, H varía desde seco a semisecho, o viceversa con el consecuente efecto sobre el apriete de la unión.

2) En conectores, las restricciones de humedad rigen hasta una profundidad de 20 mm de la superficie.

3) Cuando conectores, pernos, barras de acero o tirafondos solicitados a cizalle, se instalan en madera semiseca durante la fabricación, pero que se secará antes de ser solicitada plenamente la unión (por la carga de diseño), se pueden usar factores de modificación intermedios, obtenidos mediante interpolación lineal.

**TABLA N° 62.** FACTORES DE MODIFICACION PARA PERNOS, BARRAS DE ACERO Y TIRAFONDOS, SOLICITADOS EN CIZALLE, EN MADERA QUE SE SECA EN SERVICIO,  $K_{UH}$ .<sup>1)</sup>

DISPOSICION DE PERNOS, BARRAS DE ACERO O TIRAFONDOS	CUBREJUNTA	$K_{UH}$
- Un solo elemento.  - Dos o más elementos dispuestos en una hilera paralela a la fibra.  - Elementos dispuestos en dos o más hileras paralelas a la fibra, con cubrejuntas separadas para cada hilera.	Madera o Metal	1,0
- Cualquier otra disposición.	Madera o Metal	0,40

**NOTA :** 1) Estos factores se aplican cuando la madera está VERDE durante la fabricación y que toma el estado SEMISECO o SECO antes de ser solicitada plenamente la unión (por la carga de diseño).

Es decir, aplicable si :  $H \geq P.S.F.$  durante la fabricación.

Si  $20\% \leq H \leq 28\%$

Tomar :  $K_{UH} = 0,4 + 0,075 (28 - H)$

Si  $H < 20\%$

Tomar :  $K_{UH} = 1,0$

6.1.7.6. Por Longitud de Hilera,  $K_u$

Las cargas admisibles de los pernos, tirafondos y co  
nectores decrecen cuando ellos se ubican en hileras  
largas. El factor de modificación que disminuye tales  
cargas admisibles se presenta en las Tablas N° 63 y  
N° 64, y el procedimiento para obtener  $K_u$  debe seguir  
la siguiente metodología:

- a) Cuando una pieza quede solicitada según la direc  
ción de la fibra, en el cálculo de las razones de  
áreas de sección transversal (para las Tablas N° 63  
y N° 64) se deben considerar las superficies de  
sección transversal bruta ( $A_1$ ,  $A_2$ ), sin aplicar re  
ducciones por concepto de debilitamiento derivados  
de perforaciones. Ver Figura N° 72.
  
- b) Cuando una pieza quede solicitada según la direc  
ción perpendicular a la fibra, el área equivalente  
a su sección transversal ( $A_i$ ) se obtiene como el  
producto del espesor ( $e$ ) de la pieza por la dis  
tancia ( $g$ ), entre las dos hileras extremas de la  
unión. Cuando los elementos de unión se disponen  
en una única hilera, el ancho ( $g$ ) se considera  
igual al espaciamiento ( $S_p$ ), medido según la direc  
ción de las fibras. Ver Figura N° 72.
  
- c) Cuando los elementos de unión ubicados en hileras  
adyacentes se disponen en forma alternada y la dis  
tancia ( $a$ ) entre dos hileras adyacentes es menor  
que un cuarto de la distancia ( $b$ ) entre dos elemen  
tos de unión vecinos dispuestos entre hileras adya  
centes, para efectos de la determinación del valor  
admisible, las hileras adyacentes se consideran co  
mo una sola. Para uniones constituidas de un núme  
ro par de hileras, este principio se aplicará so  
bre cada par. Ver Figura N° 73.



**TABLA N° 63.** FACTOR DE MODIFICACION,  $K_U$ , PARA UNIONES CON PIEZAS LATERALES METALICAS, CONECTORES, PERNOS Y TIRAFONDOS, SOMETIDOS A CARGAS LATERALES.

$A_1/A_2$ 1)	$A_1$ mm <sup>2</sup>	NUMERO DE ELEMENTOS DE UNION EN LA HILERA										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2 - 12	16.000 - 26.000	1.00	0.94	0.87	0.80	0.73	0.67	0.61	0.56	0.51	0.46	0.42
	26.001 - 42.000	1.00	0.96	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.66	0.62	0.58	0.55
	42.001 - 76.000	1.00	0.98	0.95	0.91	0.87	0.82	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66
	76.001 - 130.000	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.78
12 - 18	26.001 - 42.000	1.00	0.93	0.94	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.67	0.62	0.58
	42.001 - 76.000	1.00	0.99	0.96	0.93	0.90	0.86	0.82	0.79	0.75	0.72	0.69
	76.001 - 130.000	1.00	1.00	0.98	0.95	0.94	0.92	0.89	0.86	0.83	0.80	0.78
	> 130.000	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88	0.87
18 - 24	26.001 - 42.000	1.00	1.00	0.96	0.93	0.89	0.84	0.79	0.74	0.69	0.64	0.59
	42.001 - 76.000	1.00	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.83	0.80	0.76	0.73
	76.001 - 130.000	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.85
	> 130.000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.96	0.95	0.93	0.92	0.92	0.91
24 - 30	26.001 - 42.000	1.00	0.98	0.94	0.90	0.85	0.80	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58
	42.001 - 76.000	1.00	0.99	0.97	0.93	0.90	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.71
	76.001 - 130.000	1.00	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
	> 130.000	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.89
30 - 35	26.001 - 42.000	1.00	0.96	0.92	0.86	0.80	0.74	0.68	0.64	0.60	0.57	0.55
	42.001 - 76.000	1.00	0.98	0.95	0.90	0.86	0.81	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62
	76.001 - 130.000	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.80	0.78	0.77
	> 130.000	1.00	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85
35 - 42	26.001 - 42.000	1.00	0.95	0.89	0.82	0.75	0.69	0.63	0.58	0.53	0.49	0.46
	42.001 - 76.000	1.00	0.97	0.93	0.88	0.82	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56
	76.001 - 130.000	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89	0.85	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71
	> 130.000	1.00	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78

1)  $A_1$  = Sección transversal del elemento principal antes de perforarlo.

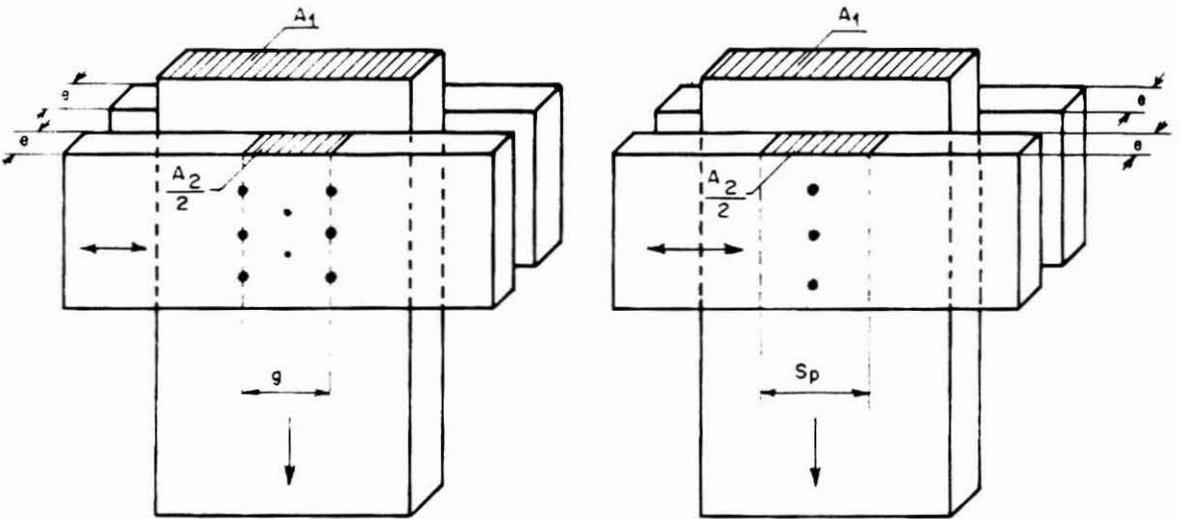
$A_2$  = Suma de las secciones transversales de las piezas laterales metálicas antes de ser perforadas.

**TABLA N° 64.** FACTORES DE MODIFICACION,  $K_U$ , PARA UNIONES CON PIEZAS LATERALES DE MADERA, CONECTORES, PERNOS Y TIRAFONDOS SOMETIDOS A CARGAS LATERALES.

$A_1/A_2$ 1)	$A_1$ mm <sup>2</sup>	NUMERO DE ELEMENTOS DE UNION EN LA HILERA										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,5	< 8.000	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68	0.61	0.55	0.49	0.43	0.38	0.34
	8.001 - 12.000	1.00	0.95	0.88	0.82	0.75	0.68	0.62	0.57	0.52	0.48	0.43
	12.001 - 18.000	1.00	0.97	0.93	0.88	0.82	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.55
	18.001 - 26.000	1.00	0.98	0.96	0.92	0.87	0.83	0.79	0.75	0.71	0.69	0.66
	26.001 - 42.000	1.00	1.00	0.97	0.94	0.90	0.86	0.83	0.79	0.76	0.74	0.72
	> 42.000	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85	0.82	0.80	0.78	0.76
1,0	< 8.000	1.00	0.97	0.92	0.85	0.78	0.71	0.65	0.59	0.54	0.49	0.44
	8.001 - 12.000	1.00	0.98	0.94	0.89	0.84	0.78	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51
	12.001 - 18.000	1.00	1.00	0.97	0.93	0.89	0.85	0.80	0.76	0.72	0.68	0.64
	18.001 - 26.000	1.00	1.00	0.99	0.96	0.92	0.89	0.85	0.83	0.80	0.78	0.75
	26.001 - 42.000	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.84	0.82	0.80
	> 42.000	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.91	0.88	0.87	0.86	0.85

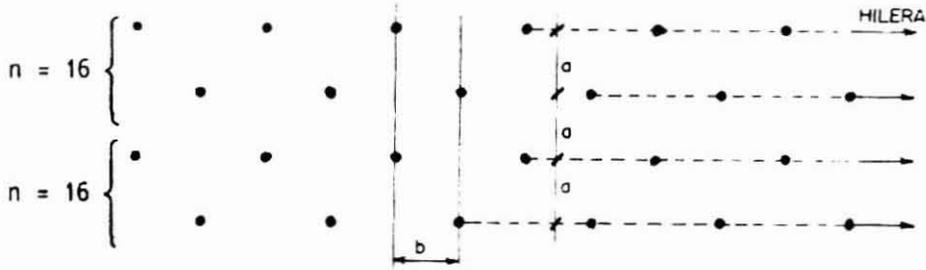
**NOTAS :**

- 1) -  $A_1$  = Sección transversal del o de los elementos principales antes de perforarlos.  
 $A_2$  = Suma de las secciones transversales de las piezas laterales antes de su perforación.
- Cuando la razón  $A_1/A_2$  sea menor o igual a 1,0, interpolar o extrapolar linealmente con los valores de la Tabla.
- Si  $A_1/A_2$  es mayor que 1,0; use  $A_2/A_1$ , y en la segunda columna usar  $A_2$  en lugar de  $A_1$ .



- e = espesor de la pieza.
- g = ancho de la unión.
- Sp = espaciamiento mínimo según la dirección de la fibra.
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = áreas definidas en Tablas Nº 63 y Nº 64.

**FIGURA Nº 72.** Areas A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> para la aplicación de las Tablas Nº 63 y Nº 64.

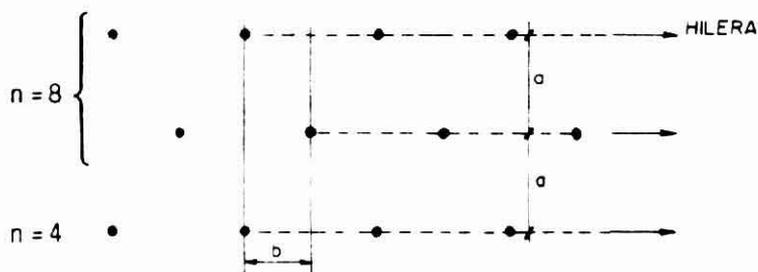


Si :  $a < \frac{b}{4}$  : Considere sólo 2 hileras con 16 elementos de unión, cada una.

**FIGURA Nº 73.** Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número par de hileras.

Para un número impar de hileras, debe aplicarse el cri

terio anterior a cada par de hileras, considerándose la restante como una hilera complementaria. Ver Figura N° 74.



Si :  $a < b/4$  : Considera una hilera con 8 elementos de unión y una hilera de 4 elementos de unión.

**FIGURA N° 74.** Elementos de unión dispuestos en forma alternada. Número impar de hileras.

d) Las Tablas N° 63 y N° 64 permiten obtener  $K_U$  para hileras constituidas de 2 hasta 12 elementos de unión. En la determinación del factor  $K_U$ , se deben aplicar los siguientes principios.

- i ) Un grupo de elementos de unión consiste de uno o más elementos.
- ii ) Una hilera de elementos de unión puede estar constituida por:
  - dos o más pernos solicitados a cizalle simple o múltiple.
  - dos o más conectores de anillos o tirafondos solicitados a cizalle simple.
- iii) La hilera se alinea en la dirección de la carga.
- iv ) Para elementos de unión ubicados en hileras

adyacentes, dispuestos en forma alternada, aplicar el procedimiento graficado en Figuras N° 73 y N° 74.

- e) La carga admisible de una hilera de elementos de unión del mismo tamaño y tipo no debe ser mayor que el valor  $P_h$ , determinado por la siguiente expresión:

$$P_h = K_u \times \Sigma P_i$$

en que :

$K_u$  = factor de modificación por longitud de hilera, calculado con Tablas N° 63 y N° 64 o párrafo 6.5.2.4.iv para clavos.

$\Sigma P_i$  = suma de los valores admisibles de los elementos de unión individuales existente en una hilera, calculado cada uno de ellos según lo señalado en este capítulo.

La capacidad de carga admisible de una unión es la suma de las cargas admisibles asignadas a cada hilera que constituye la unión.

#### 6.1.7.7. Por Cubrejunta Metálica, $K_{cm}$

Los valores de las cargas admisibles de algunos elementos de unión pueden ser incrementadas cuando se usan cubrejuntas metálicas en lugar de cubrejuntas de madera. Los valores de los factores de modificación ( $K_{cm}$ ) para estos casos, se entregarán cuando se estudie el respectivo medio de unión.

#### 6.1.7.8. Por Profundidad de Penetración, $K_{pp}$

Los valores de las cargas admisibles asignadas a clavos, tornillos y tirafondos se basan en un específico valor de la profundidad de penetración del elemento de

unión en la pieza que recibe su punta. Esta carga admisible disminuye si la profundidad de penetración es menor que tal valor y su valor, usualmente, es determinado mediante interpolación lineal entre el valor de la profundidad de penetración que proporciona la máxima carga admisible y aquel que entrega la menor capacidad de carga, lo que generalmente corresponde a la mínima profundidad de penetración permitida. A veces resulta ventajoso entregar esta disminución como un porcentaje de la máxima carga admisible. En tal caso, este porcentaje toma el nombre de factor de modificación por profundidad de penetración ( $K_{pp}$ ).

#### 6.1.8. Cargas de Diseño

Los valores de las cargas de diseño se calculan mediante el producto de la carga admisible que se entrega en este capítulo para los diferentes elementos de unión y direcciones de la carga respecto a la fibra de la madera, por los factores de modificación a que haya lugar. La ecuación para realizar este cálculo tiene la siguiente forma:

$$P_{dis} = P_{ad} \times K_D \times K_{UH} \times K_Q \times K_T \times K_S \times K_U \times K_{cm} \times K_{pp}$$

En la mayoría de los casos son aplicables sólo algunos de los factores de modificación señalados y se recomienda que, en los cálculos, se presenten solamente ellos. La Tabla N° 60 contiene la lista de los factores de modificación que se deben considerar para cada elemento de unión.

#### 6.1.9. Módulo de Corrimiento (C)

##### 6.1.9.1. Definición

El módulo de corrimiento es la fuerza, en N, requerida para provocar un corrimiento relativo unitario, en mm,

entre las piezas unidas por el elemento de unión que se considere. Su unidad de medición es, por lo tanto, N/mm.

#### 6.1.9.2. Teoría Fundamental

La distribución de los esfuerzos internos de una viga constituida por dos elementos longitudinales dependerá de la flexibilidad de los elementos de unión utilizados para ligar las dos o más piezas individuales entre sí. Ver Figura N° 75.

Al existir una ligazón perfectamente rígida no se producirán corrimientos relativos entre las superficies de contacto entre los dos elementos longitudinales que conforman la viga, si ésta experimenta una deflexión. Caso a) de la Figura N° 75.

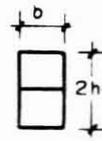
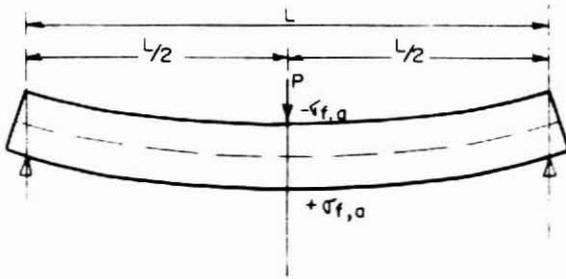
El diseño se podrá realizar, entonces, considerando la pieza compuesta como si fuera de sección transversal homogénea, igual a la suma de las secciones transversales individuales y aplicando la teoría clásica de flexión de vigas.

El caso opuesto corresponde a la disposición de dos o más piezas adosadas por simple apoyo, caso b) en Figura N° 75.

En él, pese a que el área transversal será igual a la suma de las secciones transversales de las piezas individuales, el momento de inercia del conjunto será igual sólo a la suma de los momentos de inercia de las piezas individuales. Esto debido a los corrimientos no controlados que se producen entre las piezas individuales, producto de los flujos de cizalle que se originan a nivel de las superficies de apoyo en las cuales la distribución de las tensiones de cizalle será idéntica a la de una pieza de sección transversal homogénea.



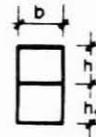
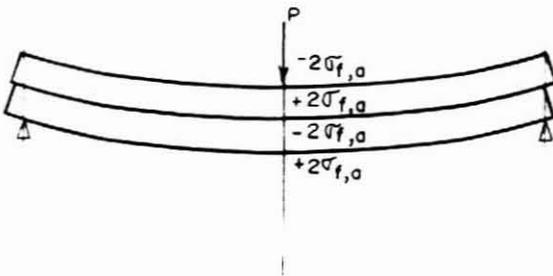
a) Dos elementos rígidamente unidos, por ejemplo encolados.



$$W = \frac{b (2 h_1)^2}{6} = \frac{2 h_1^2}{3}$$

$$\sigma_{f,a} = \frac{M_{\text{máx}}}{W}$$

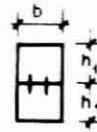
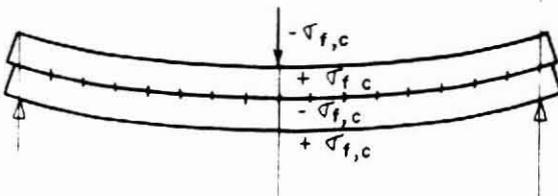
b) Dos elementos sin ligazón.



$$W = 2 W_1 = \frac{2 b h_1^2}{6}$$

$$\sigma_{f,b} = \frac{M_{\text{máx}}}{W} = 2 \sigma_{f,a}$$

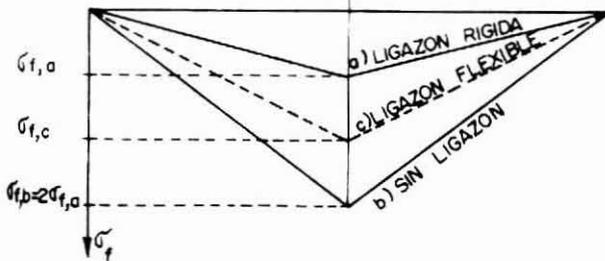
c) Dos elementos con ligazón.



$$W' > W > 2 W_1$$

$$W' = K_\sigma \times W$$

$$\sigma_{f,c} = \frac{M_{\text{máx}}}{W'}$$



$$\sigma_{f,a} < \sigma_{f,c} < \sigma_{f,b} = 2 \sigma_{f,a}$$

$$K_\sigma \leq 1.0$$

**FIGURA N° 75.** Tipos de ligazón en una viga constituida por dos elementos longitudinales.

La última situación (Caso c) se caracteriza por una "ligazón elástica" en la que al deflectarse la viga se producen corrimientos relativos entre las piezas. La viga, debido al efecto de los elementos mecánicos de unión, se ubica en una situación intermedia entre los casos extremos señalados anteriormente. La aparición de estos corrimientos relativos produce una distribución de esfuerzos internos que difiere de la correspondiente a una ligazón rígida para la misma sección transversal, pues el momento de inercia de la viga compuesta será igual a la suma de los momentos de inercia individuales más una fracción del sumando de Steiner, el cual regula el aporte de las áreas que se alejan del eje de flexión. La magnitud de esta fracción dependerá de una serie de factores que caracterizan la rigidez de la ligazón, entre los cuales está el Módulo de Corrimiento (C).

Se considera que todo elemento de unión dispuesto en la superficie de contacto de las piezas constituyentes de la viga le imprime, a dicha superficie, una determinada rigidez que condicionará la magnitud de los corrimientos relativos. La cantidad y distribución de los elementos de unión deberá ser tal que garantice un trabajo en la zona elástica para cada uno de ellos. En estas condiciones se podrá suponer que la rigidez específica de la unión ( $C_{esp}$ ) queda caracterizada por el cociente entre el módulo de corrimiento C del medio de unión y el espaciamiento promedio ( $\bar{S}$ ) entre los mismos, suponiendo que ellos estuvieran dispuestos en una sola hilera. Se puede escribir entonces:

$$C_{esp} = \frac{C}{\bar{S}}$$

en donde :

$C_{esp}$  = rigidez específica de la superficie de contacto, en MPa.

C = módulo de corrimiento del elemento de unión usado, en N/mm.



$\bar{S}$  = espaciamiento medio entre elementos de unión, en mm.

Este último término, a su vez, se puede definir por la expresión:

$$\bar{S} = \frac{S}{n}$$

Con :

S = distancia entre dos elementos de unión consecutivos, en mm.

n = número de hileras en que dicho elemento de unión se ha distribuido. Ver Figura Nº 76.

De acuerdo con esto, los corrimientos relativos que se producen en un punto cualquiera (x) sobre la superficie de contacto entre las piezas que constituyen la viga (lugar donde actúa el flujo de cizalle) quedan expresados por:

$$\delta_{(x)} = \frac{T_{(x)}}{C_{\text{esp}}} = \frac{T_{(x)} \times \bar{S}}{C}$$

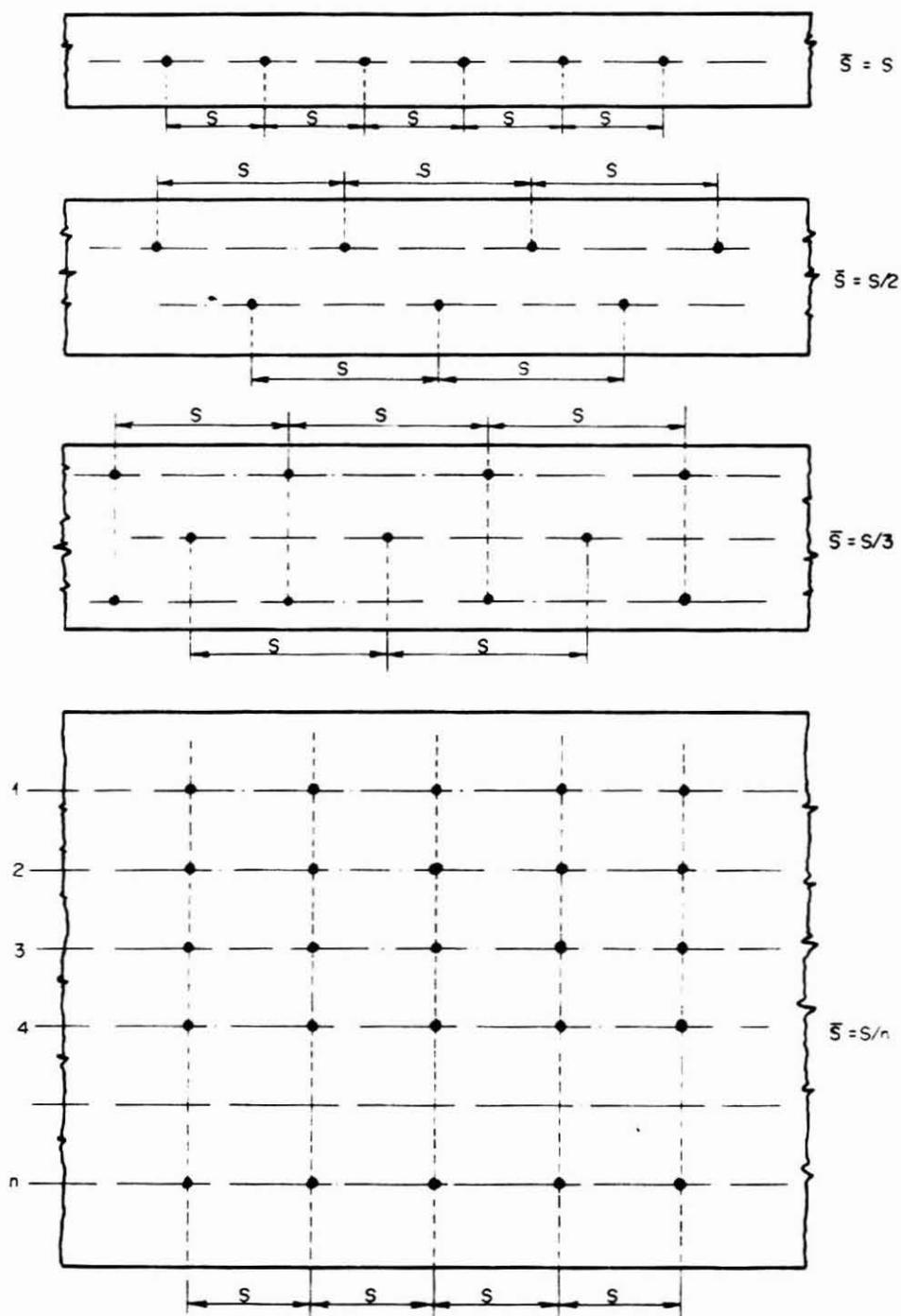
en donde :

$\delta_{(x)}$  = corrimiento relativo en el punto (x), en mm.

$T_{(x)}$  = flujo de cizalle en las superficies de contacto de las piezas individuales ligadas con el específico elemento de unión, en N/mm.

$C_{\text{esp}}$ , C y  $\bar{S}$  = definidas anteriormente.





**FIGURA N° 76.** Espaciamiento condicionante ( $\bar{S}$ ) de una disposición multi-lineal de elementos de unión.

Por lo tanto, el módulo de corrimiento constituye un parámetro decisivo en la cuantificación de la rigidez del elemento de unión y por ende de la rigidez que resulta para la ligazón existente entre las piezas individuales. La Tabla N° 65 entrega los valores de módulos de corrimiento (C) y corrimientos relativos ( $\delta$ ) para la carga de diseño de elementos de unión a usar en uniones y empalmes.

En dicha Tabla:

$d_c$  = diámetro del clavo, en mm.

$d_t$  = diámetro del tornillo, en mm.

$P_{dis}$  = carga de diseño de una sección transversal del elemento de unión sometida a cizalle, en N. En su determinación se deben considerar todas las reducciones y mayoraciones pertinentes, tales como:

- Efecto del contenido de humedad.
- Desangulación entre las direcciones de la fuerza y la fibra.
- Disposición acumulativa de elementos de unión según la dirección de la fuerza.
- Perforación guía y similares.

**TABLA N° 65.** VALORES PARA EL MODULO DE CORRIMIENTO (C) Y CORRIMIENTOS RELATIVOS ( $\delta$ ) PARA LA CARGA DE DISEÑO ( $P_{dis}$ ) DE ELEMENTOS DE UNION A USAR EN UNIONES Y EMPALMES.

ELEMENTO DE UNION	TIPO DE UNION		MODULO DE CORRIMIENTO $C$ (N/mm)	CORRIMIENTO PARA $P_{dis}$ $\delta$ (mm)	
Conectores de Presión y Precisión	Uniones con conectores de anillo.		$1,0 P_{ad}$	1,0	
Barras de Acero y Pernos	Unión con barras de acero y pernos en coníferas.		$1,2 P_{ad}$	0,8	
	Unión con barras de acero y pernos en latifoliadas.		$1,5 P_{ad}$	0,67	
	Unión con planchas de acero en madera laminada encolada.		$0,2 P_{ad}$	1,4	
Clavos	Uniones de Cizalle Simple	Sin perforación guía. (*)	$5 \times P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$	
		Con perforación guía.	$10 \times P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$	
	Uniones de cizalle múltiple con y sin perforación guía.		$10 \times P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$	
	Uniones de cizalle simple y múltiple de tableros contrachapados con madera aserrada y madera laminada encolada.		$5 \times P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$	
	Uniones de Cizalle simple de tableros de partículas con madera aserrada y madera laminada encolada.		$6,7 \times P_{ad} / d_c$	$0,15 d_c$	
	Uniones con planchas de acero	Cizalle Simple	Sin perforación guía. (*)	$5 \times P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$
			Con perforación guía.	$10 \times P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$
		Cizalle múltiple con perforación guía. (*)		$20 \times P_{ad} / d_c$	$0,05 d_c$
Tornillos	Uniones de cizalle simple en madera aserrada y madera laminada encolada.		$10 \times P_{ad} / d_n$ $\leq 1,25 P_{ad}$	$0,1 \times d_n \leq 0,8$	
	Uniones de cizalle simple en materiales derivados de la madera con madera aserrada y madera laminada encolada.		$12,5 \times P_{ad} / d_n$ $\leq 1,25 P_{ad}$	$0,08 \times d_n \leq 0,8$	
	Uniones de cizalle simple de planchas de acero con madera aserrada y madera laminada encolada.		$0,7 \times P_{ad}$	1,4	

\* Valores que rigen también para contenido de humedad  $H > 20\%$  durante la fabricación, pero que en servicio no excede de  $18\%$ . Si el contenido de humedad de equilibrio excede de  $18\%$  se debe considerar:

$$C = 10 \frac{P_{ad}}{d_c} \quad \text{y} \quad \delta = 0,10 d_c$$

★★ Para  $P_{ad}$  debe suponerse la carga de diseño válida para un estado de carga principal. Aquí se deben considerar todas las reducciones y mayo raciones pertinentes, como por ejemplo, los efectos del contenido de hu medad y de la desangulación entre la dirección de la fuerza y la fibra, las reducciones por concepto de disposición acumulativa de medios de unión según la dirección de la fuerza, al incremento de la capacidad ad misible por perforación gufa en clavos y similares.

M.A. = madera aserrada

M.L.E. = madera laminada encolada

$d_c$  = diámetro del clavo

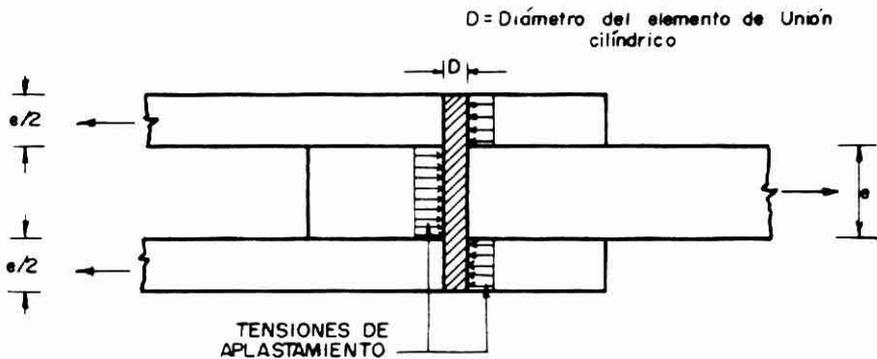
$d_n$  = diámetro nominal del tornillo



## 6.2. Uniones con Barras de Acero y Pernos

### 6.2.1. Generalidades

Las especificaciones que siguen son aplicables sobre elementos de unión cilíndricos de acero que atraviesan perpendicularmente los planos de cizalle de la unión y que quedan solicitados preponderantemente en flexión, induciendo sobre la madera tensiones de aplastamiento. Ver Figura N° 77.



**FIGURA N° 77.** Elemento de unión cilíndrico solicitado a cizalle doble.

#### 6.2.1.1. Barras de Acero

- i ) Son barras cilíndricas de superficies lisas, con un extremo biselado, que se colocan en agujeros previamente perforados.
- ii ) Deben estar constituidas de acero con un límite de fluencia no inferior a 230 MPa (2345 Kg/cm<sup>2</sup>).
- iii) Los agujeros se perforan en la madera con el diámetro nominal ( $D$ ) de la barra. En uniones acero-madera, el diámetro de los agujeros en las piezas de acero puede ser hasta 1 mm mayor que el diámetro nominal ( $D$ ). Ante una perforación simultánea de las maderas y las planchas de acero, el diámetro de la broca debe corresponder al diámetro de la barra de acero. Si las planchas de acero se disponen exteriormente, deben asegurarse en su

posición por medio de pernos de sujeción.

- iv ) El rango de diámetros nominales sobre el que se aplican estas especificaciones varía entre 8 y 30 mm.
- v ) Cada unión estructural debe incluir, a lo menos, cuatro secciones transversales de barra sometidas a cizalle. En todo caso, se exige una disposición mínima de dos barras de acero por unión.

#### 6.2.1.2. Pernos

- i ) Las especificaciones que entrega la norma NCh 1198 son aplicables a pernos que cumplen con las normas NCh 300, NCh 301 y NCh 302.
- ii ) Los diámetros de los agujeros en la madera para ubicar los pernos deben mayorarse según la Tabla N° 66. Esto rige también para uniones de cizalle múltiple.

**TABLA N° 66.** MAYORACION DE LOS DIAMETROS DE LOS AGUJEROS EN LA MADERA, RESPECTO AL DIAMETRO DEL PERNO, EN mm.

DIAMETRO DEL PERNO D mm	HUMEDAD DE LA MADERA EN SERVICIO			
	H = 6 %	H = 12 %	H = 15 %	H ≥ 20 %
D ≤ 20	1,6	0,8	0,8	0,8
20 < D ≤ 24	2,5	1,6	0,8	0,8
24 < D ≤ 30	2,5	1,6	1,6	0,8

- iii) Para uniones estructurales se deben especificar arandelas (golillas) según Tabla N° 67, excepto que se dispongan planchas de acero.

**TABLA N° 67.**      **DIMENSIONES MINIMAS DE ARANDELAS PARA UNIONES APERNAS ESTRUCTURALES.**

DIAMETRO DEL PERNO D mm	ESPESOR DE LA ARANDELA mm	DIAMETRO EXTERNO (Arandela circular) mm	LADO (Arandela cuadrada) mm
10	3	45	40
12	4	55	50
16	4	65	60
20	5	75	65
D > 20	6	85	75

Resulta recomendable preferir las arandelas cuadradas frente a las circulares pues, las primeras ofrecen una mayor resistencia al incrustamiento en la madera.

- iv ) El diámetro nominal de los pernos debe estar comprendido entre 10 y 30 mm, ambos valores inclusive.
- v ) En cada unión estructural se exige una disposición mínima de dos pernos. Se exceptúa de esta exigencia a las uniones rotuladas, en las que resulta suficiente un único perno y él no queda solicitado en un porcentaje superior al 50% de su capacidad de diseño.

### 6.2.2. Cargas Admisibles

#### 6.2.2.1. Generalidades

Las cargas admisibles que se establecen en la norma chilena NCh 1198 son aplicables para un perno o barra de acero y:

- a) para aquellos casos en los que la dirección de la sollicitación es perpendicular al eje del elemento

de unión (ver Figura N° 77).

- b) para cualquier grado estructural de la madera usada.
- c) para solicitaciones con duración normal (10 años); y
- d) para madera seca que permanecerá seca en servicio.

Para condiciones de carga y humedad distintas a las señaladas en c) y d), se deben efectuar las modificaciones señaladas en párrafo 6.1.7.

#### 6.2.2.2. Cizalle Doble

La capacidad de carga admisible de un perno o barra de acero en una unión constituida de tres piezas de la misma especie, con piezas laterales dispuestas paralelas entre sí y cada una de ellas de espesor igual a la mitad del espesor de la pieza central (ver Figura N° 77), se determina en función de la esbeltez de la unión ( $\lambda_U$ ), de acuerdo con las expresiones siguientes:

##### A. Para solicitaciones paralelas a la dirección de la fibra de la pieza central (ver Figura N° 77).

$$\text{Si : } \lambda_U \leq K_{cp}$$

$$P_{cp,ad} = 0,80 \times TB_{cp} \times \lambda_U \times D^2 \times 10^{-3}$$

$$\text{Si : } K_{cp} \leq \lambda_U \leq K'_{cp}$$

$$P_{cp,ad} = \frac{0,80 \times TB_{cp} \times D^2 \times 10^{-3} \times [(Z_{cp} - K_{cp}) \times \lambda_U + (K_{cp} - Z_{cp}) K_{cp}]}{(K'_{cp} - K_{cp})}$$

$$\text{Si : } \lambda_U \geq K_{cp}$$

$$P_{cp,ad} = 0,80 \times TB_{cp} \times Z_{cp} \times D^2 \times 10^{-3}$$



Con:

$P_{cp,ad}$  = carga admisible para un perno o barra de acero en una unión constituida de tres piezas dispuestas con sus fibras en la misma dirección, en kN.

$TB_{cp}$  = tensión básica de aplastamiento en dirección paralela a las fibras, en MPa. Ver Tabla N° 68.

$\lambda_u = \frac{e}{D}$  = esbeltez del perno o barra de acero en la pieza central (ver Figura N° 77).

$e$  = espesor de la pieza central de la unión, en mm.

$Z_{cp}$ ,  $K_{cp}$  y  $K'_{cp}$  = constantes que dependen de la especie y del medio de unión usado, según Tabla N° 69.

B. Para solicitaciones normales a la dirección de la fibra de la pieza central (ver Figura N° 78).

Si :  $\lambda_u \leq K_{cn}$

$$P_{cn,ad} = TB_{cn} \times \lambda \times D^2 \times 10^{-3}$$

Si :  $\lambda_u > K_{cn}$

$$P_{cn,ad} = Z_{cn} \times TB_{cn} \times D^{1,5} \times 10^{-3}$$

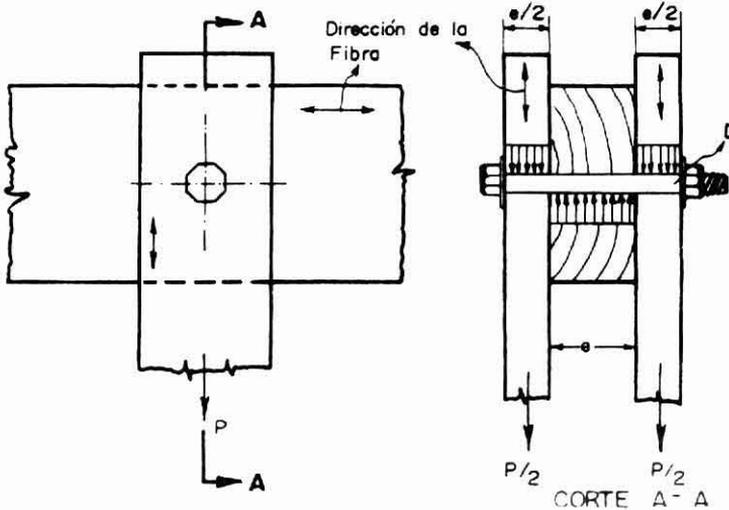
en que :

$P_{cn,ad}$  = carga admisible para un perno o barra de acero en una unión constituida de tres piezas y en la cual las piezas laterales tienen sus fibras normales a las fibras de la pieza central, en kN, ver Figura N° 78.

$TB_{cn}$  = tensión básica de compresión en dirección normal a las fibras, en MPa, ver Tabla N° 68.

$\lambda_U, e$  y  $D$  = ídem 6.2.2.2.A., y

$K_{cn}$  = constante que depende de la especie maderera y del elemento de unión usado, según Tabla N° 70.



**FIGURA N° 78.** Solicitación normal a la fibra en la pieza central. Cizalle doble.

**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.

GRUPO ESTRUCTURAL DE LA MADERA  (Ver Tabla N° 15)	SOLICITACION PARALELA A LAS FIBRAS				SOLICITACION NORMAL A LAS FIBRAS	
	TENSION BASICA DE COMPRESION PARALELA $TB_{cp}$		IDENTIFICACION DEL GRUPO PARA EL CALCULO		TENSION BASICA DE COMPRESION NORMAL $TB_{cn}$	
	PERNOS	BARRAS DE ACERO	CONIFERAS	LATIFOLIADAS	PERNOS	BARRAS DE ACERO
ES 2	15,1	18,2	P 3	P 3	8,0	9,6
ES 3	12,9	15,5	P 3	P 3	5,5	6,6
ES 4	10,7	12,8	P 3	P 3	4,3	4,7
ES 5	8,9	10,7	P 2	P 2	3,2	3,9
ES 6	7,6	9,1	P 1	P 2	2,7	3,3



**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.

GRUPO IDENTIFICADO EN TABLA N° 67	CONSTANTES				
	$K_{cp}$	$K'_{cp}$		$Z_{cp}$	
		PERNOS	BARRAS DE ACERO	PERNOS	BARRAS DE ACERO
P 1	3	6	6,5	5,15	5,55
P 2	3	6	6,5	4,55	4,95
P 3	2	5	6,5	4,00	4,35

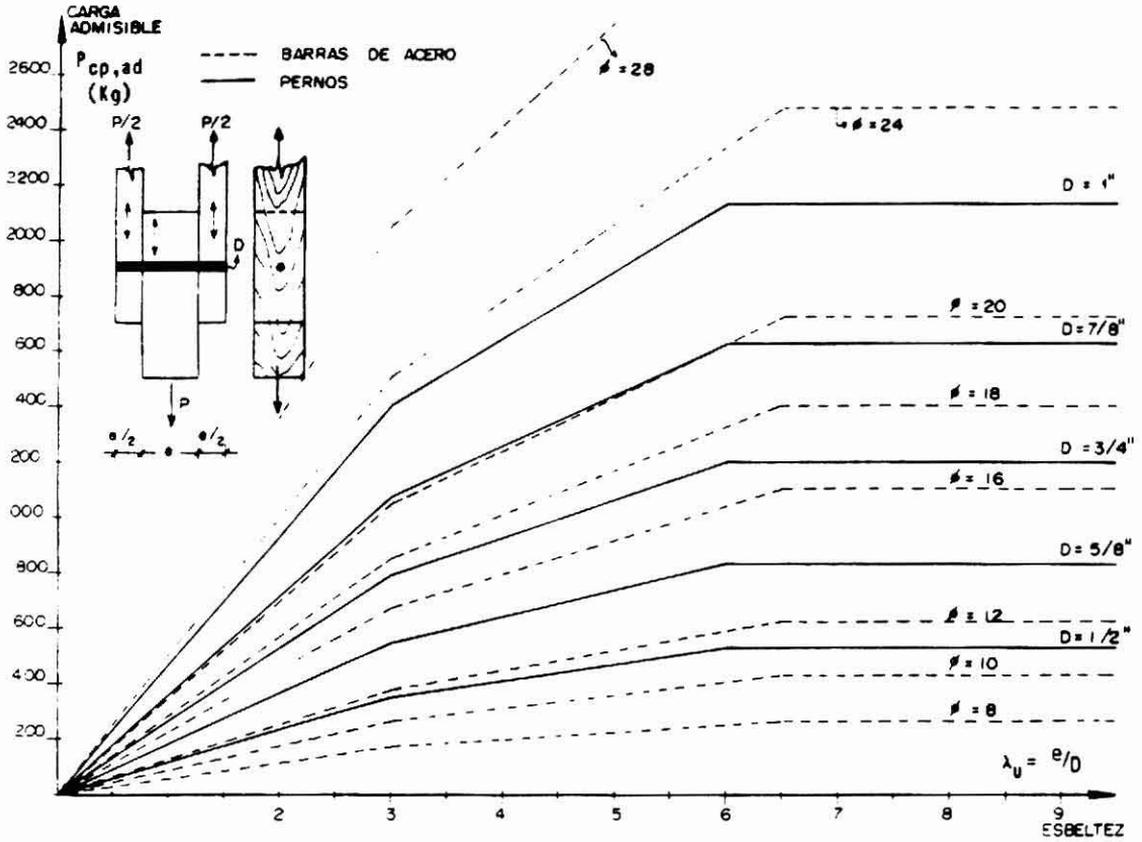
**TABLA N° 70.** CONSTANTES A USAR EN EL CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE PARA UN PERNO O BARRA DE ACERO CON SOLICITACION NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA EN LA PIEZA CENTRAL.

AGRUPAMIENTO ESTRUCTURAL	CONSTANTES		
	$K_{cn}$	$Z_{cn}$	
		PERNOS	BARRAS DE ACERO
ES 2	$\frac{Z_{cn}}{\sqrt{D}}$	22,0	24,0
ES 3		24,0	26,0
ES 4		30,0	32,5
ES 5		34,0	36,5
ES 6		38,0	41,0

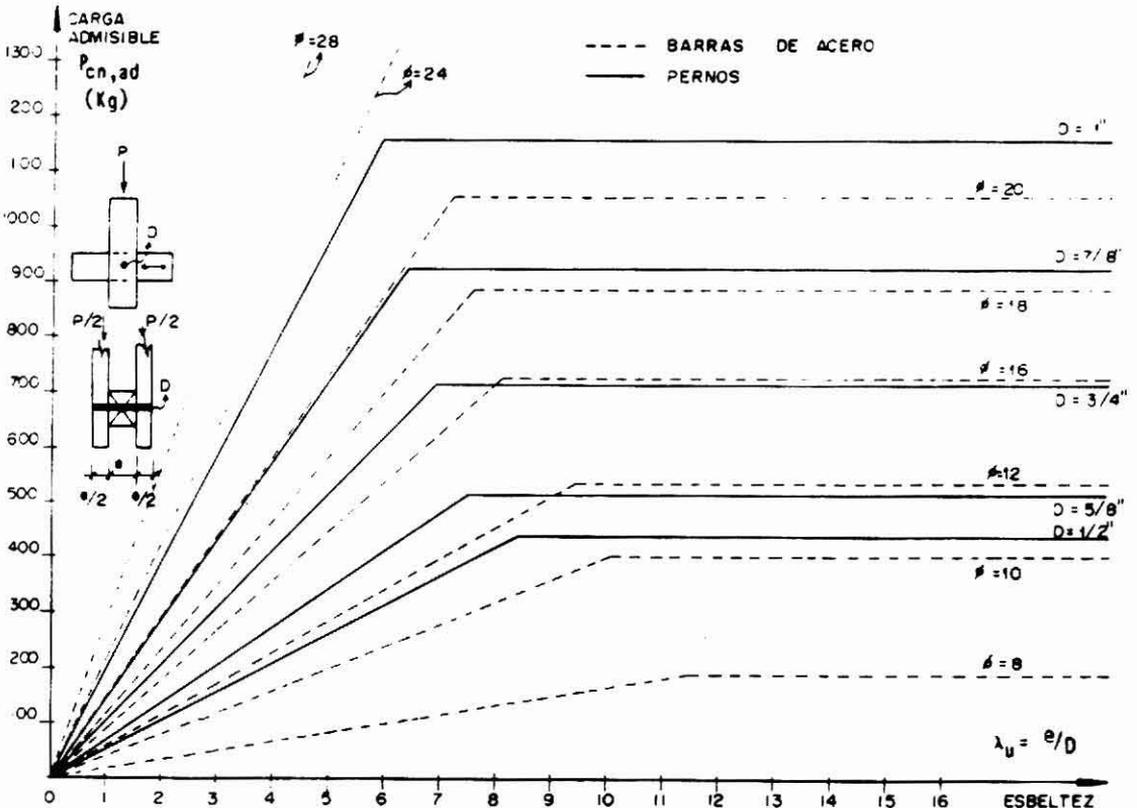
En la Figura N° 79 se grafican las relaciones, señaladas anteriormente, para el caso del Pino radiata, lo cual ayudará a visualizar el comportamiento de este tipo de elemento de unión para las diferentes solicitaciones y dimensiones de diámetro.

Los parámetros y constantes que permiten obtener estas curvas son:

SOLICITACION	: PARALELA A LAS FIBRAS	NORMAL A LAS FIBRAS
Madera	: Pino radiata	Pino radiata
Grupo Estructural	: ES 5	ES 5



a) Solicitación paralela a las fibras.



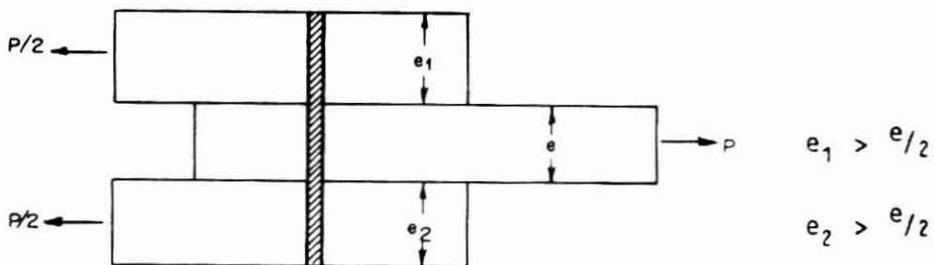
b) Solicitación normal a las fibras.

FIGURA Nº 79.

Cargas admisibles para pernos y barras de Pino radiata.

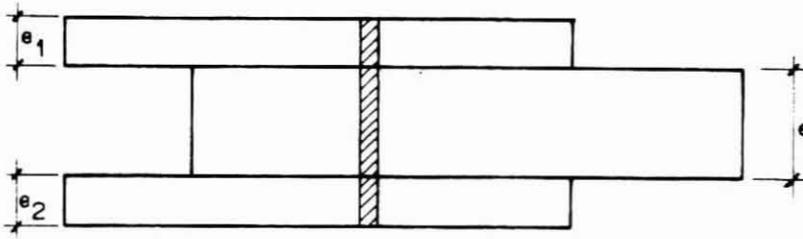
Tensión Básica	: $TB_{cp} = 8,9 \text{ MPa (Pernos)}$	$TB_{cn} = 3,2 \text{ MPa (Pernos)}$
	$TB_{cp} = 10,7 \text{ MPa (Barras)}$	$TB_{cn} = 3,9 \text{ MPa (Barras)}$
Grupo en Tabla N° 68	: P 2	P 2
Constantes	: $K_{cp} = 3$	$Z_{cn} = 34,0 \text{ (Pernos)}$
	$K'_{cp} = 6 \text{ (Pernos)}$	$Z_{cn} = 36,5 \text{ (Barras)}$
	$K'_{cp} = 6,5 \text{ (Barras)}$	
	$Z_{cp} = 4,55 \text{ (Pernos)}$	$K_{cn} = \frac{30}{\sqrt{D}} \text{ (Pernos)}$
	$Z_{cp} = 4,95 \text{ (Barras)}$	$K_{cn} = \frac{36,5}{\sqrt{D}} \text{ (Barras)}$
Esbeltez	: $\lambda_u = e/D$	$\lambda_u = e/D$

Si las piezas laterales tienen un espesor mayor que la mitad del espesor ( $e$ ), de la pieza central no se deben incrementar las cargas admisibles obtenidas, según 6.2.2.2.A. y 6.2.2.2.B. (Ver Figura N° 80).



**FIGURA N° 80.** Cizalle doble con piezas laterales de espesores ma yores que la mitad del espesor de la pieza central.

Si las piezas laterales tienen un espesor menor que la mitad del espesor ( $e$ ) de la pieza central, la carga ad misible de la unión equivale a la de una unión de ciza lle doble con una pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al doble del espesor de la pieza lateral más delgada. Ver Figura N° 81.



$$e_1 < e/2$$

$$e_2 < e/2$$

$$e_2 < e_1$$

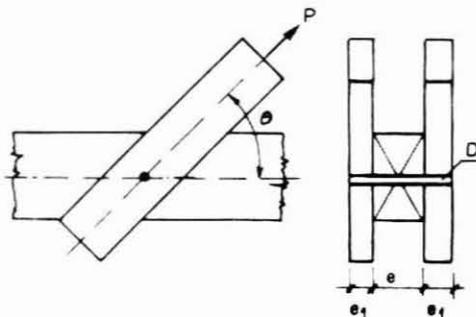
$$\text{Usar : } e^* = 2e_2$$

**FIGURA N° 81.**

Cizalle doble con piezas laterales que tienen espesores menores que la mitad del espesor de la pieza central.

Si las piezas laterales tienen igual espesor y quedan dispuestas desanguladamente con respecto a la pieza central, la carga admisible del perno se debe tomar como la menor entre:

- i) la carga admisible determinada para la pieza central.
- ii) la carga admisible de una pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ), igual al doble del espesor de las piezas laterales, solicitada en la misma dirección que las piezas laterales. Ver Figura N° 82.



Tomar la menor carga admisible que resulta para:

a)  $\underline{e}$  y  $\underline{\theta = 0}$

b)  $\underline{e^* = 2e_1}$  y  $\underline{\theta}$

(Usando Hankinson)

**FIGURA N° 82.**

Cizalle doble con piezas laterales desanguladas respecto a la pieza central.

Las cargas admisibles que resultan de las expresiones establecidas consideran el eventual aflojamiento de tuercas inherente a la contracción de la madera. En lo posible debe respetarse lo establecido en 6.1.7.2., respecto al reapriete de las uniones con pernos después de cada inspección.

Cuando se usen planchas de acero como piezas laterales las cargas admisibles para solicitaciones orientadas según la dirección de la fibra se pueden mayorar en un 25%.

Cuando se use una plancha de acero como pieza central, la carga admisible de la unión se calculará con un espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al doble del espesor de las piezas laterales, incrementándose en un 75% para solicitaciones orientadas según la dirección de la fibra. Esta mayoración no se acepta para las cargas admisibles calculadas para solicitaciones normales a la fibra de las piezas laterales.

### 6.2.2.3. Cizalle Simple

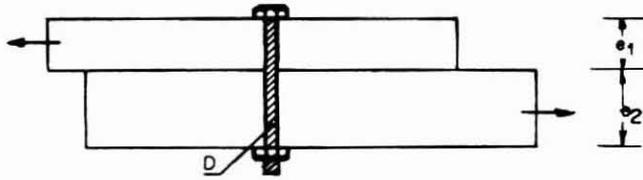
La carga admisible de una unión constituida por dos piezas de espesores diferentes, se determina como el menor valor entre:

- i ) la mitad de la carga admisible de una unión de cizalle doble con una pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al de la pieza más gruesa de la unión de cizalle simple.
- ii) la mitad de la carga admisible de una unión de cizalle doble con pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al doble del espesor de la pieza más delgada de la unión de cizalle simple. Ver Figura N<sup>o</sup> 83.

La carga admisible de una unión constituida por dos piezas de igual espesor, se determina como la mitad de la correspondiente a la de una unión de cizalle doble con una pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al espesor común de las piezas de la unión de cizalle simple.

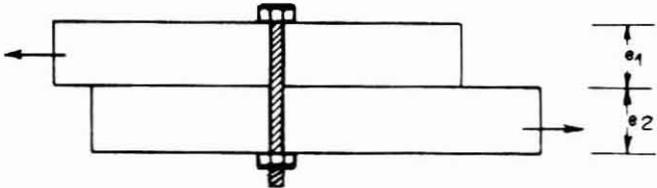


Si :  $e_1 < e_2$



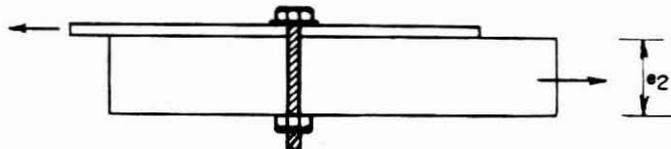
- a) Usar :  $e^* = e_2$  y tomar el 50% del valor calculado como carga admisible en cizalle doble con pieza central de espesor  $e^*$ .
- b) Usar :  $e^* = 2e_1$  y tomar el 50% del valor calculado como carga admisible en cizalle doble con pieza central de espesor  $e^*$ .
- c) Tomar el menor valor entre a) y b).

Si :  $e_1 = e_2$



Usar :  $e^* = e_1 = e_2$  y tomar el 50% del valor calculado como carga admisible en cizalle doble con pieza central de espesor  $e^*$ .

Si : Existe cubrejunta metálica



Usar :  $e^* = e_2$  y tomar el 50% del valor calculado como carga admisible en cizalle doble con pieza central de espesor  $e^*$  y modificarlo con  $K_{cm}$ .

**FIGURA N° 83.**

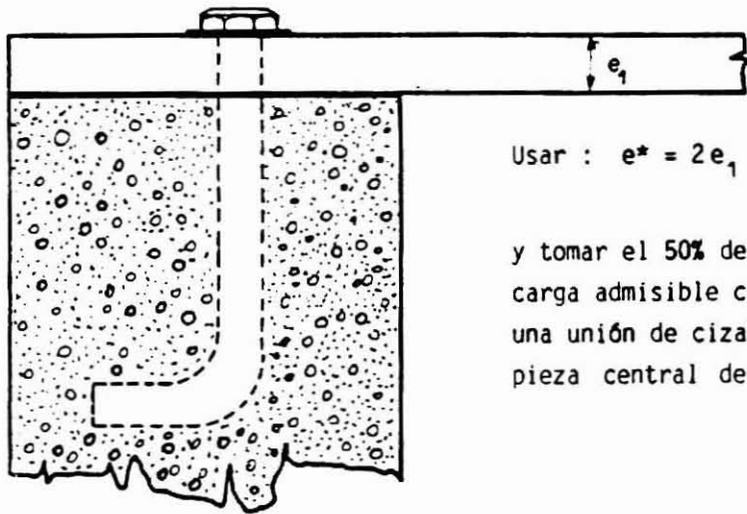
Cizalle simple. Procedimiento para obtener las cargas admisibles.

En piezas de madera ancladas a concreto o albañilería, mediante pernos embebidos en dichos materiales, la carga admisible de un perno se determina como la mitad del valor de la carga admisible calculada para una unión de cizalle doble con una pieza central de espesor ficticio ( $e^*$ ) igual al doble del espesor del madero anclado. Ver Figura N° 84.

#### 6.2.2.4. Cizalle Múltiple

Para una unión de cuatro o más piezas de espesores distintos, la carga admisible de la unión depende del número de planos de cizalle y puede determinarse considerando los valores admisibles correspondientes a los planos de cizalle individuales según el siguiente procedimiento:

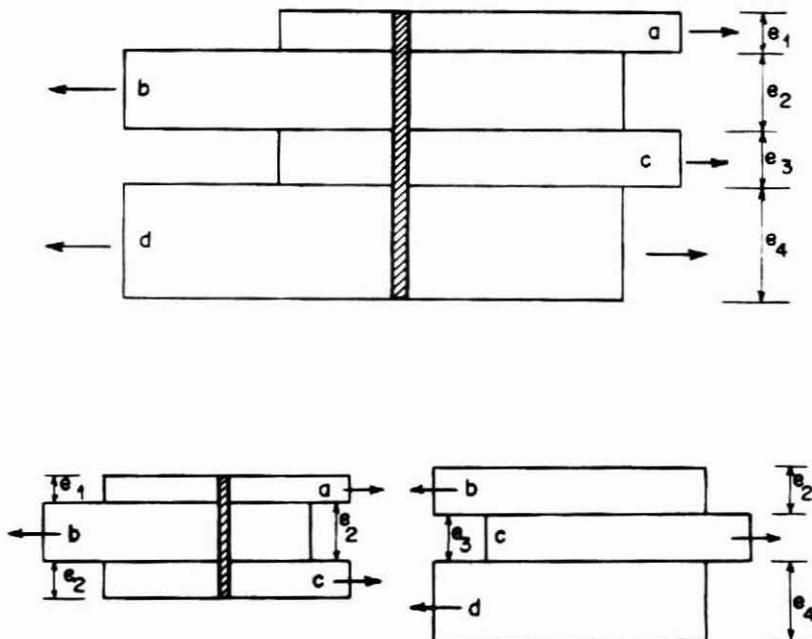
- i ) Descomponer la unión de cizalle múltiple en el máximo número de uniones de tres piezas adyacentes, según Figura N° 85.
- ii ) Para cada una de estas uniones de tres piezas determinar la carga admisible correspondiente, de acuerdo al procedimiento estándar, asignando la mitad de la carga admisible obtenida a cada plano de cizalle en la unión.
- iii) La carga admisible final de aquellos planos de cizalle que queden asignados con dos cargas admisibles diferentes será la menor de ambas.
- iv ) Para las uniones de cizalle múltiple en que la distribución de la carga entre las piezas es indeterminada, se debe considerar, como valor admisible de la unión múltiple al producto entre la menor carga de diseño de aquéllas asignadas a los diferentes planos de cizalle y el número de planos de cizalle de la unión.



Usar :  $e^* = 2e_1$

y tomar el 50% del valor de la carga admisible calculada para una unión de cizalle doble con pieza central de espesor  $e^*$ .

**FIGURA N° 84.** Pieza de madera anclada en hormigón o albañilería.



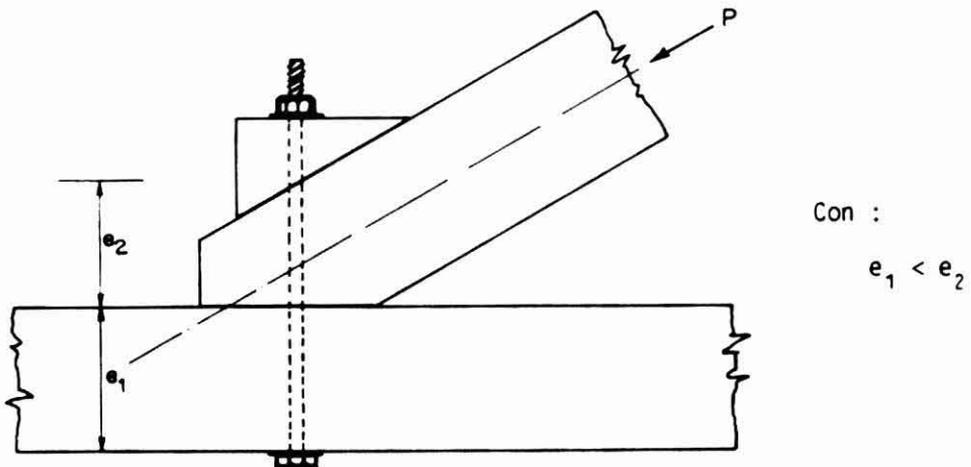
**FIGURA N° 85.** Descomposición de una unión de cizalle múltiple.

Para una unión con cuatro o más piezas de igual espesor, la carga admisible para cada plano de cizalle se determina considerando la mitad del valor admisible calculado para una unión de cizalle doble con espesor ficticio ( $e^*$ ) de pieza central igual al de las piezas adyacentes al plano de cizalle que se considera.

#### 6.2.2.5. Solicitación Desangulada Respecto al Eje del Perno

Si la solicitación que actúa sobre una unión con dos piezas forma un ángulo con el eje del perno y si se denomina  $e_1$  y  $e_2$  las longitudes del perno en ambos maderos (ver Figura N° 86), la componente de la carga admisible que actúa a  $90^\circ$  con respecto al eje del perno se determina de acuerdo con 6.2.2.3., como la correspondiente a una unión de cizalle simple con piezas de espesores  $e_1$  y  $e_2$ .

Deberá proveerse suficiente área de apoyo bajo las arandelas para resistir la componente de la solicitación que resulta paralela al eje del perno y que provoca aplastamiento sobre la madera.



**FIGURA N° 86.**

Carga desangulada respecto al eje del perno.

### 6.2.3. Espaciamientos Mínicos

Los espaciamientos ḿnicos que se deben respetar en las uniones de pernos y barras de acero se indican en las Tablas N° 71 y N° 72, en las cuales se utiliza la nomenclatura establecida en 6.1.4.

Las restricciones de la Tabla N° 71 rigen para uniones con cubrejuntas metálicas. Cuando se utilicen arandelas cuadradas, las exigencias dimensionales establecidas en Tabla N° 67 determinan una separación física ḿnima entre pernos igual a 4D. Para arandelas circulares esta separación física deberá ser 4,6D.

Cuando las cargas de trabajo ( $P_{tr}$ ) resulten menores que las cargas de diseño ( $P_{dis}$ ) los espaciamientos medidos en la dirección de la fibra pueden ser reducidos de acuerdo a lo establecido en las Tablas N° 71 y N° 72.

**TABLA N° 71.**

ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE PERNOS.

ESPACIAMIENTO MINIMO	DIRECCION DE LA FUERZA CON RESPECTO A LA FIBRA	ESPACIAMIENTO MINIMO CON		CONDICION	VALOR DEL ESPACIAMIENTO
		DIRECCION RESPECTO A LA FIBRA	SIMBOLO		
ENTRE PERNOS VECINOS	Paralela	Paralela	$S_p$	Si : $N_{tr} = N_{dis}$	$S_p = 4D$
				Si : $N_{tr} < N_{dis}$	$S_p = 4D \times (N_{tr}/N_{dis}) \geq 3D$
		Normal	$S_n$	$D \leq 125$	$S_n = D \leq 125$
	Normal	Paralela	$S_p$	$2,5D \leq S_p \leq 5D$	$S_p = 0,625 (e/D) + 1,25$
		Normal	$S_n$	$S_n \geq 3D$	Condicionado por las exigencias de espaciamento en las piezas unidas al madero.
AL BORDE CARGADO	Paralela	Paralela	$S_{bcp}$	Si : $N_{tr} = N_{dis}$	$S_{bcp} = 7D$
				Si : $N_{tr} < N_{dis}$	$S_{bcp} = 7D \times (N_{tr}/N_{dis}) \geq 3,5D$
	Normal	Normal	$S_{bcn}$		$S_{bcn} = 4D$
AL BORDE DESCARGADO	Paralela	Paralela	$S_{bdp}$	Si : $N_{tr} = N_{dis}$	$S_{bdp} = 4D$
				Si : $N_{tr} < N_{dis}$	$S_{bdp} = 4D \times (N_{tr}/N_{dis}) \geq 2D$
	Normal	Normal	$S_{bdn}$		$S_{bdn} = 3D$

**TABLA N° 72. ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE BARRAS DE ACERO.**

ESPACIAMIENTO MINIMO	DIRECCION DEL ESPACIAMIENTO CON RESPECTO A LAS FIBRAS	PARA DIAMETRO (D) DE LA BARRA	
		D > 20 mm	D ≤ 20 mm
Entre Barras Vecinas	Paralela ( $S_p$ )	7 D	6 D
	Normal ( $S_n$ )	4 D	3,5D
Al Borde Cargado	Paralela ( $S_{bcp}$ )	7 D	7 D
	Normal ( $S_{bcn}$ )	4 D	4 D
Al Borde Descargado	Paralela ( $S_{bdp}$ )	6 D	4 D*
	Normal ( $S_{bdn}$ )	4 D	3,5D

\* En apoyos de extremos de vigas se debe respetar un espaciamiento mínimo a la cabeza de la pieza igual a 80 mm.

### 6.3. Uniones con Tirafondos

#### 6.3.1. Generalidades

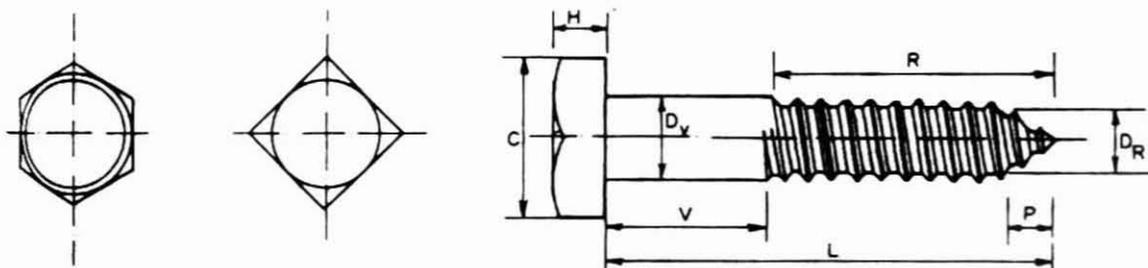
Las especificaciones que siguen son aplicables a los tirafondos señalados en la Tabla N° 73, sometidos a extracción directa y/o extracción lateral en cizalle simple de una unión con dos elementos.

Las cargas admisibles que la NCh 1198 entrega son aplicables cuando existe una sollicitación de duración normal (10 años) en tirafondos colocados en madera seca que conserva tal estado, en servicio.

Los tirafondos deben ser instalados en perforaciones guías con las características señaladas en la Tabla N° 73.

Para tirafondos con diámetros iguales o mayores que 3/4", ver Tabla N° 73, ocupar los porcentajes del límite superior

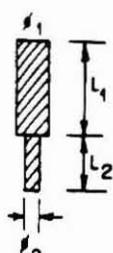
**TABLA Nº 73. CARACTERISTICAS DE LOS TIRAFONDOS.**



DIMENSIONES (mm)		Nº	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	VALORES REFERENCIALES PARA EL DISEÑO (mm)	
			D <sub>v</sub>	6,4	7,9	9,5	12,7	15,9	19,1	22,2	25,4	R
LARGO L	PULG.	mm	D <sub>R</sub>	4,4	5,3	6,7	9,4	11,9	14,7	17,3	19,8	
			P	4,8	6,4	6,4	7,9	9,5	11,1	12,7	14,3	
		H	4,4	5,2	6,4	8,3	10,7	12,7	15,1	16,7		
		C	9,5	12,7	14,3	19,1	23,8	28,6	33,3	38,1		
1 1/2	38,1		X	X	X	X					25	13
2	50,8		X	X	X	X	X				32	19
2 1/2	63,5		X	X	X	X	X				38	25
3	76,2		X	X	X	X	X	X	X	X	44	32
3 1/2	88,9		X	X	X	X	X	X	X	X	51	38
4	101,6		X	X	X	X	X	X	X	X	57	44
4 1/2	114,3		X	X	X	X	X	X	X	X	64	51
5	127,0		X	X	X	X	X	X	X	X	70	57
5 1/2	139,7		X	X	X	X	X	X	X	X	76	64
6	152,4		X	X	X	X	X	X	X	X	83	70
7	177,8		X	X	X	X	X	X	X	X	95	83
8	203,2		X	X	X	X	X	X	X	X	108	95

$$R = \frac{L}{2} + \frac{1}{4}'' : V = L - R$$

**PERFORACIONES GUIAS :**



Para Zona Vástago:  $\phi_1 = D_v$   
 $L_1 = V$

Para Zona Roscada:  $\phi_2 = \begin{cases} 0,65 D_v - 0,85 D_v & \text{(Maderas Grupo C y D)} \\ 0,60 D_v - 0,75 D_v & \text{(Maderas Grupo B)} \\ 0,40 D_v - 0,70 D_v & \text{(Maderas Grupo A)} \end{cases}$   
 $L_2 = R - P$

de los intervalos allí señalados. La zona con rosca debe ser colocada en la perforación gufa con una llave de tuerca. No es recomendable la aplicación de golpes de martillo en esta operación. Para facilitar la introducción y evitar daños en el tirafondo se acepta el empleo de lubricantes en la rosca o en la perforación.

Cuando los tirafondos con diámetros menores o iguales a  $\frac{3}{8}$ " , colocados en maderas del grupo C y D son sometidos a extracción directa, se puede evitar la perforación gufa si los espaciamientos cumplen con las exigencias establecidas en 6.2.3.

Para uniones estructurales se deben especificar arandelas según Tabla N° 67, excepto que se dispongan planchas de acero.

### 6.3.2. Solicitaciones de Extracción Directa

La carga admisible de extracción directa de tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera, se determina con la expresión:

$$P_{ed,ad} = \frac{\rho_o^{1,5} \times D^{0,75} \times \ell}{978} \times 10^{-3}$$

Siendo :  $\ell \leq \ell_{crit}$

en que :

$P_{ed,ad}$  = carga admisible de extracción directa, en kN.

$\rho_o$  = densidad anhidra de la madera, en Kg/m<sup>3</sup>.

D = diámetro del vástago del tirafondo, en mm.

$\ell$  = longitud de penetración de la zona roscada del tirafondo (R - P) en la madera, en mm.

$\ell_{crit}$  = longitud de penetración de la zona roscada que desarrolla la capacidad admisible de tracción en la sección

transversal crítica del tirafondo, según Tabla N° 74.

**TABLA N° 74.** LONGITUD DE PENETRACION DE LA ZONA ROSCADA QUE DESARROLLA LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE TRACCION DEL TIRAFONDO.

GRUPO DE LA ESPECIE (Ver Tabla N° 59)	LONGITUD CRITICA DE PENETRACION ( $l_{crft}$ ) <sup>*</sup>
A	11 $D_R$
B	10 $D_R$
C	8 $D_R$
D	7 $D_R$

\* Si :  $(R - P) < l_{crft}$  , tomar :  $l_{crft} = (R - P)$ .

El diseño debe evitar la sollicitación a extracción directa de tirafondos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera. Si ello no fuese posible se debe considerar una carga admisible igual al 75% de aquélla calculada para tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera.

### 6.3.3. Solicitaciones de Extracción Lateral

#### 6.3.3.1. Cargas Paralelas a las Fibras del Elemento Principal

La carga admisible de extracción lateral en tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera y sometidos a una carga paralela a dichas fibras, se determina con la expresión:

$$P_{el,ad} = K \times D^2 \times 10^{-3}$$

en que :

$P_{eL,ad}$  = carga admisible de extracción lateral, en kN.

D = diámetro del vástago del tirafondo (ver Tabla N° 73), en mm.

K = constante que depende de la densidad anhidra y cuyo valor se puede obtener de la Tabla N° 75.

**TABLA N° 75.** VALORES DE LA CONSTANTE K.

MADERA DE	DENSIDAD ANHIDRA * $\rho_o$ Kg/m <sup>3</sup>	K
Latifoliadas	330 - 475	23,4
	476 - 565	39,3
	$\rho_o \geq 566$	45,6
Coníferas	290 - 425	10,4
	426 - 475	11,7
	$\rho_o \geq 476$	13,1

\* Los valores de la densidad anhidra se pueden obtener de la Tabla N° 58.

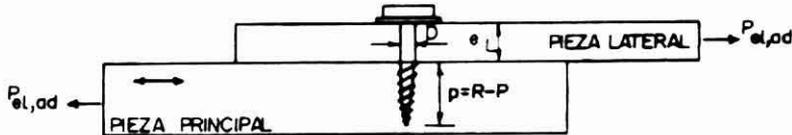
La carga admisible que entrega la expresión anterior es aplicable si:

- a) el espesor,  $e_L$ , de la pieza lateral atravesada por el tirafondo es igual a 3,5D.
- b) la profundidad mínima de penetración en la pieza principal (la que recibe la punta del tirafondo), asciende a:

7 D en maderas de los Grupos C y D.

11 D en maderas de los Grupos A y B.

c) la penetración del vástago es completa en la pieza lateral, sin que él penetre en la pieza principal (ver Figura N° 87).



$p = 7D$  ó  $11D$  penetración mínima de la zona roscada en la pieza principal.

**FIGURA N° 87.** Condiciones geométricas para el cálculo de la carga admisible de extracción lateral.

Factores de Modificación:

Si no se cumplen las condiciones anteriores, la carga admisible calculada con la expresión de 6.3.3.1. debe multiplicarse por los siguientes factores de modificación:

i) Factor de modificación por espesor de la pieza lateral,  $K_{te}$ .

Para espesor de piezas laterales diferentes a  $e_L = 3,5D$ , usar los factores de modificación de la Tabla N° 76.

**TABLA N° 76.** FACTORES DE MODIFICACION POR ESPESOR ( $e_L$ ) DE LA PIEZA LATERAL.

$e_L/D$	$K_{te}$	$e_L/D$	$K_{te}$
2,0	0,62	4,5	1,13
2,5	0,77	5,0	1,18
3,0	0,93	5,5	1,21
3,5	1,00	6,0 o más	1,22
4,0	1,07		

$e_L$  : espesor de la pieza lateral.

ii) Factor de modificación por penetración del vástago en la pieza principal,  $K_{tv}$ .

Cuando el vástago penetra la pieza principal, se debe usar el factor de modificación señalado en la Tabla N° 77.

**TABLA N° 77.** FACTOR DE MODIFICACION POR PENETRACION DEL VASTAGO ( $p_v$ ) EN LA PIEZA PRINCIPAL.

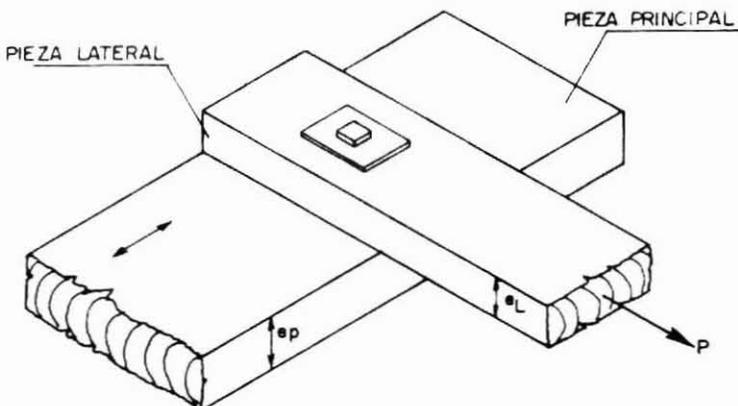
$p_v/D$	$K_{tv}$
1	1,08
2	1,17
3	1,26
4	1,33

$p_v/D$	$K_{tv}$
5	1,36
6	1,38
7	1,39

$p_v$  : penetración del vástago en la pieza principal.

### 6.3.3.2. Carga Normal a las Fibras del Elemento Principal.

La carga admisible a la extracción lateral de tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la ma de ra de la pieza principal y sometidos a una carga nor mal a la dirección de dichas fibras (ver Figura N° 88) se determina con la expresión establecida en párrafo 6.3.3.1., multiplicada por el factor de modificación por diámetro,  $K_{tp}$ , que entrega la Tabla N° 78.



**FIGURA N° 88.** Tirafondo solicitado con carga normal a las fibras.

**TABLA N° 78. FACTOR DE MODIFICACION POR DIAMETRO,  $K_{tD}$ .**

DIAMETRO, D		$K_{tD}$
Pulgadas	mm	
3/16	4,8	1,00
1/4	6,4	0,97
5/16	7,9	0,85
3/8	9,5	0,76

DIAMETRO, D		$K_{tD}$
Pulgadas	mm	
1/2	12,7	0,65
5/8	15,9	0,60
3/4	19,1	0,55
7/8	22,2	0,52
1	25,4	0,50

6.3.3.3. Cargas Inclínadas con Respecto a las Fibras del Elemento Principal

La carga admisible a la extracción lateral de tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera de la pieza principal y sometidos a una carga que forma un ángulo  $\theta$  con dicha fibra se determina con la fórmula de Hankinson. Ver párrafo 6.1.3.

6.3.3.4. Cargas Admisibles para Tirafondos con Eje Paralelo a las Fibras

La carga admisible a la extracción lateral de tirafondos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera de la pieza principal y sometidos a una carga normal a dichas fibras se debe considerar igual a los  $2/3$  de aquella determinada en párrafo 6.3.3.2.

6.3.3.5. Uso de Cubrejunta Metálica

La carga admisible a la extracción lateral de tirafondos colocados con piezas laterales metálicas se obtiene con las cargas admisibles especificadas en 6.3.3.1; 6.3.3.2 y 6.3.3.3 multiplicadas por los siguientes factores de modificación:

a) para cargas paralelas a la dirección de la fibra:

$$K_{cm,cp} = 1,25$$

b) para carga normal a la dirección de la fibra:

$$K_{cm,cn} = 1,0$$

Cuando un tirafondo queda sometido a una combinación de esfuerzos de extracción directa y lateral se debe proceder a un análisis independiente de ambas solicitudes.

La componente de extracción directa de la carga aplicada, no debe exceder la carga de diseño de extracción directa especificada en 6.3.2., y la componente de extracción lateral de la carga aplicada no debe ser mayor que la carga de diseño para extracción lateral calculada según párrafo 6.3.3.

#### 6.3.4. Espaciamientos

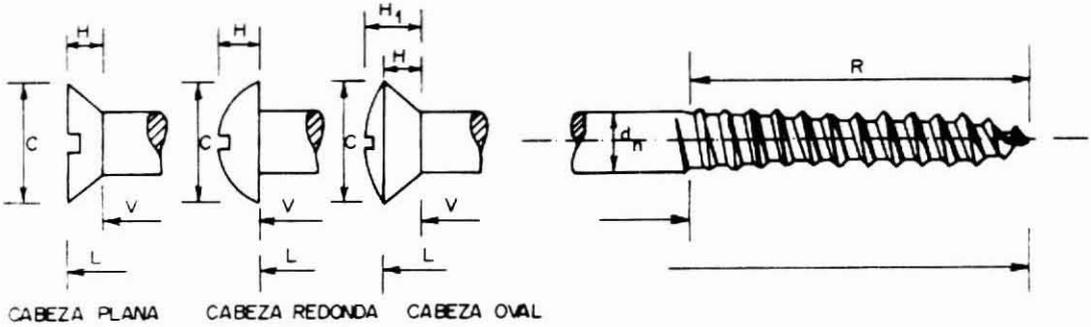
Los espaciamientos y distancias a los bordes de la unión deben ser los establecidos para pernos de diámetros igual al diámetro del vástago del tirafondo usado. Ver 6.2.3.

### 6.4. Uniones con Tornillos

#### 6.4.1. Generalidades

Las especificaciones que se incluyen en este capítulo rigen para tornillos según norma ANSI B 18.16.1 con un diámetro nominal ( $d_n$ ) de al menos 4 mm. Ver Tabla N° 79.

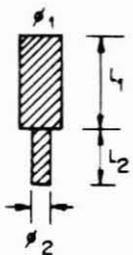
**TABLA N° 79.** CARACTERISTICAS DE LOS TORNILLOS.



DIMENSIONES TORNILLO MADERA (mm)		Nº	8	9	10	12	14	16	18	20	24		
		$d_n$	4,2	4,5	4,8	5,5	6,2	6,8	7,5	8,1	9,5		
LARGO NOMINAL L		CABEZA PLANA Y OVAL											
		C	8,4	9,1	9,8	11,1	12,9	13,8	16,1	16,5	19,4		
		H	2,5	2,7	3,0	3,4	3,9	4,2	4,9	5,0	5,8		
		$H_L$	3,9	4,2	4,5	5,1	5,9	6,3	7,4	7,5	8,8		
PULGADA		mm		CABEZA REDONDA									
		C	7,9	8,5	9,1	10,4	11,6	12,9	14,1	15,3	17,8		
		H	3,0	3,3	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6	6,6		
$\frac{3}{4}$	19,1		X	X	X	X	X						
1	25,4		X	X	X	X	X	X					
$1\frac{1}{4}$	31,8		X	X	X	X	X	X	X	X			
$1\frac{1}{2}$	38,1		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
$1\frac{3}{4}$	44,4		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	50,8		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
$2\frac{1}{2}$	63,5		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
3	76,2			X	X	X	X	X	X	X	X		
$3\frac{1}{2}$	88,9				X	X	X	X	X	X	X		
4	101,6					X	X	X	X	X	X		

$$R = \frac{2}{3} \ell \quad ; \quad V = \frac{\ell}{3} - H$$

**PERFORACIONES GUIAS :**



Para Zona Vástago :  $\phi_1 = d_n$   
 $\ell_1 = V$

Para Zona Roscada :  $\phi_2 = 0,7 \times d_n$   
 $\ell_2 = R$

Las uniones atornilladas estructurales deben trabajar en cizalle simple y constar de al menos cuatro tornillos cuando  $d_n < 10 \text{ mm}$  y de dos tornillos cuando  $d_n \geq 10 \text{ mm}$ .

#### 6.4.2. Solicitaciones de Extracción Lateral

La capacidad admisible de carga, para solicitaciones con dirección perpendicular al eje del tornillo (cizalle) y en cualquier dirección con respecto a la fibra de la madera, se calcula con la expresión:

$$P_{p,ad} = 3 \times e_1 \times d_n \times 10^{-3} \leq 13 \times d_n^2 \times 10^{-3}$$

en que :

$P_{p,ad}$  = carga admisible, en kN.

$e_1$  = espesor de la madera o tablero a fijar (ver Figura N° 89), en mm.

$d_n$  = diámetro nominal del tornillo, en mm.

La penetración efectiva de atornillado ( $p_{ef,t}$ ), en mm, debe ascender a lo menos a  $8 d_n$ .

Las piezas a unir se deben perforar previamente con un diámetro igual a  $d_n$  hasta una profundidad igual a longitud lisa del vástago y con un diámetro igual a  $0,7 \times d_n$  hasta una profundidad igual al largo de la zona roscada.

La expresión señalada anteriormente se puede usar en el cálculo de uniones atornilladas de madera con tableros de partículas de al menos 6 mm de espesor. En estas uniones, la longitud de la zona lisa del vástago del tornillo debe corresponder, a lo menos, al espesor del tablero de partícula.

#### 6.4.2.1. Factores de Modificación

a) Por penetración efectiva,  $K_{pet}$ .

Si la penetración efectiva de atornillado ( $P_{ef,t}$ ) es menor que  $8 d_n$  ( $P_{ef,t} < 8 d_n$ ), la carga admisible se debe reducir mediante el factor de modificación,  $K_{pet}$ , igual a:

$$K_{pet} = \frac{P_{ef,t}}{8 d_n}$$

Las perforaciones inferiores a  $4 \times d_n$  no se deben considerar en el cálculo.

b) Por cubrejunta metálica,  $K_{cm,t}$ .

Si se usa cubrejunta metálica en la unión se debe usar los siguientes factores de modificación:

- Para carga paralela a la dirección de la fibra:

$$K_{cm,t} = 1,25$$

- Para carga normal a la dirección de la fibra:

$$K_{cm,t} = 1,0$$

#### 6.4.3. Solicitaciones de Extracción Directa

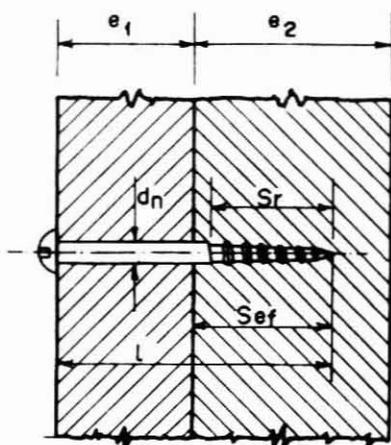
La carga admisible de extracción directa de un tornillo colocado en madera con la perforación gufa indicada en la Tabla N° 79, se puede obtener de la expresión:

$$P_{ed,ad} = 3 \times S_r \times d_n \times 10^{-3}$$

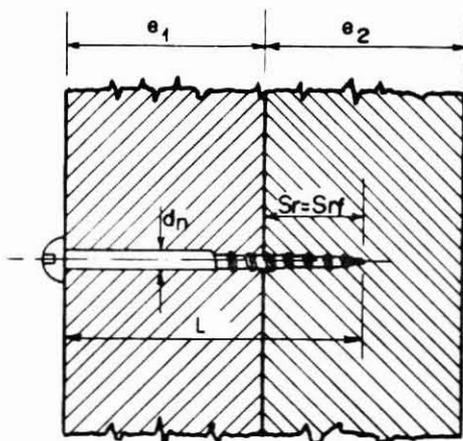
Con :

$P_{ed,ad}$  = carga admisible a la extracción directa en kN.

$d_n$  y  $S_r$  = según Figura N° 89, en mm.



$$\underline{S_{ef} > S_r}$$



$$\underline{S_{ef} = S_r}$$

$d_n$  = diámetro nominal del tornillo.

$l$  = largo del tornillo.

$S_{ef}$  = penetración efectiva del atornillado.

$S_r$  = penetración de atornillado de la zona roscada del tornillo, en la pieza de madera que recibe la punta del tornillo.

$e_1$  = espesor de la pieza atravesada por el tornillo.

$e_2$  = espesor de la pieza que recibe la punta del tornillo.

NOTA : Todas las dimensiones en milímetros.

**FIGURA N° 89.** Uniones con tornillos.

Esta carga admisible se aplica a madera seca en servicio, independientemente del contenido de humedad de la madera durante la construcción. Para otras condiciones de humedad en servicio, ver Tabla N° 60.

En la fijación de tableros de fibras y de partículas en piezas de madera, se deben considerar las siguientes limitantes:

- a) el espesor del tablero debe ser igual o mayor que 12 mm, y
- b) para espesores menores y debido al riesgo de punzonamiento, la capacidad admisible de extracción directa se limita a 0,15 kN.

#### 6.4.4. Combinación de Solicitaciones

Al actuar simultáneamente sobre un tornillo solicitaciones de cizalle y de extracción directa, rige la ecuación:

$$\left[ \frac{P_{cz,tr}}{P_{cz,ad}} \right]^2 + \left[ \frac{P_{ed,tr}}{P_{ed,ad}} \right]^2 \leq 1$$

Con :

$P_{cz,tr}$  = solicitación de trabajo en cizalle de una sección transversal de tornillo.

$P_{cz,ad}$  = carga admisible en cizalle que soporta una sección transversal de tornillo.

$P_{ed,tr}$  = solicitación de trabajo en extracción directa del tornillo.

$P_{ed,ad}$  = capacidad admisible en extracción directa que soporta un tornillo colocado en madera, calculada según fórmula de párrafo 6.4.2.2.

#### 6.4.5. Espaciamientos

##### a) Espaciamientos Míminos:

Para tornillos sometidos a extracción lateral, los espaciamientos míminos entre tornillos colocados en madera, deben ser los especificados en la Tabla N° 84 para clavos colocados con perforación gufa.

Para los espacios míminos entre tornillos, colocados en tableros derivados de la madera, rige lo establecido en párrafo 6.5.2.6.

##### b) Espaciamientos Máximos:

En tornillos estructurales, la distancia máxima entre tornillos vecinos, medida según la dirección de la fibra de la madera y en cualquier dirección en tableros derivados de la madera, no debe exceder de  $40 \times d_n$ .

La distancia máxima entre tornillos estructurales vecinos, medida normal a la dirección de la fibra de la madera, no debe exceder de  $20 \times d_n$ .

#### 6.5. Uniones con Clavos

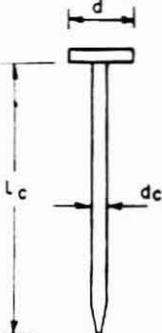
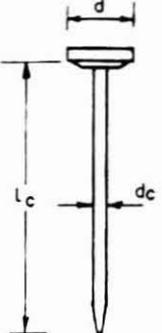
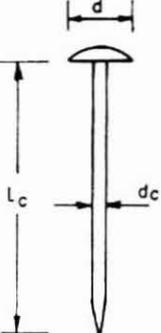
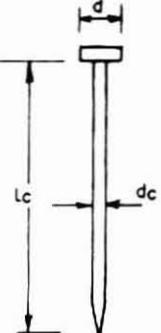
##### 6.5.1. Generalidades

Las especificaciones que entrega la norma NCh 1198 para uniones clavadas en construcciones de madera rigen para el empleo de los tipos de clavos fabricados según NCh 1269. Ver Tablas N° 79 y N° 80.

La norma NCh 1198 permite el uso de uniones con clavos especiales diferentes a los tipos especificados en Tabla N° 80 si la aptitud y resistencia de ellas se respalda mediante un certificado de ensayo emitido por un Organismo Oficial de Investigación.

**TABLA Nº 80.**

TIPOS DE CLAVOS FABRICADOS SEGUN NCh 1269.

TIPOS DE CLAVOS			
De cabeza plana circular	De cabeza plana avellanada, circular	De cabeza redonda	Puntas
A	B	C	D
			

**NOTAS :** i ) Los clavos podrán tener los acabados superficiales siguientes:

1. Con tratamiento superficial:

- \* Clavos galvanizados
- \* Clavos barnizados

2. Sin tratamiento superficial:

- \* Clavos pulidos

ii ) La materia prima de la cual se fabrican los clavos son alambres endurecidos por proceso de brefilación en frío a partir de alambres de bajo contenido de carbono.

**TABLA Nº 81.**      **DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE LOS CLAVOS.**

DESIGNACION mm x mm	LARGO $l_c$ mm	DIAMETRO $d_c$ mm	DIAMETRO MINIMO (mm) CABEZA d PARA TIPOS A - B y C	CANTIDAD DE CLAVOS POR KILOGRAMO
150 x 5,6	150	5,6	13,4	24
125 x 5,1	125	5,1	11,9	37
100 x 4,3	100	4,3	10,3	66
90 x 3,9	90	3,9	8,7	103
75 x 3,5	75	3,5	7,9	145
65 x 3,1	65	3,1	7,1	222
50 x 2,8	50	2,8	6,7	362
50 x 2,2	50	2,2	6,7	405
45 x 2,2	45	2,2	6,3	559
40 x 2,2	40	2,2	6,3	647
30 x 2,0	30	2,0	5,1	1195

Continúa .....

**TABLA N° 81.** (Continuación)

DESIGNACION mm x mm	LARGO 1) $l_c$ mm	DIAMETRO 2) $d_c$ mm	DIAMETRO MINIMO (mm) CABEZA d PARA TIPOS A - B y C	CANTIDAD DE CLAVOS POR KILOGRAMO
25 x 1,7	25	1,7	4,3	2042
20 x 1,5	20	1,5	3,8	3362
15 x 1,3	15	1,3	3,3	6026

NOTAS : 1.- \* El largo ( $l_c$ ) no incluye la cabeza del clavo para los tipos A - B y D. Para el tipo C, el largo entregado no considera la cabeza del clavo.

\* La tolerancia del largo ( $l_c$ ) del clavo es:  $\pm d_c$ .

2.- La tolerancia para el diámetro ( $d_c$ ) del clavo es:

$\pm 0,1$  mm para diámetros  $d_c \geq 30$  mm

$\pm 0,05$  mm para diámetros  $d_c < 30$  mm

### 6.5.2. Solicitaciones de Extracción Lateral

#### 6.5.2.1. Generalidades

Se exige la presencia de al menos cuatro clavos en cada uno de los planos de cizalle que se presenten en una unión estructural clavada de dos o más piezas de madera, cizalle simple o múltiple respectivamente. Esto no rige para la fijación de revestimientos, entablados y contraventaciones.

En uniones clavadas de cizalle doble o múltiple, el clavado debe ejecutarse alternadamente desde ambos lados.

La carga admisible  $P_{el,ad}$  que se asigna a una sección transversal de clavo solicitada a cizalle, se calcula independientemente del ángulo que forma la dirección de la carga con la fibra de la madera, a través de la expresión:

$$P_{el,ad} = 3,5 \times d_c^{1,5} \times \rho_{o,K}^{0,5}$$

en que :

$P_{el,ad}$  = carga admisible, en N.

$d_c$  = diámetro del clavo, en mm.

$\rho_{o,K}$  = densidad anhidra característica, en Kg/m<sup>3</sup>.

La densidad anhidra característica ( $\rho_{o,K}$ ) se entrega en la Tabla N° 82 para cuatro especies madereras que crecen en Chile y que pertenecen a cada uno de los grupos definidos en 6.1.1.; y en la Tabla A.1 del Anexo A.

**TABLA N° 82.** DENSIDADES ANHIDAS CARACTERISTICAS DEL ALAMO, PINO RADIATA, TEPA Y COIGUE.

ESPECIE MADERERA	GRUPO SEGUN 6.1.1	DENSIDAD ANHIDA ( $\rho_{o,K}$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	
		PROMEDIO	CARACTERISTICA
ALAMO	A	386	357
PINO RADIATA	B	468	369
TEPA	C	508	442
COIGUE	D	519	398

La carga admisible ( $P_{ad}^*$ ), en Newtons, de un clavo en cizalle simple y/o múltiple se calcula con la expresión:

$$P_{ad}^* = m \times P_{el,ad}$$

en que :

$m$  = número de planos de cizalle que atraviesa el clavo.

$P_{el,ad}$  = carga admisible de una sección transversal de clavo sometida a cizalle, en Newtons.

Una superficie de cizalle se puede considerar plenamente eficiente sólo si se respetan las penetraciones mínimas de clavado, indicadas en 6.5.2.3.

#### 6.5.2.2. Condiciones para el Espesor de las Piezas que se unen

La aplicación del valor  $P_{el,ad}$  exige respetar un espesor mínimo de la madera ( $e_{mfn}$ ) de magnitud:

$$e_{mfn} = 7 \times d_c$$

en uniones de clavado directo y  $e_{mfn} = 6 d_c$  en uniones con perforación gufa, con:

$e_{mfn}$  = espesor mínimo, en mm.

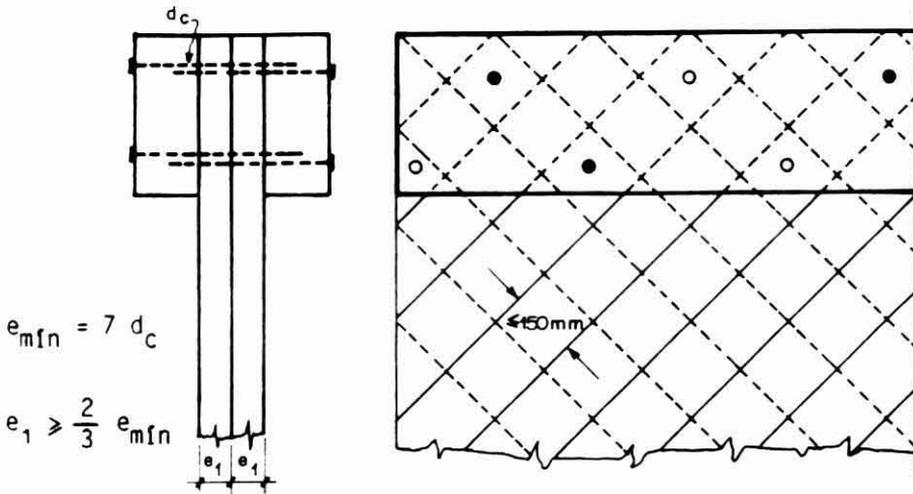
$d_c$  = diámetro del clavo, en mm.

Para elementos constituyentes de uniones estructurales, se deben usar espesores mayores o iguales que 18 mm en uniones de clavado directo y 16 mm en uniones con perforación gufa.

En vigas compuestas de alma llena, constituida ésta por dos capas de entablados cruzados y considerando el efecto confinante generado por el clavado a cizalle doble



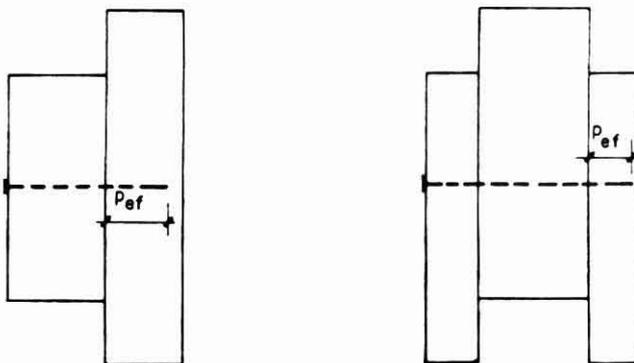
de los cordones (ver Figura N° 90), el valor de "e<sub>mfn</sub>" calculado con la expresión anterior puede ser reducido a  $\frac{2}{3}$  de su valor, siempre que el ancho individual de las tablas que forman el alma no exceda de 150 mm.



**FIGURA N° 90.** Clavado en vigas compuestas de alma llena.

6.5.2.3. Condiciones para la Profundidad de Penetración Efectiva del Clavado, ( $p_{ef}$ )

Se define como profundidad de penetración efectiva ( $p_{ef}$ ) del clavo a la parte de su longitud que penetra la pieza que recibe su punta, ver Figura N° 91.



a) Cizalle Simple

b) Cizalle Doble

**FIGURA N° 91.** Definición de penetración efectiva ( $p_{ef}$ ).

La profundidad de penetración efectiva debe cumplir con las condiciones señaladas en la Tabla N° 83.

**TABLA N° 83.** CARGAS ADMISIBLES Y FACTORES DE MODIFICACION POR PROFUNDIDAD DE PENETRACION EN EL CLAVADO.

TIPO DE SOLICITACION	CONDICION PARA LA PROFUNDIDAD DE PENETRACION Z) EFECTIVA ( $p_{ef}$ )	FACTOR DE MODIFICACION $K_{pp}$ 1)	CARGA ADMISIBLE DE UN CLAVO EN LA UNION ( $P_{ad}^*$ ) 4) (N)
CIZALLE SIMPLE	Si: $p_{ef} \geq 12 \times d_c$ 3)	$K_{pp} = 1,0$	$P_{ad}^* = m \times P_{el,ad}$ 5)
	Si: $12 \times d_c > p_{ef} \geq 6 \times d_c$	$K_{pp} = \frac{P_{ef}}{12 \times d_c}$	$P_{ad}^* = K_{pp} \times m \times P_{el,ad}$
	Si: $6 \times d_c > p_{ef}$	$K_{pp} = 0$	No se le asigna carga en uniones estructurales.
CIZALLE MULTIPLE	Si: $p_{ef} \geq 8 \times d_c$	$K_{pp} = 1,0$	$P_{ad}^* = (m - 0,25) \times P_{el,ad}$
	Si: $8 \times d_c > p_{ef} \geq 4 \times d_c$	$K_{pp} = \frac{P_{ef}}{8 \times d_c}$	$P_{ad}^* = [(m - 1) + 0,75 K_{pp}] \times P_{el,ad}$
	Si: $4 \times d_c > p_{ef}$	$K_{pp} = 0$	No se le asigna carga en uniones estructurales.

- NOTAS :**
- 1)  $K_{pp}$  = factor de modificación por profundidad de penetración.
  - 2)  $p_{ef}$  = profundidad de penetración efectiva, en mm.
  - 3)  $d_c$  = diámetro del clavo, en mm.
  - 4)  $P_{ad}^*$  = carga admisible de un clavo en la unión, en N.
  - 5)  $m$  = número de planos de cizalle que atraviesa el clavo.

$P_{el,ad}$  = carga admisible que se asigna a una sección transversal de clavo sometida a cizalle.

#### 6.5.2.4. Factores de Modificación

i ) Por profundidad de penetración,  $K_{pp}$ .

Son los señalados en la Tabla N° 83 en párrafo 6.5.2.3.

ii ) Por contenido de humedad,  $K_{UH}$ .

Si la unión clavada se construye en estado verde y es solicitada estando aún verde, la capacidad de carga admisible de la unión,  $P_{ad}^*$ , debe ser afectada por el factor de modificación  $K_{UH}$  señalado en Tabla N° 60.

iii) Por perforación gufa,  $K_{cpg}$ .

Si los agujeros del clavado se perforan previamente con un diámetro de aproximadamente 80% del diámetro del clavo, respetando las profundidades de penetración efectiva entregadas en Tabla N° 83, se puede incrementar la carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) calculada con el factor de modificación:

$$K_{cpg} = 1,20$$

El uso de esta capacidad de carga mayorada exige respetar, además, un espesor mínimo igual a  $6 d_c$  para la pieza clavada. Para espesor de madera menores que  $6d_c$ , las capacidades de carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) deben ser afectadas por:

$$K_{cpg} = \frac{e_{mfn}}{6d}$$

iv ) Por exceso de clavos en hileras ubicadas en elementos traccionados.

Si en un empalme o unión de elementos traccionados se disponen hileras de más de 10 clavos, en cada hilera se debe reducir en  $1/3$  las capacidades de carga de aquellos clavos que exceden al décimo clavo.

Para efectos del cálculo estructural, se puede considerar un máximo de 30 clavos por hilera.

#### 6.5.2.5. Piezas de Sección Transversal Circular

En uniones de tablas, tablones o similares con postes, rollizos o piezas de sección transversal circular se debe reducir las capacidades admisibles de carga de los clavos en  $1/3$ .

Las uniones clavadas entre piezas de sección transversal circular no se aceptan como estructurales.

Cuando los clavos queden expuestos a riesgos de corrosión, sólo se les podrá asignar su capacidad de carga admisible cuando ellos tengan las protecciones anticorrosivas señaladas en NCh 1198. Esta disposición no rige para construcciones provisionarias.

#### 6.5.2.6. Uniones Clavadas para Tableros

La carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) calculada según 6.5.2.2 rige también para:

- i ) uniones de cizalle simple y múltiple de tableros contrachapados fenólicos, de un mínimo de 4 chapas, siempre que el espesor mínimo de los tableros cumpla con lo siguiente:

$$e_{mín} = 3 \times d \quad (\text{para } d_c \leq 4,2 \text{ mm})$$
$$e_{mín} = 4 \times d \quad (\text{para } d_c > 4,2 \text{ mm})$$

- ii ) uniones de cizalle simple conformadas con tableros de partículas con espesores mínimos que sean iguales a:  $4,5 \times d_c$ , siempre que tales tableros sean resistentes a la acción del agua y la humedad.

- iii) en uniones de cizalle simple de tableros de partículas con espesores mínimos de hasta  $3 d_c$



#### 6.5.2.4. Factores de Modificación

i ) Por profundidad de penetración,  $K_{pp}$ .

Son los señalados en la Tabla N° 83 en párrafo 6.5.2.3.

ii ) Por contenido de humedad,  $K_{UH}$ .

Si la unión clavada se construye en estado verde y es solicitada estando aún verde, la capacidad de carga admisible de la unión,  $P_{ad}^*$ , debe ser afectada por el factor de modificación  $K_{UH}$  señalado en Tabla N° 60.

iii) Por perforación gufa,  $K_{cpg}$ .

Si los agujeros del clavado se perforan previamente con un diámetro de aproximadamente 80% del diámetro del clavo, respetando las profundidades de penetración efectiva entregadas en Tabla N° 83, se puede incrementar la carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) calculada con el factor de modificación:

$$K_{cpg} = 1,20$$

El uso de esta capacidad de carga mayorada exige respetar, además, un espesor mínimo igual a  $6 d_c$  para la pieza clavada. Para espesor de madera menores que  $6d_c$ , las capacidades de carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) deben ser afectadas por:

$$K_{cpg} = \frac{e_{mfn}}{6d}$$

iv ) Por exceso de clavos en hileras ubicadas en elementos traccionados.

Si en un empalme o unión de elementos traccionados se disponen hileras de más de 10 clavos, en cada hilera se debe reducir en  $1/3$  las capacidades de carga de aquellos clavos que exceden al décimo clavo.

Para efectos del cálculo estructural, se puede considerar un máximo de 30 clavos por hilera.

#### 6.5.2.5. Piezas de Sección Transversal Circular

En uniones de tablas, tablones o similares con postes, rollizos o piezas de sección transversal circular se debe reducir las capacidades admisibles de carga de los clavos en  $1/3$ .

Las uniones clavadas entre piezas de sección transversal circular no se aceptan como estructurales.

Cuando los clavos queden expuestos a riesgos de corrosión, sólo se les podrá asignar su capacidad de carga admisible cuando ellos tengan las protecciones anticorrosivas señaladas en NCh 1198. Esta disposición no rige para construcciones provisionarias.

#### 6.5.2.6. Uniones Clavadas para Tableros

La carga admisible ( $P_{el,ad}$ ) calculada según 6.5.2.2 rige también para:

- i ) uniones de cizalle simple y múltiple de tableros contrachapados fenólicos, de un mínimo de 4 chapas, siempre que el espesor mínimo de los tableros cumpla con lo siguiente:

$$e_{mín} = 3 \times d \quad (\text{para } d_c \leq 4,2 \text{ mm})$$
$$e_{mín} = 4 \times d \quad (\text{para } d_c > 4,2 \text{ mm})$$

- ii ) uniones de cizalle simple conformadas con tableros de partículas con espesores mínimos que sean iguales a:  $4,5 \times d_c$ , siempre que tales tableros sean resistentes a la acción del agua y la humedad.

- iii) en uniones de cizalle simple de tableros de partículas con espesores mínimos de hasta  $3 d_c$



( $e_{mfn} = 3 d_c$ ), para clavos con diámetros menores que 4,2 mm ( $d_c < 4,2$  mm) y en cuyo caso la capacidad de carga admisible del clavo debe reducirse en la razón:  $e_{mfn}/4,5 d_c$ .

- iv ) clavos cuya cabeza no penetre en más de 2 mm de la superficie del tablero. Si se acepta una penetración de la cabeza igual a 2 mm, los espesores mínimos de tableros deben ser incrementados en 2 mm.

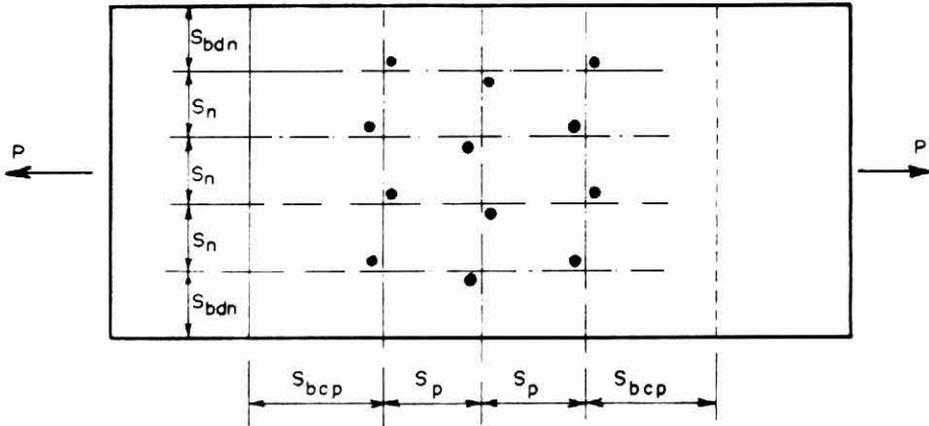
#### 6.5.2.7. Espaciamientos

La distribución del clavado se debe hacer respetando los espaciamientos mínimos que se especifican en la Tabla N° 84 y en las Figuras N° 92 a N° 94, tomando en consideración el ángulo ( $\alpha$ ) que forma la fibra con la dirección de la fuerza.

**TABLA N° 84.** ESPACIAMIENTOS MINIMOS DE CLAVOS DE DIAMETRO,  $d_c$ , EN mm.

SEPARACION MINIMA		CLAVADO SIN PERFORACION GUIA				CLAVADO CON PERFORACION GUIA
		$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$		$30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$		PARA CUALQUIER $\alpha$
		$d_c \leq 4,2$	$d_c > 4,2$	$d_c \leq 4,2$	$d_c > 4,2$	PARA CUALQUIER $d_c$
Entre clavos	a fibra ( $S_p$ )	10d	12d	10d	12d	5d
	⊥ a fibra ( $S_n$ )	5d	5d	5d	5d	5d
Desde el borde cargado	a fibra ( $S_{bcp}$ )	15d	15d	15d	15d	10d
	⊥ a fibra ( $S_{bcn}$ )	5d	7d	7d	10d	5d
Desde el borde descargado	a fibra ( $S_{bdp}$ )	7d	10d	7d	10d	5d
	⊥ a fibra ( $S_{bdn}$ )	5d	5d	5d	5d	3d

En general los clavos se deben alternar según la disposición esquematizada en Figura N° 92, desplazándolos en un diámetro de clavo con respecto al gramil de clavado.



**FIGURA N° 92.** Disposición de clavado.

Cuando en una unión de tres maderos los clavos hincados desde lados opuestos (ver Figura N° 95), se traslapan en el madero se deben respetar las siguientes disposiciones:

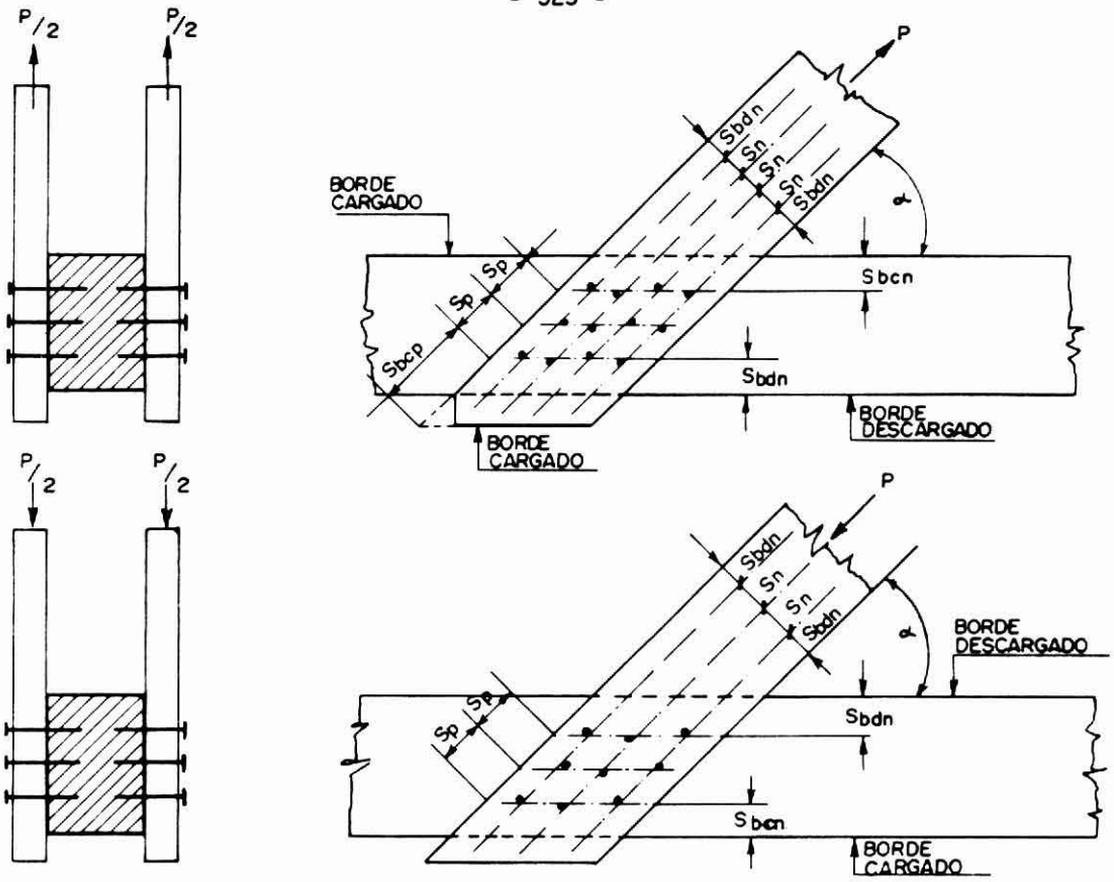
- Si la punta del clavo dista al menos  $8 \times d_c$  de la superficie de cizalle de los clavos hincados en el lado opuesto, se puede repetir el mismo esquema de clavado desde ambos lados (ver Figura N° 95 a).

- Si la profundidad de penetración del clavo,  $P_{ef}$ , excede el espesor del madero central,  $e_c$ , rigen los espaciamientos mínimos señalados en la Tabla N° 84. Ver Figura N° 95 b).

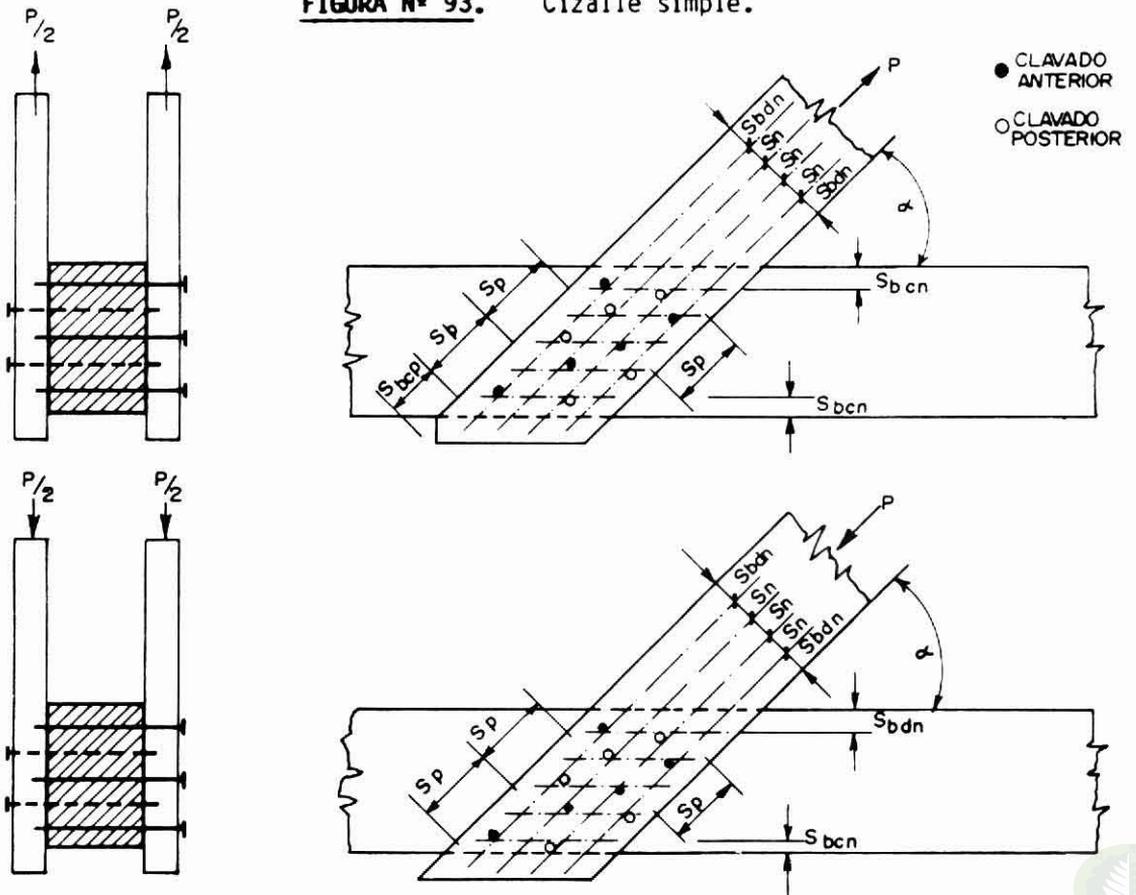
- En situaciones intermedias, esto es si:

$$P_{ef} < e_c < P_{ef} + 8 \times d_c$$

se deben respetar espaciamientos iguales al 50% de los

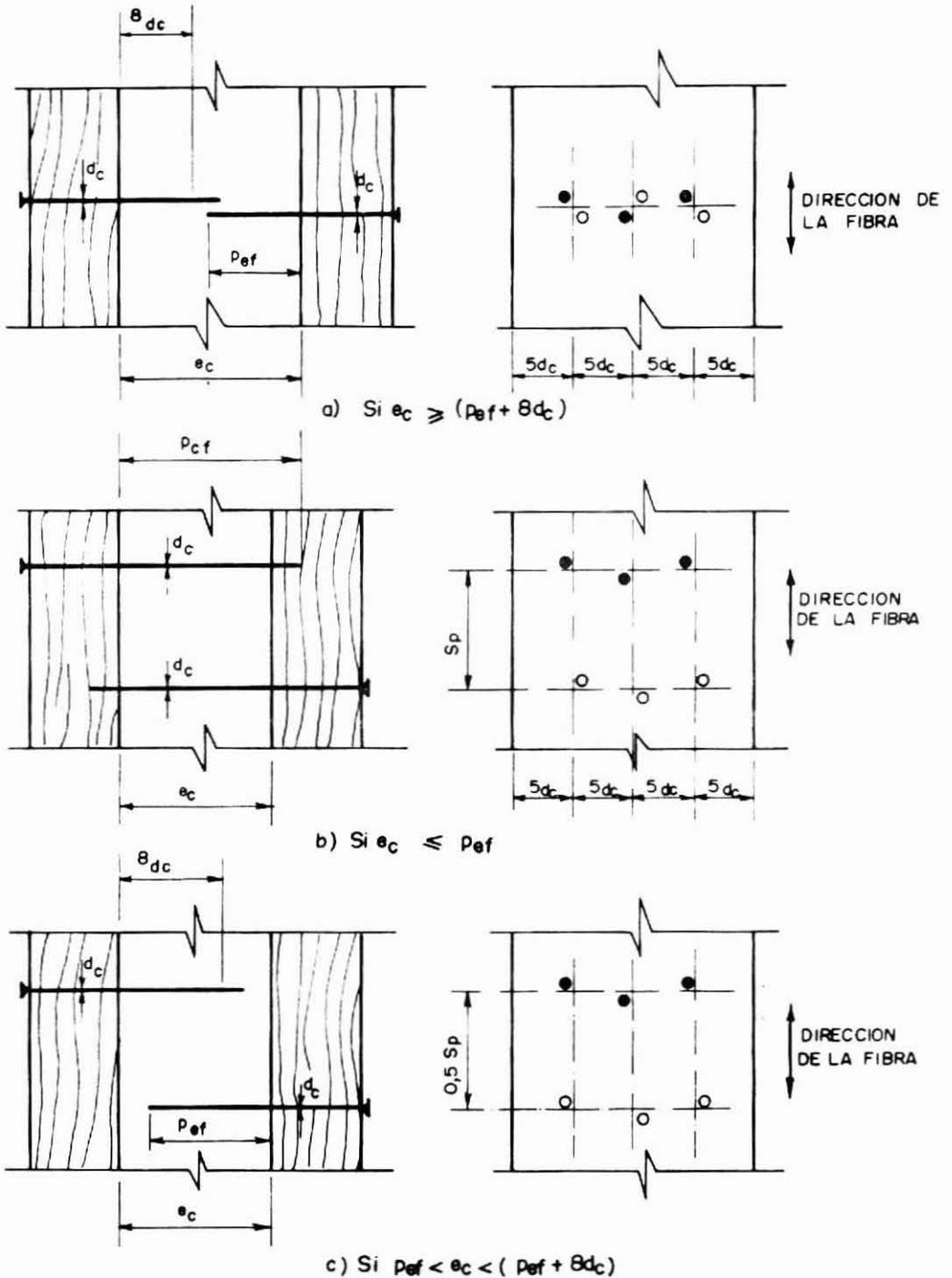


**FIGURA N° 93.** Cizalle simple.



**FIGURA N° 94.** Cizalle doble.

señalados para,  $S_p$ , en la Tabla N° 84. Ver esquema de Figura N° 95 c).



**FIGURA N° 95.** Espaciamientos de clavos traslapados.

El espaciamiento máximo entre clavos no debe exceder de  $40 d_c$  en la dirección de la fibra y de  $20 d_c$ , normal a dicha dirección.

En tableros estructurales de materiales derivados de la madera el espaciamiento máximo entre clavos en cualquier dirección no debe exceder de  $40 d_c$ . Si estos tableros cumplen exclusivamente funciones arriostrantes, se acepta un espaciamiento máximo de  $80 d_c$ .

En las uniones de tableros derivados de la madera, clavados a estructuras de madera, se deben adoptar los siguientes espaciamientos mínimos:

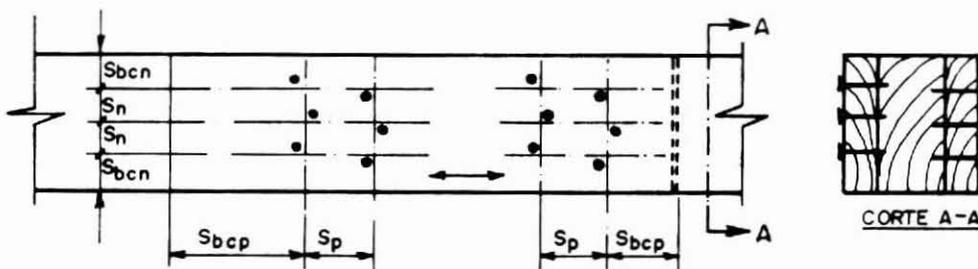
- entre clavos colocados en los tableros:  $5 d_c$ , salvo que los espaciamientos entre clavos en la madera resulten condicionantes;

- al borde descargado:  $2,5 d_c$ .

- al borde cargado del tablero:

- a)  $4 d_c$  en contrachapados;
- b)  $7 d_c$  en tableros de partículas.

En uniones resistentes a flexión, rigen los valores de la Tabla N° 84, los cuales se deben aplicar atendiendo únicamente la dirección de la fibra y considerando todos los bordes como bordes cargados. Ver Figura N° 96.



**FIGURA N° 96.** Espaciamientos entre clavos en uniones solicitadas a flexión.

#### 6.5.2.8. Uniones Clavadas con Planchas de Acero

En la fijación de planchas planas de acero (ver Figuras N° 97 b y c), de al menos 2 mm de espesor con uso de clavos redondos de vástago liso, los agujeros de clavado se deben perforar simultáneamente en las planchas y en la madera con un diámetro correspondiente al diámetro del clavo hasta una profundidad igual a la requerida por la longitud del clavo.

En planchas de acero dispuestas sólo exteriormente (ver Figura N° 97 a) no se requiere de una perforación previa de la madera.

Para las capacidades admisibles de carga de clavos solicitados en cizalle, en una unión conformada con piezas de madera y planchas de acero, se debe considerar 1,25 veces el valor determinado en el subpárrafo 6.5.2.1.

En uniones solicitadas en compresión se debe controlar la unión de contacto entre los maderos y eventualmente, la adecuada seguridad al pandeo local de las planchas de acero. En uniones traccionadas se debe verificar la tensión de tracción en las planchas, considerando el debilitamiento inducido por las perforaciones.

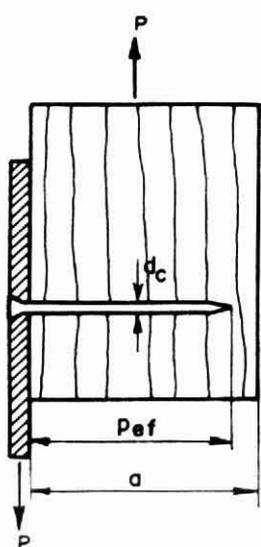
En el clavado de planchas de acero dispuestas externamente se puede prescindir de una disposición alternada de los clavos alineados consecutivamente en la dirección de la fibra cuando:

- a) se dispone una única plancha fijada con clavos de diámetros que no excedan de 4,2 mm y el espesor del madero equivale a la profundidad de clavado sin resultar inferior a  $10 d_c$ . (Ver Figura N° 98 c).

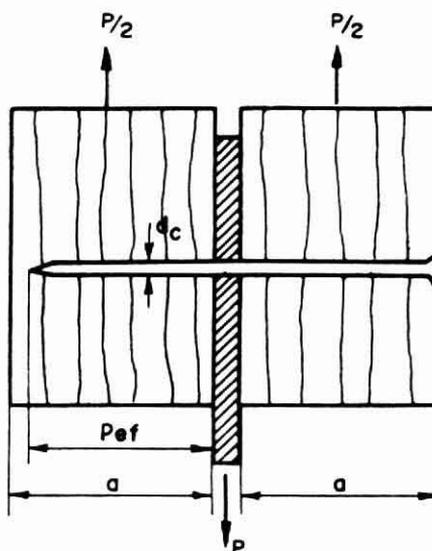
Para clavos con  $d_c > 4,2$  mm, el espesor del madero debe ascender al menos a 1,5 veces la profundidad de clavado, sin resultar inferior a  $15 d_c$ ;

- b) se disponen dos planchas, una a cada lado del mader

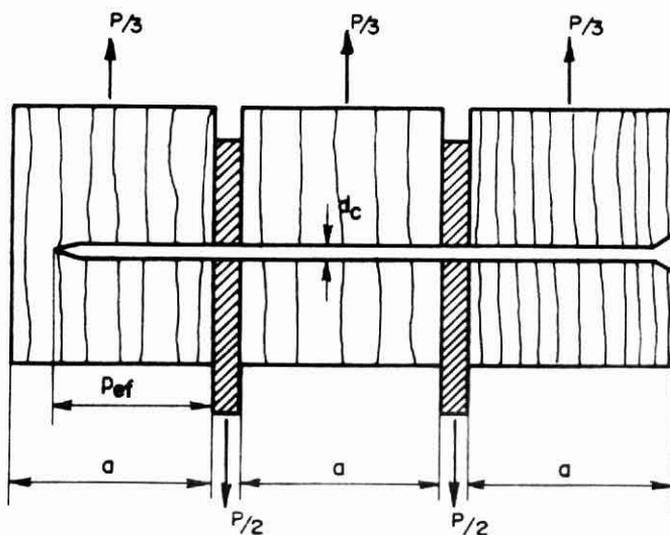




a) Cizalle Simple



b) Cizalle Doble



c) Cizalle Múltiple

ro, fijadas con clavos hincados desde ambos lados con diámetros que no excedan de 4,2 mm y siempre que estos clavos no se traslapen en el madero central (ver Figura N° 98).

Las puntas de clavos con  $d_c > 4,2$  mm, deben quedar desplazadas de al menos la profundidad,  $P_{ef}$ , de clavado (ver Figura N° 98).

- c) cuando no se respeten las disposiciones de los puntos a) y b) para el madero central, los espaciamientos mínimos,  $S_p$ , en la dirección de la fibra, deben ser:

$$S_p = 10 d_c \text{ (para } d_c \leq 4,2 \text{ mm)}$$

$$S_p = 12 d_c \text{ (para } d_c > 4,2 \text{ mm)}$$

La distancia de los clavos al borde de las planchas debe ascender al menos a  $2,5 d_c$  y en el caso de una disposición no alternada, a  $2 d_c$ . (Ver Figura N° 98).

### 6.5.3. Solicitaciones de Extracción Directa

El diseño estructural debe evitar el uso de clavos sometidos a la acción de solicitaciones paralelas al eje del clavo. Cuando esto no sea posible, se aplicarán las siguientes disposiciones:

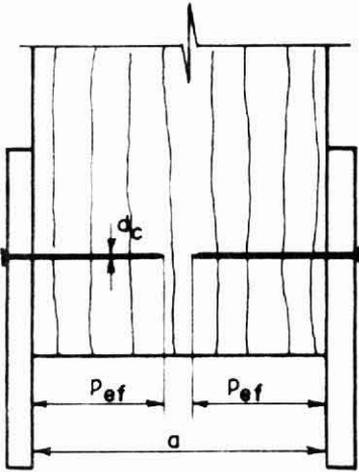
Si se cumple que:

- a) los clavos son colocados con su eje perpendicular a las fibras de la madera;
- b) la madera está verde y se mantendrá en ese estado, o la madera está seca y no alterará su contenido de humedad mientras dure la unión, entonces:

la carga admisible de extracción directa se obtendrá de la expresión:

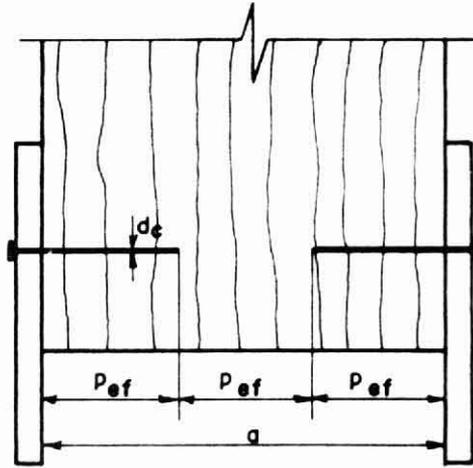
$$P_{ed,ad} = 9.000 \times \rho_{ok}^{5/2} \times d_c^{3/2} \times P_{ef}$$





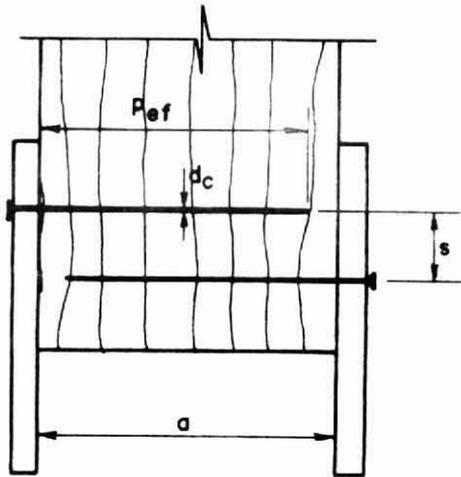
Si :  $d_c \leq 4,2 \text{ mm}$   
se debe cumplir:  
 $a \geq 25$

a)



Si :  $d_c > 4,2 \text{ mm}$   
se debe cumplir:  
 $a \geq 35$

b)



Si : ( $d_c \leq 4,2 \text{ mm}$ ) y ( $a < 25$ )  
se debe cumplir:  $p_{ef} = 10 d_c$

Si : ( $d_c > 4,2 \text{ mm}$ ) y ( $a < 35$ )  
se debe cumplir:  $p_{ef} = 12 d_c$

c)

**FIGURA N° 98.**

Uniones de planchas de acero y madera con clavado sin disposición alternada.

en que :

$P_{ed,ad}$  = capacidad admisible de carga a la extracción directa, en N;

$\rho_{o,k}$  = densidad anhidra característica calculada con el percentil del 5% de exclusión, en g/cm<sup>3</sup>. Ver Tabla N° 82.

$d_c$  = diámetro del clavo, en mm; y

$P_{ef}$  = profundidad de penetración del clavo en la pieza de madera que recibe la punta de él, en mm.

La carga admisible a la extracción directa de clavos colocados con su eje perpendicular a la fibra de madera que tiene las condiciones de humedad (durante la fabricación y en servicio) señaladas en la Tabla N° 60 y calculada según subpárrafo 6.5.3. debe ser afectada por el factor de modificación  $K_{UH}$  incluido en dicha Tabla.

Los clavos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera y solicitados al arranque no deben ser considerados en el cálculo estructural.

#### 6.5.4. Solicitaciones Combinadas

En clavos sometidos a una acción simultánea de solicitaciones de extracción lateral (cizalle), según subpárrafo 6.5.2.1 y de extracción directa, según subpárrafo 6.5.3, se debe verificar que:

$$\left[ \frac{P_{el,tr}}{P_{el,dis}} \right]^m + \left[ \frac{P_{ed,tr}}{P_{ed,dis}} \right]^m \leq 1$$

Con :

$P_{el,tr}$  = solicitación de trabajo de una sección transversal del clavo sometida a cizalle.

$P_{el,dis}$  = capacidad de diseño de carga de una superficie de cizalle de clavo, calculada según subpárrafo 6.5.2.1.



$P_{ed,tr}$  = sollicitación de trabajo por extracción directa del clavo;

$P_{ed,dis}$  = capacidad de diseño de carga de extracción directa calculada según subpárrafo 6.5.3.

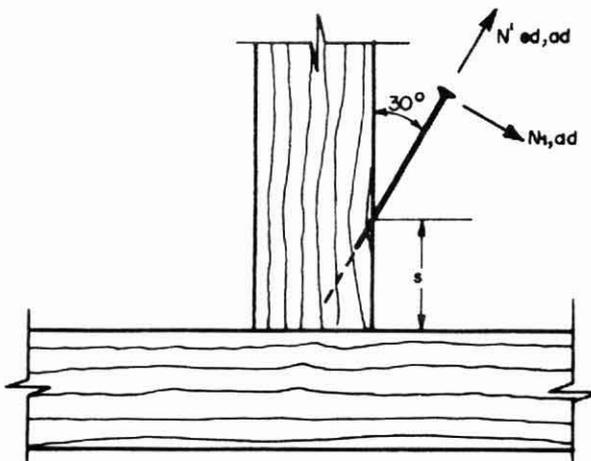
$m = 1$  = para clavos redondos de vástago liso;

$m = 1,5$  = para clavos redondos de vástago liso usados en empalmes de traslapos de costaneras.

#### 6.5.5. Clavos Lanceros

Se da el nombre de "clavos lanceros" a los que se colocan de modo que el eje del clavo forme un ángulo de  $30^\circ$  con la pieza donde quedará la cabeza del clavo y a una distancia aproximadamente igual a un tercio del largo del clavo, medida a contar del extremo de dicha pieza según se indica en la Figura N° 99.

La carga admisible de extracción directa para un clavo colocado como "clavo lancero", para cualquier contenido de humedad de la madera, será igual al 65% de los valores que se calculan con la expresión de subpárrafo 6.5.3., para igual penetración del clavo en el madero que recibe su punta.



$$s = \frac{1}{3} l = \text{distancia al extremo de la pieza.}$$
$$l = \text{largo del clavo.}$$

**FIGURA N° 99.** Correcta forma de colocar un "clavo lancero".

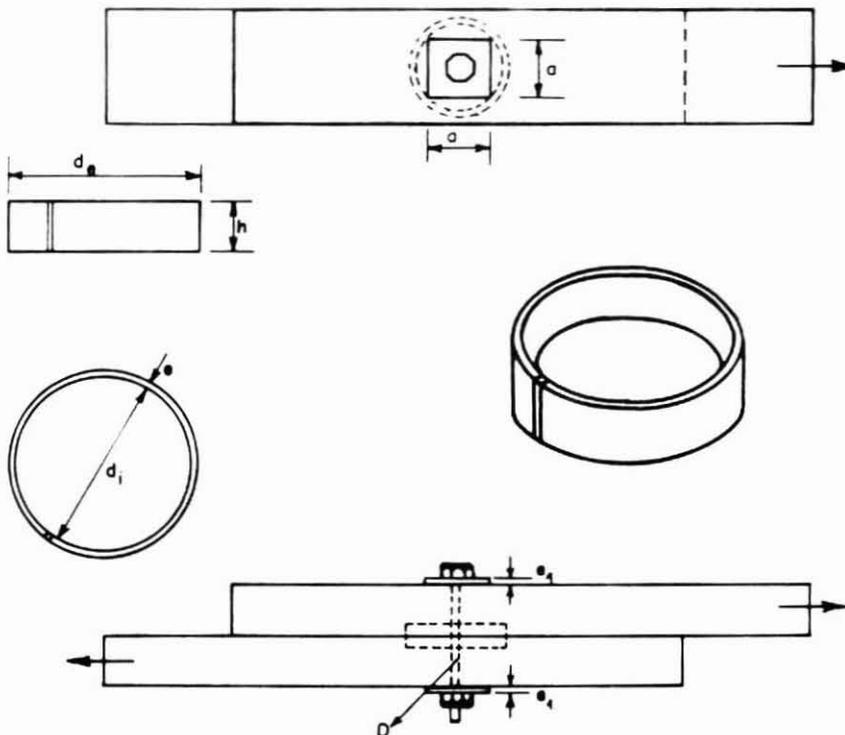
La carga admisible de extracción lateral (cizalle) de un clavo colocado como clavo lancero, será igual al 30% del valor que entrega la expresión de subpárrafo 6.5.2.1., correspondiente a cizalle simple, para igual penetración del clavo.

## 6.6. Uniones con Conectores de Anillo

### 6.6.1. Generalidades

#### 6.6.1.1. Dimensiones de los Conectores de Anillo

Las especificaciones de esta sección se aplican sólo a uniones con conectores que tengan la forma de anillo abierto, con las dimensiones especificadas en la Tabla N° 85, y que sean fabricados a partir de tubos metálicos rectificadas en sus bordes y cortados según una generatriz, (ver Figura N° 100).



**FIGURA N° 100.** Forma de los Conectores de Anillo.

**TABLA N° 85.** TAMAÑOS DE CONECTORES DE ANILLO ABIERTO Y TAMAÑOS MÍNIMOS DE ARANDELAS.

CONECTOR			PERNO	TAMAÑO MÍNIMO DE ARANDELA	
DIAMETRO EXTERIOR $d_e$ mm	ESPESOR $e$ mm	ALTURA $h$ mm	DIAMETRO $D$ mm	DIAMETRO O LADO $a$ mm	ESPESOR $e_1$ mm
66,5	3,5	19	12	50	4
108,5	4,5	25	16	75	5

#### 6.6.1.2. Pernos y Arandelas

Los diámetros de los pernos que se deben utilizar en las uniones se indican en Tabla N° 85. Los agujeros de los pernos deberán perforarse con un diámetro mayor según lo señalado en la Tabla N° 66.

Se deben insertar golillas cuadradas o redondas entre la cabeza del perno o la tuerca y la madera. El tamaño mínimo de arandela que se debe usar se indica en Tabla N° 85.

#### 6.6.1.3. Ejecución de Uniones

La perforación de los agujeros debe realizarse siguiendo uno de los dos procedimientos que se establecen a continuación:

- a) fijar las piezas que integran la unión en su posición definitiva por medio de un prensado y posteriormente perforar los agujeros en forma simultánea a través de todos los maderos;
- b) perforar los agujeros en cada una de las piezas individuales empleando plantillas o moldes que aseguren la correcta posición de los agujeros.

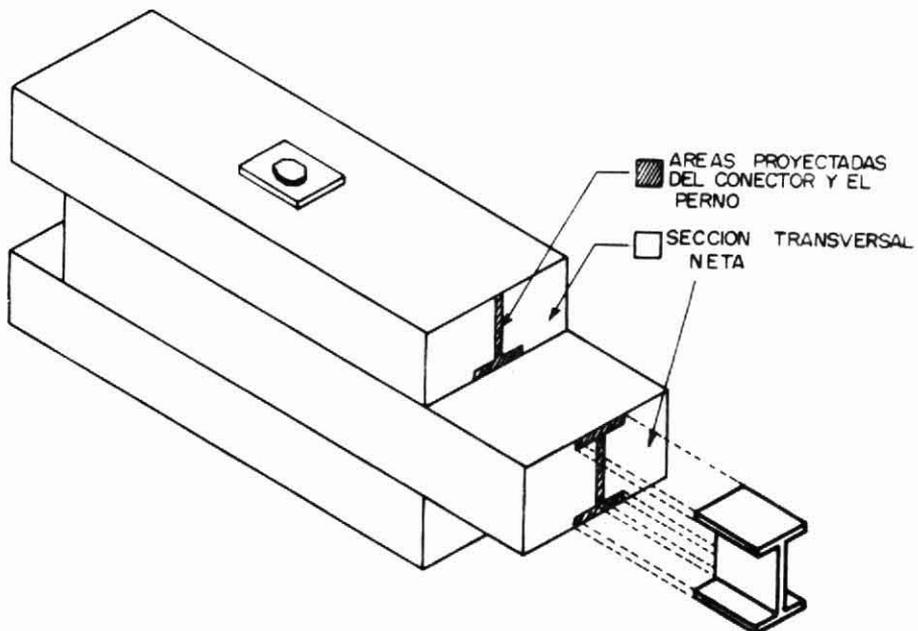
La ubicación efectiva de los agujeros de los pernos no debe diferir en más de 2 mm con respecto a la ubicación especificada en los planos.

Las superficies de contacto entre las piezas deben ranurarse de acuerdo a las exigencias geométricas establecidas en Tabla N° 86.

Cuando se adopte el procedimiento de construcción (b), las ranuras para los anillos abiertos pueden ejecutarse simultáneamente con la perforación de los agujeros para los pernos.

#### 6.6.1.4. Sección Transversal Neta

La sección transversal neta de cada pieza en una unión debe determinarse deduciendo del área bruta, el área proyectada de la o las ranuras y el área proyectada de la parte del agujero del perno no comprendida en el área anterior. Ver Figura N° 101. Las profundidades de ranuras de conectores se indican en la Tabla N° 86.



**FIGURA N° 101.** Sección transversal neta en una unión con dos conectores de anillo y un perno.

**TABLA N° 86.** DIMENSIONES DE RANURAS CIRCULARES PARA CONECTORES DE ANILLO ABIERTO.

CARACTERISTICA	DIMENSION DE RANURAS	
	ANILLO ABIERTO DE 66,5 mm	ANILLO ABIERTO DE 108,5 mm
Diámetro interior, mm	67,5	110,5
Ancho, mm	4,6	5,3
Profundidad, mm	9,5	12,5
Area a descontar, mm <sup>2</sup> /ranura	729	1.514

En la estimación de la sección transversal neta de uniones con conectores dispuestos alternadamente en dos o más hileras, se debe tener presente lo establecido en 6.1.6. y 6.1.7.6.

#### 6.6.2. Espaciamento entre Conectores

##### 6.6.2.1. Definiciones

Espaciamientos básicos,  $S_b$ : distancias que permiten utilizar las capacidades admisibles de los conectores definidas en este capítulo, que dependen del diámetro de éstos y del ángulo formado por las direcciones de la fuerza solicitante y la fibra de la madera.

Espaciamientos mínimos,  $S_m$ : menor distancia aceptada, entre conectores y a los bordes, cuyo uso exige la aplicación de un factor de modificación sobre la carga admisible.

Los espaciamientos básicos y mínimos que se definen son los siguientes:

- a) Espaciamientos al borde medidos según la dirección de la fibra.

**TABLA N° 87.** ESPACIAMIENTOS BASICOS AL BORDE MEDIDOS SEGUN LA DIRECCION DE LA FIBRA.

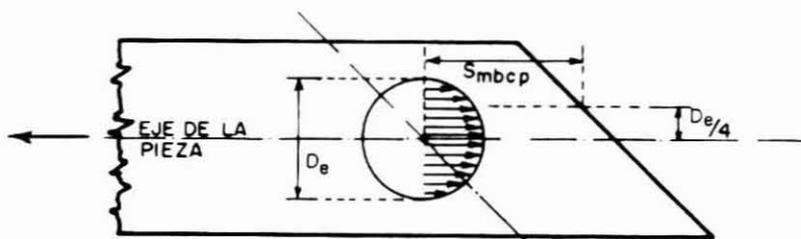
DIAMETRO EXTERIOR $D_e$ mm	AL BORDE CARGADO, $S_{sbc p}$ mm	AL BORDE DESCARGADO, $S_{sbd p}$ mm
66,5	140	$115 + 0,3 \alpha$
108,5	180	$140 + 0,4 \alpha$

**TABLA N° 88.** ESPACIAMIENTOS MINIMOS AL BORDE MEDIDOS SEGUN LA DIRECCION DE LA FIBRA.

DIAMETRO EXTERIOR $D_e$ mm	AL BORDE CARGADO, $S_{mbc p}$ mm	AL BORDE DESCARGADO, $S_{mbd p}$ mm
66,5	70	$65 + \frac{\alpha}{18}$
108,5	90	$85 + \frac{\alpha}{18}$

en que :  $\alpha$  = ángulo agudo formado por las direcciones de la fuerza y la fibra, en grados ( $^{\circ}$ ).

Este espaciamiento se mide paralelamente a la dirección de la fibra desde un punto desplazado  $D_e/4$  respecto al eje del conector, según se esquematiza en la Figura N° 102.



**FIGURA N° 102.** Espaciamiento al borde cargado en una pieza cortada de sanguladamente.

b) Espaciamientos básicos al borde, medidos normal a la dirección de la fibra.

**TABLA N° 89.** ESPACIAMIENTOS BASICOS AL BORDE MEDIDOS NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA.

DIAMETRO EXTERIOR $D_e$ mm	AL BORDE CARGADO, $S_{sbcn}$		AL BORDE DESCARGADO, $S_{sbdn}$ mm
	$\alpha < 45^\circ$	$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	
	mm		
66,5	$\frac{5}{9} \alpha + S_{mbn}$	70	45
108,5		95	70

**TABLA N° 90.** ESPACIAMIENTOS MINIMOS AL BORDE MEDIDOS NORMAL A LA DIRECCION DE LA FIBRA.

DIAMETRO EXTERIOR $D_e$ mm	AL BORDE CARGADO Y DESCARGADO, $S_{mbn}$ mm
66,5	45
108,5	70

c) Espaciamientos básicos entre conectores vecinos,  
 $S_{sc}$ .

$$S_{sc} = \frac{S_{cp} \times S_{cn}}{\sqrt{S_{cp}^2 \sin^2 \phi + S_{cn}^2 \cos^2 \phi}}$$

en que :

$S_{cp}$  = espaciamiento básico entre dos conectores dispuestos consecutivamente según la dirección de la fibra;

$S_{cn}$  = espaciamiento básico entre dos conectores dispuestos consecutivamente según la dirección normal a la fibra; y

$\phi$  = ángulo formado por las direcciones de la recta que une los centros de conectores vecinos y la fibra.

Los valores de  $S_{cp}$  y  $S_{cn}$  se indican en Tabla N° 91.

**TABLA N° 91.** ESPACIAMIENTOS BASICOS ENTRE CONECTORES VECINOS.

DIAMETRO EXTERIOR ESPACIAMIENTO (mm)	$D_e = 66,5 \text{ mm}$		$D_e = 108,5 \text{ mm}$	
	DESANGULACION ENTRE LA FUERZA Y LA FIBRA DE LA MADERA			
	$0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
$S_{cp}$	$175 - \frac{85 \alpha}{60}$	$S_{mc}$	$230 - \frac{5 \alpha}{3}$	$S_{mc}$
$S_{cn}$	$90 + \frac{\alpha}{3}$	110	$130 + \frac{5 \alpha}{12}$	155

**TABLA N° 92.** ESPACIAMIENTOS MINIMOS ENTRE CONECTORES VECINOS,  $S_{mc}$ .

DIAMETRO EXTERIOR $D_e$ mm	$S_{mc}$ mm
66,5	90
108,5	130

### 6.6.3. Factores de Modificación por Espaciamento

Quando se materialicen espaciamentos,  $S$ , inferiores a los espaciamentos básicos,  $S_s$ , las capacidades admisibles de carga deben modificarse multiplicándose por los factores  $K_S$  que se definen a continuación. Ver Tabla N° 93.

**TABLA N° 93.** FACTOR DE MODIFICACION POR ESPACIAMIENTO,  $K_s$ .

PARA ESPACIAMIENTO AL BORDE SEGUN DIRECCION DE LA FIBRA $K_s$		PARA ESPACIAMIENTO ENTRE CONECTORES $K_s$
$\alpha = 0$	$0,25 + 0,75 \frac{S}{S_s}$	
$\alpha < 45^\circ$	$(1 - \frac{\alpha}{265}) + \frac{\alpha}{265} (\frac{S - S_{mbn}}{S_s - S_{mbn}})$	$0,75 + 0,25 (\frac{S - S_{mc}}{S_s - S_{mc}})$
$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$0,83 + 0,17 (\frac{S - S_{mbn}}{S_s - S_{mbn}})$	

**NOTA:** Los valores de  $S_{mbn}$  y  $S_{mc}$  se indican en Tablas N° 90 y N° 92, respectivamente.

Quando los conectores se empleen en maderas latifolias en condición verde, el espaciamiento básico al borde, medido según la dirección de la fibra, debe mayorarse en un 50%.

#### 6.6.4. Uniones de Cizalle Simple

##### 6.6.4.1. Ensamblado

Con anterioridad a la inserción de los conectores en las ranuras se deben eliminar de éstas los restos de virutas y de partículas. La colocación de los conectores exige su expansión preliminar.

##### 6.6.4.2. Cargas Admisibles

En Tabla N° 94 se indican las capacidades admisibles de carga según las direcciones paralela y perpendicular a la fibra, aplicables sobre uniones construidas con piezas de madera que cumplen con las exigencias de los Grados ES2 a ES6. Para cargas de acción inclinada con respecto a la fibra se debe respetar lo especificado en el párrafo 6.1.3.

**TABLA N° 94.** CAPACIDADES ADMISIBLES DE CARGA DE UN CONECTOR DE ANILLO ABIERTO EN UNIONES DE CIZALLE SIMPLE, EN NEWTON.

DIAMETRO EXTERIOR mm	DIMENSIONES MINIMAS DE LAS PIEZAS			CARGA ADMISIBLE			
	ANCHO mm	ESPESOR PIEZAS		GRUPOS ES6 Y ES5 N	GRUPOS ES4 A ES2 N	$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$
		LATERALES mm	CENTRAL mm			$P_{cp,ad}$	$P_{cn,ad}$
66,5	90	20	32	6.100	2.300	10.600	3.700
		20	45	6.550	2.750	11.400	4.450
		32	70	8.000	3.700	13.900	6.000
		≥ 45	≥ 90	9.850	3.700	15.550	6.000
108,5	140	32	45	12.400	--	19.200	--
		32	70	19.100	7.100	29.100	10.200
		≥ 45	≥ 90	20.500	8.950	31.550	13.100

6.7. Uniones de Contacto entre Piezas de Madera

6.7.1. Uniones de Tope, Rectas e Inclinadas

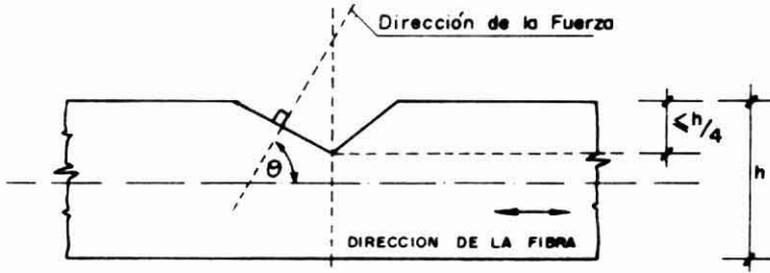
En uniones de tope rectas con superficies de contacto perpendicular a la dirección de la fibra, los valores de las tensiones admisibles de compresión paralela a la fibra deben ser afectadas con el factor de modificación por unión de tope ( $K_{UT}$ ), que toma los siguientes valores:

i ) Para piezas de madera con uniones de tope rectas....  $K_{UT} = 0,80$

ii) En uniones de tope de elementos de madera con materiales rígidos o cuando se inserten entre los maderos placas rígidas de distribución (por ejemplo acero).....  $K_{UT} = 1,00$

Las tensiones de diseño de compresión para uniones inclinadas (ver Figura N° 103) se obtienen con la expresión de

Hankinson establecida en 3.5., donde el cálculo de la tensión de diseño para compresión paralela debe incluir el factor de modificación  $K_{UT}$ .



$$F_{cp,dis,\theta} = \frac{F_{cp,dis} \times F_{cn,dis}}{F_{cp,dis} \times \text{sen}^2 \theta + F_{cn,dis} \times \text{cos}^2 \theta}$$

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \times K_{UT} \times K_H \times K_D$$

**FIGURA N° 103.** Unión de tope inclinada.

#### 6.7.2. Embarbillado

Para el traspaso de una fuerza de compresión que solicita la superficie frontal de embarbillado (ver Figura N° 104), se debe satisfacer las siguientes condiciones relativas a la profundidad de rebaje ( $t_r$ ) y a la longitud de saliente ( $L_s$ ).

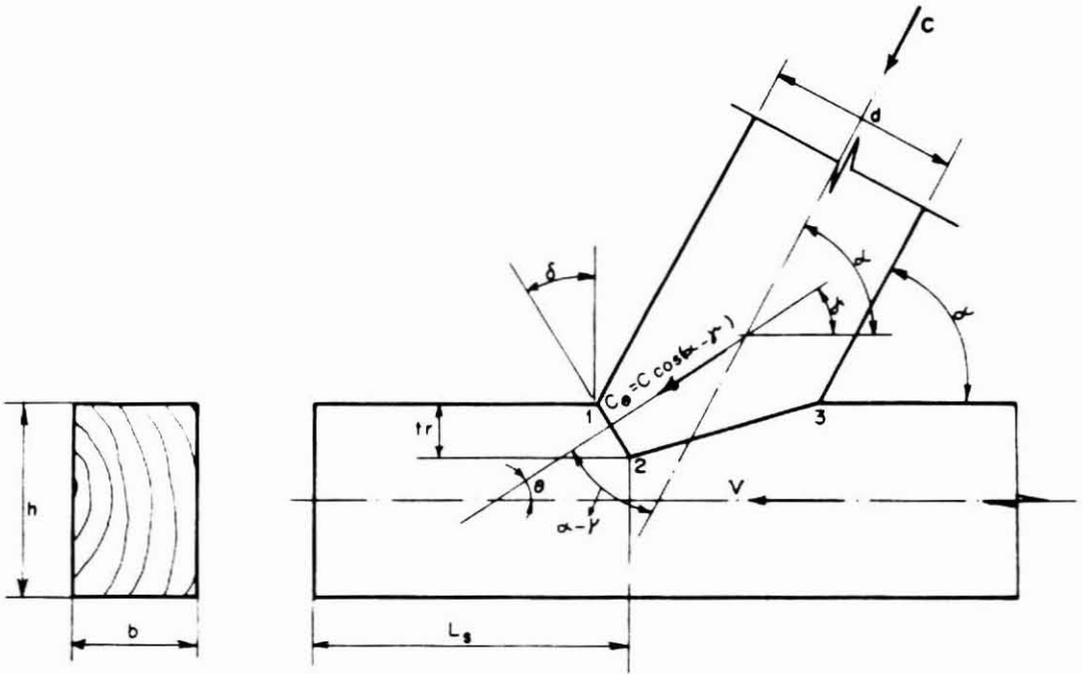
a) Condición para la profundidad del rebaje ( $t_r$ ):

$$t_r \geq \frac{C \cos(\alpha - \gamma) \cos \gamma}{b \times F_{c,dis,\gamma}} \quad [\text{mm}]$$

b) Condición para la longitud de saliente ( $L$ ):

$$L_s \geq \frac{C \cos(\alpha - \gamma) \cos \gamma}{b \times F_{cz,dis}} \quad [\text{mm}]$$

La deformación de la unión en un embarbillado se puede estimar en 1,0 a 1,5 mm.



1-2 = superficie frontal de embarbillado.

2-3 = superficie dorsal de embarbillado.

$b$  = ancho de las piezas. [mm]

$t_r$  = profundidad del rebaje. [mm]

$L_s$  = longitud de saliente. [mm]

$d$  = altura del puntal. [mm]

$\alpha$  = ángulo entre la dirección de la sollicitación en la barra y la fibra.

$\gamma$  = ángulo de corte en el puntal.

$C$  = sollicitación de compresión en la barra. [N]

$\theta$  = ángulo entre la dirección de la fuerza que comprime la sección transversal inclinada  $A_1 = b t_r / \cos \gamma$ .

$C_\theta = C \cos (\alpha - \gamma) =$  esfuerzo de compresion sobre  $A_1$ . [N]

$V$  = esfuerzo de corte sobre el área de la longitud de saliente. [N]

**FIGURA N° 104.** Geometría y sollicitaciones en un embarbillado simple.

### 6.8. Coeficientes de Corrimiento para el Cálculo de Flecha

Para el cálculo de flechas y contraflechas de elementos de construcción de sección transversal compuesta con ligazón flexible, solicitadas en flexión y de los corrimientos en empalmes y uniones materializadas con medios de unión mecánicos, se pueden usar los valores indicados en la Tabla N° 65 para los módulos de corrimiento (C) o bien corrimientos calculados matemáticamente bajo la acción de solicitaciones de peso propio y cargas eventuales, valores que en ningún caso podrán resultar inferiores a 1,25 veces los valores de la Tabla N° 42.

Si la solicitación de cálculo de una unión es mayor que la capacidad de carga admisible, la deformación,  $\delta$ , según Tabla N° 65 debe amplificarse en la razón formada por la solicitación efectiva y la capacidad de carga admisible.

Ante solicitaciones menores que la capacidad de carga admisible, se puede reducir el corrimiento  $\delta$  en forma proporcional.

## **ANEXO A**

RECOMENDACION PARA EL DISEÑO DE UNIONES CON PERNOS



## ANEXO A

### RECOMENDACION PARA EL DISEÑO DE UNIONES CON PERNOS

Esta proposición será presentada al Comité Maderas para que se estudie y sea incluida en la versión definitiva de la NCh 1198.

#### A.1. General

Se recomienda la adopción del criterio de Smith y Whale para la determinación de las cargas admisibles de uniones con pernos sometidos a cizalle doble, cuando el espesor de los elementos laterales sean iguales a la mitad del espesor (e) del elemento central.

#### A.2. Procedimiento Recomendado

Las especificaciones del procedimiento son las siguientes:

A.2.1. Las cargas admisibles que aquí se establecen para un perno son aplicables cuando la dirección de la sollicitación es perpendicular al eje del elemento de unión, para cualquier grado estructural de la madera usada, para duración normal de la sollicitación y para madera seca que permanecerá seca en servicio.

Para condiciones distintas a las señaladas se deben efectuar las modificaciones que establece la norma NCh 1198.

A.2.2. La capacidad de carga admisible de un perno sollicitado en cizalle doble en una unión constituida de tres piezas de la misma especie, con las piezas laterales paralelas entre sí y cada una de ellas de espesor igual a la mitad del espesor de la pieza central (ver Figura Nº 77 y Figura Nº 78), se determina como el menor valor que resulta en las siguientes expresiones:

$$i) P_{ad}^1 = D^2 \times \lambda_U \times S_k / \eta \quad (\text{newtons})$$

$$ii) P_{ad}^2 = D^2 \times \sqrt{\frac{4 \times S_y \times S_k}{3 \times \eta^2}} \quad (\text{newtons})$$

en donde :

$P_{ad}$  = carga admisible de un perno solicitado en cizalle doble, newtons.

$D$  = diámetro del perno, mm.

$\lambda_u = e/D$  = esbeltez de la unión.

$e$  = espesor del elemento central de la unión, mm.

$S_y = 240$  MPa = tensión de fluencia asignada al perno, cualquiera sea su diámetro.

$S_k$  = tensión de fluencia característica, por aplastamiento de la madera, MPa.

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

A.2.3. La tensión de fluencia característica ( $S_k$ ), por aplastamiento de la madera, puede ser estimada mediante la expresión:

$$S_k = \frac{0,0008 \times \rho_{12,k} \times (100 - D)}{2 \times \text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta} \quad (\text{MPa})$$

Con :

$D$  = diámetro del perno, mm.

$\rho_{12,k}$  = densidad normal característica (ver Tabla A.1), Kg/m<sup>3</sup>.

$\theta$  = ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra en el elemento de la unión que se esté considerando.



A.2.4. El factor de reducción a la zona elástica ( $\eta$ ) se determina en función de la densidad anhidra media de la madera ( $\bar{\rho}_o$ ), de acuerdo con el siguiente criterio.

i ) Para especies madereras con :

$$\bar{\rho}_o < 550 \text{ Kg/m}^3 : \eta = 2,17$$

ii ) Para especies madereras con :

$$\bar{\rho}_o \geq 550 \text{ Kg/m}^3 : \eta = 2,451$$



**TABLA A.1.** DENSIDADES PARA DIFERENTES ESPECIES MADERERAS.

ESPECIE MADERERA Nombre Común	DENSIDAD ANHIDRA (Kg/m <sup>3</sup> )		DENSIDAD NORMAL (Kg/m <sup>3</sup> )	
	VALOR MEDIO $\bar{\rho}_0$	VALOR CARACTERISTICO $\rho_{0,k}$	VALOR MEDIO $\bar{\rho}_{12}$	VALOR CARACTERISTICO $\rho_{12,k}$
Alamo	370	357	399	385
Alerce	460	385	492	412
Canelo	470	440	502	470
Ciprés de la Cordillera	470	393	502	420
Ciprés de las Guaitecas	470	390	502	417
PINO RADIATA	450	370	476	391
Pino oregón	410	326	441	350
Araucaria	570	477	603	505
Coigüe de Chiloé	590	505	623	533
Laurel	510	427	543	455
Lenga	540	476	573	505
Lingue	596	498	629	526
Mañío hojas punzantes	520	435	553	463
Olivillo	550	460	583	488
Raulf	510	426	543	454
Tepa	520	442	552	469
Algarrobo	740	619	771	645
Coigüe	650	400	691	425
Coigüe de Magallanes	620	518	653	546
Eucalipto	800	543	830	564
Roble	630	527	668	559
Roble del Maule	680	605	712	634
Tineo	700	583	736	613
Ulmo	630	525	660	550

## **APENDICE**

PINO RADIATA. TENSIONES ADMISIBLES



## APENDICE

### PINO RADIATA. TENSIONES ADMISIBLES

De acuerdo a la norma NCh 1207, se definen tres grados estructurales visuales para el Pino radiata en Estado Seco ( $H < 20\%$ ).

GRADO ESTRUCTURAL SELECTO	:	GS
GRADO ESTRUCTURAL	1	: G1
GRADO ESTRUCTURAL	2	: G2

El Grado GS acepta piezas de gran capacidad resistente.

El Grado G1 comprende piezas adecuadas para ser utilizadas en tipologías constructivas normales.

El Grado G2 incluye piezas de baja capacidad resistente.

Según dicha norma, los grados estructurales GS, G1 y G2 pueden ser asimilados a las Clases Estructurales F11, F7 y F3, respectivamente, definidos en la norma NCh 1990, con módulos de elasticidad en flexión ( $E_f$ ) mayorados en un 30%.

Por otra parte y de acuerdo a lo establecido en los subpárrafos 5.4.2. y 5.4.3. de la norma NCh 1198, si por razones técnicamente justificadas, la madera de Pino radiata es usada en estado verde, por ejemplo en moldajes, el cálculo de las Tensiones Admisibles debe seguir el procedimiento señalado para el estado verde en el párrafo 2.4.4.1. de este Manual.





FILIAL CORFO



CORPORACION DE  
FOMENTO DE LA PRODUCCION