

ii) ESPECIE MADERERA : Coigüe

$$N = 70$$

$$\Sigma \eta = 148,02$$

$$\Sigma \eta^2 = 325,5718$$

$$\bar{\eta} = 2,11457$$

$$s_{\eta} = 0,4268682$$

La carga admisible teórica ($P_{ad,t}$) propuesta en este estudio se definirá como :

$$P_{ad,t} = \frac{P_{y,t}}{\eta^*}$$

en donde :

$P_{y,t}$ = carga teórica de fluencia, calculada con el criterio de Smith y Whale.

η^* = factor de reducción que aplicado a la carga de fluencia, la transforma en una carga elástica.

El valor de η^* se calculará para dos grupos de maderas:

- a) Aquéllas con densidad anhidra media $\bar{\rho}_0 < 550 \text{ Kg/m}^3$ (por ejemplo: Pi no radiata).
- b) Aquéllas con densidad anhidra media $\bar{\rho}_0 \geq 550 \text{ Kg/m}^3$ (por ejemplo: Eu calipto).

Para las especies madereras con densidad anhidra (ρ_0) media menores que 550 Kg/m^3 , se elegirá un valor para η^* de modo que se tenga una probabilidad del 75% de que al menos 95% de los valores encontrados experimentalmente para η sean menores que η^* .

El valor del factor de reducción será:

$$\eta^* = \bar{\eta} + 1,811 \times s_{\eta}$$

$$\eta^* = 1,65884 + 1,811 \times 0,2823199$$

$$\underline{\eta^* = 2,17}$$

Para las maderas con densidad media mayor que 550 Kg/m³, el valor de η^* será tal que se obtenga un 75% de probabilidad de que al menos el 75% de los valores encontrados experimentalmente para η sean menores que η^* .

Su valor se obtiene con:

$$\eta^* = \bar{\eta} + 0,788 \times s_{\eta}$$

$$\eta^* = 2,11457 + 0,788 \times 0,4268682$$

$$\underline{\eta^* = 2,451}$$

Aplicados estos valores a la carga teórica máxima de fluencia que entrega la ALTERNATIVA B del criterio de Smith y Whale y comparados con los valores de carga en el límite de proporcionalidad encontrados experimentalmente, se obtienen los resultados que se incluyen en la Tabla N° 29 para el Pino radiata y en la Tabla N° 28 para el Coigüe.

La densidad anhidra media para el Pino radiata se puede encontrar en la Tabla N° 27 y es:

$$\bar{\rho}_o = 450 \text{ Kg/m}^3$$

por lo tanto le corresponde el valor $\eta^* = 2,17$ para el Coigüe, en dicha Tabla N° 27, se obtiene el valor:

$$\bar{\rho}_o = 650 \text{ Kg/m}^3$$

y de acuerdo a lo indicado anteriormente se le asignará el valor $\eta^* = 2,451$.

TABLA Nº 29.

CARGAS ADMISIBLES PROPUESTAS PARA UNIONES CON PERNOS, SOLICITADAS EN CIZALLE DOBLE Y FABRICADAS CON PINO RADIATA SECO.

PROBETA Nº	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\Psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\Psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla Nº 19)	Proposición INFOR $\Psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla Nº 19)
PE 1-1	700	688	0,98	0,65	0,69
-2	800		0,86	0,55	0,59
-3	940		0,73	0,48	0,51
-4	1000		0,69	0,45	0,49
-5	900		0,76	0,50	0,53
PD 1-1	790	412	0,53	0,32	0,34
-2	905		0,46	0,41	0,44
-3	815		0,51	0,55	0,59
-4	860		0,49	0,50	0,54
-5	770		0,54	0,54	0,57
PE 2-2	2760	1361	0,49	0,34	0,36
-3	1440		0,95	0,64	0,68
-4	2620		0,52	0,35	0,37
-5	2020		0,67	0,46	0,50
PD 2-1	1400	844	0,60	0,36	0,39
-2	1100		0,77	0,46	0,50
-3	1040		0,81	0,49	0,52
-4	1260		0,67	0,42	0,45
-5	1400		0,60	0,36	0,38

(Continúa)

TABLA N° 29. (Continuación)

PROBETA N°	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\Psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\Psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)	Proposición INFOR $\Psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)
PA 1-1	390	152	0,39	0,21	0,23
-2	210		0,72	0,38	0,41
-3	320		0,48	0,25	0,27
-4	250		0,61	0,32	0,34
-5	200		0,76	0,40	0,44
PC 1-1	840	610	0,73	0,40	0,43
-2	960		0,64	0,36	0,38
-3	780		0,78	0,44	0,47
-4	700		0,87	0,47	0,51
-5	860		0,71	0,40	0,43
PC 2-1	1120	688	0,61	0,35	0,42
-2	1160		0,59	0,33	0,41
-3	1600		0,43	0,24	0,30
-4	1080		0,64	0,36	0,42
-5	900		0,76	0,43	0,51
PB 1-1	1060	404	0,38	0,21	0,24
-2	1040		0,39	0,18	0,21
-3	680		0,59	0,28	0,33
-4	835		0,48	0,23	0,27
-5	690		0,59	0,27	0,32
PC 3-1	970	688	0,71	0,46	0,54
-2	860		0,80	0,53	0,61
-3	960		0,72	0,47	0,55
-4	1160		0,59	0,39	0,46
-5	1440		0,48	0,31	0,36

(Continúa)

TABLA N° 29. (Continuación)

PROBETA N°	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALI- DAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\Psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\Psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)	Proposición INFOR $\Psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)
PA 2-1	280	164	0,59	0,41	0,48
-2	300		0,55	0,38	0,43
-3	330		0,50	0,34	0,39
-4	250		0,66	0,44	0,50
-5	270		0,61	0,41	0,48
PA 3-1	300	164	0,55	0,42	0,45
-2	310		0,53	0,41	0,44
-3	200		0,82	0,64	0,68
-4	270		0,61	0,47	0,50
-5	270		0,61	0,47	0,50
PC 4-1	1160	688	0,59	0,36	0,38
-2	880		0,78	0,52	0,56
-3	960		0,72	0,45	0,48
-4	920		0,75	0,50	0,54
-5	980		0,70	0,42	0,45
PB 2-1	650	287	0,44	0,33	0,35
-2	420		0,69	0,52	0,55
-3	570		0,51	0,38	0,41
-4	790		0,37	0,27	0,29
-5	680		0,43	0,33	0,35
PA 4-1	190	164	0,86	0,47	0,50
-2	195		0,84	0,46	0,49
-3	200		0,82	0,48	0,52
-4	240		0,68	0,39	0,41
-5	190		0,86	0,53	0,54

TABLA Nº 30. CARGAS ADMISIBLES PROPUESTAS PARA UNIONES CON PERNOS, SOLICITADAS EN CIZALLE DOBLE Y FABRICADAS CON COIGUE SECO.

PROBETA Nº	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\Psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\Psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla Nº 19)	Proposición INFOR $\Psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla Nº 19)
CD 1-1	470	397	0,84	0,64	0,83
-2	520		0,76	0,58	0,81
-3	550		0,72	0,56	0,78
-4	420		0,95	0,71	1,00
-5	480		0,83	0,64	0,89
CE 1-1	1220	668	0,55	0,45	0,64
-2	1140		0,59	0,48	0,69
-3	960		0,70	0,57	0,81
-4	1020		0,65	0,54	0,77
-5	1080		0,62	0,51	0,72
CD 2-1	1360	838	0,62	0,47	0,66
-2	1580		0,53	0,41	0,57
-3	1180		0,71	0,55	0,76
-4	1460		0,57	0,43	0,60
-5	1460		0,57	0,44	0,61
CE 2-1	1920	1349	0,70	0,58	0,80
-2	1960		0,69	0,57	0,79
-3	1800		0,75	0,62	0,86
-4	2240		0,60	0,49	0,69
-5	2160		0,62	0,51	0,71

(Continúa)

TABLA N° 30. (Continuación)

PROBETA N°	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\Psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\Psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)	Proposición INFOR $\Psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)
CA 1-1	205	142	0,69	0,41	0,64
-2	210		0,68	0,40	0,61
-3	280		0,51	0,30	0,46
-4	210		0,68	0,41	0,63
-5	290		0,49	0,29	0,45
CC 1-1	790	578	0,73	0,45	0,70
-2	770		0,75	0,47	0,73
-3	660		0,88	0,55	0,85
-4	730		0,79	0,49	0,76
-5	720		0,80	0,51	0,79
CC 2-1	940	635	0,68	0,48	0,74
-2	1220		0,52	0,37	0,58
-3	1120		0,57	0,39	0,61
-4	960		0,66	0,47	0,73
-5	1160		0,55	0,39	0,60
CB 1-1	470	280	0,60	0,47	0,74
-2	480		0,58	0,46	0,72
-3	570		0,49	0,41	0,65
-4	560		0,50	0,39	0,62
-5	510		0,55	0,43	0,68
CC 3-1	740	577	0,78	0,61	0,86
-2	1060		0,54	0,43	0,70
-3	1060		0,54	0,43	0,70
-4	940		0,61	0,48	0,78
-5	760		0,76	0,60	0,80

(Continúa)

TABLA N° 30. (Continuación)

PROBETA N°	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE $P_{L,e}$ (Kg)	CARGA ADMISIBLE PROPUESTA (ALTERNATIVA B SMITH Y WHALE) $P_{ad,t}$ (Kg)	PARAMETROS DE COMPARACION		
			$\psi_4 = \frac{P_{ad,t}}{P_{L,e}}$	NCh 1198 Revisión 1989 $\psi_2 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)	Proposición INFOR $\psi_3 = P_{ad}/P_L$ (De Tabla N° 19)
CA 2-1	330	162	0,49	0,41	0,57
-2	310		0,52	0,45	0,61
-3	290		0,56	0,46	0,65
-4	320		0,51	0,42	0,59
-5	280		0,58	0,48	0,67
CA 3-1	370	157	0,42	0,35	0,49
-2	220		0,71	0,61	0,86
-3	310		0,51	0,42	0,59
-4	270		0,58	0,50	0,69
-5	280		0,56	0,46	0,65
CC 4-1	720	568	0,79	0,61	0,86
-2	960		0,59	0,60	0,84
-3	720		0,79	0,64	0,91
-4	820		0,69	0,53	0,75
-5	1060		0,54	0,52	0,72
CB 2-1	480	280	0,58	0,48	0,67
-2	460		0,61	0,51	0,72
-3	500		0,56	0,47	0,66
-4	540		0,52	0,42	0,60
-5	440		0,64	0,67	0,95
CA 4-1	340	128	0,38	0,30	0,42
-2	290		0,44	0,32	0,46
-3	260		0,49	0,45	0,64
-4	260		0,49	0,39	0,55
-5	220		0,58	0,52	0,73

Los estadígrafos del parámetro de comparación Ψ_4 se incluyen en la Tabla N° 28, tanto para el Pino radiata como para el Coigüe. Junto a ellos se han repetido los estadígrafos de los parámetros de comparación obtenidos para la metodología propuesta en la revisión de la NCh 1198 (Ψ_2) y para la proposición del INFOR a dicha revisión (Ψ_3).

4.4.7. Discusión de los Resultados

De la simple inspección de los resultados que se incluyen en la Tabla N° 31, se puede concluir que el criterio de Smith y Whale (ALTERNATIVA B) entrega cargas admisibles que se acercan considerablemente al límite de proporcionalidad determinado experimentalmente, no lo sobrepasan, y es el que da resultados más homogéneos considerando maderas de baja y alta densidad. Por lo anterior es aconsejable su elección en la norma de cálculo en maderas (NCh 1198).

5.0 RECOMENDACIONES

5.1. 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.

5.2. Procedimiento Recomendado

Las especificaciones del procedimiento son las siguientes:

5.2.1. 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

TABLA Nº 31. RESUMEN DE LOS ESTADIGRAFOS OBTENIDOS EN LA COMPARACION DE LOS CRITERIOS SELECCIONADOS CON LOS VALORES EXPERIMENTALES.

MADERA	ESTADIGRAFOS	ESTADIGRAFOS DE LOS PARAMETROS Ψ PARA EL PROCEDIMIENTO DE		
		NCh 1198 REVISION 1989 (Ψ_2)	PROPOSICION INFOR A LA REVISION DE NCh 1198 (Ψ_3)	CRITERIO DE SMITH Y WHALE (Ψ_4)
PINO RADIATA	PROMEDIO	$\bar{\Psi}_2 = 0,410$	$\bar{\Psi}_3 = 0,449$	$\bar{\Psi}_4 = 0,64$
	VALOR MAXIMO	$\Psi_{2,m\acute{a}x} = 0,65$	$\Psi_{3,m\acute{a}x} = 0,69$	$\Psi_{4,m\acute{a}x} = 0,98$
	VALOR MINIMO	$\Psi_{2,m\acute{i}n} = 0,18$	$\Psi_{3,m\acute{i}n} = 0,21$	$\Psi_{4,m\acute{i}n} = 0,37$
	DESVIACION ESTANDAR	$s_{\Psi_2} = 0,1016$	$s_{\Psi_3} = 0,1049$	$s_{\Psi_4} = 0,1449$
	COEFICIENTE DE VARIACION	$v_{\Psi_2} = 24,8\%$	$v_{\Psi_3} = 23,4\%$	$v_{\Psi_4} = 22,6\%$
COIGUE	PROMEDIO	$\bar{\Psi}_2 = 0,483$	$\bar{\Psi}_3 = 0,684$	$\bar{\Psi}_4 = 0,623$
	VALOR MAXIMO	$\Psi_{2,m\acute{a}x} = 0,71$	$\Psi_{3,m\acute{a}x} = 1,00$	$\Psi_{4,m\acute{a}x} = 0,95$
	VALOR MINIMO	$\Psi_{2,m\acute{i}n} = 0,29$	$\Psi_{3,m\acute{i}n} = 0,42$	$\Psi_{4,m\acute{i}n} = 0,38$
	DESVIACION ESTANDAR	$s_{\Psi_2} = 0,0915$	$s_{\Psi_3} = 0,1255$	$s_{\Psi_4} = 0,1162$
	COEFICIENTE DE VARIACION	$v_{\Psi_2} = 19,0\%$	$v_{\Psi_3} = 18,3\%$	$v_{\Psi_4} = 18,6\%$

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.

5.2.2. 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 9 y Figura Nº 10), se determina como el menor valor que resulta en las siguientes expresiones:

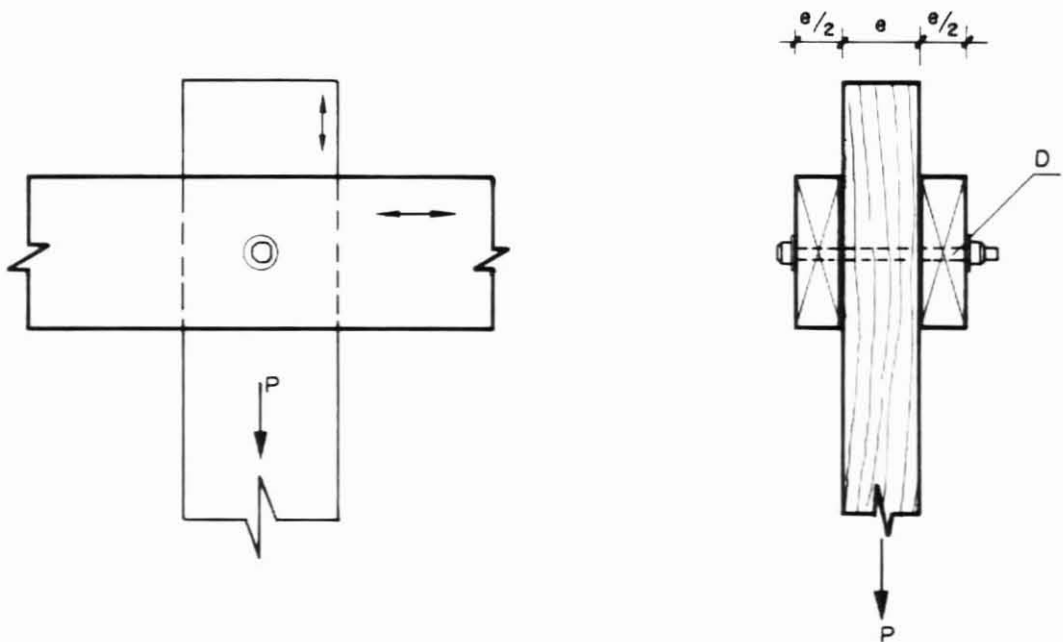


FIGURA Nº 10. Sollicitación normal a la dirección de las fibras en la madera.

$$i) P_{ad}^1 = D^2 \times \lambda_u \times S_k / \eta \quad (\text{newtons})$$

$$ii) P_{ad}^2 = D^2 \times \sqrt{\frac{4 \times S_y \times S_k}{3 \times \eta^2}} \quad (\text{newtons})$$

en donde :

P_{ad} = carga admisible de un perno solicitado en cizalle doble, newtons.

D = diámetro del perno, mm.

λ_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.

η = factor de reducción a la zona elástica.

5.2.3. La tensión de fluencia característica (S_k), por aplastamiento de la madera, puede ser estimada mediante la expresión:

$$S_k = \frac{0,0008 \times P_{12,k} \times (100 - D)}{2 \times \sin^2 \theta + \cos^2 \theta} \quad (\text{MPa})$$

Con : D = diámetro del perno, mm.

$P_{12,k}$ = densidad normal característica (ver Tabla N° 27), Kg/m³.

θ = ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra en el elemento de la unión que se esté considerando.

5.2.4. El factor de reducción a la zona elástica (η) se determina en función de la densidad anhidra media de la madera ($\bar{\rho}_0$), de acuerdo con el siguiente criterio:

i) Para especies madereras con :

$$\bar{\rho}_0 < 550 \text{ Kg/m}^3 \quad : \quad \eta = 2,17$$

ii) Para especies madereras con :

$$\bar{\rho}_0 \geq 550 \text{ Kg/m}^3 \quad : \quad \eta = 2,451$$

5.3. Aplicación del Procedimiento Recomendado

Como aplicación se determinará la carga admisible de una unión de Pino radiata, con carga paralela a las fibras del elemento central, el cual tiene 90 mm de espesor. El diámetro del perno es de 19 mm y los elementos laterales tienen 45 mm de espesor.

5.3.1. Determinación de las Densidades

De la Tabla N° 27 se obtiene para el Pino radiata.

$$\bar{\rho}_0 = 450 \text{ Kg/m}^3 < 550 \text{ Kg/m}^3 \longrightarrow \eta = 2,17$$

$$\rho_{12,k} = 391 \text{ Kg/m}^3$$

5.3.2. Angulo de Inclinación de la Carga respecto a las Fibras de la Madera

Carga paralela a las fibras $\longrightarrow \theta = 0^\circ$

5.3.3. Tensión de Fluencia Característica por Aplastamiento de la Madera

$$S_k = \frac{0,0008 \times P_{12,k} \times (100 - D)}{2 \times \sin^2 \theta + \cos^2 \theta}$$

Con : $\theta = 0^\circ$ (compresión paralela)

$$S_{cp,k} = \frac{0,0008 \times P_{12,k} \times (100 - D)}{1}$$

Con : $P_{12,k} = 391 \text{ Kg/m}^3$

$D = 19 \text{ mm}$

$$S_{cp,k} = 0,0008 \times 391 (100 - 19) = 25,34 \text{ MPa}$$

$$\underline{S_{cp,k} = 25,34 \text{ MPa}}$$

5.3.4. Tensión de Fluencia del Perno

$$\underline{S_y = 240 \text{ MPa}}$$

5.3.5. Cargas Admisibles

CASO 1. $\lambda_u = e/D = 90/19 = 4,7$

$$P_{ad}^1 = D^2 \times \lambda_u \times S_k / \eta$$

$$P_{ad}^1 = 19^2 \times \frac{90}{19} \times 25,34 / 2,17 = 19810,6 \text{ newtons}$$

$$P_{ad}^1 = 2021 \text{ Kg}$$

CASO 2.

$$P_{ad}^2 = D^2 \times \sqrt{\frac{4 \times S_y \times S_k}{3 \times \eta^2}}$$

$$P_{ad}^2 = 19^2 \times \sqrt{\frac{4 \times 240 \times 25,3}{3 \times 2,17^2}} = 361 \times 41,46$$

$$P_{ad}^2 = 14979,5 \text{ newtons}$$

$$P_{ad}^2 = 1528 \text{ Kg} < P_{ad}^1 = 2021 \text{ Kg}$$

VALOR FINAL DE LA CARGA ADMISIBLE ASIGNABLE A LA UNION:

$$P_{cp,ad} = 1528 \text{ Kg} \quad (\text{cizalle doble})$$

5.3.6. Si la unión del ejemplo anterior estuviese sometida a compresión normal a las fibras de la madera, se tendría:

$$\theta = 90^\circ$$

$$S_{cn,k} = \frac{0,0008 \times P_{12,k} \times (100 - D)}{2,0} = \frac{25,34}{2,0} = 12,67 \text{ MPa}$$

Cargas admisibles:

CASO 1.

$$P_{cn,ad}^1 = D^2 \times \lambda_u \times S_{cn,k} / \eta$$

$$P_{cn,ad}^1 = \overline{19}^2 \times \frac{90}{19} \times 12,67/2,17 = 9905 \text{ newtons}$$

$$P_{cn,ad}^1 = 1011 \text{ Kg}$$

CASO 2.

$$P_{cn,ad}^2 = D^2 \times \sqrt{\frac{4 \times S_y \times S_{cn,k}}{3 \times 2,17^2}}$$

$$P_{cn,ad}^2 = \overline{19}^2 \times \sqrt{\frac{4 \times 240 \times 11,016}{3 \times 2,17^2}} = 27,36 \times \overline{19}^2 = 10592 \text{ N}$$

$$P_{cn,ad}^1 < P_{cn,ad}^2$$

Luego : $P_{cn,ad} = 9905 \text{ newtons} = \underline{1011} \text{ Kg}$

5.4. Comparación de las Cargas Admisibles Recomendadas con los Datos Experimentales Obtenidos en Otros Estudios

En la Tabla N° 32, los valores para las cargas admisibles que se recomiendan en este estudio son comparados con las cargas en el límite de proporcionalidad obtenidas experimentalmente en otras investigaciones realizadas en Chile.

El parámetro de medición ($\Psi = P_{ad}/P_{L,e}$) tiene las características que se resumen en la Tabla N° 33.

TABLA Nº 32. COMPARACION DEL PROCEDIMIENTO RECOMENDADO CON OTROS RESULTADOS EXPERIMENTALES.

ESPECIE	DIAMETRO DEL PERNO D (mm)	ESBELTEZ λ_u	DIRECCION DE LA CARGA	CARGA ADMISIBLE RECOMENDADA P_{ad} (Kg)	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD EXPERIMENTAL P_L (Kg)
PINO RADIATA	25,8	1,0	(2) PARALELA A LAS FIBRAS	726	1950
	19,2	2,0		876	2000
	16,0	3,0		949	1650
	25,5	4,0		2640	3300
	19,2	5,0		1559	3050
	16,1	8,0		1117	2160
	25,9	1,0	(3) NORMAL A LAS FIBRAS	365	880
	19,7	2,0		458	1050
	15,1	3,0		427	1190
	19,0	4,0		860	1350
	19,0	5,0		1075	1800
	16,0	8,0		780	1350
LAUREL	24,8	1,02	(22) PARALELA A LAS FIBRAS	807	1500
	18,2	3,14		1456	2200
	15,7	5,06		1148	1900
	11,5	8,83		631	725
	24,8	2,05	(22) NORMAL A LAS FIBRAS	811	1045
	18,2	3,14		728	1000
	15,7	8,09		812	1630
	11,5	7,73		446	860

(Continúa)

TABLA Nº 32. (Continuación)

ESPECIE	DIAMETRO DEL PERNO D (mm)	ESBELTEZ λ_u	DIRECCION DE LA CARGA	CARGA ADMISIBLE RECOMENDADA P_{ad} (Kg)	CCARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD EXPERIMENTAL P_L (Kg)
PINO ARAUCARIA	18,2	2,09	PARALELA A LAS FIBRAS (22)	952	2360
	15,7	4,04		1071	2150
	15,7	7,08		1071	2000
	11,5	2,21		435	1000
	11,5	4,42		589	1400
	5,4	11,76		134	400
	24,8	1,02	NORMAL A LAS FIBRAS (22)	397	1050
	24,8	3,07		1194	1340
	15,7	2,03		355	775
	15,7	5,66		757	2150
	11,5	5,52		416	1250
	5,4	9,41		95	340
ULMO	24,8	3,07	PARALELA A LAS FIBRAS (22)	2600	5200
	24,8	2,05		1736	3000
	18,2	4,17		1480	3240
	18,2	3,14		1480	2800
	15,7	7,08		1118	2300
	15,7	5,06		1118	2150
	11,5	6,63		615	1300
	11,5	4,42		615	1600
	24,8	4,10	NORMAL A LAS FIBRAS (22)	1737	2280
	24,8	2,05		868	1950
	18,2	6,28		1046	2530
	18,2	5,24		1046	1880
	15,7	4,04		769	1980
	15,7	4,04		769	1700
	11,5	9,38		435	2200
	11,5	7,73		435	1160

NOTA: Los números entre paréntesis señalan la Referencia de la cual fueron extraídos los valores experimentales.

TABLA Nº 33. ESTADIGRAFOS DEL PARAMETRO DE COMPARACION ENTRE EL PROCEDIMIENTO RECOMENDADO Y LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.

ESPECIE	DIRECCION DE LA CARGA	MEDIA $\bar{\Psi}$	DESVIACION ESTANDAR s_{Ψ}	$\Psi_{mín}$	$\Psi_{máx}$	COEF. DE VARIACION (%)
PINO RADIATA	PARALELA A LAS FIBRAS	0,536	0,147	0,372	0,800	27,5
	NORMAL A LAS FIBRAS	0,504	0,114	0,359	0,637	22,7
LAUREL	PARALELA A LAS FIBRAS	0,669	0,144	0,538	0,870	21,5
	NORMAL A LAS FIBRAS	0,630	0,142	0,498	0,776	22,6
ARAUCARIA	PARALELA A LAS FIBRAS	0,438	0,071	0,335	0,535	16,2
	NORMAL A LAS FIBRAS	0,449	0,225	0,279	0,891	50,1
ULMO	PARALELA A LAS FIBRAS	0,491	0,057	0,384	0,579	11,7
	NORMAL A LAS FIBRAS	0,449	0,162	0,200	0,762	36,0

Para todas las uniones comparadas se obtiene una media general de $\Psi = 0,52$, es decir el método propuesto entrega una carga admisible en uniones con pernos sometidos a cizalle doble, que resultan, en promedio, iguales a un 52% de la carga experimental en el límite de proporcionalidad, con una media mínima de 43,8% y una media máxima de 66,9%. Esto resulta bastante recomendable puesto que tales cifras se basan en resultados empíricos realizados con pernos y maderas nacionales.

5.5. Aplicación del Procedimiento Recomendado al Pino radiata. Seco

Al aplicar el procedimiento que se recomienda al Pino radiata en estado seco, y graficar el resultado de tal aplicación, se obtienen las Figuras Nº 11 y Nº 12, para cargas paralelas y normales a la dirección de las fibras de la madera, respectivamente.

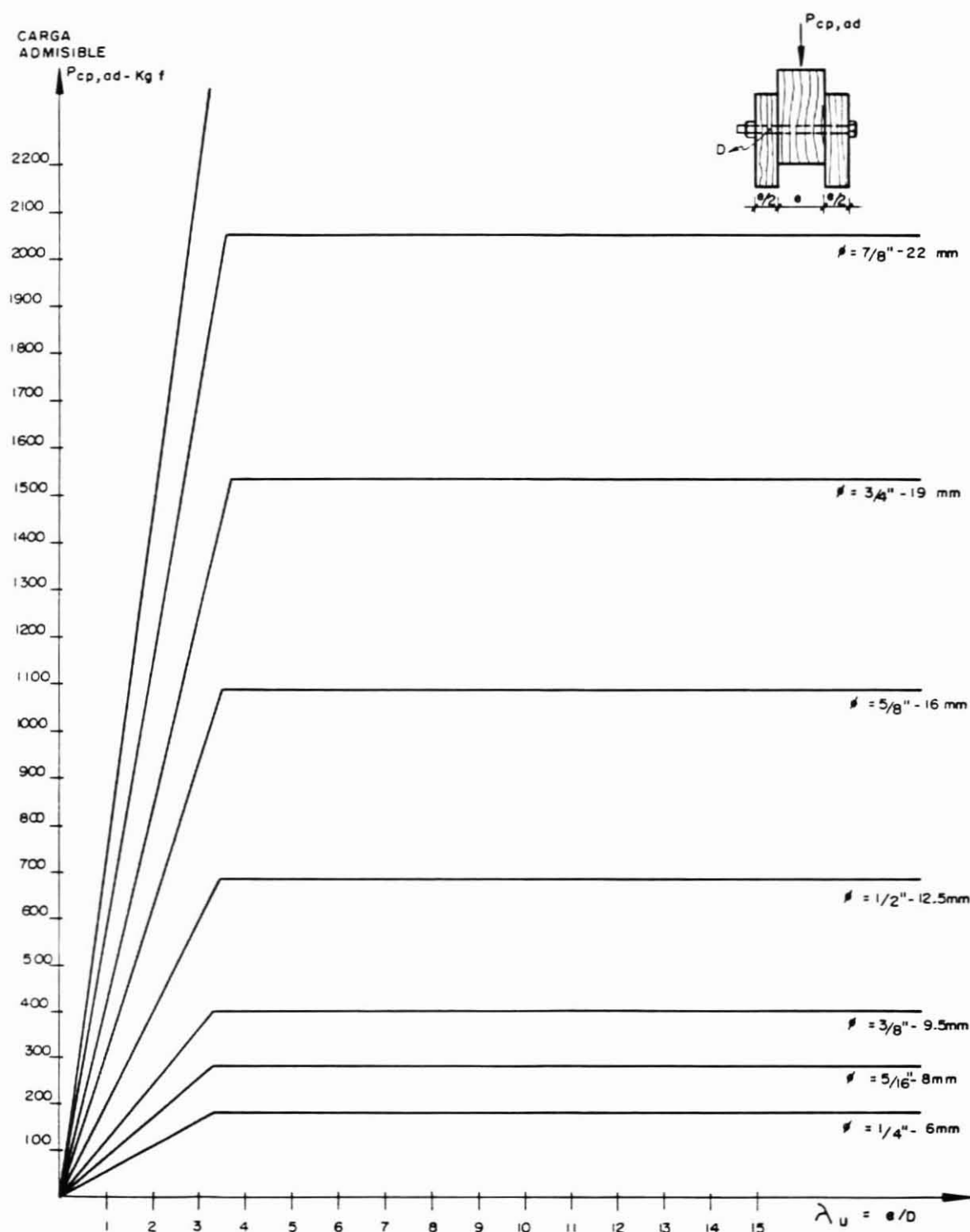


FIGURA N° 11. Uniones con pernos sometidas a cizalle doble -Carga paralela a la dirección de las fibras - Pino radiata - Seco.

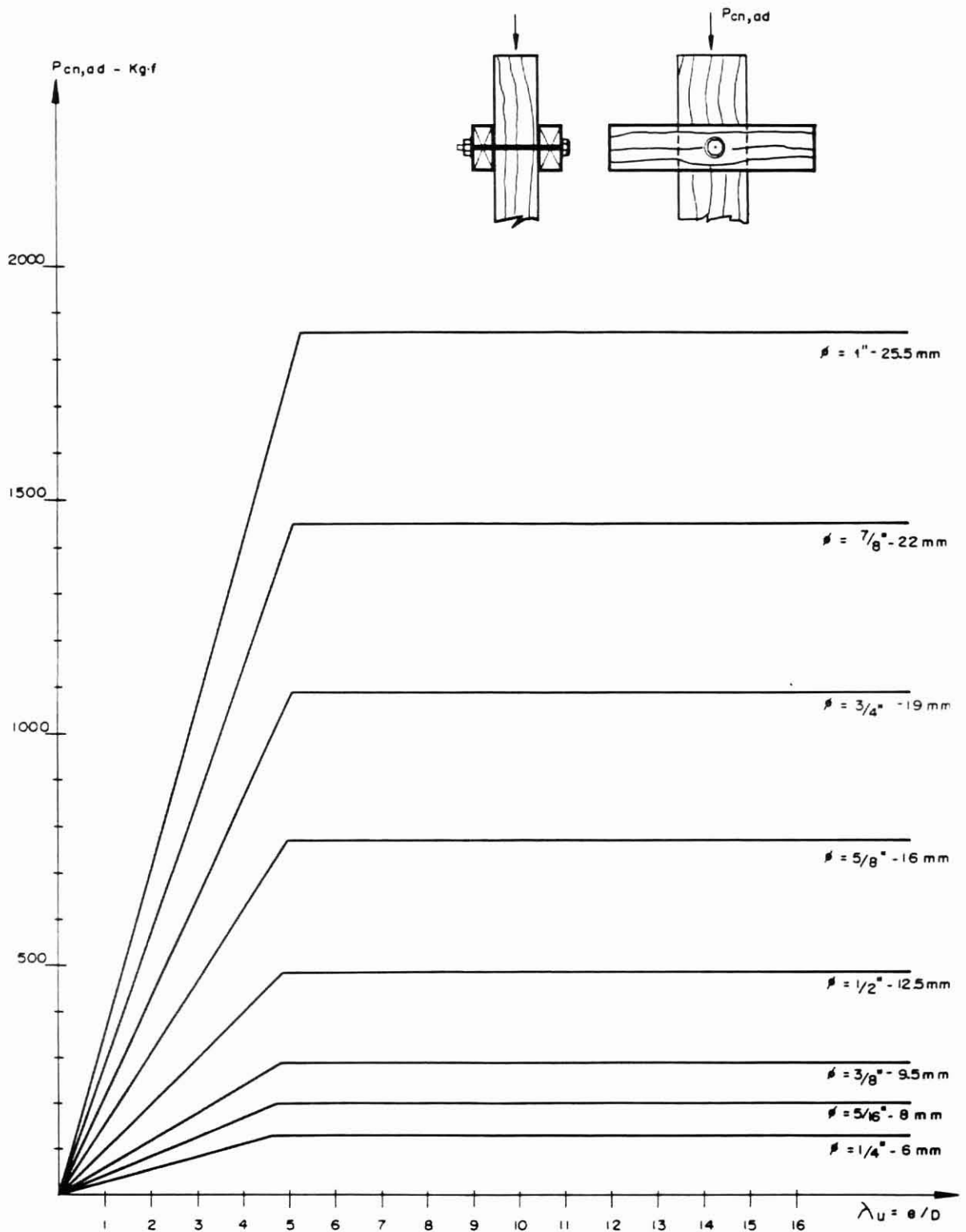


FIGURA Nº 12. Uniones con pernos sometidas a cizalle doble - Carga normal a la dirección de las fibras - Pino radiata - Seco.

6.0 CONCLUSIONES

- 6.1. En este estudio se demuestra que el procedimiento especificado por la norma NCh 1198 Of. 77 Madera. Construcciones en Madera. Cálculo., para la determinación de las cargas admisibles de uniones con pernos sometidas a cizalle doble, se caracteriza por entregar valores que en un 46,4% superan la zona elástica de la unión. Este antecedente justifica su eliminación del texto de dicha norma.
- 6.2. En la revisión que se hizo a la norma NCh 1198, en el año 1989, se reemplazó el procedimiento para la determinación de las cargas admisibles de uniones con pernos sometidas a cizalle doble, por otro, que según lo demostrado en esta investigación, resulta bastante conservador. Sólo el 25% de las cargas admisibles normalizadas superan la mitad de la carga en el límite de proporcionalidad determinada experimentalmente.
- 6.3. Debido a lo anterior, el INSTITUTO FORESTAL (INFOR) ha propuesto el procedimiento establecido en el WOOD HANDBOOK del Forest Products Laboratory, de Madison, Wisconsin, U.S.A. Al ceñirse a él, en forma rigurosa, se obtienen cargas admisibles para uniones con pernos, sometidas a cizalle doble, que se ubican entre las dos posiciones entregadas por los criterios comentados en 6.1. y 6.2. Es decir, esta proposición de INFOR es menos conservadora que aquella que se especifica en la actual versión de la NCh 1198, revisada en 1989.
- 6.4. La Teoría de Fluencia es un procedimiento que entrega un valor teórico para la Carga de Fluencia de la Unión y que para su determinación requiere de los valores de:
- i) Tensión de Fluencia de los pernos (S_y).
 - ii) Tensión de Fluencia por aplastamiento de la madera.

Ensayos de flexión realizados en pernos de fabricación nacional demostraron que existen en el mercado varias calidades de pernos, los cuales tienen tensiones de fluencia diferentes, la mayoría de ellas superiores a 240 MPa.

Por esta razón se aceptó el uso de un valor único e igual a:

$$S_y = 240 \text{ MPa}$$

Para la Tensión de Fluencia por aplastamiento (S) de la madera se realizaron diferentes ensayos en cuatro especies, a saber: Alamo, Pino araucaria, Tapa y Eucalipto. Ver Tablas N° 17 y N° 18.

Con tales valores se obtiene que el valor absoluto del error medio resultante del criterio de la Teoría de Fluencia respecto a los valores experimentales resultó igual a un 17,1%.

- 6.5. El criterio de los investigadores Smith y Whale se basa en la Teoría de Fluencia pero, no necesita del valor de la Tensión de Fluencia por aplastamiento de la madera. Ellos demostraron que la densidad y la tensión de aplastamiento están altamente correlacionadas entre sí y que, por lo tanto, basta con conocer el valor de la densidad para obtener el valor de la tensión teórica de fluencia que se obtiene en la unión con pernos.

Al aplicar este procedimiento usando los valores de densidad y tensión de fluencia por flexión del perno ($S_y = 240 \text{ MPa}$) resulta que el error absoluto promedio, respecto a los valores experimentales, es igual a 15,0%. Este error es menor que para la comparación realizada con la Teoría de Fluencia.

- 6.6. Los valores de la densidad, bajo las diferentes formas que interesan en este estudio, deducidas para las distintas maderas de uso corriente en la construcción, se incluyen en la Tabla N° 27.
- 6.7. Este estudio recomienda que el criterio de Smith y Whale sea incluido en la versión final del capítulo Uniones con Pernos de la norma NCh 1198. Las razones de tal recomendación son:
- a) El procedimiento entrega valores para las cargas admisibles que se aproximan considerablemente al límite de proporcionalidad. Resultan, como promedio, iguales a un 63% de la carga en el límite de proporcionalidad.
 - b) Dichas cargas admisibles siempre se ubican en la zona elástica.
 - c) Se obtienen resultados homogéneos tanto para maderas de baja densidad como para especies de alta densidad.
- 6.8. El procedimiento que se recomienda se debe aplicar en 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.
- 6.9. Las especificaciones del método propuesto por este estudio para el cálculo de las cargas admisibles en uniones con pernos, se resume en el párrafo 5.2.

CONECTORES METALICOS

7.0 ANTECEDENTES GENERALES

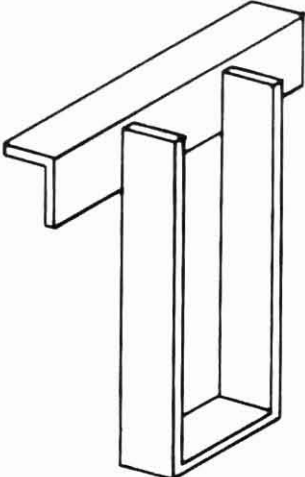
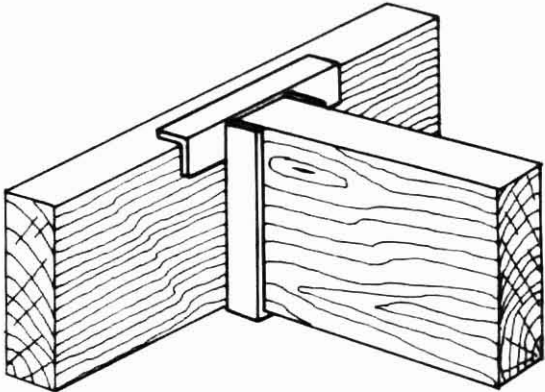
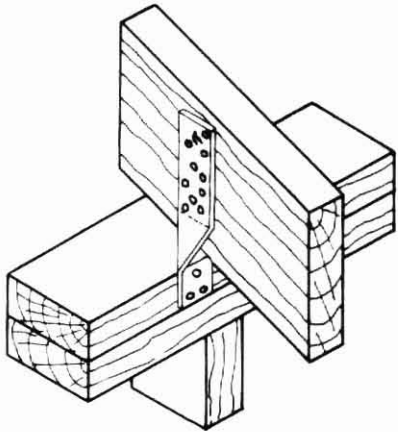
En las construcciones en madera, los conectores metálicos son usados para transferir cargas desde un elemento estructural a otro, o para llevar las solicitaciones que actúan en una estructura de madera, a las fundaciones.

Generalmente, estos conectores se dividen en dos grandes grupos:

- i) los conectores livianos, utilizados para transferir cargas menores entre elementos como los que se desarrollan en una vivienda, y
- ii) los conectores pesados, usados para trasladar de un elemento a otro cargas mayores, como las que se originan en el diseño de galpones industriales, edificios de más de un piso, gimnasios, etc.

Los conectores metálicos livianos (ver Figura N° 13) son fijados con clavos conformando una unión, entre elementos de madera, más resistente que aquéllas usadas comúnmente en la carpintería tradicional tales como el clavo lancero, clavo colocado con su eje paralelo a las fibras de la madera y ensambles a media madera. A menudo, estos conectores metálicos son diseñados para resistir distintas fuerzas que actúan simultáneamente, según varias direcciones, proporcionando estabilidad a la estructura en, a lo menos, dos planos. Otra ventaja de estos conectores livianos sobre las prácticas convencionales de la carpintería son:

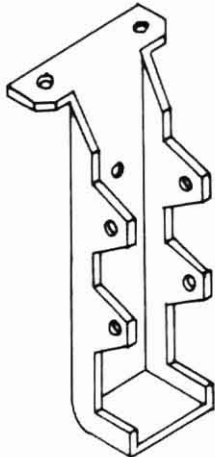
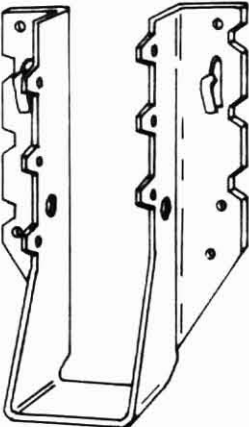
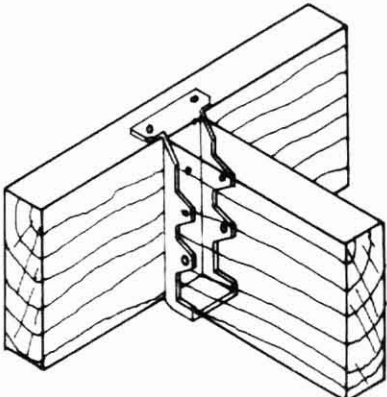
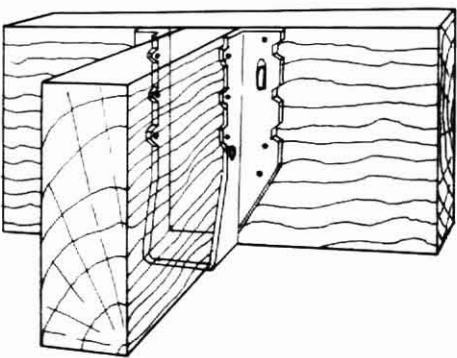
- a) mejorar la exactitud en la fabricación de las uniones, y
- b) reducir la probabilidad de rajadura en la madera, debido al uso de clavos de un diámetro considerablemente mayor.

CONECTOR LIVIANO TÍPICO	APLICACIONES
 	 

(Continúa)

FIGURA Nº 13. Conectores metálicos livianos.

FIGURA N° 13. (Continuación)

CONECTOR LIVIANO TÍPICO	APLICACIONES
 	 

Los conectores metálicos pesados, normalmente son utilizados con pernos, tirafondos y/o conectores con forma de anillo o placas (ver Figura N° 14).

El uso de placas o pletinas de acero permite una eficiente unión entre elementos que quedan ubicados con una cara en un mismo plano. Tal es el caso de cubrejuntas metálicas que permiten la unión de piezas por sus cabezas, sin necesidad de efectuar un traslapo entre ellas.

Las escuadras o los colgadores instalados en las vigas o arcos principales permiten que los cantos de esas vigas (arcos) queden a un mismo nivel con el de las costaneras, evitando así la ubicación de costaneras sobre las vigas (arcos) principales.

Los conectores pesados se fabrican en forma de zapatos metálicos y se usan en las uniones de columna-viga, columna-columna, columna-fundación.

En las Figuras N° 13 y N° 14 se intenta mostrar sólo algunas aplicaciones de los tipos de conectores más comunes. Existe una amplia variedad de tipologías y distintas aplicaciones para cada una de ellas. En efecto, la variedad de los conectores metálicos pesados es tan amplia como el ingenio del diseñador.

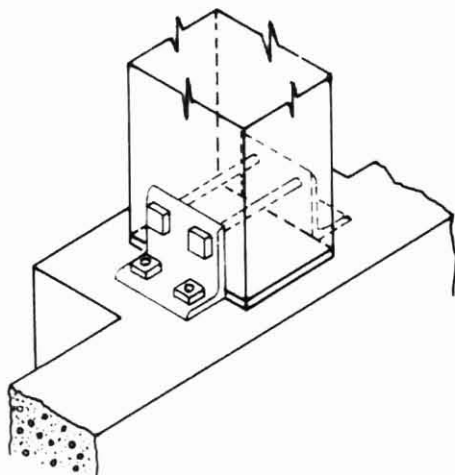
8.0 CONECTORES METALICOS LIVIANOS

8.1. Tipos y Aplicaciones

Es posible diferenciar dos tipos de conectores livianos (ver Figura N° 13):

- i) Escuadras, y
- ii) Colgadores

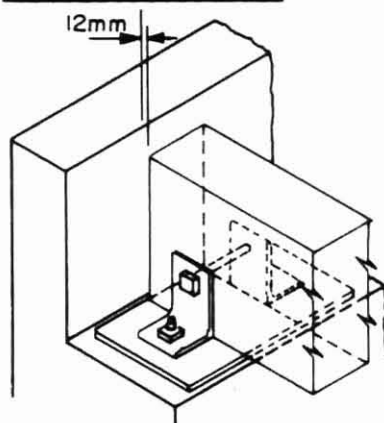
A. ANCLAJES DE COLUMNAS



A usar cuando existen fuerzas horizontales y/o que tienden a levantar la estructura. Cuando sea necesario es posible alargar el ala horizontal del ángulo con el fin de aumentar la distancia entre pernos de anclaje y bordes de la placa o incrementar la cantidad de pernos.

La placa de aplastamiento puede ser mayor si se desea distribuir el esfuerzo vertical descendente en una mayor superficie. El espesor de esta placa depende de dicha área, pero no debe ser menor que 6 mm.

B. ANCLAJES DE VIGAS

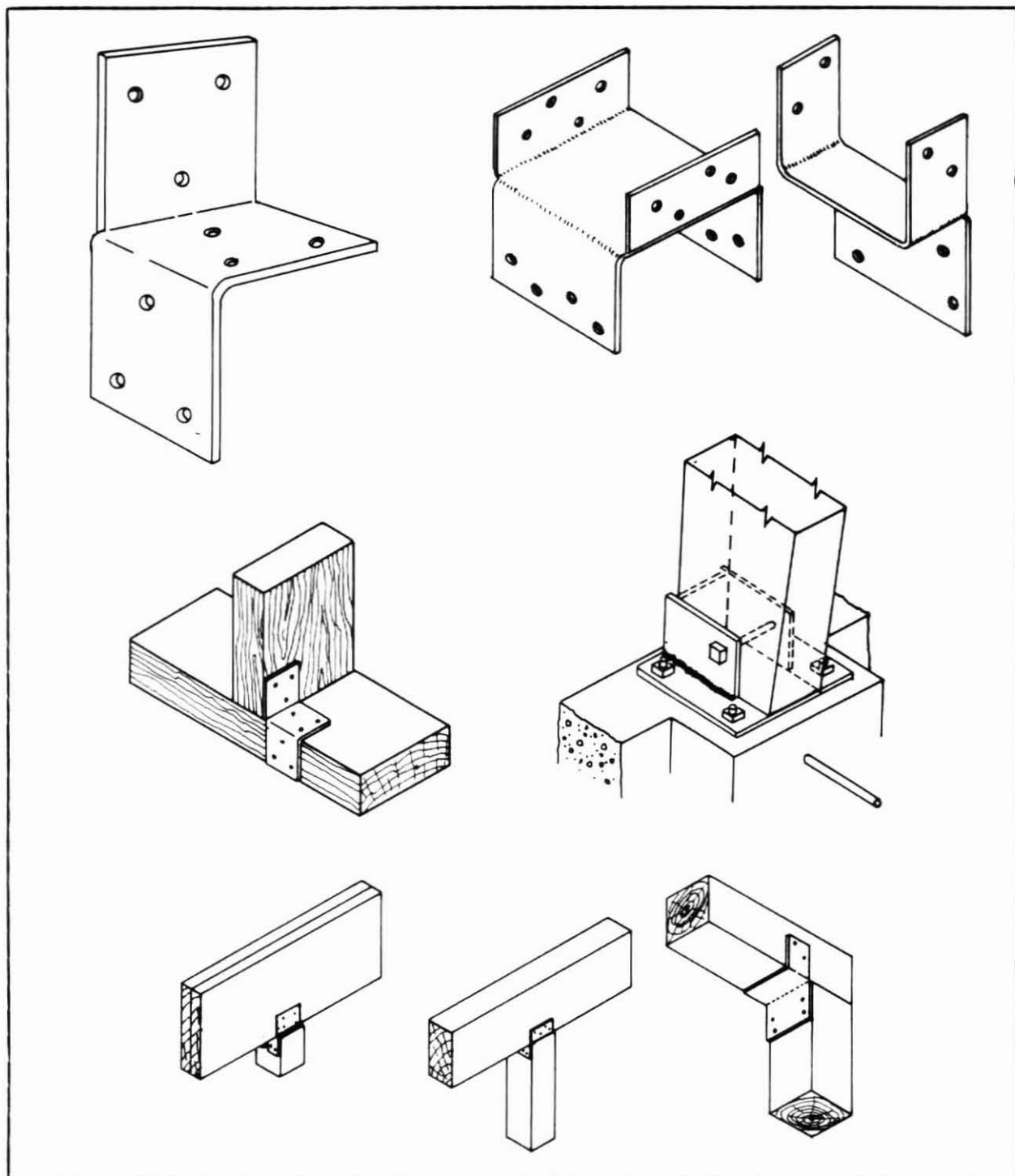


Anclaje de viga a un muro de concreto, capaz de resistir fuerzas horizontales y de dirección vertical con sentido hacia arriba (de arranque). La placa de aplastamiento debe tener un espesor igual a 6 mm o más. Cuando se desee distribuir la reacción sobre una mayor superficie de hormigón. Si se

consideran fuerzas de arranque se hace necesario verificar la distancia entre el perno y la cabeza de la viga a fin de no sobrepasar las tensiones de cizalle de la madera.

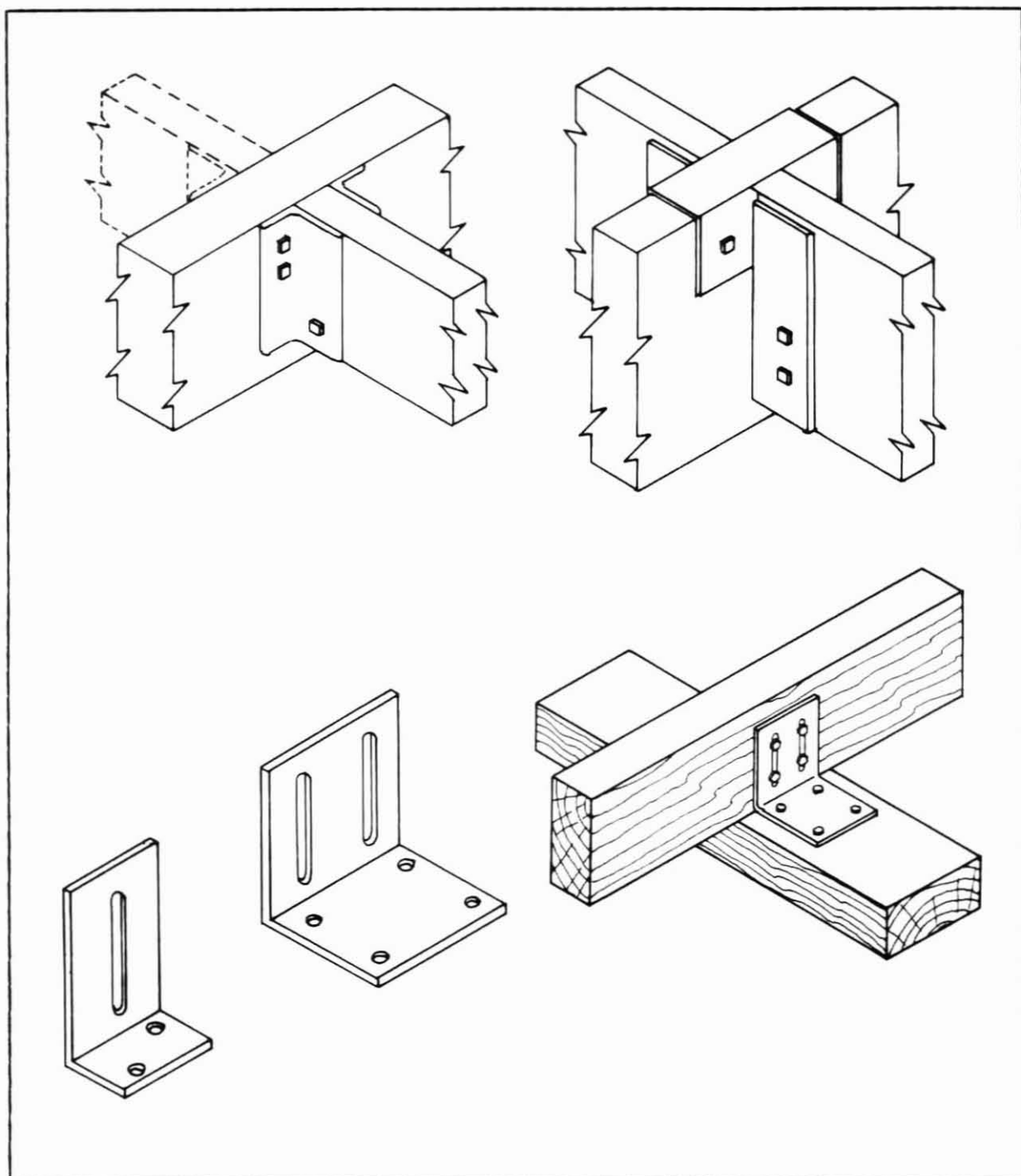
FIGURA Nº 14. Conectores metálicos pesados.

FIGURA Nº 14. (Continuación)



(Continúa)

FIGURA Nº 14. (Continuación)



Además de estos tipos existen productos para otras aplicaciones en la construcción de viviendas, tales como zapatos para: columnas, vigas; elementos de anclaje, clips para tableros interiores, etc. A los anteriores se debe agregar las pletinas y ángulos con perforaciones para clavos a las que se les puede dar una amplia gama de aplicaciones.

La escuadra, es el elemento de unión más versátil. Su aplicación es factible en casi todas las uniones que se presentan en una construcción de vivienda con uso de madera. Para este tipo de conector existen diseños que permiten transferir cargas de diferentes magnitudes.

Todas las tipologías tienen diseños izquierdos y derechos a fin de poder colocarlos en ambos lados de la unión. A menudo, las escuadras deben colocarse en pares (izquierda y derecha) con la finalidad de evitar excentricidades. Algunas escuadras presentan dos superficies perforadas, otras ofrecen tres. Muchas de ellas traen ranuras, aberturas o muescas que permiten doblar la escuadra alrededor del elemento y así ajustarse a cualquier configuración.

Los colgadores metálicos tienen una finalidad bien específica: unir las costaneras a las vigas (arcos) principales. Algunos se fabrican con un largo tal que permite doblarlos sobre la viga y clavarlos en su canto superior. Esto puede mejorar la estabilidad de la unión aun cuando su resistencia no es afectada por tal doblez. Este tipo de conector se diseña para cargas de distintas magnitudes. En los catálogos de los fabricantes la capacidad de carga o carga admisible de los colgadores puede identificarse bajo el nombre de "cargas de trabajo" (safe working loads) o de "carga máxima" (ultimate loads).

Al diseñar una unión con estos elementos, las cargas deben ser menores que las cargas admisibles. De este modo se debe cumplir:

$$\frac{P_{tr}}{P_{adm}} \leq 1$$

Con :

P_{tr} = carga de trabajo real soportada por la unión.

P_{adm} = carga admisible.

Para fijar los colgadores a la madera es necesario el uso de un número determinado de clavos especiales, tales como aquéllos que tienen su superficie revirada, ranurada, etc. La capacidad de carga que entregan los catálogos de los fabricantes están basadas en el uso de estos clavos especiales, en la cantidad que ellos especifican.

Es fundamentalmente importante el uso del clavo especificado para cada tipo o tamaño del colgador elegido.

8.2. Material y Terminación

Los conectores livianos son fabricados de metal galvanizado que varía entre 0.95 mm (1 mm) y 4.76 (5 mm). Cada fabricante especifica el espesor para las diferentes capacidades de carga y tamaño del colgador. Los compuestos del metal quedan bajo el rótulo de "secreto industrial".

8.3. Diseño

Generalmente los conectores metálicos livianos usados en la construcción de viviendas tienen coeficientes de seguridad elevados. En efecto, en los países desarrollados tales como Estados Unidos y Canadá, la construcción habitacional en madera es reconocida como una construcción "semi-ingenieril", puesto que se basa, principalmente, en la experiencia de muchos años.

Sin embargo, los fabricantes publican las respectivas capacidades de carga o cargas admisibles, tomando como base los ensayos de uniones realizados por ellos y la experiencia ganada con los años. Estos datos, que son los que finalmente usa el calculista, son aceptados por las autoridades que tienen jurisdicción sobre la construcción habitacional.

Las variables que deben ser consideradas en el diseño son:

- Duración de la carga
- Dirección de la o las cargas
- Especie maderera
- Estado de humedad de la madera

Generalmente, la duración de la carga viene incluida en la información que entregan los catálogos bajo el título de, "carga de corta duración" (short term: wind o earthquake) y de "carga de larga duración" (long term: live and dead loads). Por lo cual los colgadores son diseñados para cargas de larga duración pero en algunos casos, ellos pueden ser solicitados por cargas de corta duración.

Cuando la madera se usa en estado verde, a los conectores se les debe asignar cargas admisibles menores que las especificadas en los catálogos de los fabricantes. Las condiciones de servicio también afectan la capacidad resistente de los conectores. Lo mismo sucede con el tipo (densidad) de la madera usada en la unión.

En conclusión, la capacidad de carga que entregan los fabricantes se basa en un extenso programa de ensayo y en la experiencia de muchos años en el uso de tales conectores.

La carga admisible para cada colgador varía entre 200 kgf y 1.500 kgf. La capacidad de carga de cada escuadra depende de la dirección de la carga pero, en general, es menor que 500 kgf.

En resumen, en el diseño de uniones con conectores metálicos prefabricados deben seguirse y adoptarse las recomendaciones y las cargas admisibles que entregue el fabricante del conector.

9.0 CONECTORES METALICOS PESADOS

9.1. Tipos y Aplicaciones

Son variados los tipos y formas de conectores que se usan en la construcción pesada de madera: cubrejuntas, ángulos, escuadras, colgadores, zapatos, pletinas, rótulas, placas de aplastamiento, etc.

Las pletinas, los ángulos, escuadras y otros tipos son usados solos o soldados entre sí para dar al conector la forma deseada. Los elementos de fijación a la madera, en estas tipologías son: tirafondos, pernos, conectores en forma de anillo o platos, etc.

Es común también, el uso de placas tubos y barras de acero en el interior de la madera, lo cual eleva la resistencia y estabilidad de la unión y a la vez mejora su aspecto o presentación exterior.

Los factores más importantes que intervienen en la elección de un conector metálico pesado son:

- Magnitud y tipo de carga
- Rotación de la unión
- Escuadría del elemento de madera a unir
- Simetría y
- Estética

La magnitud de la carga controla el tipo, cantidad y dimensiones de los conectores y, por lo tanto, el tamaño final de la unión.

Las cargas pueden variar durante la vida en servicio de una estructura, por ello, las uniones deben diseñarse para la combinación más desfavorable de cargas que la solicitan considerando además las direcciones que podrían presentarse para esas cargas.

La rotación de la unión se puede presentar cuando en ella existe un momento de flexión o una excentricidad o desviación de la dirección de las cargas respecto a los ejes de la unión.

La escuadría de los elementos de madera limita la cantidad de conectores que se pueden ubicar en la unión y las consideraciones respecto a la estética pueden decidir la escuadría de los elementos y por lo tanto, el diseño estructural o cálculo de la unión.

9.2. Material y Terminación

Las placas metálicas usadas en conectores pesados es, usualmente, plana, laminada en caliente y de un espesor determinado. La palabra "placa" será usada, en este estudio, para describir el material, cualquiera sea su espesor.

En la fabricación de estos conectores son usados, también, perfiles laminados en caliente de distintas formas.

La terminación de estos conectores metálicos pesados usualmente consiste en una pintura roja anticorrosiva y luego una pintura negra como terminación final. Esta práctica tiene el inconveniente del lento secado de la pintura anticorrosiva. Un procedimiento más conveniente consiste en la aplicación de una única pintura negra, anticorrosiva y de secado rápido, producto nuevo que ha salido al mercado en los países desarrollados.

Las uniones con conectores deben ser compatibles con :

- a) las tensiones admisibles de los elementos estructurales de madera,
- b) las condiciones de servicio esperadas,
- c) la duración de la carga, y
- d) la vida en servicio que de la estructura se espera.

Las placas metálicas deben ser estructuralmente adecuadas, pero de dimensiones moderadas de modo que no se dificulte el ensamble de la unión. Normalmente es factible desarrollar la total capacidad resistente de las piezas de madera sin sobrepasar las tensiones admisibles de las placas de acero. Las condiciones severas de servicio pueden oxidar y debilitar el acero antes de que la madera sea afectada por dichas condiciones. Por lo tanto, las placas de acero deben especificarse con un galvanizado en caliente cuando la unión quede expuesta a un alto contenido de humedad, en servicio.

9.3. Diseño

Las placas o componentes de acero de una unión que contemple conectores pesados deben diseñarse de acuerdo a las especificaciones de la norma chilena NCh 427 Especificaciones para el Cálculo de Estructuras de Acero para Edificios.

Su diseño debe contemplar los esfuerzos que resultan de la aplicación, a la estructura, de la combinación más desfavorable de cargas.

Los elementos metálicos sometidos a compresión deben diseñarse considerando su longitud efectiva de pandeo (L_p). Ver Figura N° 15.

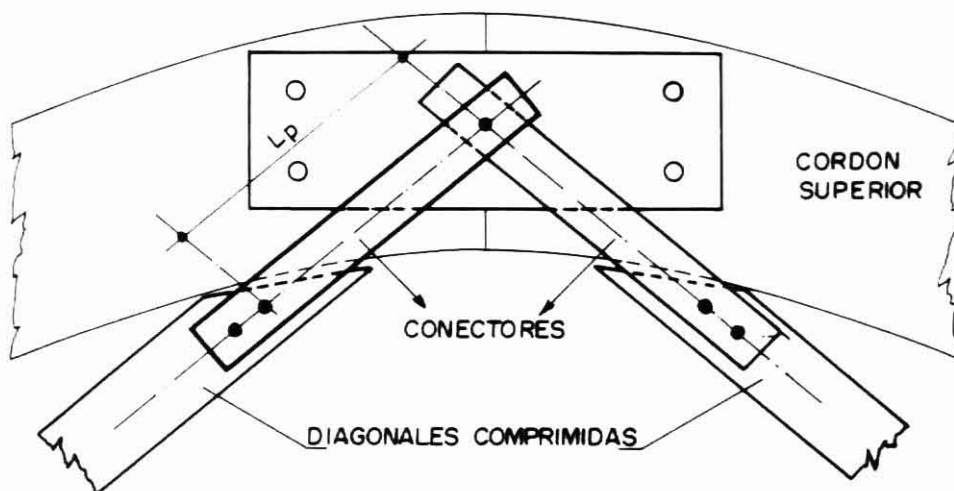


FIGURA Nº 15. Elementos metálicos sometidos a compresión.

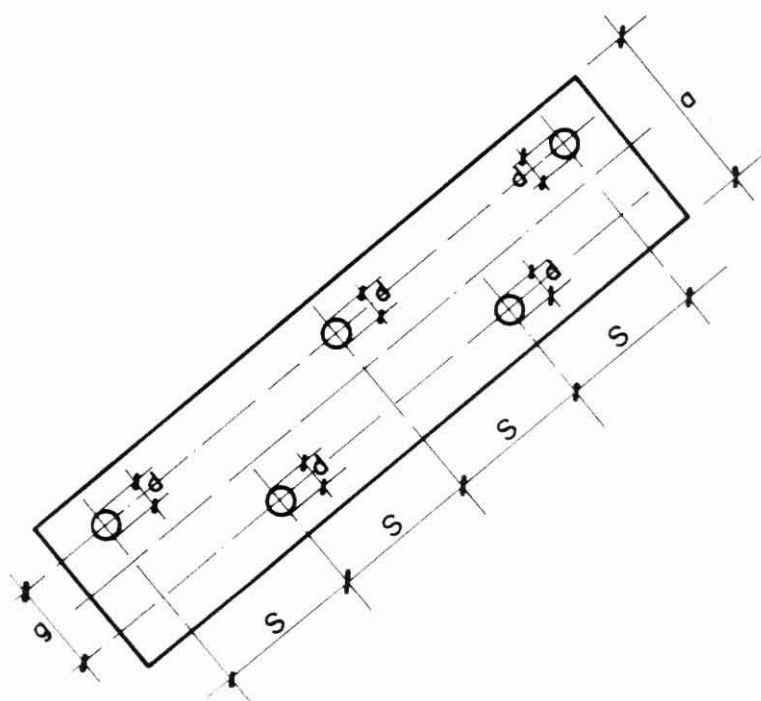
La esbeltez de la cubrejunta señalada en la Figura Nº 15 debe tener una esbeltez (λ) menor que 200.

En general, en los elementos metálicos comprimidos debe considerarse la sección transversal total de la placa tomando su espesor y el ancho medido en dirección perpendicular al eje del elemento que ella está ensamblando.

Los elementos metálicos traccionados deben ser diseñados considerando la sección transversal debilitada, tomando el espesor y el ancho debilitado del elemento metálico. Se entiende por "ancho debilitado" a la dimensión perpendicular al eje de la barra de unión, menos el diámetro nominal de la o las perforaciones de los elementos de unión (tirafondos, pernos, etc.), incrementado en 2 mm.

Para una serie de perforaciones ubicadas en diagonal o en una línea en zig-zag, el ancho debilitado del elemento metálico (a_n) debe calcularse mediante la expresión:

$$a_n = a - 5 \times d + 5 \times \frac{s^2}{4g} \quad (\text{Ver Figura N}^\circ 16)$$



a = ancho real de la placa.

d = diámetro de la perforación.

s = espaciamiento longitudinal de dos perforaciones consecutivas.

g = espaciamiento transversal de dos perforaciones consecutivas.

FIGURA N° 16. Cálculo del área debilitada de una placa.

El área debilitada crítica de una placa metálica se obtiene con aquella serie de perforaciones que proporciona el ancho debilitado mínimo; sin embargo, la sección transversal debilitada, considerando una o más perforaciones, no debe exceder los siguientes límites:

- a) $0,85 \times A$ cuando $F_y/F_{m\acute{a}x} \leq 0,75$
- b) $0,90 \times A$ cuando $0,75 < F_y/F_{m\acute{a}x} \leq 0,85$
- c) $0,95 \times A$ cuando $0,85 < F_y/F_{m\acute{a}x}$

en donde :

A = sección transversal real de la placa metálica.

F_y = mínima tensión de fluencia especificada para el acero usado.

$F_{m\acute{a}x}$ = tensión máxima del acero usado.

Cuando un elemento metálico de una unión es sometido a cargas con dirección normal a su plano, queda solicitado por flexión.

Las placas que evitan el aplastamiento incluidas en las Figuras N° 17 a N° 23 están sometidas a flexión. En el diseño de estas placas es necesario calcular el momento máximo de flexión. Para los diferentes casos señalados en las Figuras N° 17 a N° 23 se incluye, a continuación, el cálculo de dicho momento máximo de flexión.

- i) Placa de aplastamiento con un lado en voladizo. Ver Figura N° 17.

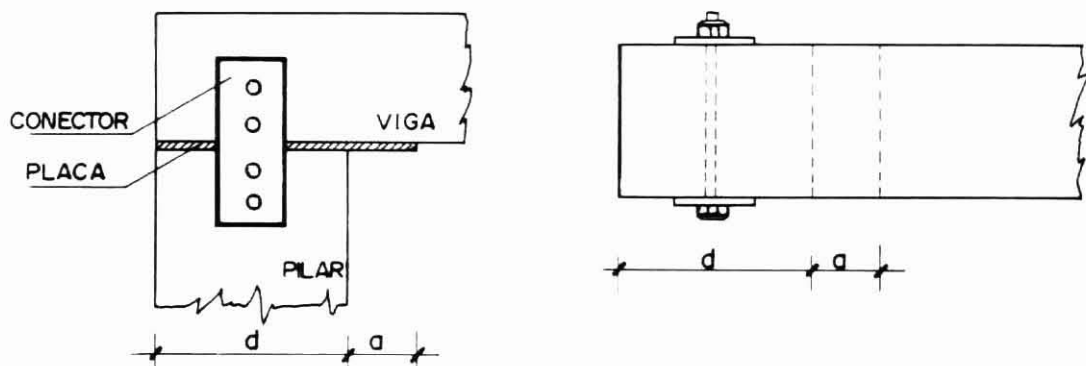
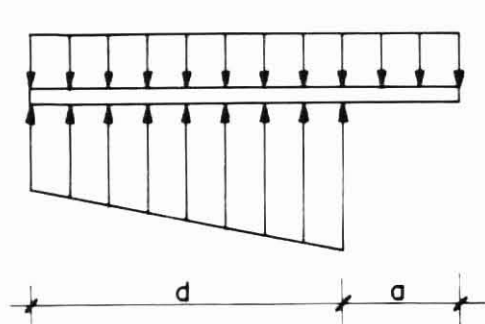
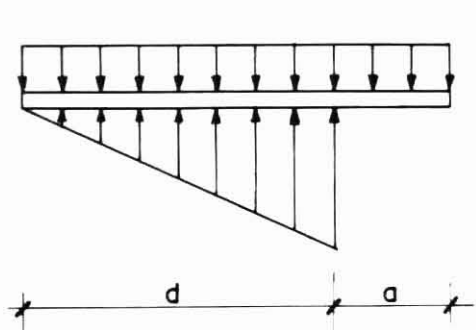


FIGURA N° 17. Placa de aplastamiento con un lado en voladizo.

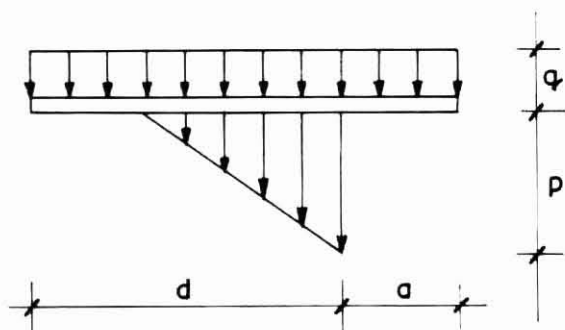
La distribución de las tensiones para la placa de aplastamiento con un lado en voladizo depende de la magnitud del volado (a) y de su relación con la dimensión sobre el pilar (d). Las tensiones asumidas para diferentes razones " a/d " son las indicadas en la Figura Nº 18.



Para : $a/d < 1/3$



Para : $a/d = 1/3$



Para : $1/3 < a/d < 1$

FIGURA Nº 18. Distribución de tensiones para placa con un lado en voladizo.

El valor requerido para "a", se obtiene con la expresión:

$$a = d \frac{(3p - 4q)}{(3p + 4q)}$$

Los valores máximos, "q" y "p", corresponden a las tensiones máximas de compresión normal y paralela a la fibra de la madera, respectivamente.

ii) Placa de aplastamiento con dos lados en voladizo. Ver Figura N° 19.

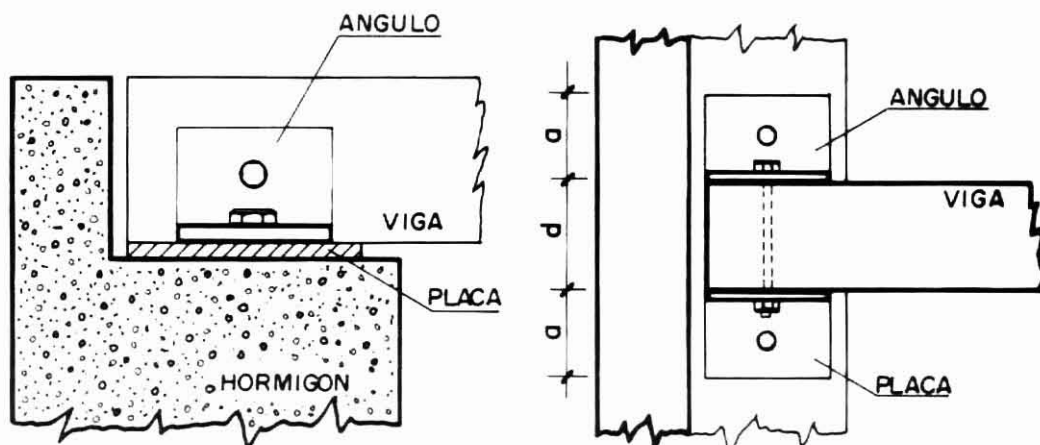
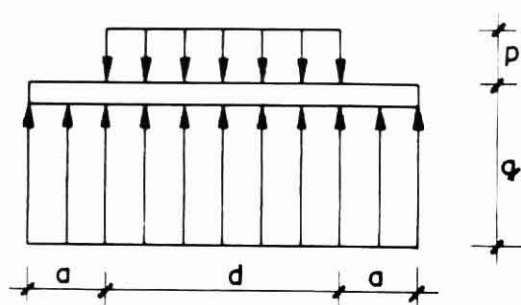


FIGURA N° 19. Placa de aplastamiento con dos voladizos.

La distribución de tensiones asumida para este caso es la señalada en la Figura N° 20 y el valor de "a" es el entregado por la expresión:



$$a = d \frac{(p - q)}{2q}$$

FIGURA N° 20. Placa de aplastamiento con dos volados.

La tensión de compresión "p" resulta siempre mayor que la tensión de compresión o resistencia "q".

El momento máximo de flexión para las placas en voladizo está dado por la expresión:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \times a^2}{2}$$

El espesor requerido para que la placa resista este momento máximo de flexión puede ser determinado con las ecuaciones que entrega la Resistencia de Materiales.

Con la finalidad de obtener la distribución de tensiones asumida y para evitar una deflexión excesiva en la placa, es necesario que ella sea lo suficientemente rígida. Se recomienda que el espesor de la placa sea mayor que o igual a " $0,2 \times a$ ".

iii) Placa de aplastamiento simplemente apoyada. Ver Figura Nº 21.

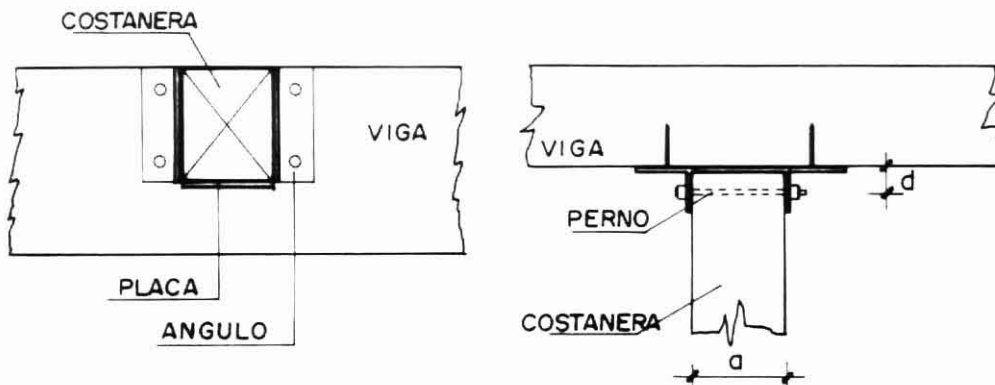


FIGURA Nº 21. Placa de aplastamiento simplemente apoyada.

La distribución de tensiones asumida para este caso es una carga (q) uniformemente distribuida sobre una luz "a".

El momento máximo de flexión al cual queda sometida esta placa es:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \times a^2}{8}$$

iv) Placa de aplastamiento soportada en tres lados. Ver Figura N° 22.

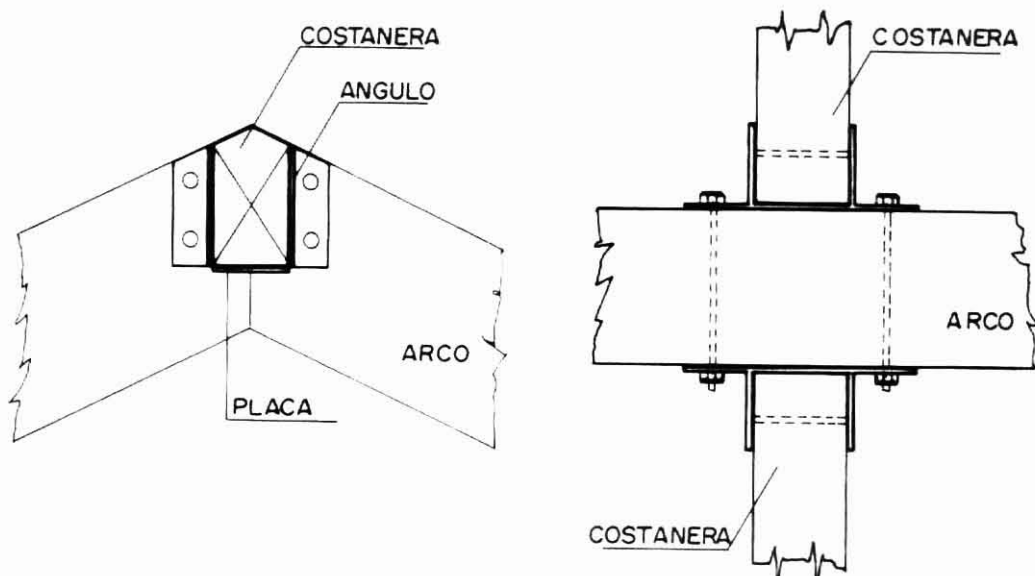


FIGURA N° 22. Placa de aplastamiento apoyada en tres lados.

La distribución de tensiones asumida para este caso se incluye en la Figura N° 23.

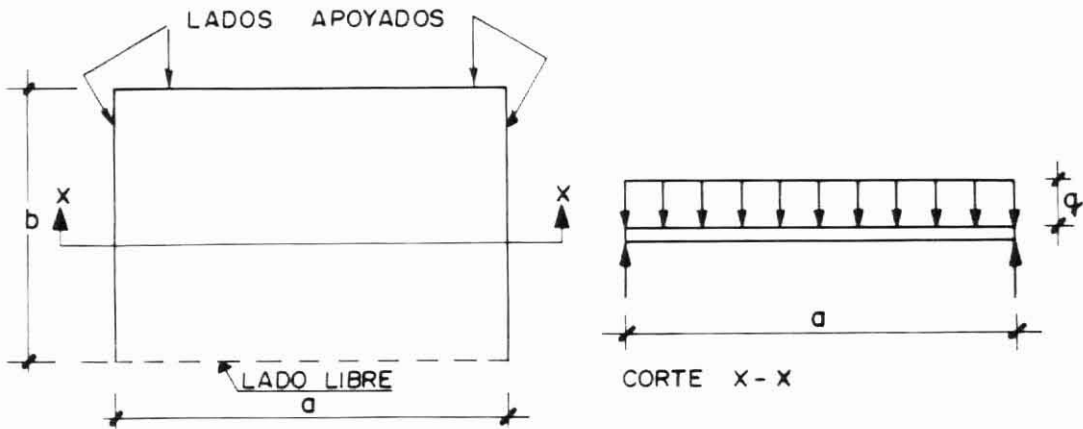


FIGURA Nº 23. Distribución de tensiones en placa de aplastamiento apoyada en tres lados.

El momento máximo de flexión se presenta en la mitad del borde libre y depende de la razón b/a y del coeficiente de Poisson (razón η) del material de la placa. La dimensión a es la dimensión real de la placa de aplastamiento, valor que es igual al ancho del elemento soportado por la placa. El momento máximo de flexión que corresponde a las diferentes razones b/a y para el coeficiente de Poisson $\eta = 0.3$ es incluido en la Tabla Nº 34.

TABLA Nº 34. MOMENTOS DE FLEXION MAXIMOS EN PLACAS RECTANGULARES UNIFORMEMENTE CARGADAS CON TRES BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y EL CUARTO LIBRE. COEFICIENTE DE POISSON $\eta = 0.3$.

b/a	$M_{\text{máx}}$
0,50	$0,060 \times q \times a^2$
0,67	$0,083 \times q \times a^2$
0,71	$0,088 \times q \times a^2$
0,77	$0,094 \times q \times a^2$
0,83	$0,100 \times q \times a^2$
0,91	$0,107 \times q \times a^2$
1,00	$0,112 \times q \times a^2$

b/a	$M_{\text{máx}}$
1,1	$0,117 \times q \times a^2$
1,2	$0,121 \times q \times a^2$
1,3	$0,124 \times q \times a^2$
1,4	$0,126 \times q \times a^2$
1,5	$0,128 \times q \times a^2$
2,0	$0,132 \times q \times a^2$
3,0	$0,133 \times q \times a^2$
> 3,0	$0,133 \times q \times a^2$

9.4. Soldadura

El tipo, diseño y cálculo de las soldaduras debe seguir las prescripciones de las normas chilenas en vigencia.

Generalmente, las soldaduras se pueden fabricar tan resistentes como el metal que se une, para ello es necesario que el metal de los electrodos usados sea de igual o mayor resistencia que el metal a unir.

Es preferible que el centroide de las soldaduras coincida con el eje neutro del elemento estructural a fin de evitar excentricidades, especialmente en aquellos elementos sometidos a cargas que se repiten con cierta frecuencia.

Las soldaduras no deben ser ubicadas donde interfieran con los ensambles de una unión. Si esto no se puede evitar, ellas deben ser pulidas hasta que su superficie coincida con la de la placa de la unión.

9.5. Detalles y Fabricación

Los conectores pesados deben ser diseñados eficientemente puesto que ellos representan un porcentaje bastante elevado del costo de la estructura. Las placas de una pieza son preferidas a las soldadas pues son más económicas.

El tipo de conector a usar en las estructuras de madera laminada, debe ser recomendado por el calculista de los elementos laminados por estar más habituado a los esfuerzos que se deben transmitir. Los detalles del conector son expuestos en planos y dibujos que le sirven al fabricante del conector para su manufacturación.

Los detalles de una unión deben ser dibujados usando las escalas de: 1:20; 1:10 ó 1:5. En ellos se deben incluir todas las di men sio nes necesarias para una fabricación sin problemas. En lo posible se debe dar una lista de los materiales que se necesitan para fabricar tal unión. Esta lista puede, también incluirse en hojas separadas junto a las especificaciones de los materiales o de terminaciones.

Cuando se desee que los conectores se incluyan en el inte rior de la madera se hace necesario el diseño de uniones no convenciona les, lo cual deriva en un costo mayor.

9.6. Montaje de la Estructura

Los conectores necesarios para soportar o anclar la estruc tura, normalmente son de responsabilidad del usuario. Los fabricantes de madera laminada no proporcionan asesoría sobre el tipo y forma de es tos conectores, especialmente cuando ellos van en concreto armado.

El montaje de una estructura pesada de madera depende del diseño de los conectores de anclaje. Mientras más simples sean estos, ma yor velocidad de montaje de la estructura. Todo tipo de terminación en el conector tal como corte, pulidos, soldadura, debe realizarse en el ta ller, a fin de protegerlo allí contra la humedad de la obra o lugar del montaje.

Deberá planificarse con anterioridad el proceso de monta je y definir los elementos a usar durante su realización. Estos deben traerse contruidos del taller para acelerar el proceso. Todos los arrios tramientos y elementos adicionales para el montaje deben ser diseñados para resistir cualquier solicitud que se presente durante la erección de la estructura.

El apriete final de los pernos de una unión debe hacerse sólo cuando la estructura esté completamente alineada. Esto permitirá el fácil ajuste de los elementos estructurales y sólo una vez que la estructura esté alineada, se procederá a un apriete final que la dejará en la posición requerida.

10.0 PROGRAMA DE ENSAYOS

10.1. Clavos Helicoidales



Todos los conectores ensayados se unieron con un nuevo tipo de clavo que está fabricando INCHALAM. Su espiga es helicoidal y los clavos usados tenían una longitud de $1\frac{3}{4}$ ". Las características de este tipo de clavo y las de aquel con longitud de $2\frac{1}{2}$ ", se incluyen en las Tablas N° 35 y N° 36, respectivamente.

El momento de fluencia obtenido en ellos demuestra que el alambroón del cual ellos se fabrican es de la misma calidad que el usado para la fabricación del clavo liso.

La resistencia a la extracción directa con carga normal y paralela a las fibras se incluyen en las Tablas N° 37 y N° 38.

En la Tabla N° 39 se incluye la resistencia a la extracción directa obtenida con un clavo liso introducido en madera de Pino radiata, seca, y ensayado de acuerdo a la norma chilena NCh 979.

De la simple observación entre los resultados obtenidos para clavos helicoidales y los correspondientes a clavos lisos se concluye la mayor resistencia de aquéllos, especialmente cuando la carga es paralela a las fibras de la madera. Se hace presente que la penetración

TABLA Nº 35. CLAVO HELICOIDAL.

ENSAYO : Flexión

ORIGEN : INCHALAM

LONGITUD : 1 3/4 "

LUZ DE ENSAYO : 22 mm

PROBETA	LARGO L_c mm	DIAMETRO d_c mm	CARGA MAXIMA Kg	CARGA LIMITE DE PROPORCIONA- LIDAD Kg	CARGA FLUENCIA P_y Kg	MOMENTO FLUENCIA M_y N x mm
1-1	43,2	3,2	85,5	36,5	66,5	3658
1-2	43,2	3,2	81,0	31,0	66,0	3630
1-3	43,0	3,0	80,0	38,0	73,5	4043
1-4	43,0	3,0	77,0	32,0	70,0	3850
1-5	43,0	3,0	74,0	32,5	62,0	3410
1-6	43,2	3,0	75,0	33,0	71,5	3932
1-7	42,6	3,0	76,0	30,5	69,5	3822
1-8	43,4	3,0	81,0	29,5	71,0	3905
1-9	43,4	3,0	73,0	32,0	67,0	3685
1-10	42,4	3,0	75,0	36,0	68,5	3768
1-11	42,4	3,0	73,0	38,5	69,0	3795
1-12	42,4	3,0	72,0	33,5	66,3	3648
1-13	43,5	3,0	74,0	36,0	61,0	3105
1-14	43,0	3,0	79,0	34,0	68,5	3768
1-15	42,4	3,0	74,0	38,5	68,0	3740

PROMEDIO : 3717,3 N x mm

DESV. ESTANDAR : 225,832

COEF. DE VARIACION : 6,08 %

TABLA Nº 36. CLAVO HELICOIDAL.

ENSAYO : Flexión

ORIGEN : INCHALAM

LONGITUD : 2 1/2"

LUZ DE ENSAYO : 40 mm

PROBETA	LARGO L_c mm	DIAMETRO d_c mm	CARGA MAXIMA Kg	CARGA LIMITE DE PROPORCIONA- LIDAD Kg	CARGA FLUENCIA P_y Kg	MOMENTO FLUENCIA M_y N x mm
2-1	62,3	3,0	41	14,5	38,5	3850
2-2	62,0	3,0	40	15,0	37,0	3700
2-3	61,7	3,0	40	18,0	37,0	3700
2-4	61,7	2,9	39	21,0	39,0	3900
2-5	61,7	3,0	38	16,5	36,5	3650
2-6	61,7	3,0	40	13,5	36,0	3600
2-7	62,0	3,0	40	19,0	37,5	3750
2-8	61,7	3,0	39	20,0	35,0	3500
2-9	62,0	3,0	40	19,0	37,5	3750
2-10	61,7	3,0	38	18,5	34,0	3400
2-11	63,6	3,0	39	13,0	34,5	3450
2-12	61,7	2,9	41,5	16,0	36,7	3670
2-13	61,5	3,0	41,0	19,0	36,5	3650
2-14	61,9	3,0	40,0	16,5	36,5	3650
2-15	61,9	3,0	40,0	17,5	35,5	3550

PROMEDIO : 3651,3 N x mm

DESV. ESTANDAR : 137,678

COEF. DE VARIACION : 3,77 %

TABLA Nº 37. EXTRACCION DE CLAVO HELICOIDAL

ESPECIE : Pino radiata

ORIGEN : INCHALAM

LONGITUD : 1 3/4"

ESTADO : Seco (H ≈ 9,6%)

Nº	PROBETA	R _t (Kg)	R _r (Kg)	R _p (Kg)	R _{normal} (Kg)	R _{paralelo} (Kg)
1	1-001	38,5	41,0	34,0	39,75	34,00
2	1-002	43,0	44,0	51,5	43,50	51,50
3	1-003	66,5	38,5	34,0	52,50	34,00
4	1-004	43,5	41,0	27,5	42,25	27,50
5	1-005	33,5	25,5	35,0	29,50	35,00
6	1-006	46,0	33,5	33,5	39,75	33,50
7	1-007	33,5	34,5	50,0	34,00	50,00
8	1-008	42,5	54,0	46,0	48,25	46,00
9	1-009	55,0	59,0	53,0	57,00	53,00
10	1-010	41,5	30,0	63,0	35,75	63,00
MEDIA					42,23	42,75
DESVIACION ESTANDAR					8,46	11,48

TABLA N° 38. EXTRACCION DE CLAVO HELICOIDAL

ESPECIE : Pino radiata

ORIGEN : INCHALAM

LONGITUD : 2 1/2"

ESTADO : Seco (H ≈ 9,6%)

Nº	PROBETA	R _t (Kg)	R _r (Kg)	R _p (Kg)	R _{normal} (Kg)	R _{paralelo} (Kg)
1	2-001	89,5	109,5	101,0	99,50	101,00
2	2-002	129,0	139,0	110,5	134,00	110,50
3	2-003	107,0	139,0	74,5	123,00	74,50
4	2-004	75,0	87,5	98,0	81,25	98,00
5	2-005	132,0	121,5	135,5	126,75	135,50
6	2-006	71,0	68,0	79,5	69,50	79,50
7	2-007	107,5	75,0	56,0	91,25	56,00
8	2-008	78,0	59,0	56,0	68,50	56,00
9	2-009	107,0	97,0	109,5	102,00	109,50
10	2-010	111,5	122,0	63,5	116,75	63,50
MEDIA					101,25	88,40
DESVIACION ESTANDAR					23,61	26,65

en la madera tanto de los clavos helicoidales como de los lisos fue igual a una misma longitud.

TABLA N° 39. EXTRACCION DE CLAVO LISO.

ESPECIE : Pino radiata

ORIGEN : INCHALAM

LONGITUD : 2"

ESTADO : Seco

DIAMETRO : 2,75 mm

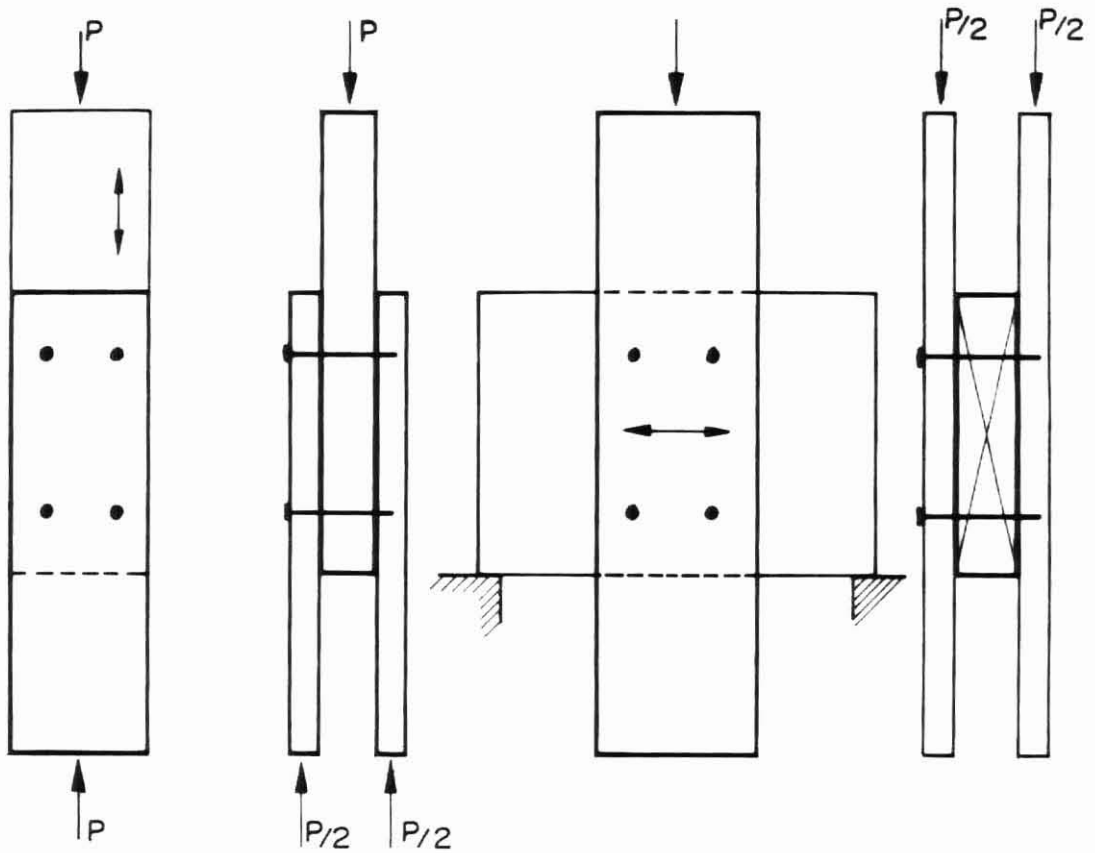
RESISTENCIA	R_{normal} (Kg)	$R_{paralela}$ (Kg)
PROMEDIO	41,0	28,0
DESVIACION ESTANDAR	16,0	12,1

Otra característica que interesa para el cálculo de las uniones clavadas es el aplastamiento generado en la madera por la acción del clavo usado. Los resultados obtenidos para los clavos helicoidales usados se incluyen en la Tabla N° 40.

La resistencia de estos clavos helicoidales a la extracción lateral se determinó mediante el ensayo de probetas fabricadas con tres piezas de Pino radiata, unidas con 4 clavos sometidos a cizalle doble con carga paralela a la fibra del elemento central y carga normal a la fibra de dicho elemento central. La forma de estas probetas se señalan en la Figura N° 24.

TABLA Nº 40. APLASTAMIENTO DE LA MADERA DE PINO RADIATA BAJO LA ACCION DE UN CLAVO HELICOIDAL.
CARGA PARALELA A LA FIBRA.

LONGITUD DEL CLAVO	PROBETA Nº	DIAME- TRO CLAVO d_c (mm)	ESPESOR MADERA e (mm)	CARGA TOTAL EN LIMITE		TENSION DE APLASTA- MIENTO EN LIMITE DE		HUMEDAD H (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
				DE PROPOR- CIONAL. (Kg)	DE FLUENCIA (Kg)	PROPORCIO- NALIDAD (Kg/cm ²)	FLUENCIA (Kg/cm ²)		DE REFEREN- CIA	BASICA	ANHIDRA
1 3/4 "	1	3.0	22.0	215	380	325,8	575,8	9.3	619	574	602
	2	3.0	22.0	148	280	224,2	424,2	9.3	424	395	403
	3	3.0	22.0	225	380	340,9	575,8	11.2	715	662	689
	4	3.0	22.0	200	295	303,0	447,0	9.4	623	578	612
	5	3.0	22.0	265	355	401,5	537,9	9.2	641	595	625
	6	3.0	22.0	305	350	462,1	530,3	9.4	444	417	432
	7	3.0	22.0	210	350	318,2	530,3	9.4	509	471	485
	8	3.0	22.0	350	410	530,3	621,2	9.0	367	339	351
	9	3.0	22.0	325	400	492,4	606,1	8.8	515	477	494
	10	3.0	22.0	230	317	348,5	480,3	12.8	404	375	387
	PROMEDIO	3.0	22.0	247,3	351,7	374,7	532,9	9.8	526,1	488,3	508
2 1/2 "	1	3.0	32.0	205	327	213,5	340,6	15.1	536	486	505
	2	3.0	31.8	280	355	293,5	372,1	11.8	577	523	546
	3	3.0	32.0	225	375	234,4	390,6	10.3	483	448	462
	4	3.0	32.0	224	310	233,3	322,9	9.7	419	390	401
	5	3.0	32.0	180	275	187,5	286,5	10.5	471	437	453
	6	3.0	32.0	250	427	260,4	444,8	10.3	492	458	476
	7	3.0	32.0	235	320	244,8	333,3	10.7	620	574	598
	8	3.0	32.0	150	327	156,3	340,6	10.3	358	326	332
	9	3.0	32.0	200	318	208,3	331,3	10.4	351	327	337
	10	3.0	32.0	205	390	213,5	406,3	10.5	604	556	582
	PROMEDIO	3.0	32.0	215,4	352,4	224,6	356,8	11.0	491,1	452,5	469,2



a) Compresión Paralela a la Fibra del elemento central.

b) Compresión Normal a la Fibra del elemento central.

FIGURA Nº 24. Tipo de probetas ensayadas en uniones con clavos helicoidales.

Los resultados obtenidos en estas probetas se incluyen en la Tabla N° 41 para clavos helicoidales de $1\frac{3}{4}$ " y en la Tabla N° 42 para los de $2\frac{1}{2}$ " de longitud. Cada una de estas Tablas contempla cargas paralela y normales a las fibras del elemento central.

En las probetas de la Figura N° 24 el espesor de los elementos laterales se hizo igual a la mitad del espesor del elemento central y por lo tanto la suma de los espesores de las tres piezas fue igual a $1\frac{3}{4}$ " y $2\frac{1}{2}$ ", respectivamente.

10.2. Conectores Livianos Ensayados

Los tipos de conectores livianos que se incluyeron en el programa de ensayo fueron de la marca KANT-SAG, cuyo distribuidor en Chile es la Sociedad Constructora Busel & Busel.

De tal fabricante se ensayaron los tipos identificados como: JH-20; JP-26S; MP-A1; JR-SS y JE-SSSR. La forma y dimensiones de estos conectores se incluyen en las Figuras N° 25 a N° 29.

La madera usada en las uniones fue Pino radiata, seco.

Los ensayos, a los cuales se sometieron las uniones, fueron: Flexión y Torsión. El procedimiento de ensayo se ajustó a las especificaciones de la norma ASTM D 1761, que se incluyen en el Anexo de este capítulo.

El número de repeticiones para cada ensayo y el conjunto de parámetros fue igual a 5.

Lo anterior se puede resumir de la siguiente forma:

TABLA Nº 41. UNIONES CLAVADAS CON CLAVOS HELICOIDALES DE $1\frac{3}{4}$ " DE LONGITUD. NUMERO DE CLAVOS: 4.

SOLICITACION	PROBETA Nº	DIAMETRO CLAVO d_c (mm)	CARGA TOTAL EN LIMITE		CARGA POR CLAVO EN LIMITE		HUMEDAD H (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
			DE PROPORCIO NALIDAD (Kg)	DE FLUENCIA (Kg)	DE PROPORCIO NALIDAD (Kg)	DE FLUENCIA (Kg)		DE REFEREN CIA	BASICA	ANHIDRA
COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS	1	3.0	410	790	102,5	197,5	9.4	442	408	424
	2	3.0	390	700	97,5	175,0	9.2	424	392	403
	3	3.0	430	740	107,5	148,5	9.5	439	404	423
	4	3.0	450	740	112,5	185,0	9.6	410	374	388
	5	3.0	450	810	112,5	185,0	9.4	410	377	393
	6	3.0	390	690	97,5	172,5	9.3	419	386	402
	7	3.0	390	790	97,5	197,5	9.5	440	407	423
	8	3.0	390	710	97,5	177,5	9.4	411	380	395
	9	3.0	480	780	120,0	195,0	9.6	428	395	415
	10	3.0	360	720	90,0	180,0	9.5	426	393	411
	PROMEDIO	3.0	414	747,0	103,5	181,4	9.4	424,9	391,6	407,7
COMPRESION NORMAL A LAS FIBRAS	1	3.0	360	920	90,0	230,0	9.5	598	553	581
	2	3.0	440	850	110,0	212,5	10.3	431	395	409
	3	3.0	370	770	92,5	192,5	10.0	532	495	511
	4	3.0	420	930	105,0	232,5	9.6	577	533	557
	5	3.0	410	950	102,5	237,5	9.5	555	513	526
	6	3.0	390	715	97,5	178,8	10.7	482	444	462
	7	3.0	300	840	75,0	210,0	9.5	510	474	488
	8	3.0	690	990	172,5	247,5	9.3	475	438	461
	9	3.0	420	890	105,0	222,5	9.1	474	439	454
	10	3.0	280	660	70,0	145,0	10.2	452	419	432
	PROMEDIO	3.0	408	851,5	102,0	210,9	9.8	508,6	470,3	488,1

TABLA Nº 42. UNIONES CLAVADAS CON CLAVOS HELICOIDALES DE 2 1/2" DE LONGITUD. NUMERO DE CLAVOS: 4.

SOLICITACION	PROBETA Nº	DIAMETRO CLAVO d _c (mm)	CARGA TOTAL EN LIMITE		CARGA POR CLAVO EN LIMITE		HUMEDAD H (%)	DENSIDAD (Kg/m³)		
			DE PROPORCIO NALIDAD (Kg)	DE FLUENCIA (Kg)	DE PROPORCIO NALIDAD (Kg)	DE FLUENCIA (Kg)		DE REFEREN CIA	BASICA	ANHIDRA
COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS	1	3.0	560	950	140,0	237,5	9.8	416	383	397
	2	3.0	500	1040	125,0	260,0	9.9	424	393	406
	3	3.0	550	1180	137,5	295,0	10.7	414	379	393
	4	3.0	530	1120	132,5	280,0	10.2	489	444	460
	5	3.0	570	1150	142,5	287,5	10.0	501	455	474
	6	3.0	500	940	125,0	235,0	9.8	427	395	410
	7	3.0	520	1040	130,0	260,0	9.8	391	360	379
	8	3.0	530	1060	132,5	265,0	9.9	421	388	401
	9	3.0	570	1060	142,5	265,0	10.7	445	408	423
	10	3.0	500	1080	125,0	270,0	10.5	499	461	480
	PROMEDIO	3.0	533	1062	133,3	265,5	10.1	442,7	406,6	422,3
COMPRESION NORMAL A LAS FIBRAS	1	3.0	470	1120	117,5	280,0	10.8	458	417	430
	2	3.0	500	1140	125,0	285,0	10.3	476	437	451
	3	3.0	430	1080	107,5	270,0	10.3	496	461	475
	4	3.0	450	840	112,5	210,0	10.1	434	403	413
	5	3.0	420	950	105,0	237,5	9.9	481	446	460
	6	3.0	310	840	77,5	210,0	10.3	447	418	430
	7	3.0	440	1040	110,0	260,0	11.4	503	465	487
	8	3.0	440	980	110,0	245,0	10.5	471	439	450
	9	3.0	360	770	90,0	192,5	10.1	412	388	396
	10	3.0	550	900	137,5	225,0	10.3	501	460	474
	PROMEDIO	3.0	437	966	109,3	241,5	10.4	467,9	433,4	446,6

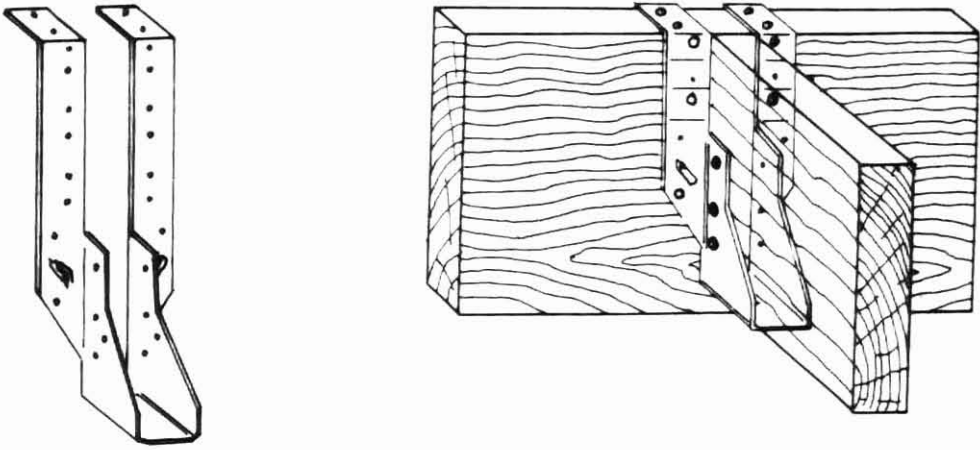


FIGURA Nº 25. Conector JH-20

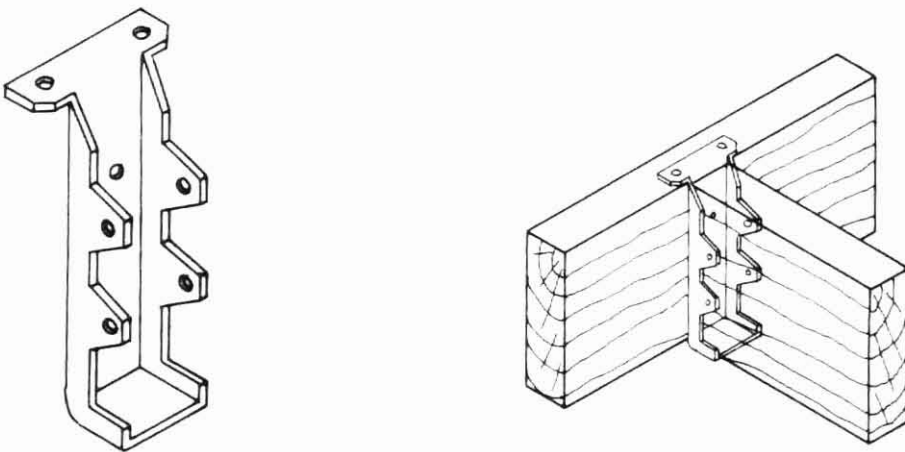


FIGURA Nº 26. Conector JP-26S

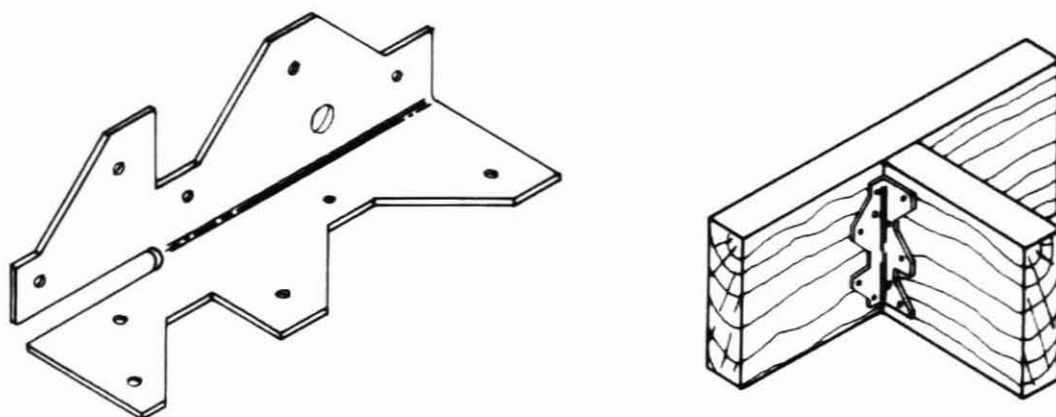


FIGURA Nº 27. Conector MP-A1

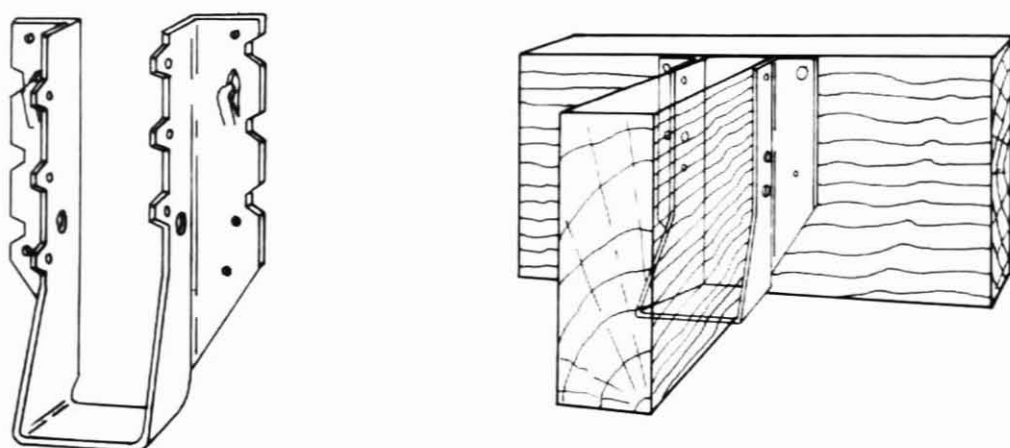


FIGURA Nº 28. Conector JE-SS

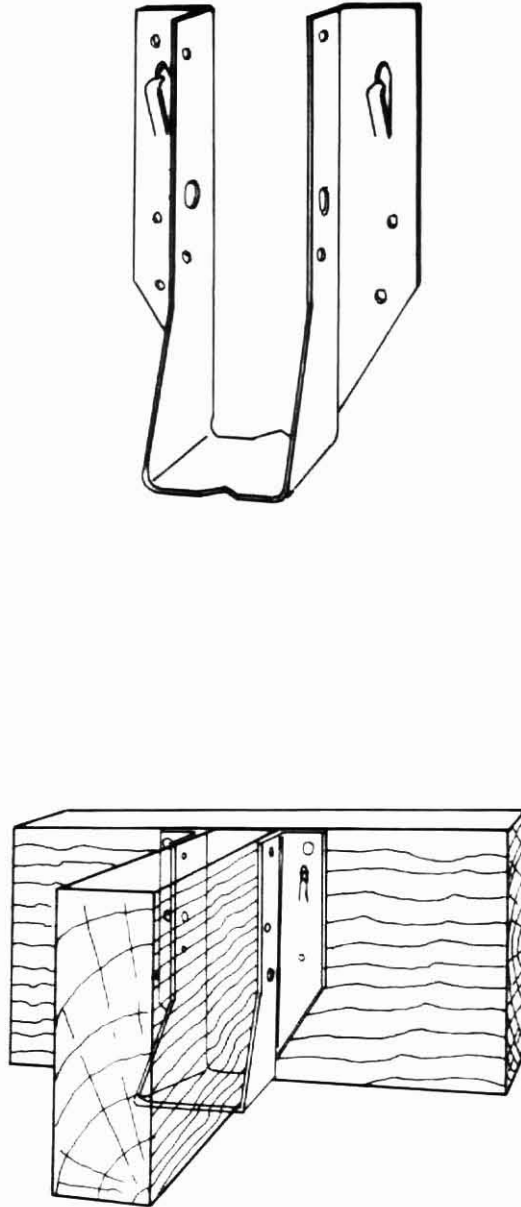


FIGURA Nº 29. Conector JR-SSSR

Tipos de conectores livianos :	5
Solicitaciones :	2 (Flexión y Torsión)
<u>Repeticiones :</u>	<u>5</u>
NUMERO TOTAL DE ENSAYOS : $5 \times 2 \times 5 = 50$	

El tipo de clavo usado en la unión conector madera fue el helicoidal de 1³/₄" de longitud. La cantidad de clavos para cada tipo de conector se señala en las Figuras N° 25 a N° 29.

10.3. Conectores Pesados Ensayados

Los tipos de conectores pesados fueron diseñados por personal de la División Industrias del INFOR, de acuerdo al conocimiento y experiencia obtenida en el diseño y construcción de estructuras de madera laminada en Chile.

Se eligieron los tipos identificados en las Figuras N° 30 a N° 33 con los números: ①; ②; ④ y ⑤. En dichas Figuras se incluye la forma y las dimensiones de cada uno de estos tipos de conectores.

La madera usada en las uniones fue Pino radiata laminado encolado.

Los ensayos, a los cuales se sometieron las uniones, fueron: Flexión y Torsión y se realizaron de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D 1761 (ver Anexo).

Se usaron 5 repeticiones para cada combinación de parámetros.

En resumen :	Tipos de conectores pesados :	4
	Solicitaciones :	2 (Flexión y Torsión)
	<u>Repeticiones :</u>	<u>5</u>
NUMERO TOTAL DE ENSAYOS : $4 \times 2 \times 5 = 40$		

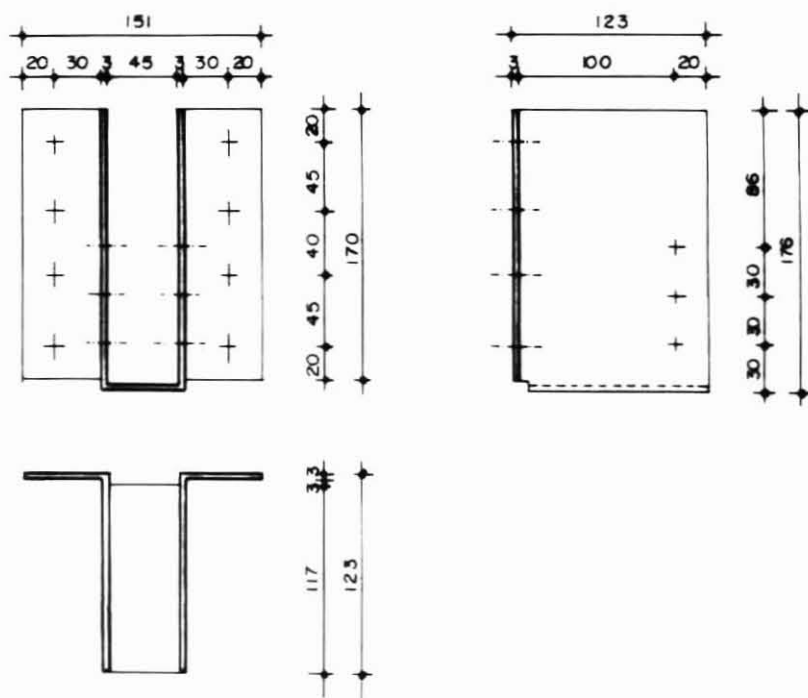


FIGURA Nº 30. Conector pesado (1).

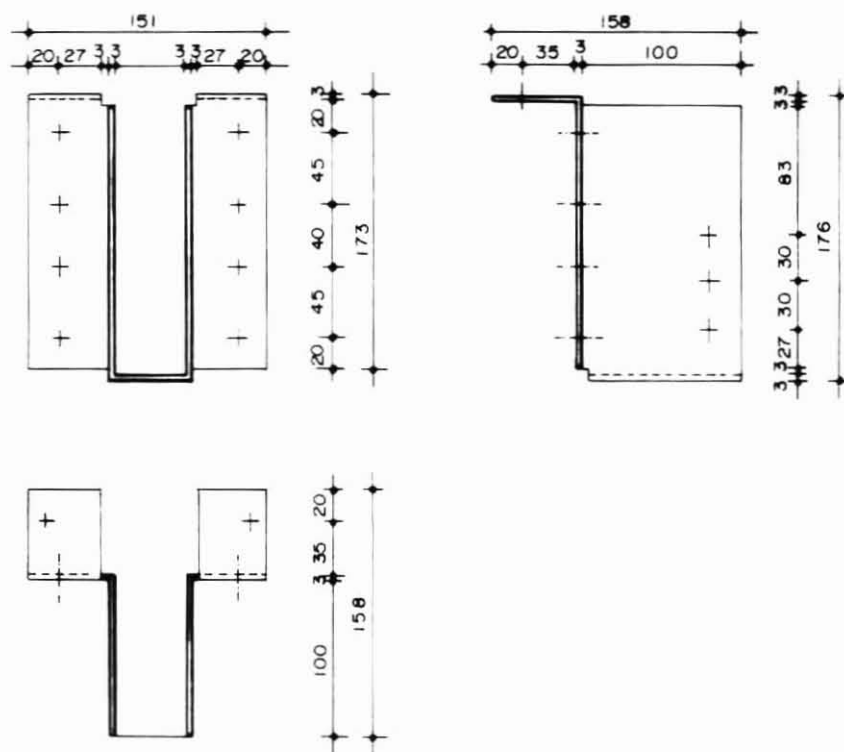


FIGURA Nº 31. Conector pesado (2).

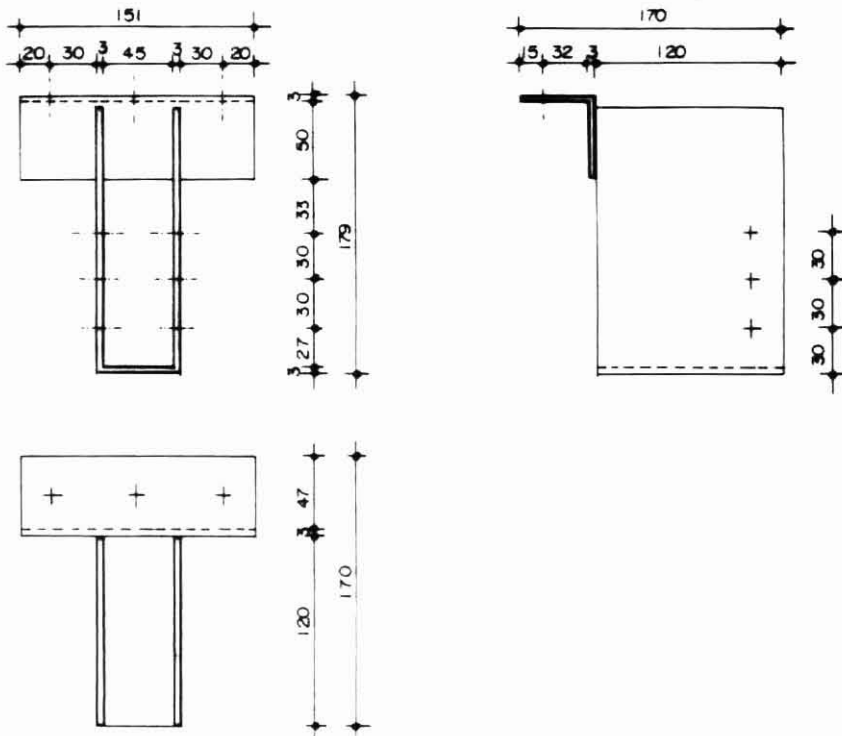


FIGURA Nº 32. Conector pesado (4).

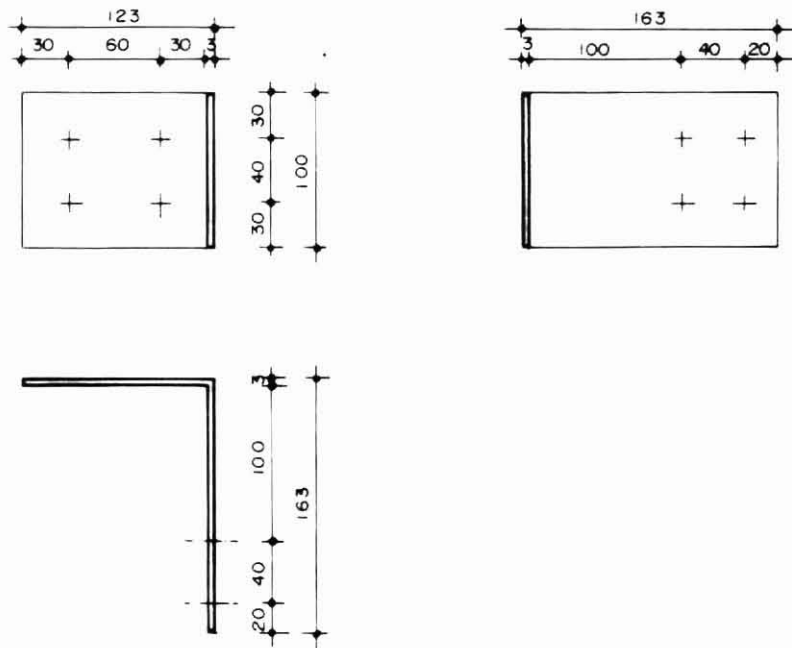


FIGURA Nº 33. Conector pesado (5).

El tipo de clavo usado con los conectores pesados fue el helicoidal, fabricado por INCHALAM, de 1 3/4" de longitud. La cantidad de clavos usados por conector pesado queda señalado en las Figuras N° 30 a N° 33.

11.0 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

11.1. Procedimiento de Ensayo

11.1.1. Ensayos de Flexión

El tipo de probeta usada se muestra en la Figura A.1. del Anexo. De los datos obtenidos con el procedimiento de ensayo descrito en A.6.1. (ver Anexo), se dibujó la curva carga-deformación que resultó del tipo incluido en la Figura N° 34.

De este gráfico se determinó la Carga Normal que corresponde a la carga necesaria para obtener una deformación o desplazamiento igual a 3 mm en la unión de cada conector liviano y de 5 mm para cada conector pesado.

El esquema del ensayo y el análisis efectuado para obtener la Carga Normal se indica en la Figura N° 35.

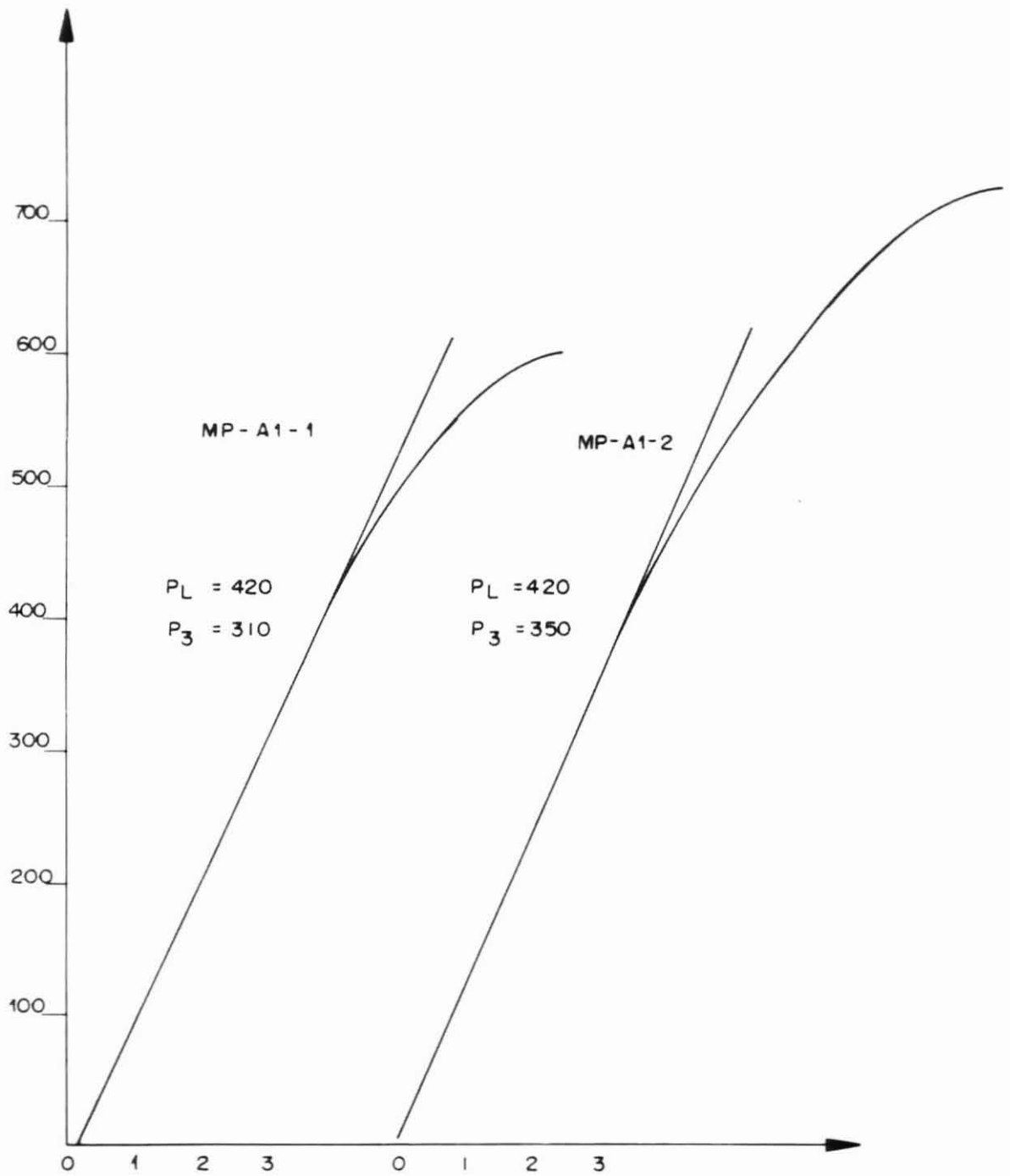
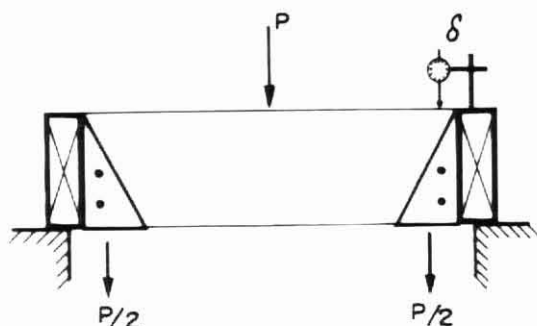


FIGURA N° 34. Ensayo de flexión curva carga-deformación.



P = carga aplicada a la probeta.

δ = deformación o desplazamiento en la unión de un conector.

$P/2$ = carga aplicada a un conector.

FIGURA N° 35. Esquema del ensayo de flexión.

Los resultados obtenidos para los conectores livianos y pesados se presentan en las Tablas N° 43 y N° 44, respectivamente.

La Tabla N° 45 entrega la Carga Normal caracterfstica (R^*), por conector, determinada mediante la expresión:

$$R^* = \bar{R} - 1,645 \times s_R$$

Con :

$\bar{R}$ = carga normal por conector.

s_R = desviación estándar de la carga normal.

La Carga Normal caracterfstica da el valor mínimo para un nivel de confianza de 95%, lo anterior asegura, estadísticamente, que de 100 conectores del tipo analizado, en 95 se obtiene una Carga Normal superior al valor caracterfstico.

TABLA Nº 43. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS CONECTORES LIVIANOS. MADERA USADA: PINO RADIATA, SECO.
ENSAYO: FLEXION.

TIPO DE CONECTOR LIVIANO	REPETICION Nº	CARGA NORMAL PARA UN CONECTOR *	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD (Kg)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m³)		
					DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
JH-20	1			10,5	592	536	558
	2	899,2	927,9	10,3	447	406	396
	3	562,0	745,6	10,5	468	426	442
	4	521,8	911,3	10,7	555	501	529
	5	618,2	787,1	10,8	530	484	506
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEFICIENTE DE VARIACION	650,3 170,6 26,2%	843,0 90,3 10,7%	10,56 0,19 1,8%	518 60 11,6%	471 54 11,5%	486 66 13,6%
JP-26 S	1	417,5	704,2	10,3	565	516	540
	2	369,3	414,2	10,1	428	392	404
	3	393,4	439,1	10,3	463	425	441
	4	489,7	497,1	10,3	483	442	454
	5	385,4	455,7	10,5	539	492	515
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEFICIENTE DE VARIACION	411,1 47,3 11,5%	502,1 117,0 23,3%	10,3 0,141 1,4%	496 56 11,3%	453 50 11,0%	471 56 11,9%
MP-A1	1	497,8	695,9	10,7	468	428	448
	2	562,0	695,9	10,5	453	416	432
	3	521,8	737,4	10,6	456	420	437
	4	529,9	762,2	10,7	461	418	437
	5	513,8	952,8	10,2	441	405	421
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEFICIENTE DE VARIACION	525,1 23,8 4,5%	768,8 106,6 13,9%	10,54 0,21 2,0%	456 10 2,2%	417 8 1,9%	435 10 2,3%

(Continúa)

TABLA N° 43. (Continuación)

TIPO DE CONECTOR LIVIANO	REPETICION N°	CARGA NORMAL PARA UN CONECTOR *	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD (Kg)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m³)		
					DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
JR-SS	1	329,2	447,4	10,3	375	344	355
	2	240,9	613,1	10,4	480	441	456
	3	369,3	480,5	10,5	438	403	416
	4	264,9	430,8	10,5	369	339	343
	5	297,0	596,5	10,6	452	412	431
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEFICIENTE DE VARIACION	300,2 51,0 17,0%	513,7 85,3 16,6%	10,46 0,114 1,1%	423 48,8 11,5%	388 45 11,6%	400 49 12,3%
JE-SSSR	1	136,5	546,8	10,8	474	430	447
	2	200,7	331,4	10,9	462	419	438
	3	160,6	397,7	10,7	386	352	366
	4	104,4	348,0	10,5	465	421	442
	5	208,7	579,9	10,5	442	402	422
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEFICIENTE DE VARIACION	162,2 43,7 27,0%	440,8 115,2 26,1%	10,68 0,179 1,7%	446 35 7,8%	405 31 7,7%	423 33 7,8%

* Carga que provoca una deformación o desplazamiento igual a 3 mm en la unión.

TABLA Nº 44. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS CONECTORES PESADOS. MADERA USADA: PINO RADIATA LAMINADO ENCOLADO. ENSAYO: FLEXION.

TIPO DE CONECTOR PESADO	REPETICION Nº	CARGA NORMAL PARA UN CONECTOR *	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
					DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
①	1	298,3	1383,6	10,0	476	433	461
	2	571,7	1201,3	10,0	477	435	459
	3	422,5	1242,7	9,8	481	440	463
	4	803,6	1300,7	9,9	498	454	476
	5	596,5	911,3	9,9	512	464	491
	PROMEDIO	538,5	1207,9	9,9	488,8	445,2	470
	DESVIACION ESTANDAR	191,0	179,4	0,08	15,7	13,3	13,5
	COEFICIENTE DE VARIACION	35,5%	14,9%	0,8%	3,2%	3,0%	2,9%
②	1	1135,0	1988,4	9,9	450	411	424
	2	1068,7	1507,8	10,0	471	430	451
	3	414,2	1905,5	9,4	449	409	428
	4	1159,9	1988,4 *	9,7	481	439	455
	5	571,7	1822,7	9,7	483	455	465
	PROMEDIO	869,9	1842,6	9,7	466,8	428,8	444,6
	DESVIACION ESTANDAR	350,2	199,4	0,23	16,44	19,37	17,78
	COEFICIENTE DE VARIACION	40,3%	10,8%	2,4%	3,5%	4,5%	4,0%
④	1	903,0	1698,4	9,7	485	443	461
	2	745,6	1499,6	9,9	469	428	447
	3	646,2	1383,6	9,9	466	425	446
	4	654,5	1441,6	11,7	506	462	483
	5	521,9	1516,1	10,3	496	452	470
	PROMEDIO	694,2	1507,7	10,3	484,4	442,0	461,4
	DESVIACION ESTANDAR	141,3	118,6	0,81	17,16	15,7	15,69
	COEFICIENTE DE VARIACION	20,4%	7,9%	7,9%	3,5%	3,6%	3,4%

(Continúa)

TABLA N° 44. (Continuación)

TIPO DE CONECTOR PESADO	REPETICION N°	CARGA NORMAL PARA UN CONECTOR *	CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD (Kg)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m³)		
					DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
5	1	178,1	364,5	9,7	487	444	467
	2	219,5	290,0	9,9	472	429	457
	3	290,0	505,4	10,1	482	437	461
	4	223,7	356,2	9,8	496	452	472
	5	182,3	314,8	9,9	473	429	459
	PROMEDIO	218,7	366,2	9,88	482	438,2	463,2
	DESVIACION ESTANDAR	44,9	83,6	0,15	10,02	9,93	6,18
	COEFICIENTE DE VARIACION	20,6%	22,8%	1,5%	2,1%	2,3%	1,3%

* Carga que provoca una deformación o desplazamiento igual a 5 mm en la unión.

TABLA Nº 45. CARGA NORMAL CARACTERISTICA PARA LOS CONECTORES ENSAYADOS.

CONECTOR	TIPO	CARGA PROMEDIO (Kg)	DESVIACION ESTANDAR (Kg)	CARGA NORMAL CARACTERISTICA (R*) (Kg)
LIVIANOS	JH-20	650,3	170,6	369,7
	JP-26 S	411,1	47,3	333,3
	MP-A1	525,1	23,8	485,9
	JR-SS	300,2	51,0	216,3
	JE-SSSR	162,2	43,7	90,3
PESADOS	①	538,5	191,0	224,3
	②	869,9	350,2	293,8
	④	694,2	141,3	461,8
	⑤	218,7	44,9	144,8

11.1.2. Ensayos de Torsión

El tipo de probeta usada se incluye en la Figura A.2. del Anexo. De los datos obtenidos con el procedimiento de ensayo descrito en A.6. (ver Anexo), se dibujaron las curvas momento-rotación que resultaron de la forma señalada en la Figura Nº 36.

De estos gráficos se determinó el momento de torsión en el límite elástico y la correspondiente rotación (giro) que presentaba la unión para dicho límite.

Los valores obtenidos se incluyen en la Tabla Nº 46 para conectores livianos y en la Tabla Nº 47 para conectores pesados.

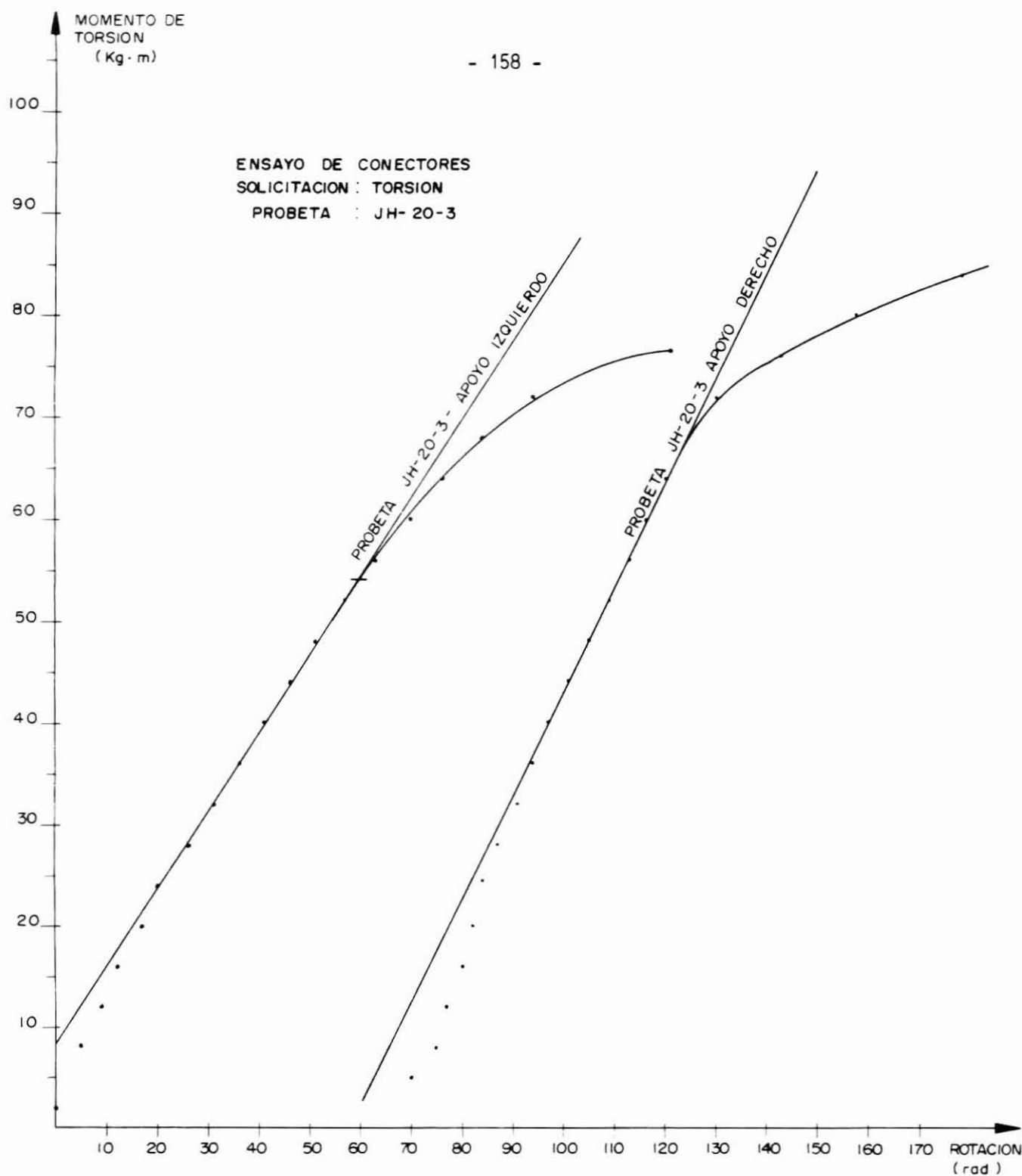


FIGURA Nº 36. Curva momento-rotación.

TABLA N° 46. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS CONECTORES LIVIANOS. ENSAYO: TORSION.

TIPO DE CONECTOR LIVIANO	REPETICION N°	VALORES EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m³)		
		MOMENTO DE TORSION (Kg x m)	ROTACION DEL CONECTOR (rad)		DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
JP-26 S	1	24,0	0,011	10,2	477	436	453
	2	28,0	0,061	10,0	421	387	400
	3	24,0	0,014	10,2	389	356	361
	4	24,0	0,030	10,3	413	378	388
	5	29,0	0,030	10,2	457	417	437
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	25,8 2,49 9,7%	0,029 0,0198 68,0%	10,2 0,1 1,0%	431,4 35,3 8,2%	394,8 31,8 8,1%	407,8 37,2 9,1%
JH-20	1	32,0	0,020	10,1	540	486	507
	2	32,0	0,031	10,2	553	506	534
	3	44,0	0,031	9,9	561	518	541
	4	28,0	0,025	10,4	472	427	445
	5	28,0	0,027	10,0	419	385	400
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	32,8 6,57 20,0%	0,026 0,0046 17,2%	10,1 0,2 2,0%	509,0 61,4 12,1%	464,4 56,5 12,2%	485,4 60,9 12,5%
JR-SSSR	1	28,0	0,038	9,7	450	412	431
	2	16,0	0,027	9,6	453	416	433
	3	26,0	0,025	9,8	476	436	458
	4	20,0	0,026	10,1	453	415	429
	5	24,0	0,059	10,0	436	402	414
	PROMEDIO DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	22,8 4,82 21,1%	0,035 0,0144 41,2%	9,8 0,2 2,0%	453,6 14,4 3,2%	416,2 12,4 3,0%	433,0 15,9 3,7%

(Continúa)

TABLA N° 46. (Continuación)

TIPO DE CONECTOR LIVIANO	REPETICION N°	VALORES EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
		MOMENTO DE TORSION (Kg × m)	ROTACION DEL CONECTOR (rad)		DE REFERENCIA	BASICA	ANHIDRA
MP-A1	1	44,0	0,086	9,9	461	423	453
	2	40,0	0,141	9,6	409	376	392
	3	36,0	0,100	9,4	474	436	449
	4	36,0	0,086	9,7	437	401	415
	5	40,0	0,088	10,1	512	472	493
	PROMEDIO	39,2	0,100	9,7	458,6	421,6	440,4
	DESVIACION ESTANDAR	3,35	0,0235	0,3	38,8	36,2	38,7
	COEF. DE VARIACION	8,5%	23,5%	3,1%	8,5%	8,6%	8,8%
JE-SS	1	28,0	0,094	9,9	497	457	474
	2	24,0	0,077	10,3	473	432	449
	3	24,0	0,065	9,9	461	425	462
	4	28,0	0,072	9,9	486	445	459
	5	28,0	0,080	9,6	422	398	409
	PROMEDIO	26,4	0,078	9,9	467,8	431,4	450,6
	DESVIACION ESTANDAR	2,19	0,0108	0,2	29,0	22,3	24,9
	COEF. DE VARIACION	8,3%	13,9%	2,0%	6,2%	5,2%	5,5%

TABLA N° 47. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS CONECTORES PESADOS. ENSAYO: TORSION.

TIPO DE CONECTOR PESADO	REPETICION Nº	VALORES EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
		MOMENTO DE TORSION (Kg × m)	ROTACION DEL CONECTOR (rad)		DE REFEREN CIA	BASICA	ANHIDRA
①	1	148	0,088	11,0	509	458	476
	2	100	0,026	10,9	498	449	471
	3	118	0,042	10,7	496	449	473
	4	124	0,057	11,2	488	439	471
	5	120	0,028	11,4	481	433	448
	PROMEDIO	122,0	0,048	11,0	494,4	445,6	467,8
	DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	17,2 14,1%	0,025 52,9%	0,27 2,5%	10,6 2,1%	9,7 2,2%	11,3 2,4%
②	1	178	0,048	11,2	489	442	463
	2	148	0,033	10,9	481	432	467
	3	205	0,045	11,1	496	438	467
	4	182	0,047	11,4	475	428	448
	5	149	0,052	11,1	489	441	467
	PROMEDIO	172,4	0,045	11,1	486,0	436,2	462,4
	DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	24,13 14,0%	0,0072 15,9%	0,2 1,8%	8,1 1,7%	6,0 1,4%	8,2 1,8%

(Continúa)

TABLA N° 47. (Continuación)

TIPO DE CONECTOR PESADO	REPETICION N°	VALORES EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (Kg/m ³)		
		MOMENTO DE TORSION (Kg × m)	ROTACION DEL CONECTOR (rad)		DE REFEREN CIA	BASICA	ANHIDRA
④	1	50	0,014	11,1	495	451	467
	2	78	0,020	11,2	484	436	450
	3	83	0,050	11,0	475	427	461
	4	74	0,038	10,8	498	451	468
	5	49	0,012	11,0	491	443	457
	PROMEDIO	66,8	0,027	11,0	488,6	441,6	460,6
	DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	16,12 24,1%	0,0165 61,7%	0,1 0,9%	9,2 1,9%	10,3 2,3%	7,4 1,6%
⑤	1	70	0,036	11,1	463	418	432
	2	74	0,057	11,4	461	415	431
	3	74	0,049	11,2	473	427	444
	4	72	0,043	11,2	486	438	451
	5	74	0,036	10,9	456	408	419
	PROMEDIO	72,8	0,044	11,2	467,8	421,2	435,4
	DESVIACION ESTANDAR COEF. DE VARIACION	1,79 2,5%	0,009 20,3%	0,2 1,8%	11,9 2,5%	11,6 2,8%	12,4 2,8%

12.0 CONCLUSIONES

12.1. Conectores Livianos

12.1.1. El conector liviano prefabricado más resistente a la solicitación de flexión es el tipo JH-20. Esta resistencia es aportada, en gran medida, por el dobléz del conector que queda ubicado en el canto de la pieza.

La carga normal promedio de este tipo de conector es de 650 Kg por unidad. Ver Figura N° 25.

El segundo lugar se ubica el conector tipo MP-A1 consistente en dos unidades, una por cada lado, con una carga normal igual a 525 Kg por unión. Ver Figura N° 27.

Después, en orden descendente, están los conectores tipo JP-26S con 411 Kg/unidad, el tipo JE-SS con 300 Kg/unidad y finalmente, el tipo JR-SSSR con una carga normal igual a 162 Kg/unidad.

12.1.2. La carga normal, en cada uno de los conectores ensayados, corresponde a un cierto porcentaje de la carga en el límite de proporcionalidad de la unión. Tales porcentajes son:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Carga Normal/Carga límite propor.</u>
JH-20	0,77
MP-A1	0,68
JP-26 S	0,82
JE-SS	0,58
JR-SSSR	0,37

Lo anterior señala que el criterio para definir la carga normal no es homogéneo pues está basado en un desplazamiento de la unión que podría ser causado por motivos ajenos a la resistencia de la unión.

Al adoptar un porcentaje fijo de la carga promedio en el límite de proporcionalidad, por ejemplo 80%, se obtendrían las siguientes cargas normales básicas para uniones con Pino radiata:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Carga Normal Básica</u>
JH-20	674 Kg
MP-A1	615 Kg
JP-26 S	402 Kg
JE-SS	411 Kg
JR-SSSR	330 Kg *

* En el caso del conector JR-SSSR se ha tomado como carga normal básica sólo un 75% de la carga en el límite de proporcionalidad a fin de que el valor de la carga admisible sea inferior a los valores individuales de las probetas ensayadas.

12.1.3. Los valores de resistencia obtenidos experimentalmente se han determinado para madera de Pino radiata seco, con un contenido de humedad igual a 10% y para cargas de corta duración.

12.1.4. El conector liviano prefabricado más resistente a la sollicitación de torsión es el tipo MP-A1. El momento de torsión en el límite de proporcionalidad que resiste este conector es de 39,2 Kg × m, rotando en 0,10 radianes. En segundo lugar se ubicó el conector tipo JH-20 resistiendo un momento de torsión (en el límite de proporcionalidad) igual a 32,8 Kg × m con un giro de 0,026 radianes.

En orden descendente se ubican el tipo JE-SS (26,4 Kg × m y una rotación de 0,078 radianes), el tipo JP-26S (25,8 Kg × m y 0,029 radianes de giro) y finalmente el tipo JR-SSSR con un momento resistente a la torsión igual a 22,8 Kg × m y una rotación de 0,035 radianes.

12.1.5. Los dos conectores prefabricados livianos que mejor resistieron las solicitaciones de flexión y torsión resultaron ser los tipos JH-20 y MP-A1.

12.2. Conectores Pesados

12.2.1. El conector pesado más resistente a la solicitación de flexión es el tipo (2). La carga normal promedio para este tipo de co nector resultó igual a 870 Kg/unidad. Ver Figura N° 31.

En segundo lugar se ubica el tipo (4) con una carga normal igual a 694 Kg/conector. Ver Figura N° 33 y posteriormente los tipos (1) y (5) con cargas normales promedio iguales a 538 Kg y 219 Kg, respectivamente.

12.2.2. La carga normal de los conectores pesados corresponde a los siguientes porcentajes de las respectivas cargas en el límite de pro porcionalidad de la unión:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Carga Normal/Carga límite propor.</u>
(2)	0,472
(4)	0,460
(1)	0,446
(5)	0,597

Al adoptar el 80% de la carga en el límite de proporcionalidad se obtienen las siguientes cargas normales básicas para las uniones con Pino radiata:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Carga Normal Básica</u>
②	1474 Kg
④	1206 Kg
①	966 Kg
⑤	293 Kg

12.2.3. Los valores experimentales que miden la resistencia de uniones de elementos estructurales de Pino radiata con conectores pesados, se determinaron para madera seca, con un contenido de humedad igual a 10% y para cargas de corta duración.

12.2.4. El tipo de conector pesado más resistente a la sollicitación de torsión es el denominado como ②. Este tipo resistió un momento de torsión en el límite de proporcionalidad igual a 172,4 Kg × m y presentó una rotación igual a 0,045 radianes.

En segundo lugar se ubicó el conector tipo ① resistiendo un momento de torsión, en el límite de proporcionalidad, igual a 122 Kg × m con un giro igual a 0,048 radianes.

Después, en orden descendente se ubicaron los tipos ⑤ y ④, con momentos de torsión de 72,8 y 66,8 Kg × m y rotaciones iguales a 0,044 y 0,027 radianes, respectivamente.

12.2.5. Los dos conectores pesados que mejor resistieron las sollicitaciones de flexión y torsión resultaron los tipos denominados como ② y ①.

12.3. Generales

12.3.1. Un ordenamiento de acuerdo a su resistencia media a la flexión, realizado en base a la carga en el límite de proporcionalidad, de todos los conectores da el siguiente resultado:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Carga límite proporc.</u>
②	1843 Kg
④	1508 Kg
①	1208 Kg
JH-20	843 Kg
MP-A1	769 Kg
JE-SS	514 Kg
JR-SSSR	441 Kg
⑤	366 Kg

Este ordenamiento establece la inconveniencia del diseño para esfuerzos de flexión del conector tipo ⑤ pues, existen conectores livianos que son más resistentes.

12.3.2. Si el ordenamiento se realiza de acuerdo a la resistencia a la torsión, en base al momento de torsión que resiste la unión en el límite de proporcionalidad, se obtiene el siguiente resultado:

<u>Tipo de Conector</u>	<u>Momento de Torsión en el lím. de prop.</u>
②	172,4 Kg x m
①	122,0 Kg x m
⑤	72,8 Kg x m
④	66,8 Kg x m
MP-A1	39,2 Kg x m
JH-20	32,8 Kg x m
JE-SS	26,4 Kg x m
JP-26 S	25,8 Kg x m
JR-SSSR	22,8 Kg x m

De tal ordenamiento se concluye que los conectores pesados estudiados tienen alta resistencia a la torsión y que el tipo (5), a pesar de ser inconveniente para esfuerzos de flexión, tiene una resistencia aceptable a los esfuerzos de torsión.

Todos los conectores estudiados fueron instalados en la madera con el clavo helicoidal de 1 1/2" de longitud, fabricado por INCHALAM. Esto hizo que la resistencia de los conectores prefabricados tuviese magnitudes similares a las entregadas por el catálogo del fabricante para las especies madereras de Norteamérica.

12.4. Recomendaciones

12.4.1. Se recomienda el uso de los conectores prefabricados para construcciones habitacionales o similares. Ellos tienen la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos que se originan en una construcción liviana.

12.4.2. Para madera laminada, usada en construcciones de mayor envergadura, se recomienda el uso de conectores pesados y/o conectores prefabricados, especialmente diseñados para resistir los esfuerzos que se determinaron en este estudio para los conectores pesados.

12.4.3. En construcciones con pendiente elevada es recomendable el uso de conectores pesados, debido a que ellos resisten bien las torsiones que se originan en las costaneras de estos diseños.

12.4.4. Cuando se necesita un conector con alta resistencia a la flexión es recomendable el uso de aquéllos que presentan un apoyo sobre el canto de la pieza que recibe las reacciones del elemento sometido a flexión (ver Figura Nº 25).

12.4.5. Siempre que se diseñe o use un conector tipo "hanger" es recomendable el uso de clavos helicoidales, estriados u otro tipo similar. Estos diseños de la espiga del clavo eleva considerablemente su resistencia a la extracción directa.

12.4.6. Es recomendable el estudio sistemático e intensivo de los conectores prefabricados a fin de determinar su resistencia admisible en uniones con Pino radiata crecido en Chile y clavos nacionales. Esto permitirá tener más confianza en estos medios de unión y la certeza de una resistencia conocida cuando se usan conectores importados, usados e instalados con materiales (madera y clavos) que sólo se encuentran en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Methods of Testing Metal Fasteners Employed in Wood. ASTM D 1761, Philadelphia, U.S.A., 1987.
- 2.- CENTRO DE LA VIVIENDA Y CONSTRUCCION: FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS. U. DE CHILE. Las Uniones en la Madera Estructural. Primera Parte: Uniones de Pino insigna, con Pernos, Sometidas a Carga Paralela a las Fibras, Informe N° 22, Julio, 1966. Santiago, Chile.
- 3.- _____. Las Uniones en la Madera Estructural. Segunda Parte: Uniones de Pino insigna, con Pernos, Sometidas a Carga Normal a las Fibras, Informe N° 24, Diciembre, 1966. Santiago, Chile.
- 4.- FOREST PRODUCTS LABORATORY. Bolted - Connection Design. General Technical Report FPL-GTR-54. Madison, WI: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service, July, 1987.
- 5.- _____. Lateral load - bearing capacity of nailed joints based on the yield theory. Theoretical Development. Res. Pap. FPL - 469. Madison, WI: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service, 1986.
- 6.- _____. Lateral load - bearing capacity of nailed joints based on the yield theory. Experimental Verification. Res. Pap. FPL-470. Madison, WI: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service, 1986.
- 7.- _____. Wood Handbook: Wood as an engineering material. Agric. Handb. 72, Washington, D.C.: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service. Rev. 1987, 466 p.

- 8.- _____. The Bearing Strength of Wood under Bolts. Technical Bulletin N° 332. Madison, WI: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service, 1932.
- 9.- Forest Research Institute. New Zealand radiata pine jointing properties. Structural grades for United Kingdom markets. M.J. Collins, FRI Bulletin N° 89, 1984.
- 10.- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). NCh 1198 Madera. Construcciones en Madera. Cálculo. (Norma en Consulta Pública). Santiago, Chile, 181 pág.
- 11.- Kuenzi, E. W. Theoretical design of a nailed or bolted joint under lateral load. FPL. Rep. 1951, Madison, WI: U.S.A., Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1951.
- 12.- Larsen, H. J. The yield load of bolted and nailed joints. In: Proceedings, International Union of Forestry Research Organizations Working Group of Structural Utilization; 1973. September / October. Preterria, Republic of South Africa.
- 13.- Soltis A. Lawrence, Hubbard K. Finn and Wilkinson L. Thomas. Bearing Strength of Bolted Timber Joints. Journal of Structural Engineering, Vol. 112, N° 9, Sept., 1985. Pag. 2141-2154.
- 14.- Smith I., Whale L.R.J., Anderson C. Design properties of laterally loaded nailed or bolted wood joints. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 15, N° 4, 1988. Pag. 633-643.
- 15.- Smith I. Interpretation and adjustment of results from short-term lateral load tests on white wood joint specimens with nails or bolts. Timber Research and Development Association. Hughenden Valley, United Kingdom, Research Report 5/82 p. 137, 1982.

- 16.- Whale, L.R.J., and Smith I. 1985. A method for determining the em bedding characteristics of wood and wood based - materials. Paper presented to Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur le Metériaux et les Constructions 57 - TSB, Haija, Is rael, June, 1985. 14 pag.
- 17.- _____. Mechanical Timber Joints. Timber Research and Development Association, Hughenden Valley, United Kingdom, Research Report 18/86, 1987, 58 Pág.
- 18.- _____. Behaviour of nailed and bolted joints under short-term lateral load, Conclusions from some recent research. University of Karlsruhe, West Germany. Proceedings of joints meeting of IUFRO Wood Engineering Group and CIB - Working Commission W 18, Florence, Italy, September 1986, 27 pág.
- 19.- Whale, L.R.J., and Smith I., 1986. The Derivation of Design Clauses for Nailed and Bolted Joints in Eurocode 5. Paper presented to Mee ting Nineteen of the International Council for Building Research Studies and Documentation Working Comission W 18 - Timber Structu res, Florence, Italy, Sept. 1986.
- 20.- Anon. KANT-SAG Construction Hardware. Full line Catalog, United Steel Products Company, 50 pags, 1988.
- 21.- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM D 1761-77 "Standard Methods of Testing MECHANICAL FASTENERS IN WOOD, Pag. 407-423, 1984 Philadelphia, U.S.A.
- 22.- BENITO L., JOSE LUIS. 1970. Las Uniones en la Madera Estructural. Pernos y Tirafondos. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Escuela de Ingeniería. 110 pág. Tesis.

ANEXO A

ENSAYO DE CONECTORES

ENSAYO DE CONECTORES

A.1. ALCANCE Y APLICACION

- A.1.1. Este método proporciona un procedimiento que permite evaluar la capacidad para resistir cargas verticales, momentos de torsión y deformabilidad de conectores tipo "estribos" o similares, usados para unir viguetas (costaneras) a vigas principales, marcos, arcos de madera o de otros materiales.
- A.1.2. El ensayo sirve como base para desarrollar criterios de diseño para estos conectores y proporciona procedimientos normalizados para evaluar su comportamiento con respecto a requerimientos específicos.

A.2. RESUMEN DEL METODO

A.2.1. Capacidad para Resistir Cargas Verticales

La probeta, consistente en un trozo de vigueta sostenida por conectores (tipo colgadores o estribos) entre dos vigas soportantes, es sometida a una carga vertical aplicada por una máquina de ensayo, midiéndose simultáneamente el desplazamiento vertical de la pieza sostenida, a fin de dibujar la curva carga-deformación.

A.2.2. Resistencia a Momentos de Torsión

La probeta, consistente en un trozo de vigueta sostenida por conectores (tipo colgadores o estribos) entre dos vigas soportantes, es sometida a un momento de torsión, midiéndose, si

multáneamente, el desplazamiento de la vigueta respecto a la viga soportante a fin de obtener datos para calcular la rotación angular y las relaciones carga-desplazamiento.

A.3. IMPORTANCIA

A.3.1. Estos conectores son usados en la construcción en madera para transferir cargas verticales desde la vigueta a la viga soportante. Esta es una unión crítica, cuyo comportamiento queda influido por una serie de variables tales como: las propiedades del concector, tipo de material de la vigueta, material de la viga soportante, el método de unión del conector a la vigueta y viga soportante. Tal como sucede para diferentes conectores, el conocimiento de las características de cada uno de los componentes de la unión, es insuficiente para obtener el funcionamiento de la unión como un todo (vigueta, conector, viga de soporte). Los ensaayos que aquí se describen están orientados a uniformar la evaluación del comportamiento de estas uniones consideradas como una unidad.

A.4. MAQUINAS Y EQUIPOS

A.4.1. Máquina de Ensayo

Debe ser capaz de aplicar carga a una velocidad constante de su cabezal y tener una precisión de $\pm 1\%$, una vez calibrada.

A.4.2. Deformómetros

Son necesarios dos diales para el ensayo de carga vertical, y cuatro diales para el ensayo de torsión, que tengan como

unidad de medición a lo menos: 0,02 mm. Servirán también otros tipos dispositivos que puedan cuantificar la deformación entre viguetas y vigas-soportantes en el momento que se esté aplicando carga.

A.5. MUESTREO

A.5.1. El material debe representar, en lo posible, las variaciones que de él se espera en la práctica, con excepción de aquellos ensayos que se orienten para establecer el comportamiento del conector con grados estructurales específicos, con determinadas especies madereras o con dimensiones previamente establecidas.

A.6. PROBETA DE ENSAYO

A.6.1. Capacidad para Resistir Cargas Verticales

A.6.1.1. La probeta debe consistir de la unión de una vigueta con dos vigas-soportante, mediante el conector que se evalúa colocado siguiendo todas las recomendaciones del fabricante. Ver Figura A.1.

A.6.1.2. La vigueta debe tener una longitud igual a: 254 mm más dos veces la altura de la vigueta, siempre que la longitud mínima sea igual o mayor que 467 mm. Las vigas soportante debe tener una longitud mínima de 350 mm. Una separación de 3 mm debe existir entre la cabeza de cada vigueta y la viga-soportante. Durante el ensayo debe mantenerse esta separación evitándose o restringiéndose, además, la rotación de las vigas-soportante hacia la vigueta. Esto se puede materializar colocando bloques de

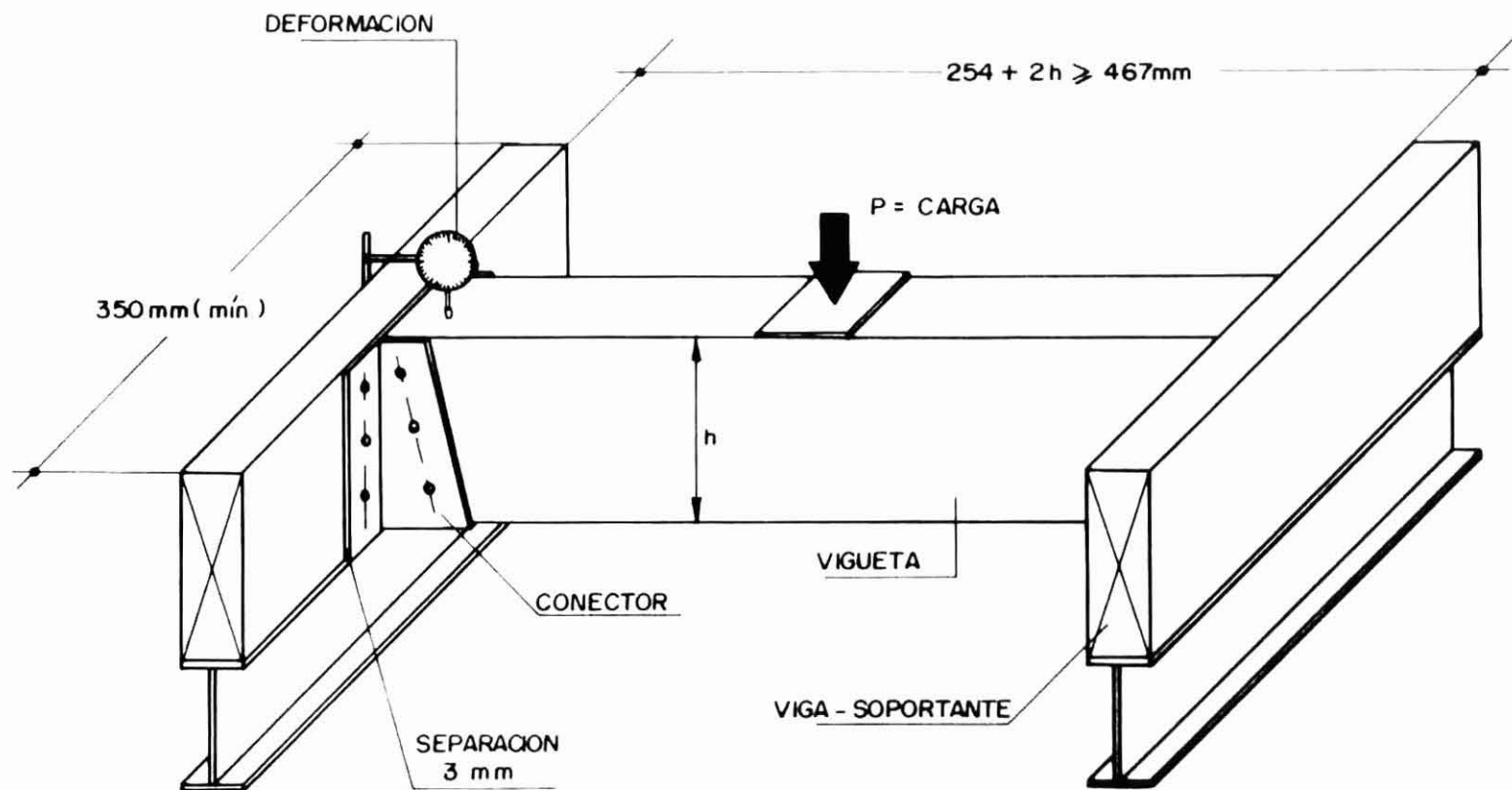


FIGURA A.1. Ensayo del conector sometido a carga vertical.

madera entre los extremos de las vigas-soportante a am bos lados de la vigueta, o con cualquier otro sistema con el cual se obtengan iguales resultados, sin que ellos interfieran con el comportamiento del conector que se ensaya.

- A.6.1.3. Cuando un conector tiene un diseño que no se adapta al ensayo señalado en A.6.1.1. y A.6.1.2., deberán realizarse los cambios necesarios de modo que la unión modificada cumpla idénticas funciones y se describan, en detalle, las modificaciones materializadas.

A.6.2. Capacidad para Resistir Momento de Torsión

- A.6.2.1. La probeta consistirá del ensamble formado por la vigue ta, fijada de acuerdo a las recomendaciones del fabri cante, a las dos vigas de soporte con los conectores que se desean evaluar. Ver Figura A.2. Los cantos de la vigueta y las de las vigas de soporte deben quedar en un mismo plano.

- A.6.2.2. Las vigas de soporte deben tener una longitud tal que permita la pletina repartidora de carga (ubicada sobre el apoyo) a una distancia de 30 mm del conector que su jeta la vigueta.

La longitud de la vigueta debe ser de 600 mm. Se debe dejar una separación de 3 mm entre cada cabeza de la vi gueta y cada viga soporte.

- A.6.2.3. Cuando un conector tiene un diseño que no es adaptable a este ensayo, se harán las modificaciones que sean ne

cesarias con tal que la unión cumpla idéntica función que la descrita en esta norma, cuidando de informar en detalle de todas las modificaciones.

A.7. ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

A.7.1. Los ensayos deberán hacerse en probetas acondicionadas a un contenido de humedad de 12%, manteniendo la madera en una cámara a 20°C y 68% de humedad relativa hasta peso constante.

A.8. PROCEDIMIENTO

A.8.1. Resistencia a Cargas Verticales

A.8.1.1. Al colocar la probeta en la máquina de ensayo, ésta debe tener los cantos superiores de la vigueta y de las vigas de soporte en un mismo plano. Es conveniente apoyar la probeta sobre un elemento continuo, ubicándolo de bajo de cada viga-soporte (ver Figura A.1) de modo que la separación de 3 mm quede medida desde el borde interior de la viga-soporte similar a un volado.

A.8.1.2. El movimiento vertical de la vigueta con respecto a la viga- soporte, medido en cada extremo de la vigueta a una distancia igual a 37,5 mm de su cabeza, se controlará con diales apoyados sobre sus cantos superiores. El desplazamiento será leído con una precisión de 0,02 mm para un número suficiente de cargas que permitan establecer con exactitud la curva carga-deformación, basada en el promedio de las dos lecturas de deformación provenientes de cada dial.

- A.8.1.3. La carga se debe aplicar en el centro de la luz de la vigueta, con un incremento uniforme en el descenso del cabezal de la máquina de ensayo, igual a $(0,9 \text{ mm})/\text{min} \pm 50\%$ hasta alcanzar la carga máxima o de ruptura.

Una placa repartidora de carga deberá ser ubicada bajo el cabezal con una superficie tal que evite aplastamiento de la madera en el punto de aplicación de la carga. Pero, su longitud no debe exceder, la mitad del largo de la vigueta.

- A.8.1.4. Se recomienda ubicar un bloque con un extremo esférico entre el cabezal de la máquina y la vigueta a fin de igualar las cargas que recibe cada extremo de la vigueta.

A.8.2. Resistencia a Momentos de Torsión

- A.8.2.1. Apoye la probeta, simétricamente en el canto inferior de las vigas-soporte, en cuñas metálicas ubicadas a 300 mm del eje de la vigueta y aplique la carga en la forma señalada en la Figura A.2. Ambos apoyos deben tener igual altura. La carga debe ser aplicada en el centro de la luz de la vigueta de la forma especificada en A.8.1.3. y colocando la placa repartidora de acuerdo a dicho párrafo (A.8.1.3).

- A.8.2.2. Medir la deformación de rotación de cada extremo de la vigueta, respecto a la viga-soporte adyacente.

Los diales u otros dispositivos que permitan una lectura con una precisión de a lo menos, 0,02 mm deben ser

sostenidos o apoyados sobre las vigas soporte y ubicados de modo que puedan medir el movimiento del canto superior e inferior de cada extremo de la vigueta. Esta medición debe materializarse a una distancia igual a 75 mm de las cabezas de la vigueta y a 13 mm de sus cantos (superior e inferior), tal como se indica en la Figura A.2. Cuando el conector no permita que se tomen las lecturas a una distancia igual a 75 mm, medida desde la cabeza de la vigueta, se debe ubicar otro punto a una mayor distancia. Esta nueva distancia será la justa y necesaria para dejar libre al conector, debiendo ubicarse todos los diales en una posición similar, medida ésta desde la cabeza de la vigueta.

- A.8.2.3. Anotar las deformaciones y las cargas. Estas deben incrementarse en rangos que eviten incrementos de deformación superiores a 0,65 mm. Aplicar la carga en incrementos uniformes. La velocidad del cabezal debe ser de, aproximadamente, (0,25 mm)/min. Esta velocidad debe disminuirse, si los incrementos de deformación son mayores que 0,65 mm.

Las deformaciones deben leerse con una exactitud de 0,02 mm y las cargas, con exactitud de 0,5 Kg.

- A.8.2.4. Sumar las deformaciones o desplazamientos obtenidos en los cantos superiores e inferiores de un mismo extremo de la vigueta para obtener el desplazamiento total de la vigueta respecto a cada viga soporte. Con tal valor será posible calcular la rotación angular del extremo de la vigueta.

- A.8.2.5. La rotación angular de un extremo de la vigueta, en ra

dianes, para ángulos pequeños, es igual al desplazamiento total dividido por la distancia vertical entre diales. Al multiplicar el valor en radianes por el factor $180/\pi$ se obtiene dicho valor, en grados.

- A.8.2.6. El momento de torsión aplicado en cada extremo de la viga se calcula de la siguiente forma:

$$M_t = \frac{\text{Carga aplicada por la máquina (Kg)}}{2} \times 600 \text{ mm}$$

A.9. ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

- A.9.1. Determinar la densidad y el contenido de humedad tanto de la viga como de las vigas-soporte de acuerdo a normas ASTM D 2016 y D 2395.

A.10. INFORME TECNICO

- A.10.1 El informe técnico del ensayo debe contener los siguientes antecedentes:

- A.10.1.1. Completa descripción del conector ensayado incluyendo los elementos de unión que fueron usados en su instalación.
- A.10.1.2. Detalla descripción de la probeta incluyendo: dimensiones de la viga y vigas-soporte, especie maderera, grado y defectos y/o características naturales.
- A.10.1.3. Datos para relación carga-deformación, rotación angular y carga máxima observada.

- A.10.1.4. Tipo de falla y descripción del comportamiento general de la probeta.
- A.10.1.5. Número de réplicas.
- A.10.1.6. Detalles del procedimiento de aplicación de carga.
- A.10.1.7. Densidad y contenido de humedad de la vigueta y de las vigas-soporte.
- A.10.1.8. Detalles y descripción de cualquier cambio realizado al procedimiento y especificaciones contenidas en esta norma.

