



Asignatura: Tecnologías y Sustentabilidad I: Tecnologías Regionales

Carrera: Doctorado en Arquitectura y Urbanismo

UAI-UFLO-UCU 2018 Buenos Aires

**Dra Ing. María Alexandra Sosa Zitto
Directora e Investigadora Grupo G.E.M.A**

**Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Entre Ríos- Argentina**

Clase: martes 11-09-2018

An aerial photograph of a vast forest landscape. In the foreground, there is a large, irregularly shaped clearing of green grass. The surrounding area is covered in dense, dark green forest. The horizon is visible in the distance under a blue sky with scattered white clouds.

CIRSOC 601

REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

EJEMPLOS RESUELTOS : UNIONES

8.2.1. Resistencia lateral

La carga lateral aplicada a una unión, z , actuando en dirección perpendicular al eje de los elementos de fijación (bulones, tirafondos, tornillos o clavos), no debe exceder la resistencia lateral de diseño ajustada de la unión, Z' .

Tabla 8.2.1.2-1. Factores de ajuste aplicables para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidos a carga lateral

Resistencia lateral	Factores de ajuste aplicables					
$Z' = Z$	X	C_D	C_M	C_t	C_g	C_{tn}

M.8.E.2 Unión de correa y viga empleando bulones y piezas auxiliares de acero

Datos:

- Verificación de la unión proyectada entre una correa y una viga, ambas de madera laminada encolada de **madera de pino taeda y elliotti (*Pinus taeda y elliottii*)**, grado de resistencia 1, construidas con configuración homogénea según los requisitos de fabricación y control establecidos por la norma IRAM 9660-1 (2015). Ambos miembros estructurales forman parte de la estructura de un entrepiso y en la Figura M.8.E.2-1 pueden apreciarse detalles generales, así como del encuentro y la unión.
- La **carga que ejerce la correa sobre la viga** se compone del peso propio, **$D = 1,8 \text{ kN}$** , y de una sobrecarga de uso, **$L = 8,0 \text{ kN}$** .
- **Condición de servicio:** Estructura colocada en estado seco en clima interior.
- **Elementos de fijación:** bulones y planchuelas auxiliares de acero tipo F-24. Los detalles y dimensiones pueden apreciarse en la Figura M.8.E.2-1.

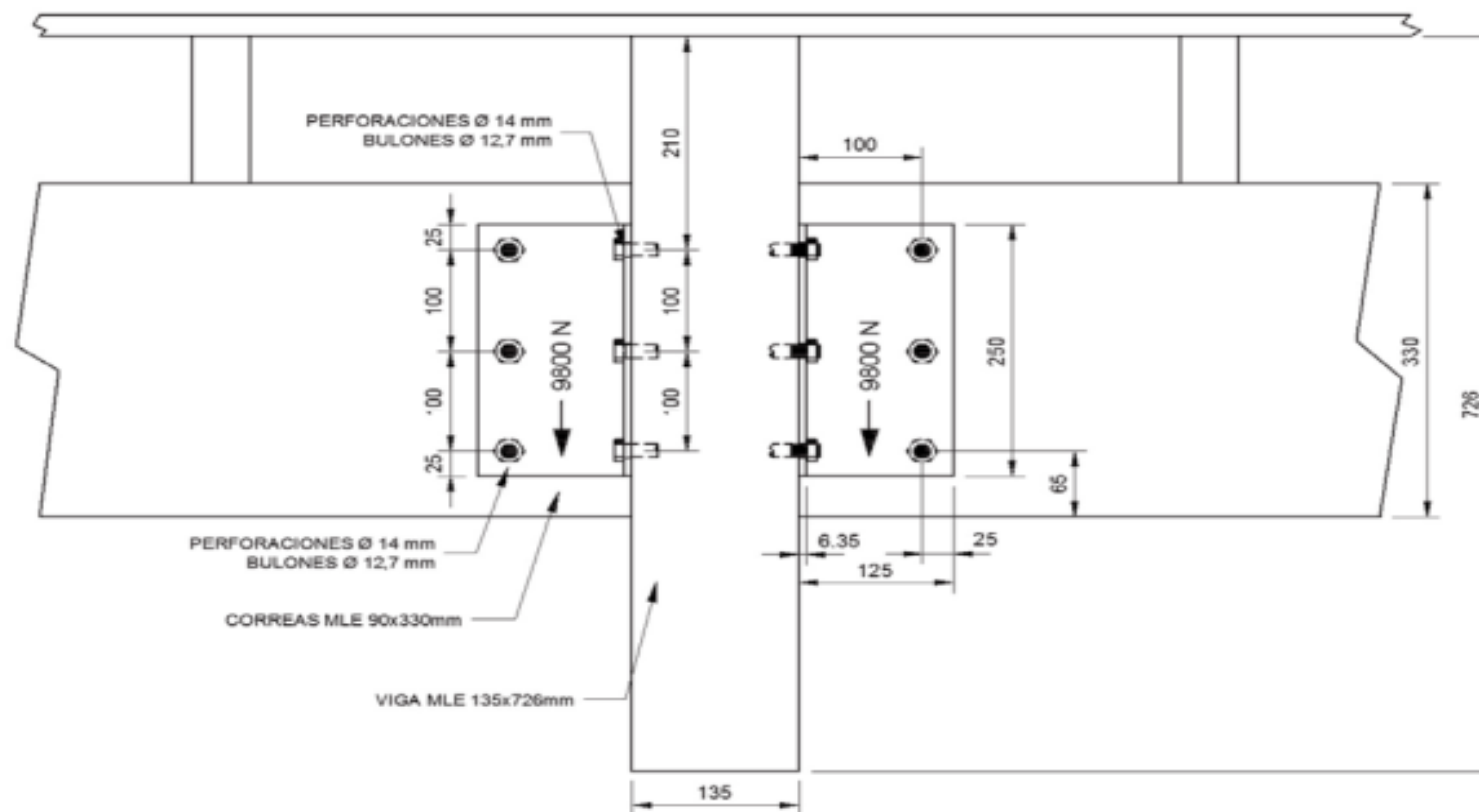


Figura M.8.E.2-1a (dimensiones en mm)

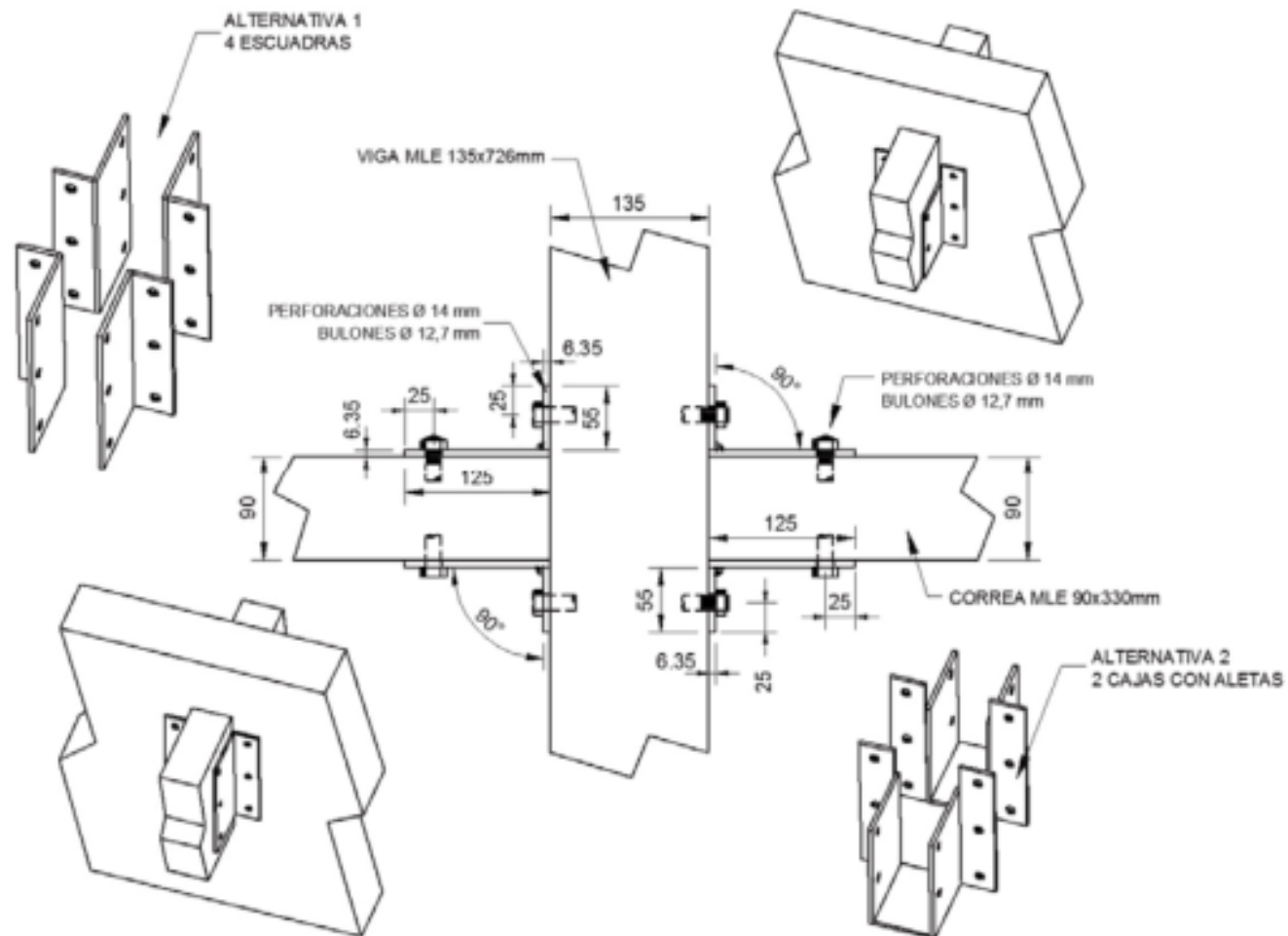


Figura M.8.E.2-1b (dimensiones en mm)

Objetivos:

- a) determinar la capacidad portante de uniones abulonadas múltiples, simétricas con 2 secciones de corte, cuando son sometidas a una carga lateral en dirección perpendicular a las fibras.
- b) determinar los parámetros geométricos conforme los requerimientos para las distancias mínimas.

Determinación de la capacidad portante de la unión entre la correa y la placa metálica auxiliar (artículo 8.2.1)

Se debe verificar:

$$z \leq Z'$$

Comentario: las dos cargas actuantes (**D** y **L**) producen compresión. Considerando la relación entre sus valores resulta en este caso obvio que la combinación crítica, teniendo en cuenta a su vez la incidencia del factor de duración de la carga (**C_D**), es la suma de ambas. Consecuentemente **z = D + L** y con su valor se desarrollará el ejemplo. Un análisis pormenorizado orientado a buscar la combinación crítica considerando **C_D** puede verse en el Ejemplo M.4.E.1.

$$z = D + L = 1800 \text{ N} + 8000 \text{ N} = 9800 \text{ N}$$

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{in} \text{ (Tabla 8.2.1.2-1)}$$

Análisis de la unión adoptando la alternativa 1 (ver las figuras M.8.E.2-1a y M.8.E.2-1b) que emplea 4 escuadras de acero.

$D = 12,7$ mm (diámetro nominal del bulón pues la zona roscada no está en los planos de corte)

$\ell_m = 90$ mm, $\ell_s = 6,35$ mm.

$G = 0,39$ (Tabla S.4.1.1-2, pues la correa de madera laminada encolada estructural está construida empleando tablas de *Pinus taeda* y *elliottii* con clase de resistencia 1, pues es homogénea)

$F_{em} = 15,2$ N / mm² (Tabla S.4.1.1-1, para $G = 0,39$ y $D = 12,7$ mm en dirección perpendicular a las fibras)

$F_{es} = 600$ N / mm² (Tabla S.4.1.1-4, pues las escuadras laterales son de acero tipo F-24)

$F_{yb} = 310$ N / mm² (Tabla S.4.1.1-3)

$$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d} = 3475N$$

$$Z = \frac{2D \ell_s F_{es}}{R_d} = 19355N$$

$$Z = \frac{2k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d} = 3881N$$

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}} = 4464N$$

$C_D = 1$ pues en la combinación crítica la carga de menor duración es L (duración normal).
 $C_M = C_t = 1$ pues la viga se encuentra en clima interior.
 $C_{tn} = 1$ pues no se trata de una unión con clavado oblicuo.

Comentario: como la cantidad de elementos de fijación en una fila perpendicular a la dirección de las fibras es normalmente pequeña, el valor del factor de acción de grupo, C_g , es habitualmente cercano a 1 y por lo tanto tiene poca influencia en estos casos. No obstante, y atendiendo los objetivos planteados, su valor será considerado en el presente ejemplo.

Comentario: el valor de C_g será calculado en este caso siguiendo el procedimiento indicado en el artículo 8.2.1.2. Como el proceso de cálculo puede demandar un tiempo relativamente importante al proyectista, éste tiene a disposición las Tablas auxiliares que proveen resultados para casos típicos en el artículo M.8.T.1.

Tabla 8.2.1.2-2. Factor de condición de servicio (C_M) para uniones con elementos de fijación de tipo clavija sometidos a una carga lateral

Contenido de humedad en el material		C_M
Al construir la unión	Durante la vida útil	
seco	seco	1,0
húmedo	seco	0,4 ⁽¹⁾
cualquiera	húmedo	0,7
(1) $C_M = 0,7$ cuando $D < 6,35 \text{ mm}$; $C_M = 1,0$ cuando todos los elementos se ubican sobre una fila (paralela a la dirección de la fuerza)		

Tabla 8.2.1.2.-3. Factor de temperatura (C_t)

Condición de servicio en estado:	C_t		
	$T \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$40 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 52 \text{ }^\circ\text{C}$	$52 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 65 \text{ }^\circ\text{C}$
seco	1,0	0,8	0,7
verde	1,0	0,7	0,5

- **Factor de clavado oblicuo (C_{tn})**

Si no se realiza clavado oblicuo el valor $C_{tn} = 1$. Cuando se utilizan uniones con clavado oblicuo, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deben ser multiplicados por el **factor de clavado oblicuo**, C_{tn} . De no efectuarse un análisis más detallado o disponer de resultados experimentales, debe considerarse $C_{tn} = 0,83$.

- **Factor de acción de grupo (C_g)**

Cuando una fila esté integrada por **2** o más elementos de fijación, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deberán ser multiplicados por el factor de acción de grupo C_g .

Para uniones con elementos de fijación con $D < 6,35 \text{ mm}$ se debe utilizar $C_g = 1,0$.

Para uniones con elementos de fijación con $6,35 \text{ mm} \leq D \leq 25,4 \text{ mm}$, C_g se debe calcular con la siguiente expresión:

$$C_g = \left[\frac{m(1 - m^{2n})}{n[(1 + R_{EA} m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right] \quad (8.2.1.2-1)$$

siendo:

n el número de elementos de fijación en una fila ⁽¹⁾.

R_{EA} el menor valor entre $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$ ó $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$.

E_m el módulo de elasticidad del miembro principal.

E_s el módulo de elasticidad del miembro lateral.

A_m el área bruta de la sección transversal del miembro principal ⁽²⁾.

A_s la suma de las áreas brutas de las secciones transversales de los miembros laterales ⁽²⁾.

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}.$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right].$$

s la distancia entre centros de dos elementos consecutivos en una fila.

γ el módulo de deslizamiento, igual a **246** $D^{1.5}$ (N / mm) para uniones con piezas laterales de madera y a **369** $D^{1.5}$ (N / mm) para uniones con piezas laterales de acero, expresando siempre D en mm.

Como alternativa a la expresión 8.2.1.2-1 y para una fila paralela a la dirección de las fibras conteniendo un número de elementos de fijación (n) mayor que 6, el factor de acción

de grupo, C_g , se puede estimar de manera simplificada como se indica a continuación:

Para una fila paralela a la dirección de las fibras se puede emplear la expresión 8.2.1.2-2.

$$C_g = \frac{6 + 2(n - 6) / 3}{n} \leq 1 \quad (8.2.1.2-2)$$

Para una fila perpendicular a la dirección de las fibras se puede considerar $C_g = 1$.

Para los casos en que la dirección de la fila forme un ángulo comprendido entre 0° y 90° con la dirección de las fibras se puede interpolar linealmente entre el valor obtenido aplicando la expresión 8.2.1.2-2 y 1.

Comentario: por tratarse de un miembro cargado perpendicularmente a la dirección de las fibras, que presenta una única fila integrada por 3 bulones separados un valor $s = 100 \text{ mm}$ entre ellos, los valores de A_m y A_s a reemplazar en la expresión 8.2.1.2-1 (ver el comentario 2 al pie de esta expresión) resultan: $A_s = 2 \times 6,35 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 1270 \text{ mm}^2$ y $A_m = 90 \text{ mm} \times 100 = 9000 \text{ mm}^2$

Como la madera está cargada en dirección perpendicular a las fibras y las piezas laterales son de acero, con los valores que se detallan a continuación:

$$n = 3$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.4.1.1-4, pues las escuadras laterales son de acero tipo F-24)}$$

$$E_m = 11200 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$A_s = 1270 \text{ mm}^2 \text{ (artículo 8.2.1.2.)}$$

$$A_m = 9000 \text{ mm}^2 \text{ (artículo 8.2.1.2.)}$$

y aplicando la expresión 8.2.1.2-1 se obtiene:

$$C_g = 0,98$$

Comentario: Como el valor de Z provisto por la expresión 8.2.1.1-1 (3475 N) corresponde a cada bulón, la resistencia lateral de diseño ajustada de la unión múltiple debe considerar la cantidad de bulones que la componen.

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \times \text{número de bulones}$$

$$Z' = 3475 \text{ N} \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,98 \times 1 \times 3 = 10217 \text{ N}$$

$$Z' = 10217 \text{ N} > z = 9800 \text{ N}$$

Se verifica lo requerido.

Análisis de la unión adoptando la alternativa 2 (ver las figuras M.8.E.2-1c y M.8.E.2-1b) que emplea 2 cajas de acero con aletas.

Comentario: según la alternativa 2, la unión emplea 2 cajas de acero con aletas. Las cajas de acero se vinculan a las correas con 2 bulones de idénticas dimensiones a los analizados en la alternativa 1 pero a su vez las correas pueden apoyarse en las cajas. La cantidad de bulones y la posibilidad de lograr un apoyo directo de las correas en las cajas constituyen las diferencias, desde el punto de vista resistente, con la alternativa 1.

Considerando que las cajas de acero tienen el mismo espesor que las escuadras laterales empleadas en la alternativa anterior y que los bulones tienen igual diámetro, la resistencia lateral de diseño de referencia por cada bulón no varía en este caso y es $Z = 3475 \text{ N}$. Tampoco sufren variaciones respecto del caso anterior los factores de ajuste $C_D \times C_M \times C_t \times C_{tn}$, los cuales son iguales a 1.

Al disminuir la cantidad de bulones en la fila (**de $n = 3$ a $n = 2$**) se modifica el factor de acción de grupo. Efectuando el mismo procedimiento de cálculo detallado para la alternativa 1 se obtiene $C_g = 1$.

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \times \text{número de bulones}$$

$$Z' = 3475 \text{ N} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 2 = 6950 \text{ N}$$

$$Z' = 6950 \text{ N} < z = 9800 \text{ N}$$

y **no verifica lo requerido** si se considera que el esfuerzo se transmite solamente a través de los **2 bulones**. No obstante, si se considera que la correa apoya directamente sobre la caja, la verificación de la tensión de compresión perpendicular a la dirección de las fibras se debería hacer de la siguiente manera:

Se debe verificar que:

$$f_{c\perp} \leq F'_{c\perp}$$

$f_{c\perp} = 9800 \text{ N} / (90 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}) = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2$ (tensión perpendicular a la dirección de las fibras en el apoyo, igual a la carga transmitida por la correa en su extremo, distribuido en el área neta de contacto. Como área de contacto se consideró el ancho de la correa y una longitud de apoyo de la misma igual a **115 mm**)

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} \times C_D \times C_M \times C_t$$

$$F_{c\perp} = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2 \text{ (Suplemento 2, Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$F'_{c\perp} = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$f_{c\perp} = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2 = F'_{c\perp} = 0,9 \text{ N} / \text{mm}^2$$

o sea que **verifica** considerando solamente el apoyo directo de la correa en la caja, es decir aún sin tener en cuenta la resistencia lateral ejercida por los **2 bulones**.

Determinación de la capacidad portante de la unión entre la placa metálica auxiliar y la viga (artículo 8.2.1.)

Se debe verificar:

$$z \leq Z'$$

$$z = 2 \times 9800 \text{ N} = 19600 \text{ N}$$

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \text{ (Tabla 8.2.1.2-1)}$$

Comentario: las dos alternativas no presentan diferencias entre sí en lo referente a la unión de las placas auxiliares con la viga. En ambos casos la unión se concreta con 6 bulones y presenta 2 secciones de corte (ver la Figura M.8.E.2-1b).

$D = 12,7 \text{ mm}$ (diámetro nominal del bulón pues la zona roscada no está en los planos de corte)

$$\ell_m = 135 \text{ mm}, \ell_s = 6,35 \text{ mm}$$

$G = 0,39$ (Tabla S.4.1.1-2, pues la correa de madera laminada encolada estructural está construida empleando tablas de *Pinus taeda* y *elliottii* con clase de resistencia 1, pues es homogénea)

$F_{em} = 15,2 \text{ N} / \text{mm}^2$ (Tabla S.4.1.1-1, para $G = 0,39$ y $D = 12,7 \text{ mm}$ en dirección perpendicular a las fibras)

$F_{es} = 600 \text{ N} / \text{mm}^2$ (Tabla S.4.1.1-4, pues las escuadras laterales son de acero tipo F-24)

$F_{yb} = 310 \text{ N} / \text{mm}^2$ (Tabla S.4.1.1-3)

$$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d} = 5212N \quad (\text{Exp. 8.2.1.1-1})$$

$$Z = \frac{2D \ell_s F_{es}}{R_d} = 19355N \quad (\text{Exp. 8.2.1.1-2})$$

$$Z = \frac{2k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d} = 3881N \quad (\text{Exp. 8.2.1.1-5})$$

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}} = 4464N \quad (\text{Exp. 8.2.1.1-6})$$

Comentario: la expresión (8.2.1.1-5) provee en este caso el menor valor de **Z**, que corresponde al modo **III_s** de rotura (Figura 8.2.1.1-1 y Tabla 8.2.1.1-1) y, consecuentemente, la resistencia lateral de diseño de referencia por cada bulón alcanza **3881 N**.

$C_D = 1$ dado que en la combinación crítica la carga de menor duración es L (duración normal).

$C_M = C_t = 1$ pues la viga se encuentra en clima interior.

$C_{tn} = 1$ dado que no se trata de una unión con clavado oblicuo.

También en este caso la madera está cargada en dirección perpendicular a las fibras y las piezas laterales son de acero, siendo:

$$n = 3$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.4.1.1-4, pues las escuadras laterales son de acero tipo F-24)}$$

$$E_m = 11200 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$A_s = 1270 \text{ mm}^2 \text{ (artículo 8.2.1.2)}$$

$$A_m = 13500 \text{ mm}^2 \text{ (artículo 8.2.1.2)}$$

$$C_g = 0,99 \text{ (expresión 8.2.1.2-1)}$$

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \times \text{número de bulones}$$

$$Z' = 3881 \text{ N} \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,99 \times 1 \times 6 = 23053 \text{ N}$$

$$Z' = 23053 \text{ N} > z = 19600 \text{ N}$$

y *verifica lo requerido.*

8.2.2. Resistencia a la extracción

La carga de extracción aplicada a una unión, w , actuando con dirección paralela al eje de los elementos de fijación (tirafondos, tornillos o clavos), no debe exceder la resistencia a la extracción de diseño ajustada de la unión, W' .

Tabla 8.2.2.2-1. Factores de ajuste aplicables para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidos a carga de extracción

Resistencia a la extracción	Factores de ajuste aplicables				
$W' = W$	x	C_D	C_M	C_t	C_{tn}

Tabla 8.2.2.2-2. Factor de condición de servicio (C_M) para uniones con elementos de fijación de tipo clavija sometidos a una carga de extracción

Tipo de elemento	Contenido de humedad en el material		C_M
	Al construir la unión	Durante la vida útil	
Tirafondos y tornillos	cualquiera	seco	1,0
	cualquiera	húmedo	0,7
Clavos lisos	seco	seco	1,0
	húmedo	seco	0,25
	seco	húmedo	0,25
	húmedo	húmedo	1,0
Clavos con superficie resaltada	cualquiera	cualquiera	1,0

El factor de condición de servicio, C_M , no es aplicable a uniones con clavado oblicuo sometidas a una carga de extracción.

▪ **Factor de clavado oblicuo (C_{tn})**

Cuando se utilizan uniones con clavado oblicuo, los valores indicados en el Suplemento 4 de este Reglamento para la resistencia a la extracción de diseño de referencia deben ser multiplicados por el factor de clavado oblicuo, C_{tn} . De no efectuarse un análisis más detallado, puede considerarse $C_{tn} = 0,67$.

8.2.3. Resistencia lateral y a la extracción combinadas

▪ Tirafondos y tornillos

Cuando un tirafondo o un tornillo está sometido a una carga cuya dirección forma un ángulo α con la dirección de las fibras (ver la Figura 8.2.3-1.), la resistencia lateral de diseño ajustada de la unión, Z'_{α} , se debe determinar con la siguiente expresión:

$$Z'_{\alpha} = \frac{W' Z'}{W' \cos^2 \alpha + Z' \sin^2 \alpha} \quad (8.2.3-1)$$

siendo:

W' la resistencia a la extracción de diseño ajustada del elemento completo, considerando su penetración efectiva.

Z' la resistencia lateral de diseño ajustada cuando la carga actúa perpendicularmente al eje del elemento de fijación.

■ Clavos

Cuando un clavo está sometido a una carga cuya dirección forma un ángulo α con la dirección de las fibras (ver la Figura 8.2.3-1), la resistencia lateral de diseño ajustada de la unión, Z'_α , se debe determinar con la siguiente expresión:

$$Z'_\alpha = \frac{W' Z'}{W' \cos \alpha + Z' \operatorname{sen} \alpha} \quad (8.2.3-2)$$

donde W' y Z' tienen el mismo significado que en la expresión 8.2.3-1.

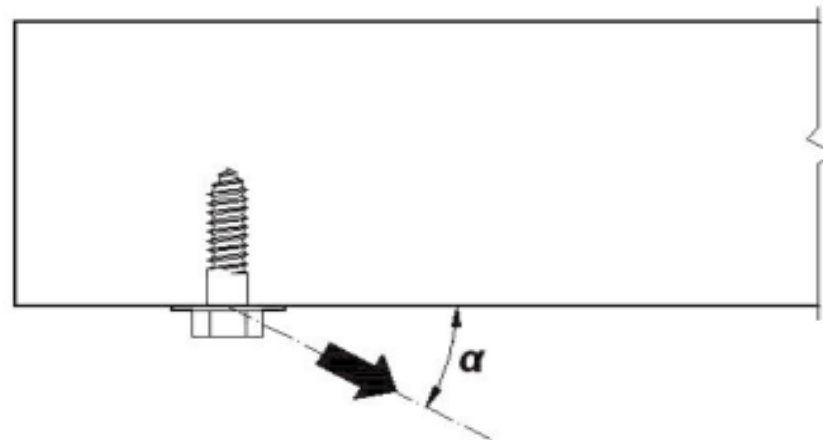


Figura 8.2.3-1. Carga lateral y a la extracción combinadas.

8.2.5. Verificación de las condiciones de servicio: Deslizamiento de los miembros unidos con elementos de fijación de tipo clavija sometidos a carga lateral

▪ Cálculo del deslizamiento instantáneo

De no efectuarse un cálculo más detallado ni contar con resultados experimentales, el valor medio del deslizamiento instantáneo, Δ_{zi} , que experimentan los miembros de una unión construida con elementos de fijación de tipo clavija sometida a carga lateral, puede efectuarse con la siguiente expresión:

$$\Delta_{zi} = \Delta_{zp} + R_z / \gamma \quad (8.2.5-1)$$

siendo:

Δ_{zp} la diferencia entre el diámetro del orificio y el del elemento de fijación cuando éste se coloca con una pre-perforación de diámetro mayor a su diámetro nominal, como es el caso de los bulones. Para los otros casos es $\Delta_{zp} = 0$.

R_z la fuerza lateral aplicada a cada elemento de fijación.

γ el módulo de deslizamiento instantáneo por cada sección de corte y por cada elemento de fijación.

Cuando el cálculo del deslizamiento instantáneo no es un requerimiento importante del proyecto, el cálculo de γ se puede efectuar con las siguientes expresiones:

- Para uniones con piezas laterales de madera:

$$\gamma = 246 D^{1,5} \text{ (N/mm)} \quad (8.2.5-2)$$

- Para uniones con piezas laterales de acero:

$$\gamma = 369 D^{1,5} \text{ (N/mm)} \quad (8.2.5-3)$$

siendo:

D el diámetro, en mm.

Cuando el cálculo del deslizamiento instantáneo es un requerimiento importante del proyecto, el cálculo de γ se puede efectuar con las siguientes expresiones, válidas tanto para uniones con piezas laterales de madera como de acero:

- Para uniones con bulones, tirafondos, tornillos y clavos con orificios pre-perforados:

$$\gamma = \rho_{0,05}^{1,5} D / 20 \text{ (N/mm)} \quad (8.2.5-4)$$

- Para uniones con clavos sin orificios pre-perforados:

$$\gamma = \rho_{0,05}^{1,5} D^{0,8} / 25 \text{ (N/mm)} \quad (8.2.5-5)$$

siendo:

$\rho_{0,05}$ el valor característico de la densidad correspondiente al percentil **5 %**, con un contenido de humedad del **12 %**, expresada en kg/m^3 (se indica en los suplementos de este Reglamento).

D el diámetro del elemento de fijación expresado en mm.

- **Cálculo del deslizamiento diferido**

Cuando las cargas permanentes y las de larga duración, tales como las sobrecargas de uso, representan un porcentaje relativamente alto del total de las cargas de diseño, el deslizamiento diferido, y consecuentemente el deslizamiento final, Δ_{zf} , pueden alcanzar valores sensiblemente mayores al correspondiente al deslizamiento instantáneo, Δ_{zi} . Para el cálculo del deslizamiento diferido y del deslizamiento final, Δ_{zf} , es de aplicación el criterio expuesto en el artículo 3.2.3.

M.8.E.3 Unión de correa y viga empleando tirafondos y piezas auxiliares de acero

Datos:

- Verificación de la unión proyectada entre una correa y una viga. La viga es de **madera laminada encolada de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*)**, **grado de resistencia 2**, construidas con configuración homogénea según los requisitos de fabricación y control establecidos por la norma IRAM 9660-1 (2015). La correa es de madera aserrada de la misma especie, clase de resistencia 2 conforme al método de clasificación incluido en el **Apéndice 1 del Suplemento 1**. Ambos miembros estructurales forman parte de la estructura de una cubierta y en el esquema que se incluye a continuación, en la Figura M.8.E.3-1, pueden apreciarse tanto detalles generales, como del encuentro y la unión.
- **Cargas que actúan sobre la unión:** peso propio **$D = 589 \text{ N}$** , sobrecarga accidental **$L_r = 589 \text{ N}$** , viento **$W = 667 \text{ N}$** (succión normal a la cubierta).
- **Condición de servicio:** Estructura colocada en estado seco en clima interior, debajo de la cubierta que soporta.
- **Elemento de fijación y piezas auxiliares:** tirafondo con **$D = 12,7 \text{ mm}$** y **$L = 76,2 \text{ mm}$** que responde a las características descriptas en el Apéndice 1 del **Suplemento 4**; piezas auxiliares de **acero tipo F-24**. Los detalles y dimensiones pueden apreciarse a continuación en la Figura M.8.E.3-1.

Objetivo:

Determinar la capacidad portante de uniones con tirafondos sometidas a una carga lateral y a una de extracción combinadas, cuya resultante está inclinada un **ángulo α** con la dirección de las fibras

Desarrollo:

Teniendo en cuenta que la combinación de la acción del viento (**W**) con el peso propio (**D**) puede originar una carga de extracción (**w**) combinada con una lateral (**z**), se analiza en primer lugar la proyección de las mismas sobre las direcciones normal y paralela a la viga, la cual tiene una pendiente (**θ**) **de $16,7^\circ$** con la horizontal.

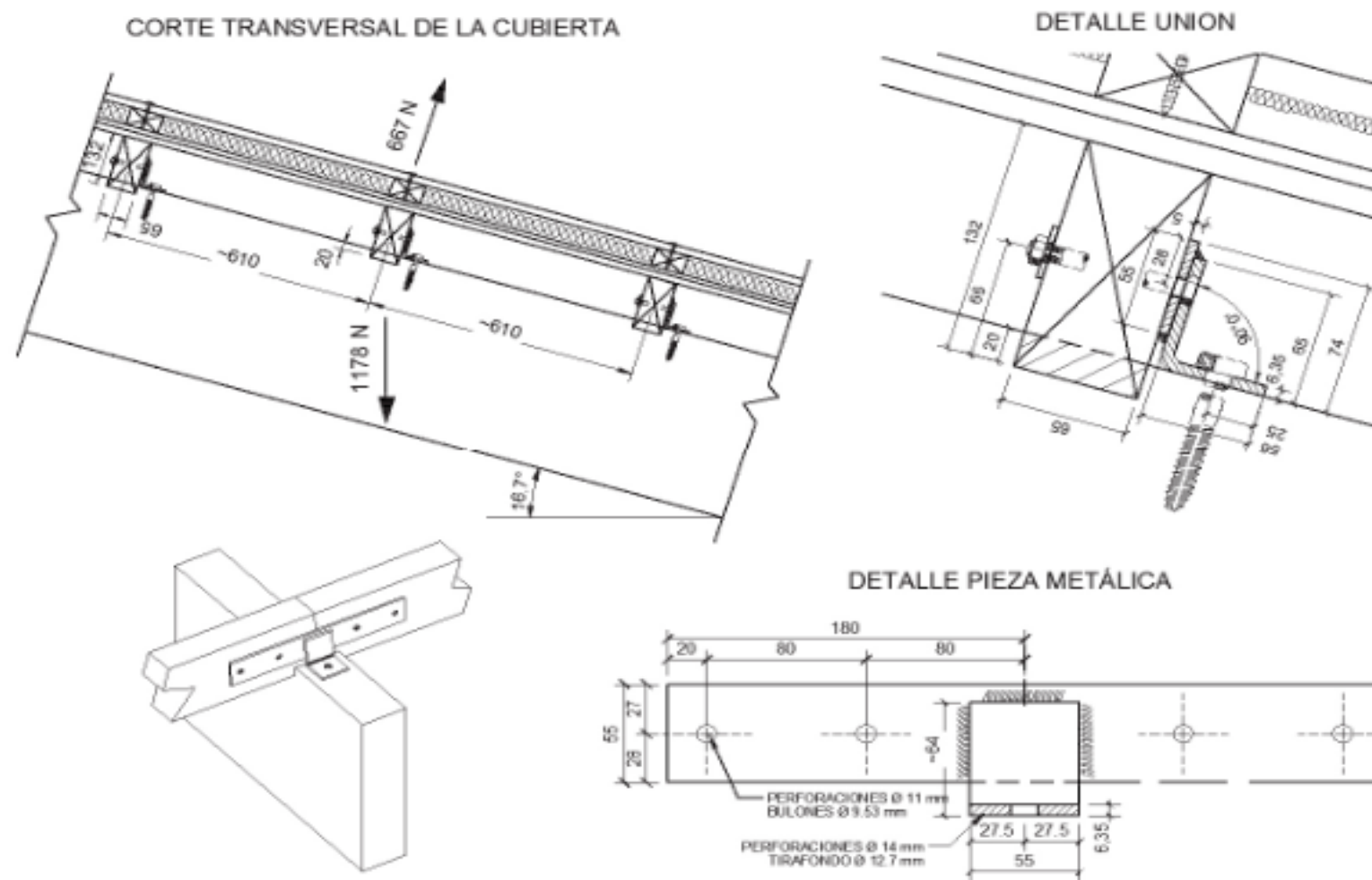


Figura M.8.E.3-1

$w = W - D \cos \theta = 667 \text{ N} - 589 \text{ N} \times 0,958 = 103 \text{ N}$ (el valor positivo indica en este caso que la acción del viento supera a la proyección del peso propio, originando una carga de extracción perpendicular al eje longitudinal de la viga).

$z = D \sen \theta = 589 \text{ N} \times 0,287 = 169 \text{ N}$ (carga lateral aplicada a la unión según la dirección longitudinal de la viga).

Considerando ahora que la combinación de la acción del peso *propio* (**D**) con la sobrecarga accidental en la cubierta (**L_r**) puede provocar una carga lateral (**z**) de mayor intensidad que la anterior sobre la unión, se analiza la proyección de ambas sobre la dirección longitudinal de la viga.

$z = (D + L_r) \times \sen \theta = (589 \text{ N} + 589 \text{ N}) \times 0,287 = 338 \text{ N}$

Verificación de la unión propuesta para la combinación de la acción del viento (W) y del peso propio (D)

Con los valores $w = 103 \text{ N}$ y $z = 169 \text{ N}$ se obtiene que la resultante es $z' = 198 \text{ N}$ y está inclinada, respecto de la dirección de las fibras de la viga un ángulo $\alpha = 31,3^\circ$, siendo $\cos \alpha = 0,854$ y $\sen \alpha = 0,52$.

De acuerdo con el artículo 8.2.3. se debe verificar que:

$$z' \leq Z'_{\alpha} = \frac{W' Z'}{W' \cos^2 \alpha + Z' \sin^2 \alpha}$$

$W' = W \times C_D \times C_M \times C_t \times C_{tn} \times \text{longitud de penetración efectiva}$ (artículo 8.2.2 y Tabla 8.2.2.2-1)

$G = 0,37$ (Tabla S.4.1.1-2, pues la viga está construida con configuración homogénea con tablas de Pino Paraná, clase de resistencia 2)

$W = 42,2 \text{ N / mm}$ (Tabla S.4.1.2-2)

$C_D = 1,6$ pues la carga de menor duración que incluye la combinación es el viento (artículo 8.2.2.2 y Tabla 4.3-2)

$C_M \times C_t = 1$ pues la estructura está ubicada en clima interior

$C_{tn} = 1$ pues no se trata de clavado oblicuo

Como la unión involucra solamente un tirafondo es:

$W' = 42,2 \text{ N / mm} \times 1,6 \times 1 \times 1 \times 1 \times \text{longitud de penetración efectiva}$

La longitud de penetración efectiva, constituida por el sector roscado excluyendo la parte correspondiente a la punta con disminución de diámetro es, **42,9 mm** (Apéndice 1 del **Suplemento 4**, para tirafondos con $D = 12,7 \text{ mm}$ y $L = 76,2 \text{ mm}$)

$W' = 42,2 \text{ N / mm} \times 1,6 \times 1 \times 1 \times 1 \times 42,9 \text{ mm} = 2897 \text{ N}$

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \text{ (Tabla 8.2.1.2-1)}$$

Comentario: por tratarse de una unión con una sección de corte, la resistencia lateral de diseño de referencia por cada elemento de fijación (**Z**) debe obtenerse como el menor valor de los 6 obtenidos a través de la aplicación de las expresiones indicadas en la Tabla 8.2.1.1-1. La dirección de la carga lateral actuante es paralela a la dirección de las fibras de la viga de madera laminada encolada. En este caso particular se hizo uso de la Tabla auxiliar correspondiente que provee el valor de **Z** (artículo M.8.T.2).

Z = 2050 N (Tabla correspondiente del artículo M.8.T.2, para **G = 0,37** y carga lateral paralela a la dirección de las fibras)

El valor provisto en la Tabla corresponde a una penetración mínima en el miembro principal: **$\ell_m = 8 D = 101,6 \text{ mm}$**

Considerando que en este caso la penetración es: $\ell_m = 76,2 \text{ mm} - 6,35 \text{ mm} = 69,9 \text{ mm}$, el valor provisto en la Tabla se debe multiplicar por $69,9 \text{ mm} / 101,6 \text{ mm} = 0,69$, y resulta:

$$Z = 2050 \text{ N} \times 0,69 = 1415 \text{ N}$$

$$C_D = 1,6 \text{ (obtenido más arriba)}$$

$$C_M = C_t = C_{tn} = 1 \text{ (obtenidos más arriba)}$$

$$C_g = 1 \text{ pues se trata de un único elemento de fijación (artículo 8.2.1.2)}$$

$$Z' = 1415 \text{ N} \times 1,6 \times 1 \times 1 \times 1 = 2264 \text{ N}$$

Entonces:

$$Z'_\alpha = \frac{W' Z'}{W' \cos^2 \alpha + Z' \sin^2 \alpha} = \frac{2897 * 2264}{2897 * 0,854^2 + 2264 * 0,52^2} = 2407 \text{ N}$$

$$Z'_a = 2407 \text{ N} > z' = 198 \text{ N}$$

y se verifica lo requerido.

Verificación de la unión propuesta para la combinación de la acción del peso propio (D) y la sobrecarga accidental en la cubierta (L_r)

En este caso la carga lateral es:

$$z = 338 \text{ N}$$

y se debe verificar que:

$$z \leq Z'$$

$Z' = 1415 \text{ N} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1415 \text{ N}$ pues para esta combinación de acciones es $C_D = 1$, ya que la carga de menor duración es L_r (artículo 8.2.1.2. y Tabla 4.3-2)

Comentario: el valor $C_D = 1$ se adoptó conservadoramente, pues la carga de menor duración en la combinación es la sobrecarga es accidental, L_r , y su duración acumulada durante la vida útil de la estructura podría considerarse menor a 10 años (ver también la Tabla 4.3-2 y sus aclaraciones).

$$z = 338 \text{ N} < Z' = 1415 \text{ N}$$

y se verifica lo requerido.

Comentario: en el artículo 8.2. se establece que como norma general se deben disponer al menos 2 elementos de fijación de tipo clavija en cada unión. Se exceptúa de este requerimiento a las uniones en las que la resistencia de diseño ajustada del elemento de fijación resulta al menos igual al doble de la carga aplicada. Los resultados obtenidos en las dos verificaciones efectuadas permiten apreciar que en este caso se cumple el requisito antes mencionado.



Tabla 8.2.1.1-1. Expresiones correspondientes a los modos de rotura en uniones para un elemento de fijación de tipo clavija sometido a carga lateral

Modo de rotura	Una sección de corte	Dos secciones de corte	Expresiones
I _m	$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d}$	$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d}$	(8.2.1.1-1)
I _s	$Z = \frac{D \ell_s F_{es}}{R_d}$	$Z = \frac{2D \ell_s F_{es}}{R_d}$	(8.2.1.1-2)
II	$Z = \frac{k_1 D \ell_s F_{es}}{R_d}$		(8.2.1.1-3)
III _m	$Z = \frac{k_2 D \ell_m F_{em}}{(1 + 2R_e) R_d}$		(8.2.1.1-4)
III _s	$Z = \frac{k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$	$Z = \frac{2k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$	(8.2.1.1-5)
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	(8.2.1.1-6)

siendo:

D el diámetro nominal del elemento de fijación cuando éste no es roscado o cuando la zona roscada está suficientemente lejos de las secciones de corte (ver la Figura 8.2.1.1-1.). En caso contrario se debe tomar el diámetro del núcleo del elemento, **D_n**, en lugar de **D**.

F_{em} la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal (ver el Suplemento 4)

F_{es} la resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral (ver el Suplemento 4)

F_{yb} la tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación (ver el Suplemento 4)

ℓ_m la longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal (ver la Figura 8.2.1.1-2.)

ℓ_s la longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral (ver la Figura 8.2.1.1-2.)

R_d el coeficiente de reducción (ver la Tabla 8.2.1.1.-2)

R_e F_{em} / F_{es}

R_t ℓ_m / ℓ_s

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3} - R_e(1 + R_t)}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em} \ell_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em} \ell_s^2}}$$

Tabla 8.2.1.1-2. Coeficiente de reducción (R_d)

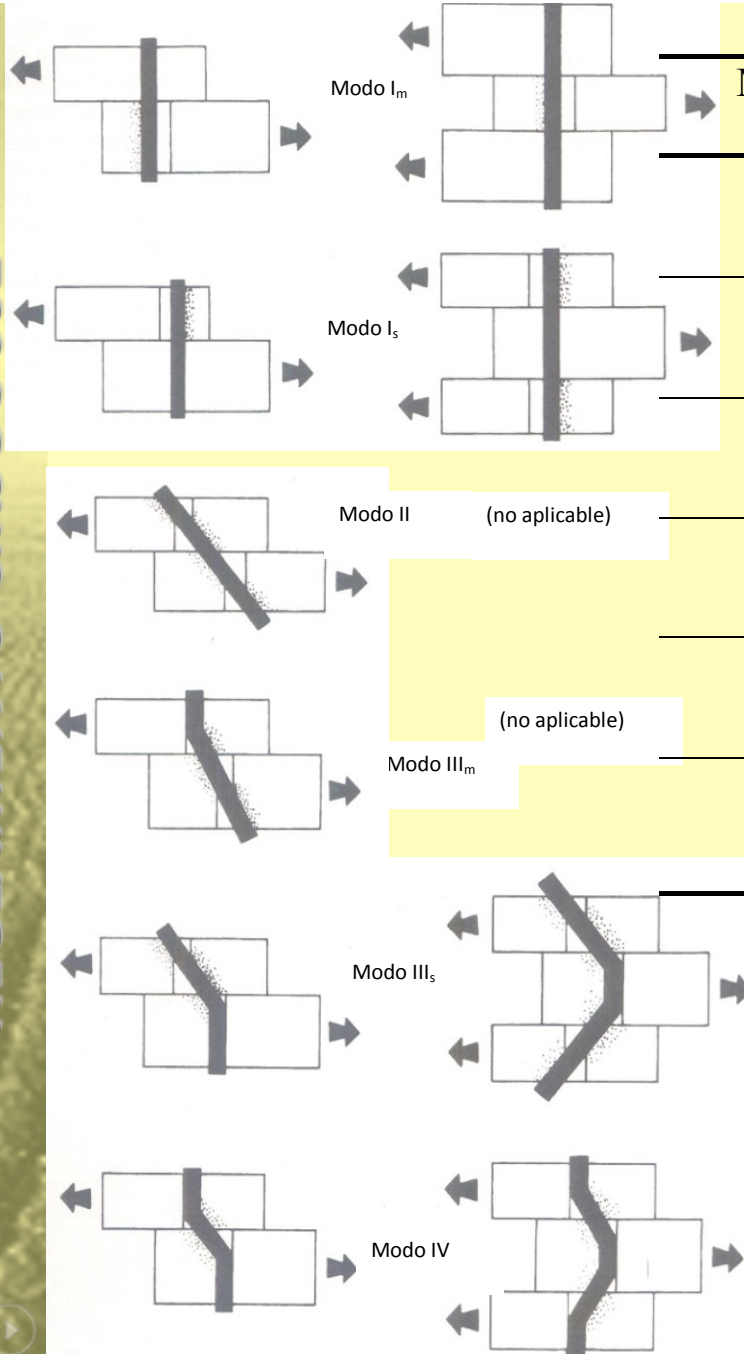
D	Modo de rotura	R_d
$6,35 \text{ mm} \leq D \leq 25,4 \text{ mm}$	I_m, I_s	$4 K_\theta$
	II	$3,6 K_\theta$
	III_m, III_s, IV	$3,2 K_\theta$
$D < 6,35 \text{ mm}$	$I_m, I_s, II, III_m, III_s, IV$	$K_D^{(1)}$
siendo: θ el máximo ángulo entre la dirección de la fuerza y la de las fibras de cualquier miembro que integra la unión ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) $K_\theta = 1 + 0,25(\theta / 90)$ D el diámetro del elemento de fijación (mm) K_D - para $D \leq 4,3 \text{ mm}$ es $K_D = 2,2$; - para $4,3 \text{ mm} < D < 6,35 \text{ mm}$ es $K_D = 0,38 D + 0,56$		
(1) En elementos de fijación roscados con $D \geq 6,35 \text{ mm}$ y $D_r < 6,35 \text{ mm}$, $R_d = K_D K_\theta$		

Unión con una sección de corte

Unión con dos secciones de corte

Resistencia lateral de diseño de referencia

REGLAMENTO CIRSOC 601



Modo de rotura

Una sección de corte

Dos secciones de corte

I_m

$$Z = \frac{Dl_m F_{em}}{R_d}$$

$$Z = \frac{Dl_m F_{em}}{R_d}$$

I_s

$$Z = \frac{Dl_s F_{es}}{R_d}$$

$$Z = \frac{2Dl_s F_{es}}{R_d}$$

II

$$Z = \frac{k_1 Dl_s F_{es}}{R_d}$$

III_m

$$Z = \frac{k_2 Dl_m F_{em}}{(1 + 2R_e)R_d}$$

III_s

$$Z = \frac{k_3 Dl_s F_{em}}{(2 + R_e)R_d}$$

$$Z = \frac{2k_3 Dl_s F_{em}}{(2 + R_e)R_d}$$

IV

$$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$



Suplemento 4- Valores de diseño para Uniones Mecánicas

Tabla S.4.1.1-2. Gravedad específica anhidra, G , de la madera clasificada por resistencia conforme a los métodos que se indican en el Suplemento 1 y sus apéndices

Especie ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾	Clase de resistencia	$G^{(4)}$
Tablas de pino Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>) IRAM 9662-1 (2015) (ver S.1.1.1 y Tabla S.1.1.1-1)	1	0,43
	2	0,37
Madera aserrada de pino Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>) clasificada conforme al método que se incluye en el Apéndice 1 del Suplemento 1 (ver S.1.1.1 y Tabla S.1.1.1-3)	1	0,41
	2	0,36
	3	0,36
Tablas de eucalipto grandis (<i>Eucalyptus grandis</i>) IRAM 9662-2 (2015) (ver S.1.1.2 y Tabla S.1.1.2-1)	1	0,40
	2	0,40
Madera aserrada de <i>Eucalyptus grandis</i> clasificada conforme al método adoptado por la norma IRAM 9662-2 (2015) (ver S.1.1.2 y Tabla S.1.1.2-3)	1	0,40
	2	0,40
	3	0,40
Tablas de pino taeda y elliotti (<i>Pinus taeda</i> y <i>elliottii</i>) IRAM 9662-3 (2015) (ver S.1.1.3 y Tabla S.1.1.3-1)	1	0,39
	2	0,36
Madera aserrada de pino taeda y elliotti clasificada conforme a la norma IRAM 9670 (2002) (ver S.1.1.3 y Tabla S.1.1.3-3)	1	0,39
	2	0,36
Madera aserrada de álamo clasificada conforme a la norma IRAM 9662-4 (2015) (ver S.1.1.4 y Tabla S.1.1.4-1)	1	0,37
	2	0,37

(4) La gravedad específica de estas especies está indicada en los respectivos normas y estándares de los fabricantes.

REGLAMENTO CIRSOC 601

G	F _e D<6,35	F _{el} D≥6,35	F _{el}								
			D=6,35	D=7,94	D=9,53	D=11,11	D=12,70	D=15,88	D=19,05	D=22,23	D=25,40
0,73	64,1	56,4	53,3	47,7	43,5	40,3	37,7	33,7	30,8	28,5	26,7
0,72	62,5	55,6	52,2	46,7	42,7	39,5	36,9	33,0	30,2	27,9	26,1
0,71	60,9	54,8	51,2	45,8	41,8	38,7	36,2	32,4	29,6	27,4	25,6
0,70	59,3	54,0	50,2	44,9	40,9	37,9	35,5	31,7	29,0	26,8	25,1
0,69	57,8	53,3	49,1	43,9	40,1	37,1	34,7	31,1	28,4	26,3	24,6
0,68	56,3	52,5	48,1	43,0	39,3	36,4	34,0	30,4	27,8	25,7	24,0
0,67	54,8	51,7	47,1	42,1	38,4	35,6	33,3	29,8	27,2	25,2	23,5
0,66	53,3	51,0	46,1	41,2	37,6	34,8	32,6	29,1	26,6	24,6	23,0
0,65	51,8	50,2	45,0	40,3	36,8	34,1	31,9	28,5	26,0	24,1	22,5
0,64	50,3	49,4	44,0	39,4	36,0	33,3	31,1	27,9	25,4	23,5	22,0
0,63	48,9	48,6	43,1	38,5	35,1	32,5	30,4	27,2	24,9	23,0	21,5
0,62	47,5	47,9	42,1	37,6	34,3	31,8	29,7	26,6	24,3	22,5	21,0
0,61	46,1	47,1	41,1	36,7	33,5	31,1	29,1	26,0	23,7	22,0	20,5
0,60	44,7	46,3	40,1	35,9	32,7	30,3	28,4	25,4	23,2	21,4	20,1
0,59	43,3	45,5	39,1	35,0	32,0	29,6	27,7	24,8	22,6	20,9	19,6
0,58	42,0	44,8	38,2	34,2	31,2	28,9	27,0	24,1	22,0	20,4	19,1
0,57	40,7	44,0	37,2	33,3	30,4	28,2	26,3	23,5	21,5	19,9	18,6
0,56	39,4	43,2	36,3	32,5	29,6	27,4	25,7	23,0	21,0	19,4	18,1
0,55	38,1	42,5	35,4	31,6	28,9	26,7	25,0	22,4	20,4	18,9	17,7
0,54	36,8	41,7	34,4	30,8	28,1	26,0	24,3	21,8	19,9	18,4	17,2
0,53	35,6	40,9	33,5	30,0	27,4	25,3	23,7	21,2	19,3	17,9	16,8
0,52	34,3	40,1	32,6	29,1	26,6	24,6	23,0	20,6	18,8	17,4	16,3
0,51	33,1	39,4	31,7	28,3	25,9	24,0	22,4	20,0	18,3	16,9	15,8
0,50	32,0	38,6	30,8	27,5	25,1	23,3	21,8	19,5	17,8	16,5	15,4
0,49	30,8	37,8	29,9	26,7	24,4	22,6	21,1	18,9	17,3	16,0	15,0
0,48	29,6	37,1	29,0	26,0	23,7	21,9	20,5	18,4	16,8	15,5	14,5
0,47	28,5	36,3	28,2	25,2	23,0	21,3	19,9	17,8	16,3	15,0	14,1
0,46	27,4	35,5	27,3	24,4	22,3	20,6	19,3	17,3	15,8	14,6	13,6
0,45	26,3	34,7	26,4	23,6	21,6	20,0	18,7	16,7	15,3	14,1	13,2
0,44	25,3	34,0	25,6	22,9	20,9	19,3	18,1	16,2	14,8	13,7	12,8
0,43	24,2	33,2	24,7	22,1	20,2	18,7	17,5	15,6	14,3	13,2	12,4
0,42	23,2	32,4	23,9	21,4	19,5	18,1	16,9	15,1	13,8	12,8	12,0
0,41	22,2	31,7	23,1	20,7	18,9	17,5	16,3	14,6	13,3	12,3	11,5
0,40	21,2	30,9	22,3	19,9	18,2	16,8	15,8	14,1	12,9	11,9	11,1
0,39	20,2	30,1	21,5	19,2	17,5	16,2	15,2	13,6	12,4	11,5	10,7
0,38	19,3	29,3	20,7	18,5	16,9	15,6	14,6	13,1	11,9	11,1	10,3
0,37	18,4	28,6	19,9	17,8	16,2	15,0	14,1	12,6	11,5	10,6	9,9
0,36	17,5	27,8	19,1	17,1	15,6	14,5	13,5	12,1	11,0	10,2	9,6
0,35	16,6	27,0	18,4	16,4	15,0	13,9	13,0	11,6	10,6	9,8	9,2
0,34	15,7	26,2	17,6	15,7	14,4	13,3	12,4	11,1	10,2	9,4	8,8
0,33	14,9	25,5	16,9	15,1	13,8	12,7	11,9	10,7	9,7	9,0	8,4
0,32	14,1	24,7	16,1	14,4	13,2	12,2	11,4	10,2	9,3	8,6	8,1
0,31	13,3	23,9	15,4	13,8	12,6	11,6	10,9	9,7	8,9	8,2	7,7

$$F_e (D < 6,4 \text{ mm}) = 114,4 G^{1,24} \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

$$F_{el} (D \geq 6,4 \text{ mm}) = 77,2 G \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

$$F_{eL} = 212 G^{1,45} / D^{0,5} \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

Suplemento 4- Valores de diseño para Uniones Mecánicas

Tabla S.4.1.1-3. Tensión de fluencia en flexión, F_{yb} , para elementos de fijación de tipo clavija construidos con acero tipo F-24

Tipo y características del elemento	F_{yb} (N/mm ²)
Bulones y tirafondos con $D \geq 9,5$ mm,	310
Clavos, tornillos y tirafondos con:	
$2,5 \text{ mm} \leq D \leq 3,6 \text{ mm}$	690
$3,6 \text{ mm} < D \leq 4,5 \text{ mm}$	620
$4,5 \text{ mm} < D \leq 6,0 \text{ mm}$	550
$6,0 \text{ mm} < D \leq 6,9 \text{ mm}$	480
$6,9 \text{ mm} < D \leq 8,7 \text{ mm}$	410
$8,7 \text{ mm} < D \leq 9,5 \text{ mm}$	310

Tabla S.4.1.1-4. Tensión de aplastamiento, F_e (N / mm²), y módulo de elasticidad, E , de placas de acero que actúan como elementos laterales auxiliares de las uniones

Tipo y características del elemento	F_e (N/mm ²)	E (N/mm ²)
Placa de acero tipo F-24	600	200000