



## Estructuras de madera 25. Cálculo de uniones



Vanesa Baño  
[vanesab@fing.edu.uy](mailto:vanesab@fing.edu.uy)

### 25.1. Planteamiento de cálculo según EC-5

25.2. Uniones madera-madera

25.3. Uniones acero-madera

25.4. Uniones en corona

## 25. Cálculo de uniones tipo clavija: pernos

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### PLANTEAMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN EC-5

**GEOMETRÍA DE LA UNIÓN**

**VALORES CARACTERÍSTICOS DE PROPIEDADES DE MATERIALES**

MADERA: RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

ACERO: MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN DEL PERNO

∨

**ECUACIONES DE JOHANSEN (1949)**

Considera mínimo el efecto del rozamiento entre las piezas

No considera fuerzas axiales en los medios de unión

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### PLANTEAMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN EC-5

**GEOMETRÍA DE LA UNIÓN**

**VALORES CARACTERÍSTICOS DE PROPIEDADES DE MATERIALES**

MADERA: RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

ACERO: MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN DEL PERNO

**EN 383.** Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija

$f_h = F_{max} / d \cdot t$

d: diámetro del perno  
t: espesor de la probeta

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**PLANTEAMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN EC-5**

**GEOMETRÍA DE LA UNIÓN**

**VALORES CARACTERÍSTICOS DE PROPIEDADES DE MATERIALES**

**MADERA: RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO**

ACERO: MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN DEL PERNO

**SIMPLIFICACIÓN:** Determinar la resistencia al aplastamiento a partir de la densidad característica de la madera ( $\rho_k$ ) y del diámetro del perno ( $d$ )

(2) En pernos con diámetros de hasta 30 mm, debería utilizarse el siguiente valor característico de la resistencia al aplastamiento en madera y madera microlaminada (LVL), con un ángulo  $\alpha$  respecto a la dirección de la fibra:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

donde

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{para coníferas} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{para madera microlaminada (LVL)} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{para frondosas} \end{cases} \quad (8.33)$$

y

$f_{h,0,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra, en  $\text{N/mm}^2$ ;

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en  $\text{kg/m}^3$ ;

$\alpha$  es el ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra;

$d$  es el diámetro del perno, en mm.

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**PLANTEAMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN EC-5**

**GEOMETRÍA DE LA UNIÓN**

**VALORES CARACTERÍSTICOS DE PROPIEDADES DE MATERIALES**

MADERA: RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

**ACERO: MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN DEL PERNO**

**MOMENTO PLÁSTICO:** Momento flector que produce la plastificación de la sección del perno. Se puede deducir de ensayos, pero el EC-5 plantea su deducción a partir de la siguiente ecuación:

(1) En pernos debería utilizarse el siguiente valor característico para el momento plástico:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

donde

$M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico, en  $\text{Nmm}$ ;

$f_{u,k}$  es el valor característico de la resistencia a tracción, en  $\text{N/mm}^2$ ;

$d$  es el diámetro del perno, en mm.

**CAPACIDAD DE CARGA EN SOLICITACIONES DE CORTE DE LOS PERNOS: ECUACIONES DE JOHANSEN**

UNIONES MADERA-MADERA	UNIONES ACERO-MADERA
SIMPLE CORTADURA	SIMPLE CORTADURA
DOBLE CORTADURA	DOBLE CORTADURA

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25.1. Planteamiento de cálculo según EC-5

25.2. Uniones madera-madera

25.3. Uniones acero-madera

25.4. Uniones en corona

## 25. Cálculo de uniones tipo clavija: pernos

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

APLASTAMIENTO DE LA MADERA

APLASTAMIENTO DE LA MADERA + PLASTIFICACIÓN CLAVIJA

The diagram illustrates the failure modes of a simple wood-to-wood joint under load. It shows side and top views of the joint with dimensions  $t_1$  and  $t_2$ . The top view shows the joint with a horizontal line representing the nail. The side view shows the joint with a diagonal line representing the nail. The diagram is divided into six stages (a-f) illustrating the progression of failure under load  $R_d$ :

- a) Initial contact and load application.
- b) Initial wood crushing and nail deformation.
- c) Progressive wood crushing and nail deformation.
- d) Further wood crushing and nail deformation.
- e) Significant wood crushing and nail deformation.
- f) Final failure state with maximum wood crushing and nail deformation.

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

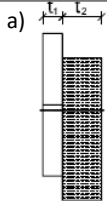
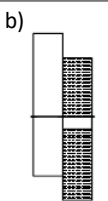
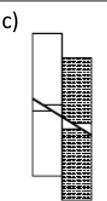


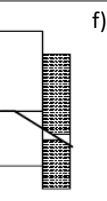
25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

APLASTAMIENTO DE LA MADERA

APLASTAMIENTO DE LA MADERA + PLASTIFICACIÓN CLAVIJA

(a)  $f_{h,1,k} t_1 d$

(b)  $f_{h,2,k} t_2 d$

(c)  $\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(d)  $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(e)  $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(f)  $1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(a)  $F_{v,Rk}$ : valor característico de la capacidad de carga para los pernos, por plano de cortadura y por medio de fijación

(b)  $t_i$ : espesor de la madera

(c)  $f_{h,ik}$ : valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i

(d)  $d$ : diámetro de los pernos

(e)  $M_{y,Rk}$ : valor característico del momento plástico del perno

(f)  $\beta$ : relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas

(g)  $F_{ax,Rk}$ : valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

(a)  $f_{h,1,k} t_1 d$

(b)  $f_{h,2,k} t_2 d$

(c)  $\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(d)  $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(e)  $1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(f)  $1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(8.31)

$f_{h,ik}$ : valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i

$d$ : diámetro de los pernos

$t_i$ : espesor de la madera

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k$$

(8.32)

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \quad (8.6) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{cases}$$

$f_{h,j,k}$ : valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera  $i$   
 $d$ : diámetro de los pernos  
 $t_i$ : espesor de la madera  
 $M_{y,Rk}$ : valor característico del momento plástico del perno

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \quad (8.6) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{cases}$$

$f_{h,j,k}$ : valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera  $i$   
 $d$ : diámetro de los pernos  
 $t_i$ : espesor de la madera  
 $M_{y,Rk}$ : valor característico del momento plástico del perno  
 $\beta$ : relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas =  $f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

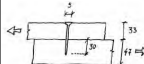
$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$


1º término: capacidad de carga de acuerdo a la teoría de plastificación de Johansen  
 2º término ( $F_{ax,Rk}/4$ ): contribución al **efecto sogá**:  
 $F_{ax,Rk}$ : valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación

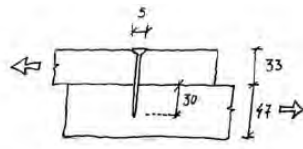
ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**CORTADURA SIMPLE**

(2) En las expresiones (8.6) y (8.7), el primer término del lado derecho es la capacidad de carga de acuerdo con la teoría de plastificación de Johansen, mientras que el segundo término  $F_{ax,Rk}/4$  es la contribución del efecto sogá. La contribución a la capacidad de carga debida al efecto sogá debería limitarse a los siguientes porcentajes de la parte de Johansen:



- Clavos de sección circular	15%
- Clavos de sección cuadrada y ramurados	25%
- Otros tipos de clavos	50%
- Tirafondos	100%
- Pernos	25%
- Pasadores	0%

Si no se conoce  $F_{ax,Rk}$ , la contribución del efecto sogá debería tomarse como cero.

Arriaga, 2011

**efecto sogá:**

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA**

APLASTAMIENTO DE LA MADERA

APLASTAMIENTO DE LA MADERA + PLASTIFICACIÓN CLAVIJA

g) h) j) k)

↓  $F_{v,Rk}$  ↓  $F_{v,Rk}$  ↓  $R_e$  ↓  $R_e$

↑  $2F_{v,Rk}$  ↑  $2F_{v,Rk}$  ↑  $2R_e$  ↑  $2R_e$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA**

APLASTAMIENTO DE LA MADERA

APLASTAMIENTO DE LA MADERA + PLASTIFICACIÓN CLAVIJA

g) h) j) k)

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0.5 f_{h,2k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1.05 \frac{f_{h,1k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \quad (8.7)$$

con

$$\beta = \frac{f_{h,2k}}{f_{h,1k}} \quad (8.8)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

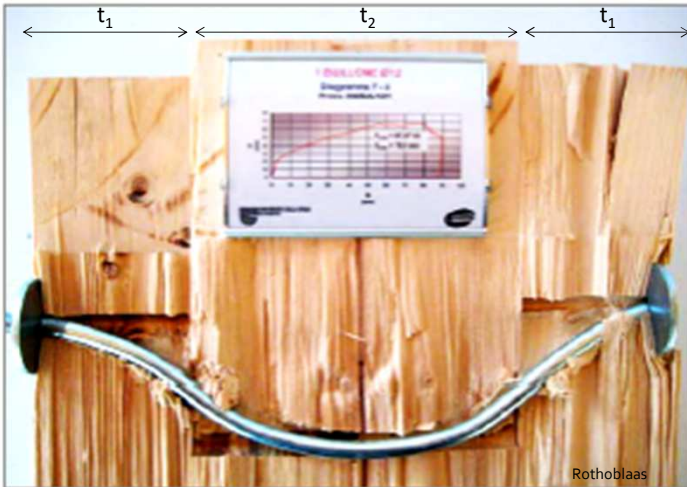


25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

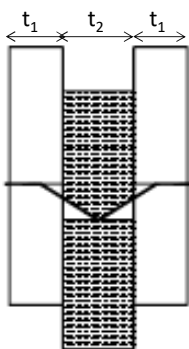
**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA**

APLASTAMIENTO DE LA MADERA + PLASTIFICACIÓN CLAVIJA



k)



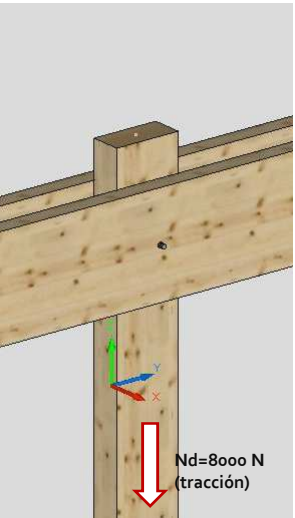
Rothoblaas

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

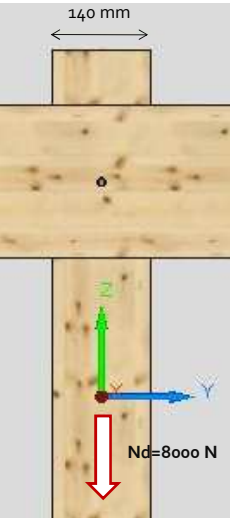
25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

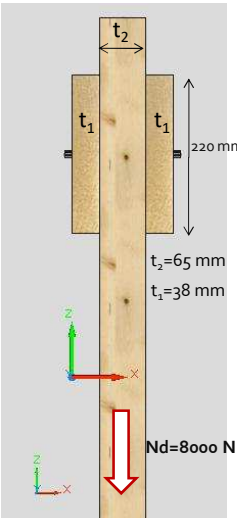
**DOBLE CORTADURA: ejemplo**



AXONOMETRÍA



ALZADO



PERFIL

**DATOS:**

- Diámetro pernos = 10 mm
- $t_2 = 65$  mm
- $t_1 = 38$  mm
- Holgura pretaladro = 1 mm
- C.R. = C18
- C.S. = 1
- Combinación de hipótesis de duración media

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

#### DOBLE CORTADURA: ejemplo

Tabla 1 – Clases resistentes. Valores característicos

	Coníferas y chopos										Frondosas										
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )																					
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tensión paralela a la fibra	$f_{t,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tensión perpendicular a la fibra	$f_{t0,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c0,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )																					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{0,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )																					
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	800
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

NOTA 1 Los valores dados en esta tabla para la resistencia a tracción, resistencia a compresión, resistencia a cortante, 5% percentil del módulo de elasticidad, módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra y módulo de cortante se han calculado utilizando las ecuaciones dadas en el anexo A.  
 NOTA 2 Las propiedades relacionadas en esta tabla son aplicables a la madera que presente un contenido de humedad que corresponde a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 65%.  
 NOTA 3 Es probable que la madera perteneciente a las clases C45 y C50 no esté fácilmente disponible.  
 NOTA 4 Los valores característicos de resistencia a cortante son para madera sin firmas, de acuerdo a la Norma EN 408. El efecto de las firmas debería tenerse en cuenta en las normas de diseño.

EN 338:2010. Madera Estructural. Clases resistentes

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

#### DOBLE CORTADURA: ejemplo

MADERA

RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS AL APLASTAMIENTO

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{para coníferas} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{para madera microlaminada (LVL)} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{para frondosas} \end{cases} \quad (8.33)$$

Pieza central

$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 \cdot 10) 320 = 23,6 \text{ N/mm}^2$

Piezas laterales

$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 10 = 1,5$   
 $f_{h,90,k} = 23,6 / (1,5 \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90) = 15,7 \text{ N/mm}^2$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**PERNOS VALOR CARACTERÍSTICO DEL MOMENTO PLÁSTICO**

(1) En pernos debería utilizarse el siguiente valor característico para el momento plástico:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$$

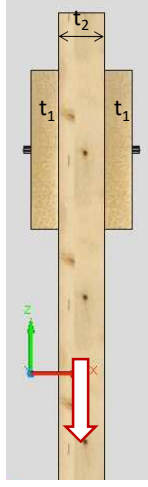
donde

$M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico, en Nmm;

$f_{u,k}$  es el valor característico de la resistencia a tracción, en N/mm<sup>2</sup>; = 240 N/mm<sup>2</sup>

$d$  es el diámetro del perno, en mm. = 10 mm

**$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot 240 \cdot 10^{2,6} = 28664 \text{ N mm}$**



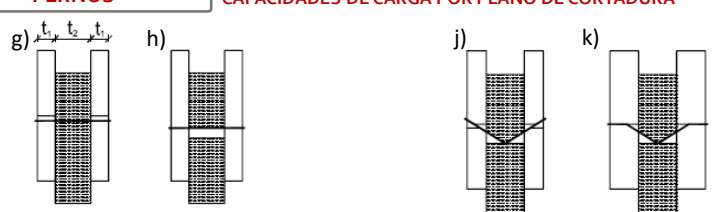
ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanesa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**PERNOS CAPACIDADES DE CARGA POR PLANO DE CORTADURA**



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(g)} \\ \text{(h)} \\ \text{(j)} \\ \text{(k)} \end{array} \quad (8.7)$$

con

$$\beta = \frac{f_{h,2k}}{f_{h,1k}} = 23,6/15,7 = 1,5 \quad (8.8)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanesa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**PERNOS      CAPACIDADES DE CARGA POR PLANO DE CORTADURA**

g)

h)

j)

k)

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \quad (8.7)$$

con

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 23.6/15.7 = 1.5 \quad (8.8)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-MADERA**

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**PERNOS      CAPACIDADES DE CARGA POR PLANO DE CORTADURA**

g)

h)

j)

k)

$t_2 = 65 \text{ mm}$

$t_1 = 38 \text{ mm}$

$\beta = 1.5$

$f_{h,1,k} = 15.7 \text{ N/mm}^2$

$f_{h,2,k} = 23.6 \text{ N/mm}^2$

g)  $F_{v,Rk} = 15.7 \cdot 38 \cdot 10 = 5996 \text{ N}$

h)  $F_{v,Rk} = 0.5 \cdot 23.6 \cdot 65 \cdot 10 = 7670 \text{ N}$

j)  $F_{v,Rk} = 5270 + 0 = 5270 \text{ N}$

k)  $F_{v,Rk} = 3781 + 0 = 3781 \text{ N (valor mínimo)}$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**PERNOS**      **NUMERO DE PERNOS PARA EL MODO DE ROTURA MAS DEBIL**

$t_1 = 220 \text{ mm}$   
 $t_2 = 65 \text{ mm}$   
 $t_1 = 38 \text{ mm}$   
 $N_d = 8000 \text{ N}$

**CAPACIDAD DEL PERNO =  $2 \cdot 3781 = 7562 \text{ N}$**   
**N° PERNOS =  $8000 \text{ N} / 7562 \text{ N} = 1.06$  pernos**

Opciones:

- » COLOCAR 2 PERNOS
- » AUMENTAR EL DIAMETRO DEL PERNO

k)  $F_{v,RK} = 3781 + 0 = 3781 \text{ N}$  (valor mínimo)

Rothoblaas  
Vanessa Baño

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

**DOBLE CORTADURA: ejemplo**

**DISTRIBUCION PERNOS**

#### Separaciones, distancias y ángulos bajo carga lateral

ETSI Montes, UPM - 2011

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018

Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

#### DOBLE CORTADURA: ejemplo

#### DISTRIBUCION PERNOS

**Leyenda**

- (1) Testa cargada
- (2) Testa no cargada
- (3) Borde cargado
- (4) Borde no cargado
- 1 Medio de fijación
- 2 Dirección de la fibra

Separaciones y distancias al borde/testa (véase la figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
$a_1$ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	máx. (7 d; 80 mm)
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	máx. [(1 + 6 sen $\alpha$ ) d; 4d]
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4 d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	máx. [(1 + 6 sen $\alpha$ ) d; 4d]
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	máx. [(2 + 2 sen $\alpha$ ) d; 3d]
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

#### DOBLE CORTADURA: ejemplo

#### DISTRIBUCION PERNOS

DISTANCIAS MINIMAS A LOS BORDES

$a_{3,t} = 80 \text{ mm}$

$a_{4,c} = 3d = 30 \text{ mm}$

$a_1 = (4 + \cos 0)d = 40 \text{ mm}$

$a_2 = 4 \cdot d = 40 \text{ mm}$

$a_{4,t} = \max((2 + 2 \sin 90)d; 3d) = \max(4d; 3d) = 40 \text{ mm}$

DATO: Diámetro pernos = 10 mm

Separaciones y distancias al borde/testa (véase la figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
$a_1$ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	máx. (7 d; 80 mm)
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	máx. [(1 + 6 sen $\alpha$ ) d; 4d]
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4 d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	máx. [(1 + 6 sen $\alpha$ ) d; 4d]
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	máx. [(2 + 2 sen $\alpha$ ) d; 3d]
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES MADERA-MADERA

#### DESlizamiento de LA UNION: ejemplo

**DATO: ESFUERZOS PARA LAS HIPOTESIS SIMPLES**

CP= 2500 N (carga permanente)  
 U = 3083 N (sobrecarga de uso de corta duración)

$k_{ser}$

Tabla 7.1  
 Valores de  $k_{ser}$  para medios de fijación y conectores, en N/mm, en uniones madera-madera y tableros derivados de la madera-madera

Tipo de herraje	$k_{ser}$
Pasadores	$\rho_m \cdot d^{1.25}$
Pernos con o sin holgura*	$\rho_m \cdot d^{1.25}$
Tirafondos	$\rho_m \cdot d^{1.25}$
Clavos (con pretaladro)	$\rho_m \cdot d^{1.25} / 20$
Clavos (sin pretaladro)	$\rho_m \cdot d^{1.25} / 80$
Grapas	$\rho_m \cdot d^{1.25} / 80$
Conectores de anillo de tipo A de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$\rho_m \cdot d / 2$
Conectores de placa de tipo B de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$\rho_m \cdot d / 2$
Conectores de placa dentada:	
Conectores de tipos C1 a C9 de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$1.5 \rho_m \cdot d / 4$
Conectores de tipo C10 y C11 de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$\rho_m \cdot d / 2$

\* La holgura deberá situarse de forma separada a la deformación.

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanesa Baño

25.1. Planteamiento de cálculo según EC-5

25.2. Uniones madera-madera

25.3. Uniones acero-madera

25. Cálculo de uniones tipo clavija: pernos

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-ACERO**

**SIMPLE CORTADURA**

a) Placa gruesa

Impide el giro libre de la clavija.  
Funciona como empotramiento.  
Puede formar una rotula plastica

b) Placa delgada

Permite el giro libre de la clavija

Figura 11.14. Diferentes comportamientos de la clavija en función del espesor de la placa.

PLACAS DELGADAS	ESPESOR $\leq 0,5 d$ (d: diámetro del perno)
PLACAS GRUESAS	ESPESOR $\geq d$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-ACERO**

**SIMPLE CORTADURA**

PLACA DELGADA

a)

b)

PLACA GRUESA

c)

d)

e)

(8.9)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{hk} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (a) \quad (b)$$

UNE EN 1995-1-1:2006/A1:2010

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{hk} t_1 d \\ f_{hk} t_1 d \left[ 2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{hk} d t_1^2} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (c) \quad (d) \quad (e)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño



25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-ACERO**

**DOBLE CORTADURA – PLACA DE ACERO CENTRAL**

– Para placa de acero de cualquier espesor como pieza central de una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1k} t_1 d \quad (f) \\ f_{h,1k} t_1 d \left[ 2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_1^2} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (h) \end{array} \right. \quad (8.11)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

**UNIONES MADERA-ACERO**

**DOBLE CORTADURA – PLACAS DE ACERO LATERALES**

PLACA DELGADA

PLACA GRUESA

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2k} t_2 d \quad (j) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (k) \end{array} \right. \quad (8.12)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2k} t_2 d \quad (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (m) \end{array} \right. \quad (8.13)$$

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES TIPO CORONA

Uniones semirrígidas que hacen posible la transmisión de momentos flectores, impidiendo parcialmente el giro de las piezas

EMPALMES DE ELEMENTOS PARALELOS

a)

CUBREJUNTAS

CUBREJUNTAS

UNIONES EN ANGULO

b)

Argüelles y Arriaga, 2000  
ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

### UNIONES TIPO CORONA

Esfuerzos a transmitir

ETS Ingeniería Montes - UPM noviembre 2011 10

ESTRUCTURAS DE MADERA 2018 Vanessa Baño

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

UNIONES TIPO CORONA

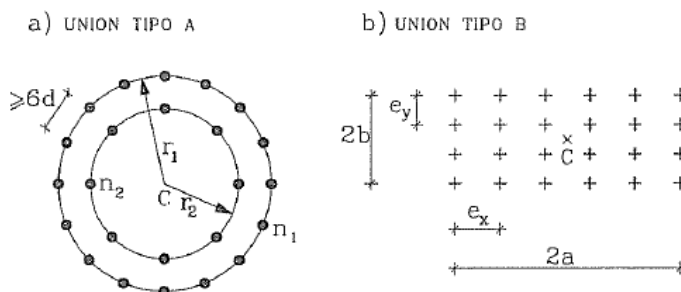


Figura P.3. Diferentes modelos de uniones tipo corona.

25. CÁLCULO DE UNIONES TIPO CLAVIJA

UNIONES TIPO CORONA

	Pernos Pasadores	Conector de anillo o placa	Conector de placa dentada
Distancia a testa cargada	7d	2d <sub>c</sub>	1,5d <sub>c</sub>
Distancia al borde	4d	d <sub>c</sub>	d <sub>c</sub>
Separaciones:			
- en el perímetro del círculo o rectángulo	6d	2d <sub>c</sub>	1,5d <sub>c</sub>
- entre círculos o rectángulos	5d	1,5d <sub>c</sub>	1,5d <sub>c</sub>

d : diámetro del perno o pasador  
d<sub>c</sub>: diámetro del conector

Tabla P.1. Distancias y separaciones mínimas en elementos de fijación e uniones de tipo corona.