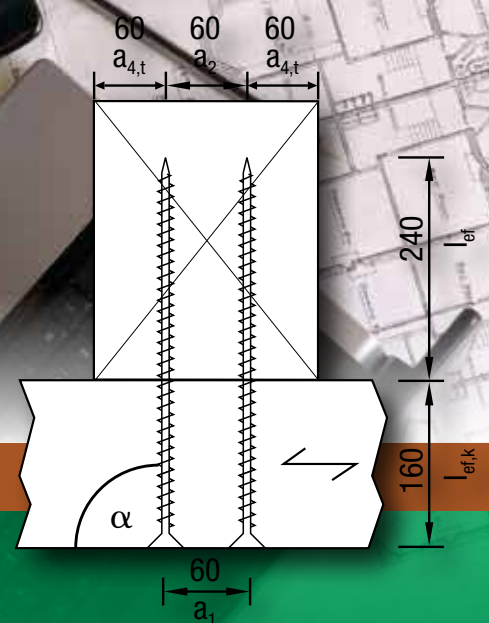




Construcción



# Guía de diseño

Recomendaciones para el diseño y  
cálculo de uniones estructurales  
con tornillos SPAX.



Utilice también el software  
de diseño de SPAX en  
<https://designsoftware.spax.com>

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Definiciones y nomenclatura</b>	
Símbolos de las ecuaciones	4
Determinación de los grosores y longitudes de penetración $t_1$ y $t_2$	5
Determinación de las longitudes de rosca efectiva $l_{ef}$ y $l_{ef,k}$	5
<b>3. Valor de cálculo de la resistencia</b>	
3.1 Valor de cálculo de la resistencia al cizallamiento	6
3.2 Valor de cálculo de la resistencia a la extracción	6
<b>4. Factores de modificación</b>	
4.1 Factor de modificación de resistencia $k_{mod}$	7
Clase de servicio	7
Clase de tiempo de carga	8
Valores de los factores de modificación de Resistencia $k_{mod}$	9
4.2 Coeficientes parciales para los materiales $\gamma_M$	10
<b>5. Valor de cálculo de la resistencia al cizallamiento</b>	
5.1 Resistencia al cizallamiento	
Dimensionamiento de uniones SPAX según NFEN 1995-1-1, §8	11
Efecto de cuerda $\Delta R_k$	13
Número eficaz de sujeciones	14
5.2 Resistencia axial y a la extracción	
Valor característico de resistencia a la extracción de la rosca $F_{ax,ct,Rk}$	15
Resistencia característica a la tracción $f_{tens,k}$ del acero SPAX	15
Resistencia característica al cruce de la cabeza	16
Número eficaz de sujeciones	17
<b>6. Recomendaciones de aplicación</b>	
6.1 Características generales	18
6.2 Taladro previo	19
6.3 Grosor mínimo para evitar que se raje la madera	19
6.4 Espaciamiento y distancias mínimos	20
<b>7. Tablas de dimensionamiento</b>	
Cizallamiento: madera-madera	25
Extracción	28
<b>8. Descripción de la gama</b>	<b>30</b>

# 1. Introducción

Esta guía trata el dimensionamiento y la colocación de uniones estructurales mediante tornillos SPAX según la norma UNE-EN 1995-1-1:2006-10 (Euro código 5 o EC5) y su Anexo Nacional UNE-EN 1995-1-1/2006/A1/2010-06, y de conformidad con la Autorización Técnica Europea (ATE) ATE-12/0114.

Sirve como ayuda al dimensionamiento previo y rápido de las uniones estructurales SPAX, aunque no exime de la realización de una nota de cálculo por un profesional y del estudio de estructura.

A falta de disposiciones específicas en la Autorización Técnica Europea (ATE), el EC5 y sus Anexos Nacionales son aplicables a la concepción, al dimensionamiento y a la realización de las uniones. También se deberán cumplir las normas nacionales.

Sólo se tendrán en cuenta los requisitos de capacidad de carga y los criterios de servicio de las uniones.


Además del EC5, en las secciones correspondientes se presentan recomendaciones específicas que forman requisitos mínimos. Si resulta necesario se deberán extender a los casos de uniones particulares.

Los elementos de madera maciza, madera laminada encolada, LVL, compuestos de madera y plástico (según su ATE o autorización nacional) o piezas metálicas se podrán unir a otros elementos de madera maciza, madera laminada encolada, LVL o compuestos de madera y plástico (según su ATE o autorización nacional).

Las uniones a los elementos en panel de partículas, de fibras, OSB o contrachapado se podrán dimensionar de acuerdo con las recomendaciones de la ATE o de la autorización nacional del panel del que se trate, siempre que se contemple o permita la sujeción mediante tornillos según la ATE.

Esta guía ha sido redactada de buena fe e incluyendo todos los conocimientos con los que contamos. No nos hacemos responsables de cualquier fallo o error patente.

Les agradecemos que envíen cualquier propuesta de corrección, pregunta o sugerencia a [technik@spax.com](mailto:technik@spax.com).



Utilice también el software de diseño de SPAX según EC5 + ETA para el dimensionamiento de sus proyectos. La nueva versión de navegador ofrece un dimensionamiento en línea con los módulos de dimensionamiento general de tornillos (cizallamiento + extracción), refuerzo de entalladuras, refuerzo de la presión transversal, aislamiento bajo cubierta y unión de soportes principales y auxiliares con la opción de almacenamiento del cálculo en el servidor (filehosting) y la administración de proyectos. Una descripción más detallada del programa se encuentra en [downloads.spax.com](https://downloads.spax.com) en la instrucción breve del software de diseño de SPAX. Utilice <https://designsoftware.spax.com> para llamar el software directamente.

Le recomendamos poner un marcador si utiliza frecuentemente el software.

ETA-12/0114

## 2. Definiciones y nomenclatura

### Símbolos de las ecuaciones

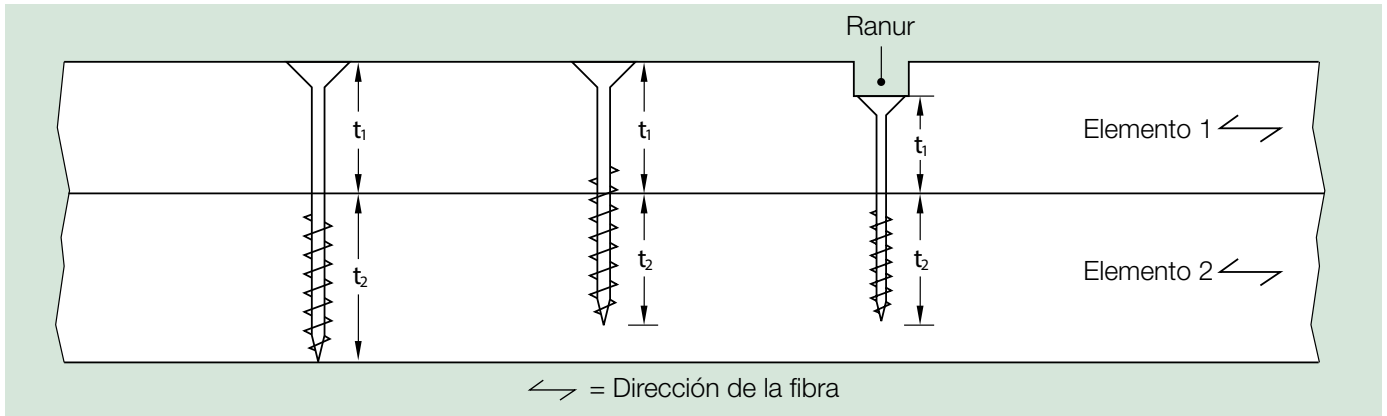
$F_{v,Ed}$	Valor de cálculo del esfuerzo de cizallamiento que actúa sobre la sujeción	[N]	
$F_{v,Ek}$	Valor característico del esfuerzo de cizallamiento que actúa sobre la sujeción	[N]	
$F_{ax,\alpha,Ed}$	Valor de cálculo del esfuerzo axial que actúa sobre la sujeción	[N]	
$F_{ax,\alpha,Ek}$	Valor característico del esfuerzo axial que actúa sobre la sujeción	[N]	
$M_{y,k}$	Valor característico del momento de derramamiento plástico de la sujeción	[Nm]	ATE
$F_{v,Rd}$	Valor de cálculo de la resistencia al cizallamiento de la sujeción, por plano de cizallamiento y por sujeción	[N]	
$F_{v,Rk}$	Valor característico de la resistencia al cizallamiento de la sujeción, por plano de cizallamiento y por sujeción	[N]	EC5 ; §8.2.2 (1)
$\Delta R_k$	Valor característico de la resistencia al cizallamiento adicional debida al efecto de cuerda	[N]	EC5 ; §8.2.2 (2)
$F_{ax,\alpha,Rd}$	Valor de cálculo de la resistencia axial a la extracción de la sujeción	[N]	
$F_{ax,\alpha,Rk}$	Valor característico de la resistencia axial y a la extracción de la sujeción	[N]	ATE
$f_{tens,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a la tracción del acero	[N]	
$f_{tens,k}$	Valor característico de la resistencia a la tracción del acero	[N]	ATE
$d_1$	Diámetro exterior de la rosca	[mm]	ATE anexos
$d_h$	Diámetro de la cabeza	[mm]	ATE anexos
$f_{ax,k}$	Valor característico del parámetro de extracción	[N/mm <sup>2</sup> ]	ATE
$f_{head,k}$	Valor característico del parámetro de cruce de la cabeza	[N/mm <sup>2</sup> ]	ATE
$f_{h,k}$	Valor característico de la carga local	[N/mm <sup>2</sup> ]	ATE
$k_{mod}$	Factor de modificación de la resistencia (consideración de la clase de servicio y de la clase de tiempo de carga)		
$l_{ef}$	Longitud de rosca eficaz en el elemento 2 hacia la punta	[mm]	
$l_{ef,k}$	Longitud de rosca eficaz en el elemento 1 hacia la cabeza	[mm]	
$l_g$	Longitud de rosca del tornillo	[mm]	ATE anexos
$n_{ef}$	Número eficaz de sujeciones	[ ]	EC5 ; §8.7, ATE
$t$	Grosor (p.ej. de un elemento)	[mm]	
$t_1$	Grosor o longitud de penetración en el elemento 1 hacia el cabeza	[mm]	
$t_2$	Grosor o longitud de penetración en el elemento 2 hacia la punta	[mm]	
$t_{req}$	Grosor o longitud de penetración requerida	[mm]	
$u_{gl}$	Humedad de equilibrio de la madera	[%]	
$\alpha$	Ángulo entre el eje del tornillo y la fibra de la madera	[°]	ATE
$\alpha'$	Ángulo entre la dirección del esfuerzo resultante y la fibra de la madera	[°]	
$\beta$	Relación de las cargas locales $f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$	[ ]	EC5 ; §8.2.2
$\gamma_M$	Coefficiente parcial sobre los materiales (esfuerzo estático o cuasi-estático)		
$\rho_k$	Valor característico de la densidad de la madera o material a base de madera	[kg/m <sup>3</sup> ]	



## 2. Definiciones y nomenclatura

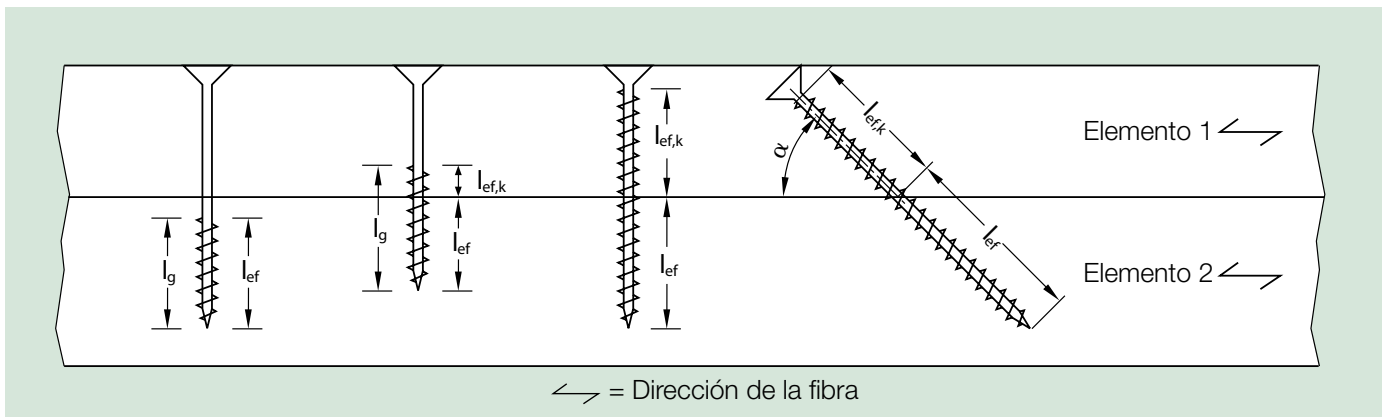
### Dimensionamiento bajo esfuerzo perpendicular al eje del tornillo - Cizallamiento

Figura 2.1 Determinación de los grosores o longitudes de penetración  $t_1$  y  $t_2$



### Dimensionamiento bajo esfuerzo paralelo al eje del tornillo - Extracción

Figura 2.2 Determinación de las longitudes de rosca eficaces  $l_{ef}$  y  $l_{ef,k}$



### 3. Valor de cálculo de la resistencia

#### 3.1 Valor de cálculo de la resistencia al cizallamiento

Valor de cálculo de la resistencia perpendicular al eje del tornillo

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} \quad [N] \quad \gamma_M = 1,3$$

Para la determinación del valor característico de la resistencia, véase §5.1

#### 3.2 Valor de cálculo de la resistencia a la extracción

Valor de cálculo de la resistencia paralela al eje del tornillo

La resistencia a la extracción se determina comparando los valores de cálculo correspondientes a los tres modos de rotura posibles de los tornillos SPAX.

Se conserva el valor más bajo.

$$R_{ax,d} = \min \begin{cases} \text{Valor de cálculo } R_{ax,d} \text{ del modo de rotura a la extracción de la rosca} \\ \text{Valor de cálculo } R_{t,u,d} \text{ del modo de rotura a la extracción del acero} \\ \text{Valor de cálculo } R_{ax,d} \text{ del modo de rotura por cruce de la cabeza} \end{cases}$$

**Valor de cálculo – Extracción de la rosca:**

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} \quad [N] \quad \gamma_M = 1,3$$

EC5 ; §2.4.3

**Valor de cálculo – Tracción del acero:**

$$R_{t,u,d} = \frac{R_{t,u,k}}{\gamma_M} \quad [N] \quad \gamma_M = 1,3$$

**Valor de cálculo – Cruce de la cabeza:**

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_M} \quad [N] \quad \gamma_M = 1,3$$

## 4. Factor de modificación $k_{mod}$

### 4.1 Factor de modificación de resistencia $k_{mod}$

El factor de modificación de resistencia  $k_{mod}$  tiene en cuenta la influencia de la clase de servicio y la clase de tiempo de carga en las propiedades mecánicas de la madera o material a base de madera.

EC5 ; Tab. 3.1

La determinación del factor de modificación de resistencia  $k_{mod}$  se realiza en 3 etapas:

1. Determinación de la clase de servicio
2. Determinación de la clase de tiempo de carga según la combinación de acciones más desfavorable
3. Determinación del valor del factor de modificación de resistencia  $k_{mod}$  en función de la Clase de Servicio y de la clase de tiempo de carga determinados previamente.

### Clase de servicio

Debido a las propiedades físicas de los materiales a base de madera, las estructuras de madera se deberán asignar a una clase de servicio, que caracteriza las condiciones climáticas de la estructura en servicio.

EC5 ; §2.3.1.3

**Clase de servicio 1:** se caracteriza por una humedad de materiales correspondiente a una temperatura de 20°C y una humedad relativa ambiente que sólo pasa del 65% durante unas semanas al año, p.ej. un obra situada en un volumen interior caldeado.

**Clase de servicio 2:** se caracteriza por una humedad de materiales correspondiente a una temperatura de 20°C y una humedad relativa ambiente que sólo pasa del 85% durante unas semanas al año, p.ej. un obra exterior cubierta y protegida de las inclemencias meteorológicas.

**Clase de servicio 3:** cubre las condiciones climáticas que conducen a una humedad de los materiales superior a la de la Clase de Servicio 2, p.ej. para obras sometidas directamente a las inclemencias meteorológicas.

**Tabla 4.1 Síntesis de la asignación de las clases de servicio**

	A	B	C	D
1	<b>Cl.S.</b>	Clima ambiental <sup>a</sup>	Situación de aplicación	Humedad media $u_{gl}$
2	<b>1</b>	20 °C / Humedad Rel. ≤ 65 %	Volumen interior caldeado	5 % – 15 % <sup>b</sup>
3	<b>2</b>	20 °C / Humedad Rel. ≤ 85 %	Exterior cubierto, protegido de las inclemencias meteorológicas	10 % – 20 % <sup>c</sup>
4	<b>3</b>	Humedades superiores al Cl.S. 2	Expuesto a las inclemencias meteorológicas	12 % – 24 %

Observación:

Algunas configuraciones de obras en exterior cubierto necesitan además ser asignadas a la clase de servicio 3.

Hay elementos situados en exteriores que se pueden asignar a la clase de servicio 2 mediante una protección adaptada contra las inclemencias.

<sup>a</sup> Las condiciones de clima ambiental se pueden superar durante unas semanas al año.

<sup>b</sup> En la clase de servicio 1 el contenido de humedad medio en la mayoría de las coníferas no excede el 12%.

<sup>c</sup> En la clase de servicio 2 el contenido de humedad medio en la mayoría de las coníferas no excede el 20%.



## 4. Factor de modificación $k_{mod}$ y coeficientes parciales $\gamma_M$

### 4.1 Factor de modificación de resistencia $k_{mod}$

#### Clase de tiempo de carga

Tabla 4.2 Asignación de las acciones a las clases de tiempo de carga según UNE-EN 1995-1-1:2006

	A	B
1	Clase de duración de la carga	Ejemplos de carga
2	Permanente	peso propio
3	Larga	almacenamiento
4	Media	sobrecarga de uso, nieve
5	Corta	nieve, viento
6	Instantánea	viento, acciones accidentales

EC5 ; Tab. 2.2

Las acciones inducidas por un asentamiento diferencial se asignan a la clase de duración Permanente.

Se puede prescindir de la influencia de los cambios de temperatura para los materiales a base de madera.

En el caso de una combinación de acciones asignadas a clases de tiempo de carga diferentes, se puede utilizar el factor de modificación de  $k_{mod}$  correspondiente a la clase de tiempo más corta.

EC5 ; §3.1.3 (2)



## 4. Factor de modificación $k_{mod}$ y coeficientes parciales $\gamma_M$

### 4.1 Factor de modificación de resistencia $k_{mod}$

Tabla 4.3 Valores de los factores de modificación de resistencia  $k_{mod}$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Material	Norma	Clase de servicio	Clase de tiempo de carga				
				Acción permanente	Acción de larga duración	Acción de media duración	Acción de corta duración	Acción instantánea
2	Madera maciza	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
4			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
5	Madera laminada encolada	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
6			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
7			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
8	Madera microlaminada, LVL	EN 14374, EN14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
9			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
10			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
11	Tablero contrachapado	EN 636 Parte 1, Parte 2, Parte 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
12			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
13			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
14	Tablero de virutas orientadas, OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
15			1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
16			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
17	Tablero de partículas	EN 312 Parte 4, Parte 5 Parte 5 Parte 6, Parte 7 Parte 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
18			2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
19			1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
20	Tablero de fibras, duro	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA1 ó 2 HB.HLA1 ó 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
21			2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
22			1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
23	Tablero de fibras, medio	EN 622-3 MBH.LA1 ó 2 MBH.HLS1 ó 2 MBH.HLS1 ó 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
24			1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
25			2	–	–	–	0,45	0,80
26	Tablero de fibras, de densidad media, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
27			1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
28			2	–	–	–	0,45	0,80

EC5 ; Tab. 3.1

En caso de valores diferentes de los factores de modificación de resistencia de los dos elementos unidos ( $k_{mod,1}$  y  $k_{mod,2}$ ), se puede utilizar el factor único determinado de la siguiente manera:

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$$

EC5 ; §2.3.2.1(2) Equ. (2.6)

## 4. Factor de modificación $k_{mod}$ y coeficientes parciales $\gamma_M$

### 4.2 Coeficientes parciales para los materiales $\gamma_M$

Tabla 4.5 Coeficientes parciales para los materiales  $\gamma_M$  bajo esfuerzo estático o cuasi-estático

	A	B
1	Material	$\gamma_M$
	Combinaciones fundamentales:	
2	Madera maciza	1,3
3	Madera laminada encolada	1,25
4	LVL, tablero contrachapado, OSB	1,2
5	Tablero de partículas	1,3
6	Tablero de fibras, duro	1,3
7	Tablero de fibras, medio	1,3
8	Tablero de fibras, MDF	1,3
9	Tablero de fibras, blando	1,3
10	Uniones	1,3
11	Herrajes de placas dentadas	1,25
12	Combinaciones accidentales	1,0

EC5 ; §2.4.1(1) Tab. 2.3

Para el dimensionamiento de elementos metálicos, véanse los coeficientes parciales de los materiales recomendados en la NF EN 1993-1-1.

Para las combinaciones de acciones accidentales se utiliza el coeficiente parcial  $\gamma_M$ .

## 5.1 Resistencia al cizallamiento

### 5.1.1 Dimensionamiento de uniones SPAX según NF EN 1995-1-1, §8

El dimensionamiento de las uniones en el Euro código 5 tienen en cuenta los distintos modos de rotura según la capacidad de carga local de los elementos a base de madera y el momento de derramamiento plástico del órgano de sujeción.

La determinación del valor característico de resistencia al cizallamiento de una unión SPAX en el Euro código 5 se hace comparando 6 modos de rotura:

EC5; 8.2.2 (1)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d_1 & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d_1 & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d_1}{1+\beta} \left[ \sqrt{\beta+2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d_1}{2+\beta} \left[ \sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_1 t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{4} & (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d_1}{1+2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_1 t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d_1} + \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{4} & (f) \end{array} \right.$$

$F_{v,Rk}$  = valor característico de la carga local en cizallamiento

+ efecto soga

Siendo

$M_{y,Rk}$  = valor característico del momento de derramamiento plástico del tornillo SPAX según su ATE

$F_{ax,\alpha,Rk}$  = valor característico de resistencia a la extracción del tornillo

$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$

siendo

$f_{h,1,k}$  = valor característico de carga local del elemento de madera 1 hacia la cabeza

$f_{h,2,k}$  = valor característico de carga local del elemento de madera 2 hacia la punta

$t_1 / t_2$  = longitud de penetración en el elemento 1 / el elemento 2

## 5.1 Resistencia al cizallamiento

### 5.1.1 Dimensionamiento de uniones SPAX según NF EN 1995-1-1, §8

La carga local de tornillos en orificios no perforados dispuestos en un ángulo entre el eje del tornillo y el sentido de la fibra,  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ , es:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad [\text{MPa}]$$

para tornillos en orificios perforados:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot (1-0,01 \cdot d)}{2,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad [\text{MPa}]$$

Para varillas roscadas en orificios perforados:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot (1-0,01 \cdot d)}{(2,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \cdot (k_{90} \cdot \sin^2 \varepsilon + \cos^2 \varepsilon)} \quad [\text{MPa}]$$

siendo

- $\rho_k$  densidad característica de la madera [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $d$  diámetro de la fibra exterior [mm];
- $\alpha$  ángulo entre el eje del tornillo y el sentido de la fibra;
- $\varepsilon$  ángulo entre la fuerza y el sentido de la fibra;
- $k_{90}$  según la ecuación (8.33) en EN 1995-1-1.

La carga local para tornillos dispuestos en paralelo al plano de la madera laminada cruzada, independiente del ángulo entre el eje del tornillo y el sentido de la fibra,  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ , se deberá calcular a partir de:

$$f_{h,k} = 20 \cdot d^{-0,5} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Salvo indicación contrario en la especificación técnica (ATE o hEN) para la madera laminada cruzada.

siendo

- $d$  diámetro de la rosca exterior [mm]  
( $d_i$  en los croquis del anexo)

La carga local de tornillos o de varillas en la superficie del plano de la madera laminada cruzada deberá ser igual a la de la madera maciza, sobre la base de la densidad característica de la capa exterior. Si ese parámetro es pertinente, se deberá tener en cuenta el ángulo entre la fuerza y el sentido de la fibra de la capa exterior.

El sentido de la fuerza de cizallamiento deberá ser perpendicular al eje del tornillo y paralelo a la superficie del plano de madera laminada cruzada.

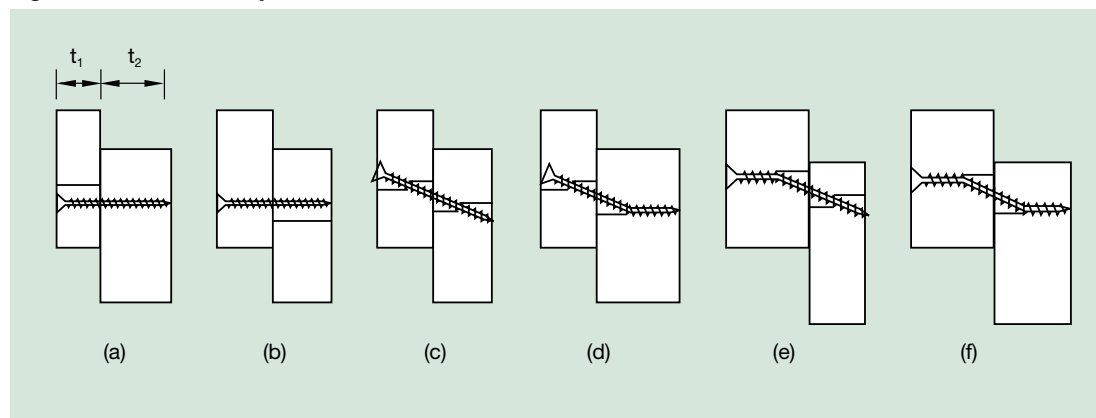
Para ángulos  $45^\circ \leq \alpha < 90^\circ$  entre la fuerza y el sentido de la fibra de la capa exterior, el valor característico de resistencia puede ser igual a 2/3 del valor correspondiente para  $\alpha = 90^\circ$ , si sólo se tiene en cuenta la longitud de penetración perpendicular a la superficie ancha.

ATE

## 5.1 Resistencia al cizallamiento

### 5.1.1 Dimensionamiento de uniones SPAX según NF EN 1995-1-1, §8

Figura 5. 1 Modos de ruptura



- (a) carga local del elemento 1, (b) carga local del elemento 2, (c) carga local de los elementos 1 y 2, (d) carga local y rótula plástica en el elemento 2, (e) carga local y rótula plástica en el elemento 1, (f) distintas rótulas plásticas en el órgano de unión

Los modos de ruptura se correlacionan con el grosor de los elementos de madera que influye en la carga local. La capacidad de carga máxima de una unión en cizallamiento simple se obtiene cuando predomina el modo de ruptura (f) con rótulas plásticas del tornillo SPAX. Para ello se necesita un grosor mínimo de los elementos de madera (esto es, una carga local mínima).

La utilización de este grosor mínimo tiene la ventaja de determinar la capacidad de carga en cizallamiento a partir de una sola ecuación en lugar de seis. Al estar los grosores mínimos basados el momento del derramamiento plástico de los tornillos SPAX, es evidente que los valores indicados sólo son válidos para los tornillos SPAX.

Las siguientes tablas muestran que por lo general se alcanzan los valores de grosores mínimos que hacen que predomine el modo de ruptura por rótulas plásticas múltiples dado el dimensionamiento de los elementos de madera.

### 5.1.2 Contribución del efecto de cuerda $\Delta R_k$

$$\Delta R_k = \min. \{F_{v,Rk} ; 0,25 \cdot F_{ax,\alpha,Rk}\}$$

Para los tornillos SPAX, se puede tener en cuenta la contribución del efecto de cuerda hasta el 100% del valor característico de la resistencia en cizallamiento (siempre que la resistencia característica a la extracción sea 4 veces mayor que la resistencia característica en cizallamiento).

Por consiguiente, el valor característico de la resistencia en cizallamiento se puede aumentar hasta en un 100% debido al efecto de cuerda.

## 5.1 Resistencia al cizallamiento

### 5.1.3 Número eficaz de sujeciones

Cuando un número  $n$  de tornillos SPAX están alineados en una fila paralela a la fibra, el número eficaz de sujeciones a tener en cuenta se reduce al valor  $n_{ef} = n^{kef}$ . Esa reducción se puede ignorar ( $n_{ef} = n$ ) cuando los tornillos SPAX se desplazan un diámetro a ambos lados del ángulo de la fila.

EC5 ; 8.3.1.1 (8)

Figura 5.2 Número eficaz de sujeciones  $n_{ef}$

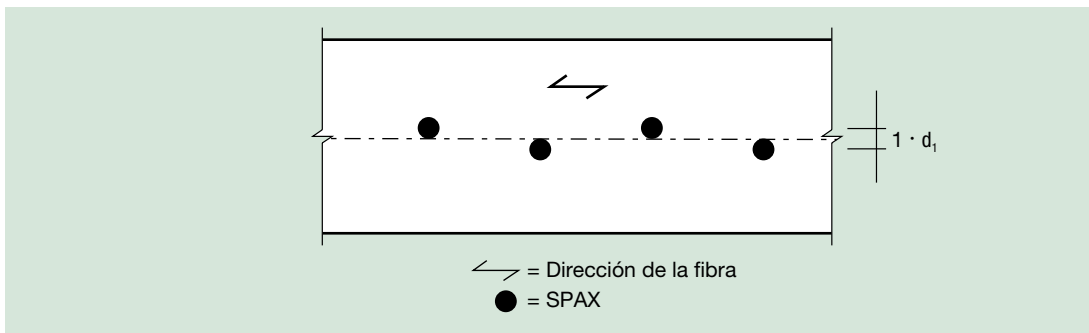


Tabla 5.1 Número eficaz de sujeciones  $n_{ef}$  en función de su espaciamiento  $a_i$  y de las condiciones de perforación (perforado o no)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		número eficaz $n_{ef}$		número eficaz $n_{ef}$		número eficaz $n_{ef}$		número eficaz $n_{ef}$	
2		$k_{ef} = 0,5$		$k_{ef} = 0,7$		$k_{ef} = 0,85$		$k_{ef} = 1,0$	
3		$a_i = 4 \cdot d_i$		$a_i = 7 \cdot d_i$		$a_i = 10 \cdot d_i$		$a_i = 14 \cdot d_i$	
4		perforación		perforación, sin perforación		perforación, sin perforación		perforación, sin perforación	
5	$n$	$\alpha' = 0^\circ$	$\alpha' = 90^\circ$	$\alpha' = 0^\circ$	$\alpha' = 90^\circ$	$\alpha' = 0^\circ$	$\alpha' = 90^\circ$	$\alpha' = 0^\circ$	$\alpha' = 90^\circ$
6	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
7	2	1,4	2,0	1,6	2,0	1,8	2,0	2,0	2,0
8	3	1,7	3,0	2,2	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0
9	4	2,0	4,0	2,6	4,0	3,2	4,0	4,0	4,0
10	5	2,2	5,0	3,1	5,0	3,9	5,0	5,0	5,0
11	6	2,4	6,0	3,5	6,0	4,6	6,0	6,0	6,0
12	7	2,6	7,0	3,9	7,0	5,2	7,0	7,0	7,0
13	8	2,8	8,0	4,3	8,0	5,9	8,0	8,0	8,0
14	9	3,0	9,0	4,7	9,0	6,5	9,0	9,0	9,0
15	10	3,2	10,0	5,0	10,0	7,1	10,0	10,0	10,0

EC5 ; Eq. (8.17)

## 5.2 Resistencia axial a la extracción

La determinación de la resistencia a la extracción de una unión SPAX se hace comparando 3 modos de ruptura:

mín.	{	1 ruptura al extraer la varilla del elemento 2, hacia la punta	
		2 ruptura en tracción $f_{\text{tens,k}}$ del acero SPAX	-> tabla 7.14
		3 ruptura por cruce de la cabeza en el elemento 1, hacia la cabeza, que es el máximo de los siguientes modos:	-> tabla 7.15
		máx. {	
		cruce de la cabeza	-> tabla 7.16
		ruptura al extraer la varilla del elemento 1, hacia la cabeza	-> tabla 7.14

La resistencia a la extracción de la unión es el mínimo del valor de cálculo de estos tres modos de ruptura.

### 5.2.1 Valor característico de resistencia a la extracción de la rosca $F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}}$

$$F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}} = \frac{n_{\text{ef}} \cdot f_{\text{ax,k}} \cdot d_1 \cdot l_{\text{ef}}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left( \frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}$$

siendo

$F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}}$  resistencia característica a la extracción del tornillo a un ángulo  $\alpha$  con la fibra [N]

$n_{\text{ef}} \quad n_{\text{ef}} = n^{0,9} \quad \vee \quad n_{\text{ef}} = \max \{ n^{0,9} ; n \cdot 0,9 \}$

$f_{\text{ax,k}}$  valor característico del parámetro de extracción

2,5 mm  $\leq d \leq$  5,0 mm:  $f_{\text{ax,k}} = 14,0 \text{ N/mm}^2$

6,0 mm  $< d <$  8,0 mm:  $f_{\text{ax,k}} = 12,0 \text{ N/mm}^2$

$d = 10,0 \text{ mm}$ :  $f_{\text{ax,k}} = 11,5 \text{ N/mm}^2$

$d = 12,0 \text{ mm}$ :  $f_{\text{ax,k}} = 11,0 \text{ N/mm}^2$

$d = 16,0 \text{ mm}$ :  $f_{\text{ax,k}} = 10,0 \text{ N/mm}^2$

$d_1$  Diámetro exterior de la rosca [mm]

( $d_1$  en las figuras en anexo)

$l_{\text{ef}}$  Longitud de penetración de la parte roscada según NF EN 1995-1-1 [mm]

$\alpha$  Ángulo entre la fibra y el eje del tornillo ( $\alpha > 15^\circ$ )

$\rho_k$  Densidad característica [kg/m<sup>3</sup>]

ATE

EC5 v ATE

ATE

### 5.2.2 Resistencia característica a la tracción $f_{\text{tens,k}}$ del acero SPAX

El valor característico de la resistencia a la tracción  $f_{\text{tens,k}}$  se define en la ATE de tornillos SPAX.

Véase Tabla 7.15



## 5.2 Resistencia axial a la extracción

### 5.2.3 Resistencia característica al cruce de la cabeza

Máximo entre

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \\ \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d_1 \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left( \frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \end{array} \right.$$

ATE

$f_{head,k}$  Valor característico del parámetro de cruce de la cabeza [N/mm<sup>2</sup>]

**Tabla 5.2 Valores de  $f_{head,k}$  para uniones de madera**

	A	B
1	Cabeza embutida	
2	$d_h$	$f_{head,k}$
3	$\leq 16 \text{ mm}$	$27,0 - d_h$
4	$16 < d_h \leq 32 \text{ mm}$	$11,0 - 0,2 \cdot (d_h - 16)$
5	Cabeza disco, cabeza redondo, cabeza embutida con arandela	
6	$d_h$	$f_{head,k}$
7	$\leq 16 \text{ mm}$	$29 - d_h$
8	$16 \text{ mm} < d_h \leq 22 \text{ mm}$	$13,0$
9	$22 \text{ mm} < d_h \leq 32 \text{ mm}$	$16,0 - 0,5 \cdot (d_h - 16)$

$d_h$  Diámetro exterior de la cabeza de tornillo o de las arandelas [mm].  
Se utilizará un diámetro nominal de 32 mm cuando  $d_h > 32 \text{ mm}$  ( $d_k$  en las figuras del anexo de la ATE).

$\rho_k$  Densidad característica [kg/m<sup>3</sup>], para los paneles a base de madera utilice  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

## 5.2 Resistencia axial a la extracción

### 5.2.4 Número eficaz de sujeciones

Se deberá utilizar el número eficaz de tornillos  $n_{ef}$  para tener en cuenta los efectos de grupo de órganos de sujeción

EC5 ; §8.7.2 (8)

$$n_{ef} = n^{0,9}$$

Para tornillos con esfuerzo axial, donde la fuerza externa es paralela al eje de los tornillos, se deberán aplicar las reglas de la norma EN 1995 – 1 - 1,8.7.2 (8).

ATE

En el caso de tornillos inclinados en uniones en cizallamiento madera-madera o metal-madera, en el que los tornillos están dispuestos según un ángulo  $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$  entre el plano de cizallamiento y el eje de los tornillos, el número de tornillos efectivo  $n_{ef}$  se determinará de la siguiente manera:

Para una fila de  $n$  tornillos paralelos a la carga, la resistencia se deberá calcular mediante un número efectivo de sujeciones  $n_{ef}$ , siendo

$$n_{ef} = \max \{n^{0,9} ; 0,9 \cdot n\}$$

y  $n$  es el número de tornillos inclinados en una fila. Si se utilizan pares cruzados de tornillos en uniones madera-madera,  $n$  es el número de pares cruzados de tornillos en una fila.

Observación: en el caso de tornillos utilizados como refuerzo de compresión o de tornillos inclinados utilizados como sujeciones en vigas o postes unidos mecánicamente o para fijar material de aislamiento térmico,  $n_{ef} = n$ .

**Tabla 5.3 Número eficaz de sujeciones  $n_{ef} = n^{0,9}$**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	$n$	$n_{ef}$	$n$	$n_{ef}$	$n$	$n_{ef}$	$n$	$n_{ef}$	$n$	$n_{ef}$	$n$	$n_{ef}$
2	1	1,0	6	5,0	11	8,7	16	12,1	21	15,5	26	18,8
3	2	1,9	7	5,8	12	9,4	17	12,8	22	16,2	27	19,4
4	3	2,7	8	6,5	13	10,1	18	13,5	23	16,8	28	20,1
5	4	3,5	9	7,2	14	10,8	19	14,2	24	17,5	29	20,7
6	5	4,3	10	7,9	15	11,4	20	14,8	25	18,1	30	21,4

## 6. Recomendaciones de aplicación

La ATE de tornillos SPAX contiene las disposiciones relativas a la aplicación de las uniones de madera estructurales. Al igual que para el dimensionamiento, la EC5 y su anexo nacional se aplican también para la aplicación, salvo recomendación restrictiva indicada en la ATE.

En el caso de elementos a base de madera que dependan de una autorización nacional o europea, también se acatarán las recomendaciones de aplicaciones contenidas en ella.

Las recomendaciones de aplicación buscan evitar la rajadura prematura de la unión con respecto al elemento de madera considerado, incluso antes de alcanzar la capacidad de carga determinada para la configuración dimensionada.

De acuerdo con esto, no hay que confundir el grosor mínimo  $t_{\min}$  que se define a continuación con el grosor mínimo exigido  $t_{\text{req}}$ . El grosor mínimo exigido  $t_{\text{req}}$  es un requisito previo para simplificar la comprobación del cizallamiento de los tornillos, asegurando que el modo de rotura preponderante será el de las rótulas plásticas múltiples en el tornillo.

### 6.1 Características generales

Las longitudes de penetración $l_{\text{ef}} < 4 \cdot d_1$ no se deberán tener en cuenta ni en cizallamiento ni en extracción.	ATE
La rosca del tornillo puede estar parcialmente presente en el elemento fijado.	ATE
Los tornillos de cabeza embutida se pueden utilizar con arandelas.	ATE
En caso de refuerzo mediante tornillos SPAX de rosca total de un elemento solicitado en compresión perpendicular con un ángulo de $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ con la fibra, habrá que comprobar el reparto uniforme del esfuerzo de compresión en cada tornillo de refuerzo, así como la capacidad del material de refuerzo para soportar el esfuerzo de compresión transmitido por las cabezas de tornillos. (elija tornillos de una longitud idéntica y un plato metálico de grosor suficiente)	ATE
En caso de sujeción en la punta, la madera maciza no deberá tener una humedad de más del 18% en el momento de la realización de la unión.	Recomendación
Las reducciones de sección se deberán tener en cuenta en el dimensionamiento. Para los tornillos SPAX se utilizará a tal efecto el diámetro nominal del tornillo (diámetro de la rosca $d_1$ ) a falta de perforación, y en caso contrario el diámetro de la perforación. Esto no es aplicable a los tornillos SPAX de diámetro de rosca $d_1 \leq 6$ mm insertados sin perforación.	EC5 ; §5.2
En el Douglas y el Pin Maritime, las distancias mínimas paralelas a la fibra se deberán aumentar un 50%.	ATE
Los tornillos SPAX se podrán insertar en las maderas resinosas sin perforación. La falta de perforación para $d_1 \geq 8$ mm sólo está permitida para la picea, el pino y el abeto.	ATE

## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.2 Perforación


Resinosos: se autoriza la perforación de los elementos de madera.

Sólo se autoriza la falta de perforación para  $d_1 \geq 8$  mm para la picea, el pino y el abeto.

Caducifolios: la perforación de los elementos de madera **es obligatoria**.

Para la perforación de los elementos de madera unidos con tornillos SPAX, la siguiente tabla indica los diámetros de broca recomendados.

**Tabla 6.1 Diámetro de broca recomendado para la perforación de los elementos de madera en función del diámetro nominal SPAX**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		$\emptyset$ nominal $d_1$ [mm]						
2		4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3	Resinosos	2,5	3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
4	Caducifolios	3,0	3,0	3,5	4,0	6,0	7,0	8,0

En la ficha SPAX Holzbau-Report nº6 se ofrece información complementaria sobre este tema.

Caducifolios: Madera maciza de Haya o Roble

Madera laminada encolada de haya, roble o fresno según la autorización nacional o europea.

Recomendaciones de aplicación complementarias:

Las perforaciones en las piezas metálicas deberán tener un diámetro adaptado.

Las perforaciones en las placas de fibrocemento se deberán realizar con un diámetro de  $0,7 \cdot d_1$ .

Para los tornillos SPAX de cabeza embutida, mecanice previamente las piezas metálicas y placas de fibrocemento con una herramienta adecuada.

### 6.3 Grosor mínimo $t_{min}$ para evitar que se raje la madera

Para evitar que se rajen los elementos de madera maciza en las uniones por punta o por tornillo sin perforación, se deberá respetar un grosor mínimo de  $t_{min}$ .

Respetando los espaciamientos y las distancias mínimas recomendados en la Tabla M8.2 de la EC5, (véase Tabla 6.3, C-E), los grosores mínimos son:

Madera maciza resinosa 
$$t_{min} = \max \left\{ 14 \cdot d_1 ; (13 \cdot d_1 - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \right\}$$

Madera maciza de pino 
$$t_{min} = \max \left\{ 7 \cdot d_1 ; (13 \cdot d_1 - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \right\}$$

Los tornillos SPAX con punta 4CUT o CUT reducen significativamente el riesgo de que se raje la madera, por lo que se permite reducir el grosor mínimo recomendado.

Véase Tabla 6.3 b para estas recomendaciones.

Las recomendaciones de grosor mínimo no se aplican a los elementos de madera con perforación.

ATE

ATE

EC5 ; §8.3.1.2

EC5 ; Eq. (8.19)

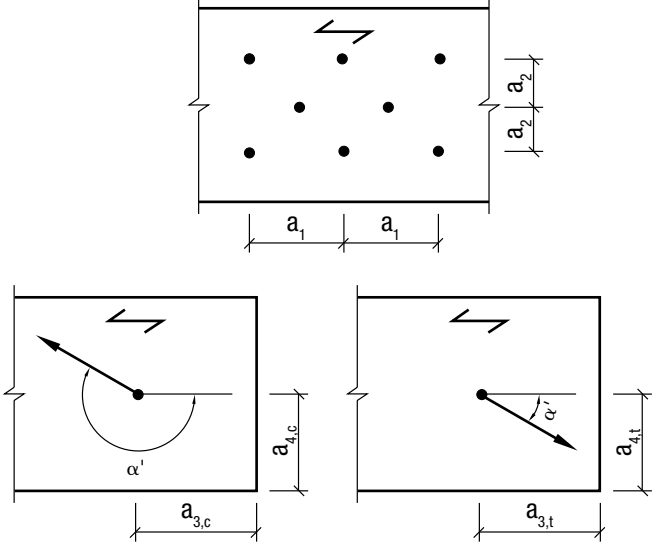
EC5 ; Eq. (8.18)

ATE

## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.4 Espaciamientos y distancias mínimos

Tabla 6.2 Definición de espaciamientos y distancias mínimos según la EC5 y la ATE de tornillos SPAX


	A	B
1		EC5 resp. <b>SPAX</b> <sup>®</sup>
2		
3	espaciamento paralelo a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$a_1$
4	espaciamento perpendicular a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$a_2$
5	distancia de extremo con carga $-90^\circ \leq \alpha' \leq 90^\circ$	$a_{3,t}$
6	distancia de extremo sin carga $90^\circ \leq \alpha' \leq 270^\circ$	$a_{3,c}$
7	distancia de borde con $0^\circ \leq \alpha' \leq 180^\circ$	$a_{4,t}$
8	distancia de borde sin carga $180^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$a_{4,c}$

EC5 ; Figura 8.7  
ATE

## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.4 Espaciamientos y distancias mínimos

**Tabla 6.3 a Espaciamiento y distancias mínimos en cizallamiento y esfuerzo combinado para unión madera-madera según EC5**

	A	B	C	D	E
1			Cizallamiento o extracción o esfuerzo combinado		
2			Espaciamientos y distancias mínimos según EC5, Tabla 8.2		
3					
4					
5			Tornillo SPAX $d_1 \leq 6$ mm: véase Tabla 6.3b C2-C5 ou D2-D5, Tornillo SPAX $d_1 \geq 8$ mm: véase Tabla 6.3b E2-E5		
6			sin perforación		
7			$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	con perforación
8	$a_1$	espaciamiento paralelo a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$d_1 < 5 \text{ mm} :$ $(5 + 5 \mid \cos \alpha' \mid) \cdot d_1$	$(7 + 8 \mid \cos \alpha' \mid) \cdot d_1$	$(4 + \mid \cos \alpha' \mid) \cdot d_1$
9			$d_1 \geq 5 \text{ mm} :$ $(5 + 7 \mid \cos \alpha' \mid) \cdot d_1$		
10	$a_2$	espaciamiento perpendic. a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$5 \cdot d_1$	$7 \cdot d_1$	$(3 + \mid \sin \alpha' \mid) \cdot d_1$
11	$a_{3,t}$	distancia de extremo con carga $-90^\circ \leq \alpha' \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha') \cdot d_1$	$(15 + 5 \cos \alpha') \cdot d_1$	$(7 + 5 \cos \alpha') \cdot d_1$
12					
13	$a_{3,c}$	distancia de extremo sin carga $90^\circ \leq \alpha' \leq 270^\circ$	$10 \cdot d_1$	$15 \cdot d_1$	$7 \cdot d_1$
14	$a_{4,t}$	distancia de borde con carga $0^\circ \leq \alpha' \leq 180^\circ$	$d_1 < 5 \text{ mm} :$ $(5 + 2 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$	$d_1 < 5 \text{ mm} :$ $(7 + 2 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$	$d_1 < 5 \text{ mm} :$ $(3 + 2 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$
15			$d_1 \geq 5 \text{ mm} :$ $(5 + 5 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$	$d_1 \geq 5 \text{ mm} :$ $(7 + 5 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$	$d_1 \geq 5 \text{ mm} :$ $(3 + 4 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$
16	$a_{4,c}$	distancia de bordes con carga $180^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$5 \cdot d_1^a$	$7 \cdot d_1^a$	$3 \cdot d_1$

$\alpha' =$  ángulo entre la dirección del esfuerzo y la fibra

$A_{\min}$  = sección de madera (área) mínima de los elementos de madera a unir

En el douglas y el pin maritime, las distancias mínimas paralelas a la fibra se deberán aumentar un 50%.

<sup>a)</sup> Para los tornillos SPAX: cuando se respetan  $a_1$  y  $a_{3,c} \geq 25 \cdot d_1$ , se puede utilizar  $a_{4,c} = 3 \cdot d_1$


Para las uniones metal-madera:

Los espaciamientos  $a_1$  y  $a_2$  se pueden multiplicar por un factor 0,7.

## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.4 Espaciamientos y distancias mínimos

**Tabla 6.3 b Espaciamiento y distancias mínimos en cizallamiento y esfuerzo combinado para unión madera-madera según ATE de tornillos SPAX, §4.2.4**

	A	B	C	D	E	F
1			Cizallamiento o extracción o esfuerzo combinado			Extracción
2			$A_{\min} \geq 40 \cdot d_1^2$			
3			SPAX $d_1 \leq 6 \text{ mm}$		SPAX $d_1 \geq 8 \text{ mm}$	SPAX $d_1 \leq 12 \text{ mm}$
4			Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT o CUT	Punta 4CUT o CUT <sup>b)</sup>
5			$t_{\min} = \max \begin{cases} 6 \cdot d_1 \\ 20 \text{ mm} \end{cases}$	$t_{\min} = \max \begin{cases} 5 \cdot d_1 \\ 20 \text{ mm} \end{cases}$	$t_{\min} = 7 \cdot d_1$	$t_{\min} = 12 \cdot d_1$ pour Kerto-Q et Kerto-S $t_{\min} = 6 \cdot d_1$
6			sin perforación	sin perforación	sin perforación	sin perforación
7						
8	$a_1$	espaciamiento paralelo a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$5 \cdot d_1$			$5 \cdot d_1$
9						
10	$a_2$	espaciamiento perpendicular a la fibra $0^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$(3 +  \sin \alpha' ) \cdot d_1$			$5 \cdot d_1$ resp. $2,5 \cdot d_1$ (lorsque $a_1 \cdot a_2 = 25 \cdot d_1^2$ )
11	$a_{3,t}$	distance d'extrémité chargée $-90^\circ \leq \alpha' \leq 90^\circ$	$12 \cdot d_1$			c)
12						
13	$a_{3,c}$	distancia de extremo sin carga $90^\circ \leq \alpha' \leq 270^\circ$	$12 \cdot d_1$			$5 \cdot d_1$
14	$a_{4,t}$	distancia de borde con carga $0^\circ \leq \alpha' \leq 180^\circ$	$d_1 < 5 \text{ mm} :$ $(3 + 2 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$			c)
15			$d_1 \geq 5 \text{ mm} :$ $(3 + 4 \cdot \sin \alpha') \cdot d_1$			
16	$a_{4,c}$	distancia de borde sin carga $180^\circ \leq \alpha' \leq 360^\circ$	$3 \cdot d_1$			$3 \cdot d_1$

ATE

$A_{\min}$  = sección de madera (área) mínima de los elementos de madera a unir

En el douglas y el pino marítimo, las distancias mínimas paralelas a la fibra se deberán aumentar un 50%.

<sup>b)</sup> Hace falta una forma de punta específica para el Kerto-Q y Kerto-S

<sup>c)</sup> En caso de tornillos SPAX concebidos para un esfuerzo sólo de extracción, se podrán considerar todos los bordes como no cargados.

Para las uniones metal-madera:

Los espaciamientos  $a_1$  y  $a_2$  se pueden multiplicar por un factor 0,7.



## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.4 6.4 Espaciamientos y distancias mínimos para tornillos SPAX con esfuerzo axial

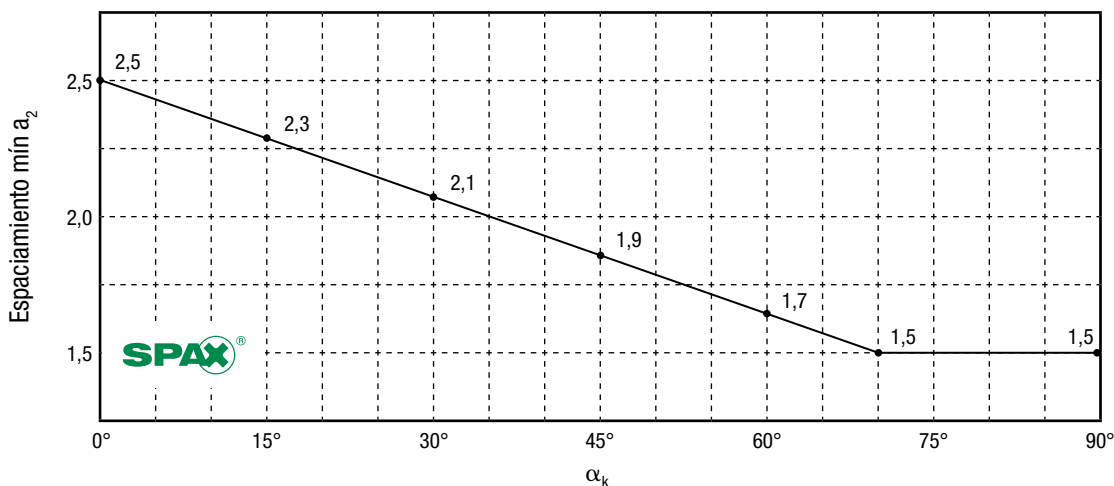
El espaciamiento mínimo  $a_2$  entre dos tornillos cruzados puede ser igual a:

$$a_2 = \max \begin{cases} 1,5 \cdot d_1 \\ 2,5 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_k}{180^\circ}\right) \cdot d_1 & \text{con } 0^\circ \leq \alpha_k \leq 90^\circ \end{cases}$$

$\alpha_k$  = ángulo entre tornillos cruzados

Se deberán respetar los espaciamientos mínimos  $a_1$  y  $a_2$  entre tornillos paralelos de pares de tornillos cruzados.

**Diagrama 6.1** Espaciamiento mínimo  $a_2$  en función del ángulo entre dos tornillos cruzados  $\alpha_k$

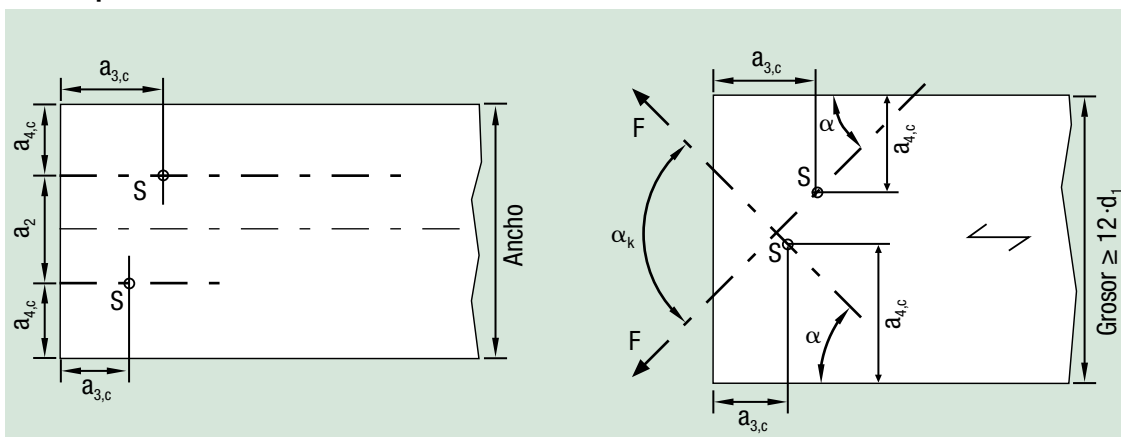


ATE

**Figura 6.1** Configuración cruzada (ej. para un par de tornillos)

Vista en planta

Vista frontal



S = Centro de gravedad de la parte roscada que penetra el elemento de madera.

El grosor mínimo exigido  $\geq 12 \cdot d_1$  no se aplica en caso de perforación.

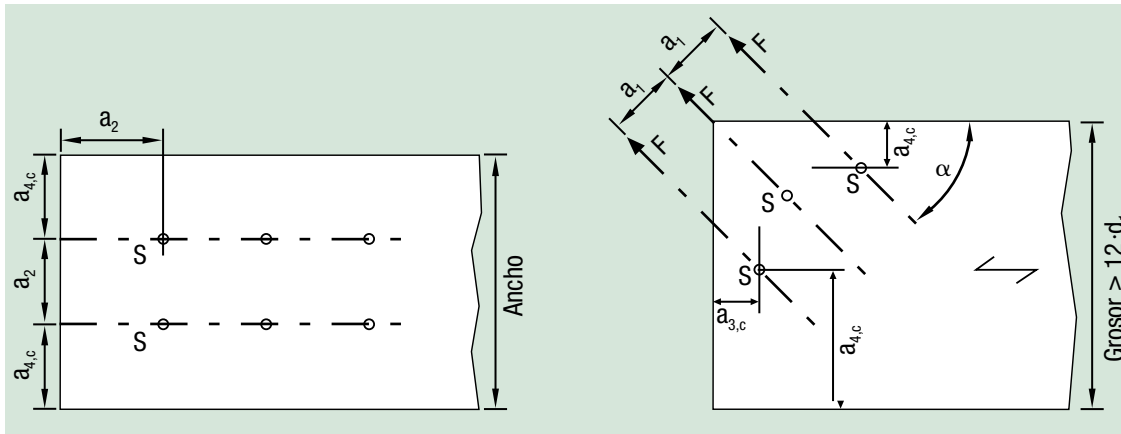
## 6. Recomendaciones de aplicación

### 6.4 Espaciam. y distancias mínimos para tornillos SPAX con esfuerzo axial

Figura 6.2 Configuración paralela (ej. para 3 pares de tornillos)

Vista en planta

Vista frontal




S = Centro de gravedad de la parte roscada que penetra el elemento de madera.  
El grosor mínimo exigido  $\geq 12 \cdot d_1$  no se aplica en caso de perforación.

## 7. Cizallamiento: madera - madera

### Longitud de penetración mínima

**Tabla 7.2 Grosor mínimo  $t_{1,req}$  longitud de penetración mínima  $t_{2,req}$  para unión madera-madera sin perforación para una unión de materiales de madera de la misma densidad ( $\beta = 1$ ), con  $t_{1,req} = t_{2,req}$  [mm], aplicable a los tornillos SPAX de **acero al carbono****


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Diámetro nominal $d_1$ [mm]						
2	Clase de resistencia		$\rho_k$ [kg/m³]	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3	C16		310	28	31	35	41	54	66	79
4	C24	GL24c	350	26	30	33	39	51	62	74
5	C30	GL24h, GL28c	380	25	28	31	37	49	60	71
6	C35		400	25	28	31	36	47	58	69
7		GL28h, GL32c	410	24	27	30	36	47	58	69
8	C40		420	24	27	30	35	46	57	68
9		GL32h, GL36c	430	24	27	29	35	46	56	67
10		GL36h	450	23	26	29	34	45	55	65

Según el anexo nacional alemán del EC5:

Si el grosor  $t_1$  resp.  $t_2$  es inferior al grosor mínimo  $t_{1,req}$  resp.  $t_{2,req}$ , se puede determinar la resistencia característica en cizallamiento  $F_{v,Rk}$  multiplicando el valor  $F_{v,Rk}$  por la menor de las ratios  $t_1/t_{1,req}$  et  $t_2/t_{2,req}$ .

DIN NA ; §8.2.4 (NA.2)


**Tabla 7.2 a Factor de ajuste para tornillos SPAX**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Diámetro nominal $d_1$ [mm]							
3	Acero inoxidable	0,846	0,839	0,839	0,833	0,830	0,828	0,831
4	con perforación	0,846	0,839	0,828	0,806	0,766	0,759	0,743

## 7. Cizallamiento: madera - madera

### Capacidad de carga


**Tabla 7.3 Resistencia característica en cizallamiento simple por plan de cizallamiento  $F_{v,Rk}$  para unión madera-madera sin perforación [N] aplicable a los tornillos SPAX de acero al carbono**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			Diámetro nominal $d_i$ [mm]							
2	Clase de resistencia		$\rho_k$ [kg/m³]	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3	C16		310	766	931	1.107	1.496	2.404	3.475	4.694
4	C24	GL24c	350	814	989	1.176	1.589	2.555	3.692	4.988
5	C30	GL24h, GL28c	380	848	1.030	1.226	1.656	2.662	3.847	5.197
6	C35		400	870	1.057	1.258	1.699	2.731	3.947	5.332
7		GL28h, GL32c	410	881	1.070	1.273	1.720	2.765	3.996	5.399
8	C40		420	892	1.083	1.289	1.741	2.799	4.045	5.464
9		GL32h, GL36c	430	902	1.096	1.304	1.762	2.832	4.092	5.529
10		GL36h	450	923	1.121	1.334	1.802	2.867	4.186	5.656

EC5; Eq. (8.6 f)

$n_{ef} \rightarrow$  5.1.3 Número eficaz de sujeciones

**Tabla 7.3 a Factor de ajuste para tornillos SPAX de otro material**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Diámetro nominal $d_i$ [mm]							
3	Acero inoxidable	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816	0,816
4	con perforación	1,206	1,223	1,240	1,268	1,310	1,340	1,362

Se puede seleccionar el valor característico de carga local  $f_{h,k}$  correspondiente a la mayor densidad característica  $\rho_k$  de los materiales de madera unidos.

DIN NA; §8.3.1.2

$\Delta R_k$  - En cizallamiento simple la resistencia característica  $R_k$  se deberá aumentar con la contribución  $\Delta R_k$ .

$\Delta R_k = \min \{F_{v,Rk} ; 0,25 \cdot F_{ax,\alpha,k}\}$


EC5; §8.2.2 (2)

Véanse páginas siguientes para información complementaria relativa a  $\Delta R_k = 0,25 \cdot F_{ax,\alpha,k} \rightarrow$

## 7. Cizallamiento: madera - madera

### Capacidad de carga

Tabla 7.3 b Valores de  $\Delta R_k = 0,25 \cdot F_{ax,\alpha,Rk}$  [N] para una rotura por cruce de la cabeza según la forma de cabeza de tornillo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			Diámetro nominal $d_t$ [mm]						
2			4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3			Cabeza embutida, $d_k$ [mm]						
4	Clase de resistencia		8,0	8,8	9,7	11,6	15,1	18,6	22,6
5	C24	GL24c	304	352	407	518	678	906	1.236
6	C30	GL24h, GL28c	325	376	435	553	724	968	1.320
7	C35		338	392	453	576	755	1.009	1.375
8		GL28h, GL32c	345	400	462	588	770	1.029	1.403
9	C40		352	408	471	599	785	1.049	1.430
10		GL32h, GL36c	358	415	480	611	800	1.069	1.457
11		GL36h	372	431	498	633	829	1.108	1.511
12	con $l_{ef,k} \leq$ [mm]		22	22	23	29	28	32	37
13	con $l_{ef} >$ [mm]		22	22	23	29	32	40	48
14			Cabeza disco, $d_k$ [mm]						-
15			9,6	10,6	11,6	13,6	20,0	25,0	
16	C24	GL24c	447	517	585	712	1.300	1.797	
17	C30	GL24h, GL28c	477	552	625	761	1.388	1.919	
18	C35		497	575	651	792	1.447	1.999	
19		GL28h, GL32c	507	587	664	808	1.475	2.039	
20	C40		517	598	677	824	1.504	2.079	
21		GL32h, GL36c	527	609	690	840	1.533	2.119	
22		GL36h	547	632	716	871	1.589	2.197	
23	con $l_{ef,k} \leq$ [mm]		32	33	33	40	54	63	
24	con $l_{ef} >$ [mm]		32	33	33	40	54	63	

Cuando la longitud de rosca eficaz  $l_{ef,k}$  hacia la cabeza o  $l_{ef}$  hacia la punta es mayor que la longitud tabulada, se puede determinar y tener en cuenta un valor mayor de  $\Delta R_k$ .

Para los tornillos de rosca total de longitud de rosca eficaz  $l_{ef,k}$  y  $l_{ef}$  más elevadas, se puede determinar y tener en cuenta un valor mayor de  $\Delta R_k$ .

## 7. Extracción

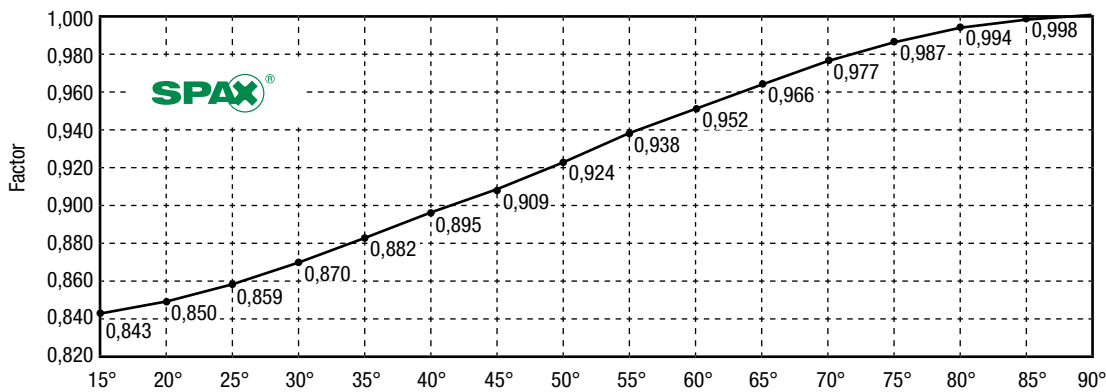
### Resistencia característica a la extracción de la rosca $F_{ax, \alpha, Rk}$

Tabla 7.14 Resistencia característica  $F_{ax, \alpha, Rk}$  para un ángulo  $\alpha = 90^\circ$  entre la fibra y el eje del tornillo [N por mm de longitud de rosca efectiva  $l_{ef}$ ], aplicable a los tornillos SPAX de acero al carbono y acero inoxidable

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>SPAX</b> <sup>®</sup>			Diámetro nominal $d$ , [mm]						
2	Clase de resistencia		$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3	C16		310	50,8	57,2	63,5	65,3	87,1	104,4	119,8
4	C24	GL24c	350	56,0	63,0	70,0	72,0	96,0	115,0	132,0
5	C30	GL24h, GL28c	380	59,8	67,3	74,8	76,9	102,5	122,8	141,0
6	C35		400	62,3	70,1	77,9	80,1	106,8	128,0	146,9
7		GL28h, GL32c	410	63,6	71,5	79,4	81,7	109,0	130,5	149,8
8	C40		420	64,8	72,9	81,0	83,3	111,1	133,1	152,7
9		GL32h, GL36c	430	66,0	74,3	82,5	84,9	113,2	135,6	155,6
10		GL36h	450	68,5	77,0	85,6	88,0	117,4	140,6	161,4

$n_{ef} \rightarrow 5.2.4$  Número efectivo de sujeciones

Diagrama 7.1 Factor de ajuste  $k_{ax}$  según el ángulo  $\alpha$  entre la fibra y el eje del tornillo



El diagrama representa:  $\frac{1}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$

Tabla 7.15 Valores característicos y valores de cálculo de la resistencia a la tracción del acero [N] aplicable a los tornillos SPAX de acero al carbono y acero inoxidable


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>SPAX</b> <sup>®</sup>		$d$ , [mm]						
2			4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3	Acero al carbono	$f_{tens,k}$	5.000	6.400	7.900	11.000	17.000	28.000	38.000
4		$f_{tens,d}$	3.846	4.923	6.077	8.462	13.077	21.538	29.231
5	Acero inoxidable	$f_{tens,k}$	3.800	4.200	4.900	7.100	13.000	20.000	28.000
6		$f_{tens,d}$	2.923	3.231	3.769	5.462	10.000	15.385	21.538

El máximo esfuerzo axial de un tornillo SPAX (extracción) está limitado por el valor de cálculo de la resistencia a la tracción del acero  $f_{tens,d}$ .

## 7. Extracción


### Resistencia característica al cruce de la cabeza

**Tabla 7.16 Resistencia característica  $F_{ax,c,Rk}$  [N]**  
aplicable a los tornillos SPAX de **acero al carbono** y **acero inoxidable**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			d <sub>i</sub> [mm]							
2			4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	
3									Rosca parcial	Rosca total
4	Cabeza embutida		d <sub>h</sub> [mm]							
5			8,0	8,8	9,7	11,6	15,1	18,6	22,6	18,6
6	Madera	ρ <sub>k</sub> = 350 kg/m³	1.216	1.409	1.628	2.072	2.713	3.626	4.944	3.626
7	Paneles a base de madera	ρ <sub>k</sub> = 380 kg/m³	1.299	1.505	1.738	2.213	2.898	3.872	5.280	3.872
8	parar los paneles a base de madera de un grosor t ≤ 20 mm :									
9	12 mm ≤ t ≤ 20 mm		547	662	804	1.150	1.948	2.956	4.364	2.956
10	t < 12 mm		400					-		
11	Cabeza de disco		d <sub>h</sub> [mm]							
12			9,6	10,6	11,6	13,6	20,0	25,0	-	
13	Madera	ρ <sub>k</sub> = 350 kg/m³	1.788	2.067	2.341	2.848	5.200	7.188	-	
14	Paneles a base de madera	ρ <sub>k</sub> = 380 kg/m³	1.909	2.208	2.501	3.042	5.554	7.676	-	
15	parar los paneles a base de madera de un grosor t ≤ 20 mm :									
16	12 mm ≤ t ≤ 20 mm		787	960	1.150	1.580	3.418	5.340	-	
17	t < 12 mm		400					-		
18	Arandelas		d [mm]							
19			-					25	32	40 <sup>1)</sup>
20	Madera	ρ <sub>k</sub> = 350 kg/m³	-				7.188	8.192	8.192	
21	Paneles a base de madera	ρ <sub>k</sub> = 380 kg/m³					7.676	8.749	8.749	
22	parar los paneles a base de madera de un grosor t ≤ 20 mm :									
23	12 mm ≤ t ≤ 20 mm		-				5.340	8.749	8.749	
24	t < 12 mm						400			

<sup>1)</sup> Se utilizará un diámetro nominal de 32 mm cuando  $d_h > 32 \text{ mm}$ .

**Tabla 7.16 a Factor de ajuste de la resistencia al cruce de la cabeza en función de la densidad característica para una unión madera-madera según la tabla 7.16**

	A	B	C	D	E	F	G	H	H
1		$\rho_k$ [kg/m³]							
2		310	350	380	400	410	420	430	450
3		0,907	1,000	1,068	1,113	1,135	1,157	1,179	1,223

Para una unión panel a base de madera – madera la densidad característica  $\rho_k$  se limita a  $380 \text{ kg/m}^3$

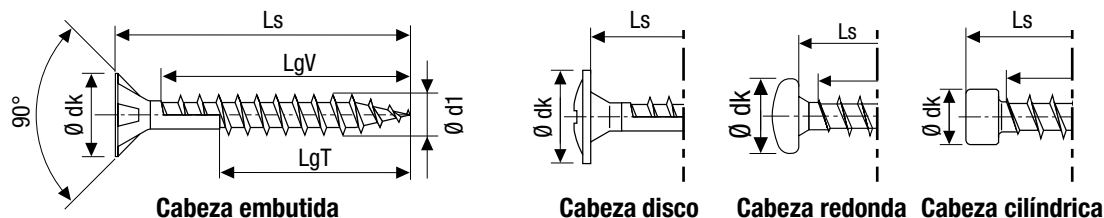
El cruce de la cabeza no se aplica a las uniones metal-madera.



## 8. Descripción de la gama

Las siguientes tablas presentan solo una parte de la variedad de tornillos SPAX.  
Hay más referencias, formas y dimensiones disponibles en [www.spax.com](http://www.spax.com) → Búsqueda de tornillos

### Descripción y definición



**Tabla 8.1 Rosca total**

	A	B	C	D	E	F	G
1	Rosca total					Rosca total	
2	Acero al carbono					Acero inoxidable	
3	ATE-12/0114					ATE-12/0114	
4	$d_1$	6,0	8,0	10,0	12,0	10,0	12,0
5	Forma de la cabeza	Cabeza cilíndrica		Cabeza embutida		Cabeza embutida	
6	$d_k$	8,4	10,0	15,1	18,6	18,6	18,6
7	Punta	Punta 4CUT	Punta CUT	Punta CUT	Punta CUT	Punta CUT	Punta CUT
8	Sin longitud $L_s$	$L_s$				$L_s$	
9	cada 20mm	80 - 200	200 - 300	160 - 300	200 - 300	200, 240, 280, 300	160, 200 - 300
10	cada 50mm	-	350 - 450	350 - 600	350 - 600	350 - 600	350 - 400
11				800			400 - 550

**Tabla 8.2 Cabeza redonda**

	A	B	C	D	E	F	G
1	Acero al carbono					Acero inoxidable	
2	Cabeza redonda					Cabeza redonda	
3	ATE-12/0114					ATE-12/0114	
4	$d_1$	4,0	4,5	5,0	6,0	4,0	5,0
5	$d_k$	8,0	9,0	9,9	11,9	8,0	9,9
6	Punta	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT
7	$L_s$	$l_g$	$l_g$	$l_g$	$l_g$	$l_g$	$l_g$
8	20	18				16	
9	25	23	22	22		21	20
10	30	27	27	27	27	25	25
11	35	32	32	32	32	30	
12	40	37	37	37	37	35	35
13	45	42	42	41	41	40	
14	50	47	47	46	46	45	44
15	60	50	57	56	56		
16	70			61	61		
17	80			61	61		
18	90			61	61		
19	100				61		

$l_g$  = longitud de rosca

Para los tornillos SPAX de diámetro de rosca  $d_1 < 4,0$  mm véase la ATE.

## 8. Descripción de la gama

**Tabla 8.3 Cabeza embutida de acero al carbono**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Acero al carbono											
2	Cabeza embutida											
3		ATE-12/0114						ATE-12/0114				
4	d <sub>i</sub>	4,0		4,5		5,0		6,0		8,0	10,0	12,0
5	d <sub>k</sub>	8,0		8,8		9,7		11,6		15,1	18,6	22,6
6	Punta	Punta 4CUT		Punta 4CUT		Punta 4CUT		Punta 4CUT		Punta 4CUT	Punta 4CUT	
7	Ls	IgV	IgT	IgV	IgT	IgV	IgT	IgV	IgT	IgT	IgT	IgT
8	20	16										
9	25	21		20		20						
10	30	25	18	25		25		24				
11	35	30	23	30	25	30	25	29				
12	40	35	23	34	25	35	27	34	24			
13	45	40	30	39	30	39	30	38				
14	50	45	32	44	32	44	32	43	32			
15	55	50	32	49	37	49	37	48				
16	60	50	35	54	37	54	37	53	37			
17	70	50	37	59	42	61	41	61	41			
18	80	50	37	59	47	61	46	61	46	47	50	
19	90						61		61			
20	100						61		61	57	60	60
21	110						69		68			
22	120						69		68	70	70	80
23	130								68			
24	140								68	80	80	80
25	150								68			
26	160								65	80	80	100
27	180								65	80	80	100
28	200								65	80	80	100
29	220								65	80	80	100
30	240								65	80	80	100
31	260								65	80	80	100
32	280								65	80	80	100
33	300								65	80	80	100
34	320									80	80	
35	340									80	80	
36	350											100
37	360									80	80	
38	380									80	80	
39	400									80	80	100
40	450									80	80	100
41	500											100
42	550											100
43	600											100

IgV = rosca total

IgT = rosca parcial

Para los tornillos SPAX de diámetro de rosca d<sub>i</sub> < 4,0 mm véase la ATE.

## 8. Descripción de la gama

**Tabla 8.4 a Cabeza embutida de acero inoxidable**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Acero inoxidable								
2	Cabeza embutida								
3	ATE-12/0114								
4	d <sub>i</sub>	4,0		4,5		5,0		6,0	
5	d <sub>k</sub>	8,0		8,8		9,7		11,6	
6	Punta	Punta 4CUT		Punta 4CUT		Punta 4CUT		Punta 4CUT	
7	Ls	IgV	IgT	IgV	IgT	IgV	IgT	IgV	IgT
8	20	16							
9	25	21		20					
10	30	25	18	25		25			
11	35	30	23	30	25	30			
12	40	35	23	34	25	35	27	34	
13	45	40	30	39	30	39	30		
14	50	45	32	44	32	44	32	43	
15	60	50		54	37	54	37	53	37
16	70			59	42	61	41	61	41
17	80					61	46	61	46
18	90						61		61
19	100						61		61
20	120						69		68
21	140								68
22	160								65

IgV = rosca total

IgT = rosca parcial

**Tabla 8.4 b Cabeza embutida de acero inoxidable con punta CUT**

	A	B	C	D	E
1	Acero inoxidable				
2	Cabeza embutida				
3	ATE-12/0114				
4	d <sub>i</sub>	4,5		5,0	
5	d <sub>k</sub>	8,8		9,7	
6	Punta	Punta CUT		Punta CUT	
7	Ls	IgT		IgT	
8	35	25			
9	40	25			
10	45	30			
11	50	32			
12	60	37		37	
13	70	42		52	
14	80			61	

IgT = rosca parcial

## 8. Descripción de la gama

**Tabla 8.5 Cabeza de disco**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Acero al carbono							Acero inoxidable
2	Cabeza redonda ancha plana resp. cabeza disco							Cabeza disco
3		ATE-12/0114				ATE-12/0114		ATE-12/0114
4	d <sub>i</sub>	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0	8,0
5	d <sub>k</sub>	9,6	10,6	11,6	13,6	20,0	25,0	20,0
6	Punta	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT	Punta 4CUT
7	Ls	lg	lg	lg	lg	lg	lg	lg
8	20	18						
9	25	23	22	22				
10	30	27	27	27				
11	35	32	32	32				
12	40	37	37	37				
13	45	42	42	41				
14	50		47	46		46		46
15	60			56	56			56
16	80				61	70	70	70
17	100				61	80	80	80
18	120				68	80	80	80
19	140				68	80	80	80
20	160				65	80	80	80
21	180				65	80	80	80
22	200					80	80	80
23	220					80	80	
24	240					80	80	
25	260					80	80	
26	280					80	80	
27	300					80	80	
28	320					80	80	
29	340					80	80	
30	360					80	80	
31	380					80	80	
32	400					80	80	
33	450					80	80	

lg = longitud de rosca

Para los tornillos SPAX de diámetro de rosca d<sub>i</sub> < 4,0 mm véase la ATE.

## 8. Descripción de la gama

Figura 8.1 Arandelas para tornillos de cabeza embutida

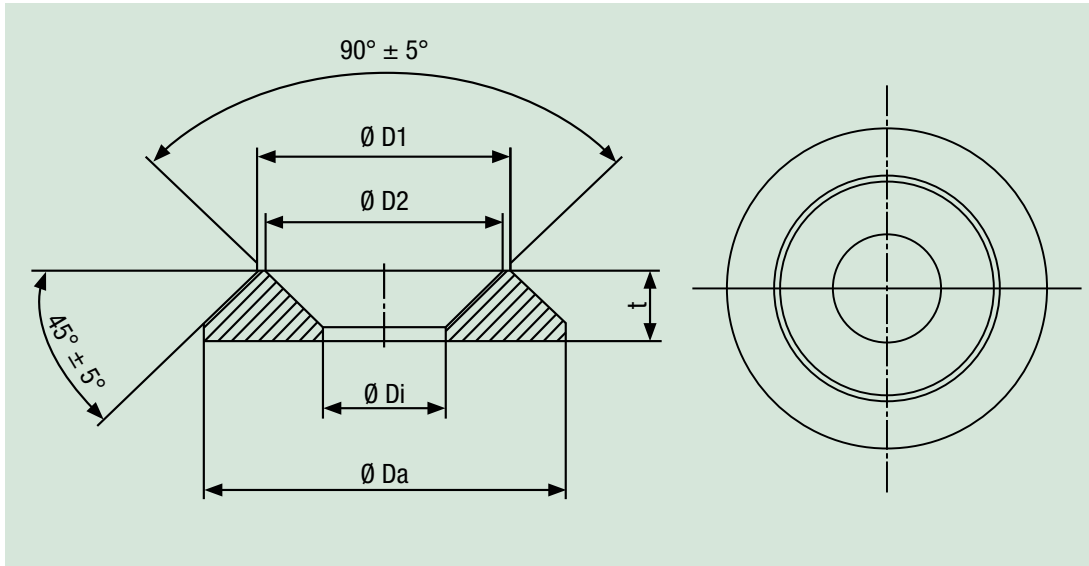


Tabla 8.6 Arandelas para tornillos de cabeza embutida

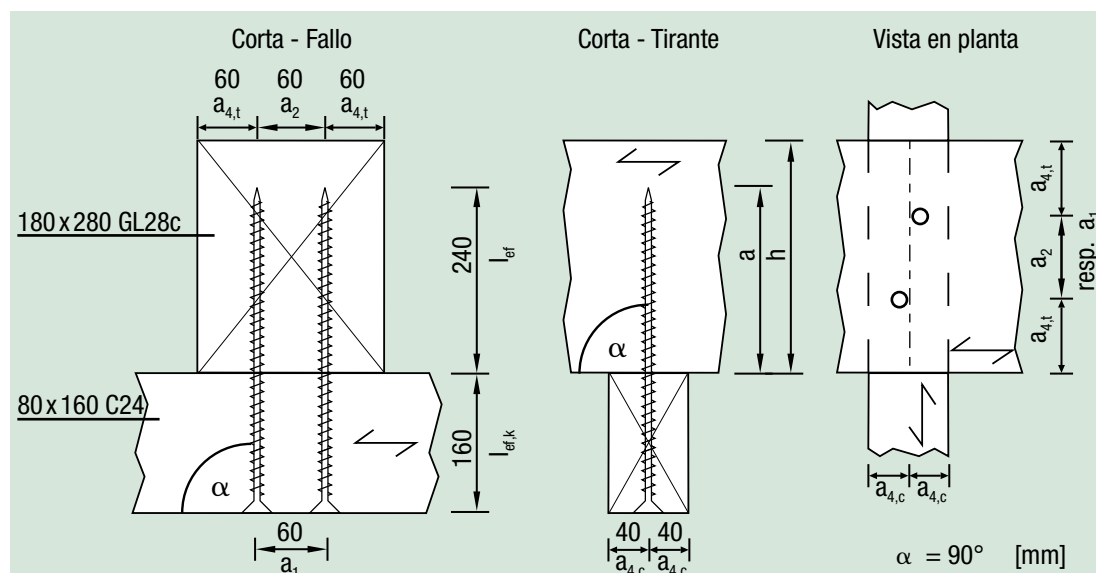
	A	B	C	D	E	F
1	Dimensione	6,0	8,0	10,0	12,0	Tolerancia
2	Ø Da	18,0	25,0	32,0	40,0	± 0,3
3	Ø Di	6,5	8,5	11,0	13,0	
4	Ø D1	13,5	17,5	22,5	27,0	
5	Ø D2	12,5	16,5	21,5	26,0	
6	t	3,5	5,0	5,6	7,0	

ATE

## 9. Ejemplo de dimensionamiento Madera-Madera n° 1

Fijación de un tirante con fallo con tornillo de rosca total

Hay información complementaria sobre este tema en la ficha SPAX Holzbau-Report Nr.2



ATE

Cl. Servicio = 1, Cl. de tiempo = Medio plazo  $\rightarrow k_{mod} = 0,8$

(Tab. 4.3; F2+F5)

Sujeción elegida: SPAX 8,0 x 400 de cabeza embutida, rosca total, con punta CUT, según ATE-12/0114 sin perforación  
Esfuerzo en cizallamiento y extracción (combinada)

**Dimensiones mínimas de los elementos para evitar que se raje la madera**

(Tab. 6.3 b; E)

Tornillos SPAX con  $d_1 = 8,0$  mm: sección mínima  $A_{min} = 40 \cdot d_1^2 = 40 \cdot 8,0^2 = 2.560 \text{ mm}^2$

Tirante: section A =  $80 \text{ mm} \cdot 160 \text{ mm} = 14.400 \text{ mm}^2 > 2.560 \text{ mm}^2 \rightarrow$  conforme

Fallo: section A =  $180 \text{ mm} \cdot 280 \text{ mm} = 54.000 \text{ mm}^2 > 2.560 \text{ mm}^2 \rightarrow$  conforme

Grosor mínimo  $t_{min} = 7 \cdot d_1 = 7 \cdot 8,0 \text{ mm} = 56 \text{ mm}$

(Tab. 6.3 b; E5)

Tirante  $t_{vorh} = 160 \text{ mm} > 56 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

Fallo  $t_{vorh} = 280 \text{ mm} > 56 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

**Espaciamientos y distancias mínimos bajo esfuerzo combinado**

(Tab. 6.3 b; E)

$a_1 = 5 \cdot d_1 = 5 \cdot 8,0 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$	eligiendo $a_1 = 60 \text{ mm}$	$\rightarrow$ conforme
$a_2 = 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 8,0 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$	eligiendo $a_2 = 60 \text{ mm}$	$\rightarrow$ conforme
$a_{3,t} \text{ y } a_{3,c} = 12 \cdot d_1 = 12 \cdot 8,0 \text{ mm} = 96 \text{ mm}$	real $a_{3,c} > 96 \text{ mm}$	$\rightarrow$ conforme
$a_{4,t} = 7 \cdot d_1 = 7 \cdot 8,0 \text{ mm} = 56 \text{ mm}$	eligiendo $a_{4,t} = 60 \text{ mm}$	$\rightarrow$ conforme
$a_{4,c} = 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 8,0 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$	eligiendo $a_{4,c} = 40 \text{ mm}$	$\rightarrow$ conforme

**Resistencia en cizallamiento - mediante tornillos**

1. Grosor resp. longitud de penetración mínima  $t_{req}$  para rótulas plásticas múltiples

$t_1 = 160 \text{ mm} > t_{1,req} = 50,5 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

(Tab. 7.1; E5)

$t_2 = 240 \text{ mm} > t_{2,req} = 47,6 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

(Tab. 7.1; F4)

$\rightarrow$  ¡Sin reducción de la resistencia característica  $F_{v,Rk}$  necesaria!

2. Resistencia característica  $F_{v,Rk}$

$F_{v,Rk} = 2.662 \text{ N}$

(Tab. 7.3; H5)

$\gamma_M = 1,3$

$F_{v,Rd} = \frac{0,8 \cdot 2.662 \text{ N}}{1,3} = 1.638 \text{ N}$

## 9. Ejemplo de dimensionamiento Madera-Madera n° 1

Fijación de un tirante con fallo con tornillo de rosca total

3. Aumento posible por contribución del efecto de cuerda  $\Delta R_k$

$$\Delta R_k = \min \begin{cases} 2.662 \text{ N (predominante)} \\ 0,25 \cdot 15.360 \text{ N} = 3.840 \text{ N} \end{cases} \quad (\text{véase más adelante})$$

$$F_{v,Rk} = 2.662 \text{ N} + 2.662 \text{ N} = 5.324 \text{ N}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,8 \cdot 5.324 \text{ N}}{1,3} = \underline{\underline{3.276 \text{ N}}} \quad (100\% \text{ de aumento})$$

4. Número eficaz de sujeciones  $n_{ef}$

Para una fila perpendicular a la fibra de la madera de tornillos SPAX desplazadas entre ellas

$$1 \cdot d_1 \text{ el número de sujeciones eficaces } n_{ef} = 2. \quad (§5.1.3)$$

### Resistencia a la extracción – mediante tornillos

1. Extracción de la rosca

$$l_{ef} = 240 \text{ mm}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 102,5 \text{ N/mm} \cdot 240 \text{ mm} = 24.600 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.14; H5})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,8 \cdot 24.600 \text{ N}}{1,3} = 15.138 \text{ N}$$

2. Tracción del acero

$$f_{tens,k} = 17.000 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.15; G3})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{tens,d} = \frac{17.000 \text{ N}}{1,3} = 13.077 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.15; G4})$$

3. Cruce de la cabeza

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \max \begin{cases} 3.1 \text{ Cruce de la cabeza} \\ 3.2 \text{ Extracción de la rosca hacia la cabeza} \end{cases}$$

- 3.1 Cruce de la cabeza

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 2.713 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.16; G6})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,8 \cdot 2.713 \text{ N}}{1,3} = 1.670 \text{ N}$$

- 3.2 Extracción de la rosca hacia la cabeza

$$l_{ef,k} = 160 \text{ mm}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 96,0 \text{ N/mm} \cdot 160 \text{ mm} = 15.360 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.14; H4})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,8 \cdot 15.360 \text{ N}}{1,3} = \underline{\underline{9.452 \text{ N}}} \quad (\text{predominante})$$

### Inspección del elemento

Siendo  $a/h > 0,7$  ( $l_{ef} = 240 \text{ mm} > t_2 \cdot 0,7 = 196 \text{ mm}$ ) la inspección de la tracción perpendicular a la fibra bajo la acción de la sujeción en el elemento 2 no es necesaria.

NA/A1; 8.1.4

### Espaciamento y distancias mínimos para esfuerzo únicamente para la extracción (Tab. 6.3 b; F)

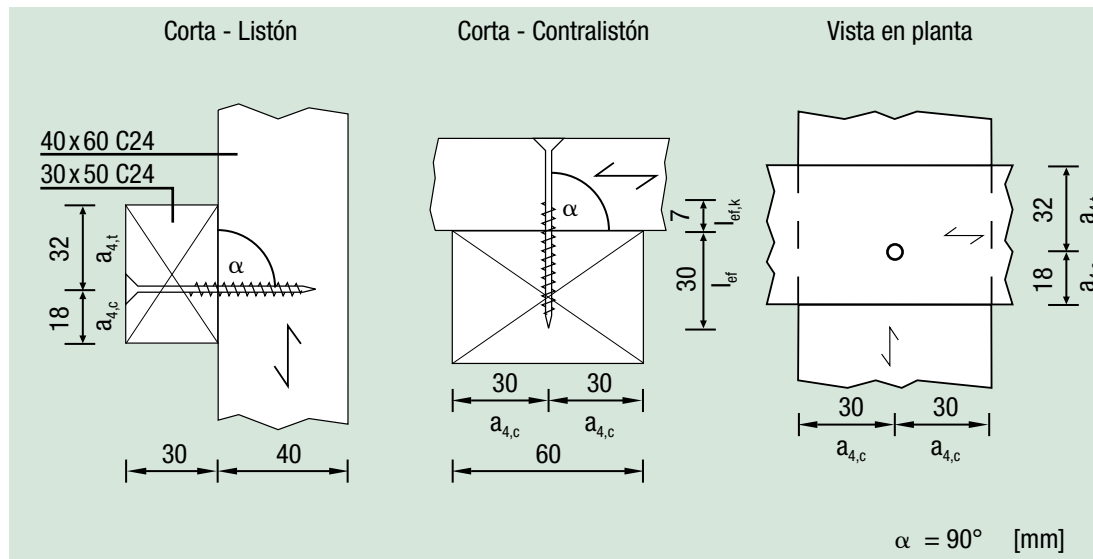
Si los tornillos SPAX se sometieran a un esfuerzo únicamente para la extracción, se podrían utilizar los siguientes espaciamentos y distancias mínimos:

$a_1 = 5 \cdot d_1 = 5 \cdot 8,0 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$	eligiendo $a_1 = 60 \text{ mm}$	-> conforme
$a_2 = 5 \cdot d_1 = 5 \cdot 8,0 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$	eligiendo $a_2 = 60 \text{ mm}$	-> conforme
$a_{3,c} = 5 \cdot d_1 = 5 \cdot 8,0 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$	real $a_{3,c} > 40 \text{ mm}$	-> conforme
$a_{4,c} = 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 8,0 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$	eligiendo $a_{4,c} = 40 \text{ mm}$	-> conforme



## 9. Ejemplo de dimensionamiento Madera-Madera n° 2

Fijación de un listón en un contra-listón



ATE

Cl. Servicio = 2, Cl. de tiempo = corto plazo  $\rightarrow k_{mod} = 0,9$

(Tab. 4.3; G3)

Sujeción elegida: SPAX 4,5 x 60 de cabeza embutida, rosca parcial, con punta 4CUT de acero inoxidable A2 según ATE-12/0114 sin perforación

Diámetro de la cabeza  $d_k = 8,8$  mm

(Tab. 8.4 a; E5)

Longitud de rosca parcial  $l_{gT} = 37$  mm

(Tab. 8.4 a; E15)

Esfuerzo en cizallamiento y extracción (combinado)

**Dimensiones mínimas de los elementos para evitar que se raje la madera**

(Tab. 6.3 b; C)

Tornillos SPAX con  $d_1 = 4,5$  mm: sección mínima  $A_{min} = 40 \cdot d_1^2 = 40 \cdot 4,5^2 \text{ mm}^2 = 810 \text{ mm}^2$

(Tab. 6.3 b; C3)

Listón: section A =  $50 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} = 1.500 \text{ mm}^2 > 810 \text{ mm}^2 \rightarrow$  conforme

Contra listón: section A =  $40 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} = 2.400 \text{ mm}^2 > 810 \text{ mm}^2 \rightarrow$  conforme

Grosor mínimo  $t_{min} = 6 \cdot d_1 = 6 \cdot 4,5 \text{ mm} = 27 \text{ mm}$

(Tab. 6.3 b; C5)

Listón  $t_{vorh} = 30 \text{ mm} > 27 \text{ mm}$

$\rightarrow$  conforme

Contra listón  $t_{vorh} = 40 \text{ mm} > 27 \text{ mm}$

$\rightarrow$  conforme

**Resistencia al cizallamiento – mediante tornillos**

(Tab. 6.3 b; C)

$a_{4,t} = 7 \cdot d_1 = 7 \cdot 4,5 \text{ mm} = 31,5 \text{ mm}$  eligiendo  $a_{4,t} = 32 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

$a_{4,c} = 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 4,5 \text{ mm} = 13,5 \text{ mm}$  eligiendo  $a_{4,c} = 18 \text{ mm} \rightarrow$  conforme

**Resistencia al cizallamiento - tornillo**

1. Grosor resp. longitud de penetración mínima  $t_{req}$  para rótulas plásticas múltiples

$t_1 = 30 \text{ mm} > t_{1,req} = 30 \text{ mm} \cdot 0,839 = 25,2 \text{ mm} \rightarrow$  conforme (Tab. 7.2; E4 · Tab. 7.2a; C3)

$t_2 = 60 \text{ mm} - 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm} > t_{2,req} = 30 \text{ mm} \cdot 0,839 = 25,2 \text{ mm} \rightarrow$  conforme (Tab. 7.2; E4 · Tab. 7.2a; C3)

$\rightarrow$  ¡Sin reducción de la resistencia característica  $F_{v,Rk}$  necesaria!

2. Resistencia característica  $F_{v,Rk}$

$F_{v,Rk} = 989 \text{ N} \cdot 0,816 = 807 \text{ N}$

(Tab. 7.3; E4 · Tab. 7.3a; C3)

$\gamma_M = 1,3$

$F_{v,Rd} = \frac{0,9 \cdot 807 \text{ N}}{1,3} = 559 \text{ N}$

## 9. Ejemplo de dimensionamiento Madera-Madera n° 2

Fijación de un listón en un contra-listón

3. Aumento posible por contribución del efecto de cuerda  $\Delta R_k$

$$\Delta R_k = \min \begin{cases} 807 \text{ N} \\ 0,25 \cdot 1.409 \text{ N} = 352 \text{ N (predominante) (véase más adelante)} \end{cases} \quad (\text{Tab. 7.3b; D5})$$

$$F_{v,Rk} = 807 \text{ N} + 352 \text{ N} = 1.159 \text{ N}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1.159 \text{ N}}{1,3} = \underline{\underline{802 \text{ N}}} \quad (43\% \text{ de aumento})$$

### Resistencia a la extracción – mediante tornillos

1. Extracción de la rosca

$$l_{ef} = \min \begin{cases} t_2 = 30 \text{ mm (predominante)} \\ l_g T = 37 \text{ mm} \end{cases}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 63,0 \text{ N/mm} \cdot 30 \text{ mm} = 1.890 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.14; E4})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1.890 \text{ N}}{1,3} = 1.308 \text{ N}$$

2. Tracción del acero

$$f_{tens,k} = 4.200 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.15; D5})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{tens,d} = \frac{4.200 \text{ N}}{1,3} = 3.231 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.15; D6})$$

3. Cruce de la cabeza

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \max \begin{cases} 3.1 \text{ Cruce de la cabeza} \\ 3.2 \text{ Extracción de la rosca hacia la cabeza} \end{cases}$$

- 3.1 Cruce de la cabeza

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 1.409 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.16; D6})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,9 \cdot 1.409 \text{ N}}{1,3} = \underline{\underline{975 \text{ N}}} \quad (\text{predominante})$$

- 3.2 Extracción de la rosca hacia la cabeza

$$l_{ef,k} = 37 \text{ mm} - 30 \text{ mm} = 7 \text{ mm}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 63,0 \text{ N/mm} \cdot 7 \text{ mm} = 441 \text{ N} \quad (\text{Tab. 7.14; E4})$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{0,9 \cdot 441 \text{ N}}{1,3} = 305 \text{ N}$$



**¡NO ES QUE SPAX SE LLAME “INTERNACIONAL”,  
SINO QUE REALMENTE LO ES!**

Producimos en nuestra fábrica de Ennepetal  
y exportamos a más de 40 países,  
en todos los continentes.



**SPAX International GmbH & Co. KG**  
ALTENLOH, BRINCK & CO - GRUPPE

Kölner Straße 71-77 · 58256 Ennepetal · Germany  
Tel.: +49-23 33-799-1967 · Fax: +49-23 33-799-199  
info@spax.com · www.spax.com

**También nos encuentra en:**

 [facebook.com/spax](https://facebook.com/spax)  
 [youtube.com/user/SPAXinternational](https://youtube.com/user/SPAXinternational)  
 [twitter.com/SPAX\\_DE](https://twitter.com/SPAX_DE)  
 [google.com/+SPAXcom](https://google.com/+SPAXcom)  
 [xing.to/SPAX](https://xing.to/SPAX)  
 [linkedin.com/company/spax-international](https://linkedin.com/company/spax-international)