

ETA-Danmark A/S
 Kollegievej 6
 DK-2920 Charlottenlund
 Tel. +45 72 24 59 00
 Fax +45 72 24 59 04
 Internet www.etadanmark.dk



MIEMBRO DE EOTA

Autorizado y notificado de acuerdo con el Artículo 10 de la Directiva del Consejo 89/106/CEE de 21 de diciembre de 1988 sobre la aproximación de leyes, regulaciones y disposiciones administrativas de los Estados Miembros en relación con los productos de construcción.

Este documento es una traducción del documento original en inglés y ha sido elaborado por SPAX International GmbH & Co KG.
 En caso de dudas, tiene validez el original.

Evaluación Técnica Europea ETA-12/0114

Esta ETA sustituye a la ETA anterior con el mismo número y con validez del 05-09-2012 al 17-07-2017

Nombre comercial:

Tornillos de rosca cortante SPAX

Titular de la aprobación:

SPAX International GmbH & Co. KG
 Kölner Straße 71-77
 DE-58256 Ennepetal
 Tel. +49 23 33799-0
 Fax + 49 23 33799-199
 Internet www.spax.com

Tipo genérico y uso del producto de construcción:

Tornillos de rosca cortante para su uso en estructuras de madera

Válido desde:
 hasta:

26-06-2013
 17-07-2017

Planta de producción:

SPAX International GmbH & Co. KG
 Kölner Straße 71-77
 DE-58256 Ennepetal

Esta Evaluación Técnica Europea contiene:

97 páginas incluyendo 6 anexos que forman parte íntegra del documento



Organización Europea para Aprobaciones Técnicas

Europæisk Organisation for Tekniske Godkendelser

I BASES LEGALES Y CONDICIONES GENERALES

1 Esta Evaluación Técnica Europea es emitida por ETA-Danmark A/S de conformidad con:

- La Directiva del Consejo 89/106/CEE de 21 de diciembre de 1988 sobre la aproximación de las legislaciones, regulaciones y disposiciones administrativas de los Estados Miembros relativas a productos de construcción , y sus enmiendas por la Directiva del Consejo 93/68/CEE de 22 de julio de 1993.

- Bekendtgørelse 559 af 27-06-1994 (afløser bekendtgørelse 480 af 25-06-1991) om ikrafttræden af EF direktiv af 21. december 1988 om indbyrdes tilnærmelse af medlems staternes love og administrative bestemmelser om byggevarer.

- Reglas de Procedimiento Comunes para la Solicitud, Preparación y Concesión de Evaluaciones Técnicas Europeas establecidas en el Anexo a la Decisión de la Comisión 94/23/CE .

2 ETA-Danmark A/S está autorizada para comprobar si se cumplen las disposiciones de esta Evaluación Técnica Europea. La comprobación puede tener lugar en la planta de producción. Sin embargo, la responsabilidad de la conformidad de los productos con la Evaluación Técnica Europea y para su idoneidad para el fin previsto reside en el titular de la Evaluación Técnica Europea.

3 Esta Evaluación Técnica Europea no se transferirá a los fabricantes o agentes de fabricantes distintos a los indicados en la página 1, ni a plantas de producción distintas a las indicadas en la página 1 de esta Evaluación Técnica Europea.

4 ETA-DakNark A/S puede retirar esta Evaluación Técnica Europea conforme al Artículo 5(1) de la Directiva del Consejo 89/106/CEE.

5 La reproducción de esta Evaluación Técnica Europea incluyendo la transmisión por medios electrónicos será completa. Sin embargo, pueden hacerse reproducciones parciales con el consentimiento por escrito de ETA-Danmark A/S. En este caso, la reproducción parcial tiene que designarse como tal. Los textos y planos de folletos informativos no contravendrá ni hará un uso incorrecto de la Evaluación Técnica Europea.

6 Esta Evaluación Técnica Europea está emitida por ETA- Danmark A/S en inglés. Esta versión corresponde plenamente con la versión que circula dentro de la EOTA (Organización para la Idoneidad Técnica Europea). Las traducciones a otros idiomas tienen que designarse como tal.

1) Diario Oficial de las Comunidades Europeas Nº L40, 11 de febrero de 1989, p. 12

2) Diario Oficial de las Comunidades Europeas Nº L220, 30 de agosto de 1993, p. 1

3) Diario Oficial de las Comunidades Europeas Nº L 17, 20 de enero de 1994, p. 34

II CONDICIONES ESPECIALES DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA EUROPEA

1 Definición del producto y uso previsto

Definición del producto

Los tornillos SPAX son tornillos de rosca cortante que se utilizan en estructuras de madera. Se enroscan sobre una parte o sobre la longitud total. Las varillas roscadas SPAX se enroscarán sobre la longitud total. Los tornillos se fabricarán a partir de alambre de acero al carbono para diámetros nominales de 2,5 mm hasta 12,0 mm y de alambre de acero inoxidable para diámetros nominales de 3,0 mm hasta 12,0 mm. Las varillas roscadas SPAX se fabricarán a partir de alambre de acero al carbono o de alambre de acero inoxidable para un diámetro nominal de 16,0 mm. Cuando se requiera protección contra la corrosión, el material o el recubrimiento serán establecidos de conformidad con la especificación pertinente prevista en el Anexo A de EN 14592.

Geometría y Material

El diámetro nominal (diámetro exterior de la rosca), d , de tornillos SPAX no será menor de 2,5 mm y no será mayor de 12,0 mm. El diámetro nominal de las varillas roscadas SPAX es de 16 mm. La longitud global de los tornillos, l , no será menor de 12 mm y no será mayor de 800 mm. La longitud global de las varillas roscadas, l , no será mayor de 3.000 mm. Se dan otras dimensiones en el Anexo A.

La relación del diámetro interior de la rosca con el diámetro exterior de la rosca d_i/d desde 0,58 hasta 0,68.

Los tornillos se enroscan sobre una longitud mínima de ℓ_g de $4 \cdot d$ (por ejemplo, $\ell_g \geq 4 \cdot d$).

El tramo p (distancia entre dos flancos de rosca adyacentes) varía desde $0,49 \cdot d$ hasta $0,61 \cdot d$.

No se observará ninguna rotura en un ángulo de curvatura, α , menor de $(45/d^{0,7} + 20)$ grados.

Uso previsto

Los tornillos y varillas roscadas se utilizan para conexiones en estructuras de madera de carga entre miembros de madera maciza (madera blanda), madera laminada encolada (madera blanda), madera contralaminada, y madera microlaminada, miembros similares encolados, paneles a base de madera o acero. Los tornillos también se utilizan para conexiones en miembros de carga de madera maciza (madera dura) o madera laminada encolada (madera dura). Los tornillos SPAX con rosca completa y las varillas roscadas SPAX se utilizan también como refuerzo de tracción o compresión perpendicular a la veta o como refuerzo de corte perpendicular en miembros de madera blanda.

Asimismo, los tornillos SPAX con diámetros entre 6 mm y 12 mm también pueden utilizarse para la fijación de material aislante térmico sobre cabios.

Las chapas de acero y los paneles a base de madera, excepto los paneles de madera maciza, los tableros laminados y la madera contralaminada, sólo se ubicarán en el lateral de la cabeza del tornillo. Pueden utilizarse los siguientes paneles a base de madera:

- Contrachapado de acuerdo con EN 636 o con una Evaluación Técnica Europea o disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Tableros de partículas de acuerdo con EN 312 o con una Evaluación Técnica Europea o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Tableros con filamentos orientados de acuerdo con EN 300 o con una Evaluación Técnica Europea o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Tableros de vetas conforme a EN 622-2 y 622-3 o con una Evaluación Técnica Europea (densidad mínima de 650 kg/m^3) o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Tableros de partículas aglomeradas con cemento de acuerdo con EN 634 o con una Evaluación Técnica Europea o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Tableros de madera maciza de acuerdo con EN 13353 y EN 13986 o con una Evaluación Técnica Europea o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación.
- Madera contralaminada conforme a una Evaluación Técnica Europea.
- Madera microlaminada conforme a EN 14374 o a una Evaluación Técnica Europea.
- Productos de madera diseñados conforme a la Evaluación Técnica Europea si la ETA del producto incluye disposiciones para el uso de tornillos de rosca cortante, se aplicarán las disposiciones de la ETA del producto creado.

Los tornillos o varillas roscadas están concebidos para ser utilizados en conexiones de madera para los cuales se cumplirán los requisitos de resistencia mecánica, estabilidad y seguridad en el uso en el sentido de los Requisitos Esenciales 1 y 4 de la Directiva del Consejo 89/106/CEE.

El diseño de las conexiones se basará en las capacidades de carga particulares de los tornillos. Las capacidades de diseño se derivarán de las capacidades particulares de conformidad con el Eurocódigo 5 o con un código nacional apropiado.

Los tornillos o varillas roscadas están previstos para su uso en conexiones sujetas a carga estática o cuasi-estática.

El alcance de los tornillos en relación con la resistencia a la corrosión se definirá conforme a disposiciones nacionales que sean aplicables en el emplazamiento de la instalación considerando las condiciones medioambientales. La sección 2.7 de esta ETA contiene la protección contra la corrosión para tornillos SPAX hechos de acero al carbono y el número de material de acero inoxidable.

Ciclo de vida útil

El ciclo de vida útil previsto de los tornillos es de 50 años, siempre que estén sujetos a un uso y mantenimiento apropiados.

La información sobre la vida útil no debería considerarse como una garantía proporcionada por el fabricante ni por el organismo de aprobación que emite la ETA. Un "supuesto ciclo de vida útil previsto" significa que se espera que, cuando este ciclo de vida haya finalizado, el ciclo de vida real pueda ser, en condiciones de uso normales, considerablemente superior sin una degradación importante que afecte a los requisitos esenciales.

2 Características del producto y evaluación

Características		Evaluación de características	
2.1 Resistencia mecánica y estabilidad*)			
2.1.1	Resistencia a la tracción	Valor característico $f_{\text{tens},k}$:	
	Tornillos de acero al carbono	d = 2,5 mm:	1,8 kN
		d = 3,0 mm:	2,6 kN
		d = 3,5 mm:	3,8 kN
		d = 4,0 mm:	5,0 kN
		d = 4,5 mm o 4,6 mm:	6,4 kN
		d = 5,0 mm:	7,9 kN
		d = 5,6 mm:	9,9 kN
		d = 6,0 mm:	11 kN
		d = 7,0 mm:	13 kN
		d = 8,0 mm:	17 kN
	Varillas roscadas de acero al carbono	d = 10,0 mm:	28 kN
	o de acero inoxidable	d = 12,0 mm:	38 kN
		d = 16,0 mm:	63 kN
	Tornillos de acero inoxidable	d = 3,0 mm:	2,1 kN
		d = 3,5 mm:	2,9 kN
		d = 4,0 mm:	3,8 kN
		d = 4,5 mm o 4,6 mm:	4,2 kN
		d = 5,0 mm:	4,9 kN
		d = 5,6 mm:	6,2 kN
		d = 6,0 mm:	7,1 kN
		d = 7,0 mm:	10 kN
		d = 8,0 mm:	13 kN
		d = 10,0 mm:	20 kN
		d = 12,0 mm:	28 kN
2.1.2	Momento de inserción	Relación de la resistencia a la tracción particular con respecto al momento de inserción medio:	
		$f_{\text{tor},k} / R_{\text{tor,mean}} \geq 1,5$	
2.1.3	Resistencia a la tracción	Valor característico $f_{\text{tor},k}$:	
	Tornillos de acero al carbono	d = 2,5 mm:	0,65 Nm
		d = 3,0 mm:	1,3 Nm
		d = 3,5 mm:	2,0 Nm
		d = 4,0 mm:	3,0 Nm
		d = 4,5 mm o 4,6 mm:	4,0 Nm
		d = 5,0 mm:	6,0 Nm
		d = 5,6 mm:	8,0 Nm
		d = 6,0 mm:	10,5 Nm
		d = 7,0 mm:	14,2 Nm
		d = 8,0 mm:	21 Nm
		d = 10,0 mm:	40 Nm
		d = 12,0 mm:	70 Nm
	Tornillos de acero inoxidable	d = 3,0 mm:	1,0 Nm
		d = 3,5 mm:	1,7 Nm
		d = 4,0 mm:	2,4 Nm
		d = 4,5 mm o 4,6 mm:	3,2 Nm
		d = 5,0 mm:	4,6 Nm
		d = 5,6 mm:	5,6 Nm
		d = 6,0 mm:	7,0 Nm
		d = 7,0 mm:	8,7 Nm
		d = 8,0 mm:	17 Nm
		d = 10,0 mm:	28 Nm
		d = 12,0 mm:	54 Nm

Características		Evaluación de características
2.2	Seguridad en caso de incendio	
2.2.1	Reacción contra el fuego	Los tornillos están hechos con acero clasificado como Euroclase A1 de conformidad con EN 1350-1 y la decisión de la CE 96/603/CE, modificada por la Decisión de 2000/605/CE
2.3	Higiene, salud y medio ambiente	
2.3.1	Influencia sobre la calidad del aire	Sin materiales peligrosos **)
2.4	Seguridad en el uso	No relevante
2.5	Protección contra el ruido	No relevante
2.6	Ahorro energético y retención de calor	No relevante
2.7	Aspectos relacionados de capacidad de servicio	
2.7.1	Durabilidad	En la evaluación se ha determinado que los tornillos tienen una durabilidad y una capacidad de servicio satisfactorias cuando se utilizan en estructuras de madera utilizando las especies de madera descritas en el Eurocódigo 5 y con sujeción a las condiciones definidas por las clases de servicio 1, 2 y 3.
2.7.2	Capacidad de servicio	
2.7.3	Identificación	

*) Ver página 7 de esta ETA

**) De acuerdo con <http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/dangsub/dangmain.htm> Además de las cláusulas específicas relativas a sustancias peligrosas contenidas en esta Evaluación Técnica Europea, puede que haya otros requisitos aplicables a los productos dentro de este ámbito (por ejemplo, legislación europea transpuesta y leyes nacionales, regulaciones y disposiciones administrativas). Para cumplir las disposiciones de la Directiva de Productos de Construcción de la UE, también hay que cumplir estos requisitos, cuando y donde sean de aplicación.

2.1 Resistencia mecánica y estabilidad

Las capacidades de carga para tornillos SPAX son aplicables a los materiales a base de madera mencionados en el párrafo 1 incluso cuando se haya utilizado el término madera en lo siguiente.

Las capacidades de carga lateral particulares y las capacidades de retirada axial particulares de los tornillos o varillas roscadas SPAX deberían utilizarse para diseños de conformidad con el Eurocódigo 5 o con un código nacional apropiado.

La longitud de penetración lateral será de $\ell_{ef} \geq 4 \cdot d$ donde d es el diámetro de la rosca exterior del tornillo o de la varilla roscada. Para la fijación de material de aislamiento térmico en la parte superior de las vigas, la penetración lateral será de al menos 40 mm, $\ell_{ef} \geq 40$ mm.

La longitud de penetración matemática de las varillas roscadas se limitará a 1.000 mm incluso si la longitud de penetración real es mayor.

Deberían considerarse las Evaluaciones Técnicas Europeas para miembros estructurales o paneles a base de madera cuando corresponda.

Las reducciones en la zona transversal causadas por los tornillos o varillas roscadas SPAX con un diámetro de 10 mm o mayor, deben tenerse en cuenta en la comprobación de la resistencia del miembro tanto en el área de tracción como en el área de compresión de los miembros.

Para tornillos en agujeros pre-taladrados, el diámetro del agujero del taladro debería considerarse en la comprobación de la resistencia del miembro y para tornillos fijados sin pre-taladrado, el diámetro de la rosca interior.

Capacidad de carga lateral

La capacidad de carga lateral particular de tornillos o varillas roscadas SPAX se calculará de acuerdo con EN 1995-1-1:2008 (Eurocódigo 5) utilizando el diámetro de la rosca exterior d como el diámetro nominal del tornillo. Podrá considerarse la contribución del efecto de comba.

El límite elástico se calculará a partir de:

Tornillos SPAX para $2,5 \text{ mm} \leq d \leq 12,0 \text{ mm}$ hechos de acero al carbono:

$$M_{y,k} = 0,15 \cdot 600 \cdot d^{2,6} \quad [\text{Nmm}]$$

Varillas roscadas SPAX:

$$M_{y,k} = 140000 \quad [\text{Nmm}]$$

Tornillos SPAX para $3,0 \text{ mm} \leq d \leq 12,0 \text{ mm}$ hechos con acero inoxidable:

$$M_{y,k} = 0,15 \cdot 400 \cdot d^{2,6} \quad [\text{Nmm}]$$

Donde

d es el diámetro de la rosca exterior [mm]
(d_i en los planos en el anexo)

La resistencia a la incrustación para tornillos en agujeros no pre-taladrados colocados en ángulo entre el eje del tornillo y la dirección de la veta, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ es:

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

para tornillos en agujeros pre-taladrados:

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

para varillas roscadas en agujeros pre-taladrados:

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

Donde

ρ_k es la densidad de la madera característica [kg/m^3];
 d es el diámetro de la rosca exterior [mm];
 α es el ángulo entre el eje del tornillo y la dirección de las vetas;
 ε es el ángulo entre la fuerza y la dirección de las vetas;
 k_{90} conforme a la ecuación (8.33) en EN 1995-1-1.

La resistencia a la incrustación para tornillos colocados en paralelo al plano de la madera contralaminada, independiente del ángulo entre el eje del tornillo y la dirección de las vetas, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, se calculará a partir de:

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

salvo se determine lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) para la madera contralaminada.

Donde

d es el diámetro de la rosca exterior [mm]
(d_i en los planos en el anexo)

La resistencia a la incrustación para tornillos o varillas roscadas en la superficie plana de madera contralaminada debería asumirse como para la madera maciza en base a la densidad particular de la capa externa. Si es relevante, debería tenerse en cuenta el ángulo entre la fuerza y la dirección de las vetas de la capa externa.

La dirección de la fuerza transversal será perpendicular al eje del tornillo y paralela a la superficie plana de la madera contralaminada.

Para ángulos de $45^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ entre la fuerza y la dirección de las vetas de la capa externa, la capacidad de carga característica podrá asumirse como 2/3 del valor correspondiente para $\alpha = 90^\circ$ si solo se tiene en cuenta la profundidad de la penetración perpendicular a la cara ancha.

Para tornillos cargados lateralmente, deberían aplicarse las reglas para conexiones de sujeción múltiples previstas en EN 1995-1-1, 8.3.1.1 (8).

Capacidad de retirada axial

La capacidad de retirada axial característica de tornillos o varillas roscadas SPAX a un ángulo de $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ hasta la veta en madera maciza (madera blanda y madera dura con una densidad particular máxima de 590 kg/m^3), madera laminada encolada y miembros de madera contralaminada, o a un ángulo $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ hasta la veta en los miembros de tableros laminados, se calculará conforme a EN 1995-1-1:2008 a partir de:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot \ell_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \quad [N]$$

Donde

$F_{ax,\alpha,Rk}$	característica de capacidad de retirada del tornillo a un ángulo α hasta la veta [N]
n_{ef}	número defectivo de tornillos conforme a EN 1995-1-1:2008
$f_{ax,k}$	Parámetro particular de retirada $2,5 \text{ mm} \leq d < 6,0 \text{ mm}$: $f_{ax,k} = 14,0 \text{ N/mm}^2$ $6,0 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$: $f_{ax,k} = 12,0 \text{ N/mm}^2$ $d = 10,0 \text{ mm}$: $f_{ax,k} = 11,5 \text{ N/mm}^2$ $d = 12,0 \text{ mm}$: $f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$ $d = 16,0 \text{ mm}$: $f_{ax,k} = 10,0 \text{ N/mm}^2$
d	diámetro de la rosca exterior [mm] (d_1 en los planos en el anexo)
ℓ_{ef}	Longitud de penetración de la parte roscada conforme a EN 1995-1-1:2008 [mm]
α	Ángulo entre la veta y el eje del tornillo ($\alpha \geq 15^\circ$)
ρ_k	Densidad particular [kg/m^3]

Para tornillos que penetren en más de una capa de madera contralaminada, las diferentes capas han de tenerse en cuenta proporcionalmente.

La capacidad de retirada axial está limitada por la capacidad de arrastre de la cabeza y la capacidad de la tracción o compresión del tornillo o de la varilla roscada.

Para tornillos cargados axialmente en tensión, cuando la fuerza externa sea paralela a los ejes del tornillo, deberían aplicarse las reglas de EN 1995-1-1, 8.7.2 (8).

Para tornillos inclinados en conexiones de corte de madera a madera o de acero a madera, donde se colocan los tornillos bajo un ángulo de $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ entre el plano de corte y el eje del tornillo, el número efectivo de tornillos n_{ef} debería determinarse de la siguiente manera:

Para una fila de tornillos n paralela a la carga, la capacidad de carga debería calcularse utilizando el número efectivo de elementos de fijación n_{ef} , donde

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

y n es el número de tornillos inclinados en una fila. Si se utilizan pares cruzados de tornillos en conexiones de madera a madera, n es el número de pares cruzados de tornillos en una fila.

Nota: para tornillos como refuerzo de compresión o tornillos inclinados como elementos de fijación en vigas o columnas unidas mecánicamente, o para la fijación de material aislante térmico, $n_{ef} = n$.

Capacidad de arrastre de la cabeza

La capacidad de arrastre de la cabeza de los tornillos o de varillas rodadas SPAX se calculará conforme a EN 1995-1-1:2008 a partir de:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \quad [N]$$

Donde:

$F_{ax,\alpha,Rk}$	Capacidad de arrastre particular de la cabeza de la conexión a un ángulo $\alpha \geq 30^\circ$ con la veta [N]
n_{ef}	Número efectivo de tornillos conforme a EN 1995-1-1:2008 Para tornillos inclinados: $n_{ef} = \max \{ n^{0,9}; 0,9 \cdot n \}$ (ver capacidad de retirada axial)
$f_{head,k}$	Parámetro de arrastre característico de la cabeza [N/mm^2]
d_h	Diámetro de la cabeza del tornillo o de la arandela [mm]. El diámetro externo de las cabezas o de las arandela $d_h > 32 \text{ mm}$ solo se considerará con un diámetro nominal de 32 mm (d_k en los planos en el anexo)
ρ_k	Densidad particular [kg/m^3], para paneles a base de madera $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

Parámetro de arrastre característico de la cabeza para tornillos SPAX con cabeza avellanada o cabeza hexagonal sin flanco en conexiones con madera y en conexiones con tableros a base de madera con grosores por encima de 20 mm:

$$d_h \leq 16 \text{ mm: } f_{\text{head,k}} = 27,0 - d_h \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$16 \text{ mm} < d_h \leq 32 \text{ mm: } f_{\text{head,k}} = 11,0 - 0,2 \cdot (d_h - 16) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Parámetro de arrastre particular de la cabeza para tornillos SPAX con arandela o con segunda rosca bajo la cabeza, cabeza plana, cabeza hexagonal con flanco o cabeza avellanada con arandela en conexiones con madera y en conexiones con tableros a base de madera con grosores por encima de 20 mm:

$$d_h \leq 16 \text{ mm: } f_{\text{head,k}} = 29,0 - d_h \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$16 \text{ mm} < d_h \leq 22 \text{ mm: } f_{\text{head,k}} = 13,0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$22 \text{ mm} < d_h \leq 32 \text{ mm: } f_{\text{head,k}} = 16,0 - 0,5 \cdot (d_h - 16) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Parámetro de arrastre de la cabeza particular para tornillos en conexiones con paneles a base de madera con grosores de entre 12 mm y 20 mm:

$$f_{\text{head,k}} = 8 \text{ N/mm}^2$$

Tornillos en conexiones con paneles a base de madera con grosores por debajo de 12 mm (grosor mínimo de los paneles a base de madera de $1,2 \cdot d$, de ancho con d como diámetro de la rosca exterior):

$$f_{\text{head,k}} = 8 \text{ N/mm}^2$$

limitado a $F_{\text{ax,Rk}} = 400 \text{ N}$

Para tornillos o varillas roscadas SPAX, puede tenerse en cuenta la capacidad de retirada de la rosca en el miembro con la cabeza del tornillo, en lugar de la capacidad de arrastre de la cabeza.

Para tornillos parcialmente roscados con vástago liso bajo la cabeza, el diámetro de la cabeza o de la arandela será igual o mayor de $1,8 \cdot d_s$ donde d_s es el vástago liso o el diámetro del alambre. De otra forma, la capacidad de arrastre particular de la cabeza sería $F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}} = 0$ para tornillos con un vástago liso bajo la cabeza.

El diámetro de la cabeza d_h será mayor de $1,8 \cdot d_s$, donde d_s es el vástago liso o el diámetro del alambre. De otra forma, la capacidad de arrastre particular de la cabeza sería $F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}} = 0$.

Deberá observarse el grosor mínimo de los paneles a base de madera de acuerdo con la cláusula 2.1.

En conexiones de acero a madera, la capacidad de arrastre de la cabeza no es aplicable.

Capacidad de tracción

La capacidad de tracción particular $f_{\text{tens,k}}$ de los tornillos de acero al carbono, de acero inoxidable y de las varillas roscadas de acero al carbono SPAX es:

d = 2,5 mm:	1,8 kN
d = 3,0 mm:	2,6 kN
d = 3,5 mm:	3,8 kN
d = 4,0 mm:	5,0 kN
d = 4,5 mm o 4,6 mm:	6,4 kN
d = 5,0 mm:	7,9 kN
d = 5,6 mm:	9,9 kN
d = 6,0 mm:	11 kN
d = 7,0 mm:	13 kN
d = 8,0 mm:	17 kN
d = 10,0 mm:	28 kN
d = 12,0 mm:	38 kN
Varillas roscadas d = 16 mm:	63kN

La capacidad de tracción $f_{\text{tens,k}}$ de los tornillos de acero inoxidable SPAX es de:

d = 3,0 mm:	2,1 kN
d = 3,5 mm:	2,9 kN
d = 4,0 mm:	3,8 kN
d = 4,5 mm o 4,6 mm:	4,2 kN
d = 5,0 mm:	4,9 kN
d = 5,6 mm:	6,2 kN
d = 6,0 mm:	7,1 kN
d = 7,0 mm:	10 kN
d = 8,0 mm:	13 kN
d = 10,0 mm:	20 kN
d = 12,0 mm:	28 kN

La capacidad de arranque de la cabeza del tornillo es mayor a la capacidad de tracción del tornillo.

Para tornillos o varillas roscadas utilizadas en combinación con chapas de acero, la capacidad de arranque de la cabeza del tornillo incluyendo una arandela, será mayor a la capacidad de tracción del tornillo.

Tornillos o varillas roscadas combinados cargados lateral y axialmente

Para conexiones sujetas a una combinación de carga axial y lateral, debería cumplirse la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{F_{\text{ax,Ed}}}{F_{\text{ax,Rd}}} \right)^2 + \left(\frac{F_{\text{la,Ed}}}{F_{\text{la,Rd}}} \right)^2 \leq 1$$

Donde

$F_{\text{ax,Ed}}$	carga de diseño axial del tornillo o de la varilla roscada
$F_{\text{la,Ed}}$	carga de diseño lateral del tornillo de la varilla roscada
$F_{\text{ax,Rd}}$	diseño de capacidad de carga de un tornillo o varilla roscada cargados axialmente
$F_{\text{la,Rd}}$	diseño de capacidad de carga de un tornillo o varilla roscada cargados lateralmente

Vigas unidas mecánicamente

Ver Anexo B

Capacidad de compresión

La capacidad de compresión $F_{ax,Rk}$ de tornillos o varillas roscadas SPAX con rosca total a lo largo de la longitud incrustada en la madera se calculará a partir de:

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}; \kappa_c \cdot N_{pl,k} \right\} \quad [N]$$

Donde

$$\kappa_c = \begin{cases} 1 & \text{für } \bar{\lambda}_k \leq 0,2 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} & \text{für } \bar{\lambda}_k > 0,2 \end{cases}$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2]$$

La relación de delgadez relativa se calculará a partir de:

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}}$$

Donde

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y,k} \quad [N]$$

es el valor característico para la capacidad axial en caso de análisis plástico referido a la sección transversal de la rosca interior.

Límite de deformación particular:

$$f_{y,k} = 1000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

para tornillos SPAX hechos con acero al carbono

$$f_{y,k} = 500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

para tornillos y varillas roscadas de acero inoxidable SPAX

Deformación por carga de pandeo elástica:

$$N_{ki,k} = \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} \quad [N]$$

Soporte elástico del tornillo:

$$c_h = (0,19 + 0,012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left(\frac{90^\circ + \alpha}{180^\circ} \right) \quad [N/mm^2]$$

para tornillos en madera contralaminada, es aplicable la combinación más desfavorable de α y ρ_k ;

Módulo de elasticidad:

$$E_s = 210000 \quad [N/mm^2]$$

Densidad particular:

ρ_k = Densidad particular para maderas duras con una densidad particular máxima de 450 kg/m³ [kg/m³]

Momento de inercia de la sección transversal:

$$I_s = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 \quad [mm^4]$$

d_1 = diámetro de la rosca interior [mm]

(d_2 en los planos en el anexo)

α = ángulo entre el eje del tornillo y la dirección de las vetas

Nota: A la hora de determinar valores de diseño de la capacidad de compresión, debería considerarse que $f_{ax,d}$ tiene que calcularse utilizando k_{mod} y γ_M para madera de conformidad con EN 1995 mientras que $N_{pl,d}$ se calcula utilizando $\gamma_{M,0}$ para acero conforme a EN 1993.

Refuerzo de compresión

Ver anexo C

Refuerzo de tracción

Ver anexo D

Refuerzo de corte

Ver anexo E

Material de aislamiento térmico en la parte superior de cabios

Ver anexo F

2.7 Aspectos relacionados al estado de funcionamiento

2.7.1 Protección contra la corrosión en las clases de servicio 1, 2 y 3. Los tornillos y varillas roscadas SPAX se fabrican a partir de alambre de carbono. Están latonados, con un acabado en bronce niquelado o electrogalvanizados y por ejemplo, cromados en amarillo o azul con grosores del revestimiento de zinc de 4 - 16 μ m o tienen un revestimiento de zinc lamelar con grosores de 10 -20 μ m.

El acero nº 1.4016, 1.4062, 1.4401, 1.4567, 1.4578, 1.4529 y 1.4539 se usa para tornillos hechos con acero inoxidable.

3 Certificado de Conformidad y marcado CE

3.1 Certificado del sistema de Conformidad

El sistema de certificación de conformidad se describe 2+ en la Directiva del Consejo 89/106/CEE (Directiva de Productos de Construcción) Anexo III.

- a) Tareas para el fabricante:
- (1) Control de producción de fábrica,
 - (2) Pruebas de tipo inicial del productos,
- b) Tareas para el organismo notificado:
- (1) Inspección inicial de la fábrica y del control de producción de la fábrica,
 - (2) Vigilancia continua

3.2 Responsabilidades

3.2.1 Tareas del fabricante

3.2.1.1 Control de producción de la fábrica

El fabricante dispone de un sistema de control de producción de fábrica en la planta y ejerce un control interno permanente de la producción. Todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptadas por el fabricante se documentan de forma sistemática en forma de políticas y procedimientos escritos. Este sistema de control de producción garantiza que el producto sea conforme a la Evaluación Técnica Europea.

El fabricante solo utilizará materias primas suministradas con los documentos de inspección pertinentes según se establece en el plan de control. Las materias primas entrantes estarán sujetas a controles y pruebas por parte del fabricante antes de su aceptación. La comprobación de materias primas, como alambre de metal, incluirán el control de los documentos de inspección presentados por proveedores (comparación con valores nominales) comprobando la dimensión y determinando las propiedades materiales.

Los componentes fabricados estarán sujetos a las siguientes comprobaciones:

- Especificación de materia prima;
- Dimensión de los tornillos o varillas roscadas;
- Resistencia a la tracción característica $f_{tens,k}$;
- Resistencia a la torsión característica $f_{tor,k}$;
- Momento de inserción característico $R_{tor,k}$;
- Durabilidad;
- Marcado.

El plan de control, que forma parte de la documentación técnica de esta Evaluación Técnica Europea, incluye información del ámbito, naturaleza y frecuencia de las pruebas y controles que se realizarán dentro del control de producción de la fábrica y ha sido acordado por el titular de la aprobación y ETA Danmark.

Los resultados del control de producción de la fábrica se registran y evalúan. Los registros incluyen al menos la siguiente información:

- Designación del producto, material básico y componentes;
- Tipo de control o pruebas;
- Fecha de fabricación del producto y fecha de las pruebas del producto o material básico y componentes;
- Resultado del control y pruebas y, si es oportuno, comparación con los requisitos;
- Firma de la persona responsable para el control de producción de la fábrica.

Los registros serán presentados a ETA Danmark bajo petición.

3.2.1.1 Pruebas de tipo inicial del producto

Para pruebas del tipo inicial, los resultados de las pruebas realizadas como parte de la evaluación para la Evaluación Técnica Europea, se utilizarán salvo que haya cambios en la línea de producción o planta. En tales supuestos, tiene que acordarse la prueba tipo inicial necesaria entre ETA Danmark y el organismo notificado.

Las pruebas de tipo inicial estarán sujetas a las siguientes comprobaciones:

- Especificación de materia prima;
- Dimensión de los tornillos o varillas roscadas;
- Punto límite de elasticidad particular $M_{y,k}$;
- Parámetro de retirada particular $f_{ax,k}$;
- Parámetro de arrastre particular de la cabeza $f_{head,k}$;
- Resistencia a la tracción característica $f_{tens,k}$;
- Resistencia a la electricidad particular, si procede;
- Resistencia a la tracción particular $f_{tor,k}$;
- Momento de inserción particular $R_{tor,k}$;
- Durabilidad.

3.2.2. Tareas de los organismos notificados

3.2.2.1 Inspección inicial de la fábrica y del control de producción de la fábrica

El organismo aprobado debería determinar que, de conformidad con el plan de control, la fábrica, en concreto el personal y el equipo, y el control de producción de la fábrica son aptos para asegurar una producción continua y ordenada de los tornillos con las especificaciones previstas en la parte 2.

4 El plan de control se ha depositado en ETA-Danmark y solo está disponible para los órganos aprobados implicados en el procedimiento de certificación de conformidad.

3.2.2.2 Vigilancia continua

El organismo aprobado visitará la fábrica al menos una vez al año para inspecciones rutinarias. Se comprobará que el sistema del control de producción de la fábrica y los procesos de fabricación específicos se mantienen teniendo en cuenta el plan de control.

Los resultados de la certificación del producto y la vigilancia continua se pondrán a disposición bajo petición por parte del organismo de certificación a ETA Danmark. En los casos en que no se vayan a cumplir las disposiciones de la Evaluación Técnica Europea y el plan de control, el certificado de conformidad será retirado por el organismo aprobado.

3.3 Marcado CE

El marcado CE se estampará en cada paquete de tornillos. Las iniciales "CE" irán seguidas de un número de identificación del organismo notificado e irán acompañadas de la siguiente información:

- Nombre de la marca de identificación del fabricante
- Los dos últimos dígitos del año en el que se estampó el marcado
- Número de la Evaluación Técnica Europea
- Nombre del producto
- Diámetro de la rosca exterior y longitud de los tornillos de rosca cortante
- Tipo y espesor medio de la protección contra la corrosión, si procede
- Acero inoxidable incluyendo el número de material, si procede
- Número de Certificado de Conformidad CE

4 Supuestos bajo los cuales la idoneidad del uso previsto del producto fue evaluado favorablemente

4.1 Fabricación

Los tornillos o varillas roscadas se fabrican de conformidad con las disposiciones de la Evaluación Técnica Europea utilizando el proceso de fabricación automatizado según, se identifica durante la inspección de la planta por parte del organismo de aprobación que emite la ETA y el organismo aprobado, y que establece en la documentación técnica.

4.2 Instalación

4.2.1 La instalación deberá llevarse a cabo conforme al Eurocódigo 5 o a un código nacional apropiado, salvo que éste último indique lo contrario. Deberían considerarse las instrucciones de SPAX International GmbH & Co. KG para la instalación.

4.2.2 Los tornillos o varillas roscadas se utilizan para conexiones en estructuras de madera de carga entre miembros de madera maciza (madera blanda), madera laminada encolada (madera blanda), madera contralaminada (diámetro mínimo $d = 6,0$ mm), y madera microlaminada, miembros encolados similares, paneles a base de madera o miembros de acero. Los tornillos también se utilizarán para conexiones en miembros de carga de madera maciza (madera dura) o madera laminada encolada (madera dura). Para conectar madera contralaminada, el diámetro de la rosca interno d_1 de los tornillos será mayor a la anchura máxima de los huecos en la capa.

Los tornillos o varillas roscadas pueden utilizarse para conexiones en estructuras de madera de carga con miembros estructurales de acuerdo con una Evaluación Técnica Europea asociada, si, conforme a la Evaluación Técnica Europea asociada del miembro estructural, se permite una conexión en estructuras de madera de carga con tornillos conforme a una Evaluación Técnica Europea.

Los tornillos completamente roscados o varillas roscadas SPAX se utilizan también como refuerzo de tracción o compresión perpendicular a la veta o como refuerzo de corte en miembros de madera blanda.

Asimismo, los tornillos con diámetros entre 6 mm y 12 mm también pueden utilizarse para la fijación de material aislante térmico en la parte superior de cabios.

Debería utilizarse un mínimo de dos tornillos o varillas roscadas para conexiones en estructuras de madera de carga. Esto no es aplicable para refuerzos u otras situaciones especificadas en los Anexos Nacionales a EN 1995-1-1.

La profundidad de penetración mínima en miembros estructurales hechos de madera maciza, encolada o contralaminada es $4 \cdot d$.

Los tableros a base de madera y las chapas de acero deberían colocarse en el lateral de la cabeza del tornillo. El grosor mínimo de los tableros a base de madera debería ser $1,2 \cdot d$. Asimismo, el grosor mínimo para los siguientes paneles a base de madera debería ser:

- Contrachapado, tableros de fibras: 6 mm
- Tableros de partículas, tableros con filamentos orientados, tableros de partículas aglomeradas con cemento: 8 mm
- Paneles de madera maciza: 12 mm

Para miembros estructurales conforme a las Aprobaciones Técnicas Europeas deberán considerarse los términos de las Aprobaciones Técnicas Europeas.

Si se utilizan tornillos con un diámetro de rosca exterior $d \geq 8$ mm en estructuras de madera de carga, la madera maciza estructural o laminada encolada, la madera microlaminada y miembros encolados similares deberán ser de píceo, pino o abeto. Esto no es aplicable para tornillos o varillas roscadas en agujeros pre-taladrados.

El ángulo mínimo entre el eje del tornillo y la dirección de la veta es $\alpha = 15^\circ$.

4.2.3 Los tornillos deberán introducirse en madera blanda sin pre-taladrado o tras el pre-taladrado. Los tornillos se introducirán en madera dura con una densidad particular máxima $d 590 \text{ kg/m}^3$ y las varillas roscadas en madera blanda tras el pre-taladrado. Los diámetros del agujero del taladro son:

Diámetro de rosca exterior	Diámetro del agujero	
	Madera blanda	Madera dura
4,0	2,5	3,0
4,5	3,0	3,0
4,6	3,0	3,0
5,0	3,0	3,5
5,6	3,0	4,0
6,0	4,0	4,0
7,0	4,0	5,0
8,0	5,0	6,0
10,0	6,0	7,0
12,0	7,0	8,0
16,0	13,0	-

El diámetro del agujero en miembros de acero deberá pre-taladrarse con un diámetro idóneo.

Sólo los equipos prescritos por SPAX GmbH & Co. KG deberán utilizarse para introducir los tornillos.

En conexiones con tornillos de cabeza plana, de acuerdo con el Anexo A, la cabeza debe estar alineada con la superficie del miembro estructural conectado. No se permite una cabeza plana más profunda.

Salvo especificación contraria, el grosor mínimo para miembros estructurales no pre-taladrados es $t = 24$ mm para tornillos con diámetro de la rosca externa $d < 8$ mm, $t = 30$ mm para tornillos con diámetro de la rosca externa $d = 8$ mm, $t = 40$ mm para tornillos con diámetro de la rosca externa $d = 10$ mm y $t = 80$ mm para tornillos con diámetro de la rosca externa $d = 12$ mm.

Para miembros de madera estructurales, el espaciado mínimo y las distancias para los tornillos en agujeros pre-taladrados se establecen en EN 1995-1-1:2008 (Eurocódigo 5) cláusula 8.3.1.2 y en la tabla 8.2 como para clavos en agujeros pre-taladrados. Este espaciado y distancias mínimas también serán aplicables para tornillos SPAX con punta CUT o 4CUT en agujeros no pre-taladrados. Aquí, el diámetro de la rosca exterior d deberá tenerse en cuenta. Para tornillos SPAX con punta CUT o 4CUT en agujeros no pre-taladrados se cumplirán las siguientes condiciones:

- $a_1 \geq 5 \cdot d$
- $a_{3,c} \geq 12 \cdot d$
- $a_{3,t} \geq 12 \cdot d$
- sección transversal mínima $\geq 40 \cdot d^2$
- tornillos con punta CUT:

$t_{\min} = \max \{5 \cdot d; 20 \text{ mm}\}$	para $d \leq 6$ mm
$t_{\min} = 7 \cdot d$	para $d \geq 8$ mm
- tornillos con punta 4CUT:

$t_{\min} = \max \{6 \cdot d; 20 \text{ mm}\}$	para $d \leq 6$ mm
$t_{\min} = 7 \cdot d$	para $d \geq 8$ mm

Para tornillos SPAX que no cumplan las condiciones de arriba o para tornillos en madera microlaminada, el espaciado y las distancias mínimas se establecen en EN 1995-1-1:2008 cláusula 8.3.1.2 y Tabla 8.2 como para clavos en agujeros no pre-taladrados.

Alternativamente, las distancias mínimas y el espaciado para los tornillos SPAX cargados exclusivamente sobre sus ejes con punta CUT o 4CUT o con ≤ 8 mm en agujeros no pre-taladrados en miembros de madera maciza, en madera laminada encolada o en productos encolados similares con un grosor mínimo de $t = 12 \cdot d$ pueden tomarse como:

Espaciado a_1 paralelo a la veta	$a_1 = 5 \cdot d$
Espaciado a_2 perpendicular a la veta	$a_2 = 5 \cdot d$
Distancia $a_{3,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta la veta final	$a_{3,c} = 5 \cdot d$
Distancia $a_{4,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje no cargado	$a_{4,c} = 4 \cdot d$
Distancia $a_{4,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje para tornillos solo con punta CUT o 4CUT	$a_{4,c} = 3 \cdot d$

El espaciado a_2 perpendicular a la veta podrá reducirse desde $5 \cdot d$ hasta $2,5 \cdot d$ si se cumple la condición $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$.

Alternativamente, las distancias mínimas y el espaciado para los tornillos SPAX cargados exclusivamente sobre sus ejes en piezas de madera laminada enchapada con un grosor mínimo de $t = 6 \cdot d$, pueden tomarse como:

Espaciado a_1 paralelo a la veta	$a_1 = 5 \cdot d$
Espaciado a_2 perpendicular a la veta	$a_2 = 5 \cdot d$
Distancia $a_{3,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera	$a_{3,c} = 5 \cdot d$
Distancia $a_{4,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje no cargado	$a_{4,c} = 3 \cdot d$

Para los miembros de abetos Douglas, el espaciado mínimo y las distancias paralelas a la veta deberán incrementarse un 50%.

Las distancias mínimas desde los extremos cargados o no cargados deberán ser de $15 \cdot d$ para tornillos en agujeros no pre-taladrados con un diámetro exterior de la rosca de $d \geq 8$ mm y madera con un grosor de $t < 5 \cdot d$.

Las distancias mínimas desde el eje no cargado perpendicular a la veta podrán reducirse hasta $3 \cdot d$ también para maderas con grosores de $t < 5 \cdot d$, si el espaciado paralelo a la veta y la distancia con el extremo es de al menos $25 \cdot d$.

Salvo se especifique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) de madera contralaminada, las distancias mínimas y el espaciado para tornillos en la superficie plana de miembros de madera contralaminada con un grosor mínimo $t_{CLT} = 10 \cdot d$ pueden tomarse como (ver Anexo B):

Espaciado a_1 paralelo a la veta	$a_1 = 4 \cdot d$
Espaciado a_2 perpendicular a la veta	$a_2 = 2,5 \cdot d$
Distancia $a_{3,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el contrahilo de la madera no cargado	$a_{3,c} = 6 \cdot d$
Distancia $a_{3,t}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el contrahilo de la madera cargado	$a_{3,t} = 6 \cdot d$
Distancia $a_{4,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje no cargado	$a_{4,c} = 2,5 \cdot d$
Distancia $a_{4,t}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje cargado	$a_{4,t} = 6 \cdot d$

Salvo se especifique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) de madera contralaminada, las distancias mínimas y espaciado para tornillos en la superficie del eje de miembros de madera contralaminados con un grosor mínimo de $t_{CLT} = 10 \cdot d$ y una profundidad de penetración mínima perpendicular a la superficie del eje de $10 \cdot d$ puede tomarse como (ver Anexo B):

Espaciado a_1 paralelo al plano CLT	$a_1 = 10 \cdot d$
Espaciado a_2 perpendicular al plano CLT	$a_2 = 4 \cdot d$
Distancia $a_{3,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el extremo no cargado	$a_{3,c} = 7 \cdot d$
Distancia $a_{3,t}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el extremo cargado	$a_{3,t} = 12 \cdot d$
Distancia $a_{4,c}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje no cargado	$a_{4,c} = 3 \cdot d$
Distancia $a_{4,t}$ desde la parte central del tornillo en la madera hasta el eje cargado	$a_{4,t} = 6 \cdot d$

Para tornillos o varillas roscadas SPAX en agujeros pretaladrados, no son aplicables los requisitos anteriores para los grosores mínimos.

Para pares de tornillos cruzados, el espaciado mínimo entre los tornillos cruzados se proporciona en el Anexo B.

Las distancias mínimas y el espaciado para tornillos SPAX en vigas unidas mecánicamente se establecen en el Anexo B.

4.3 Mantenimiento y reparación

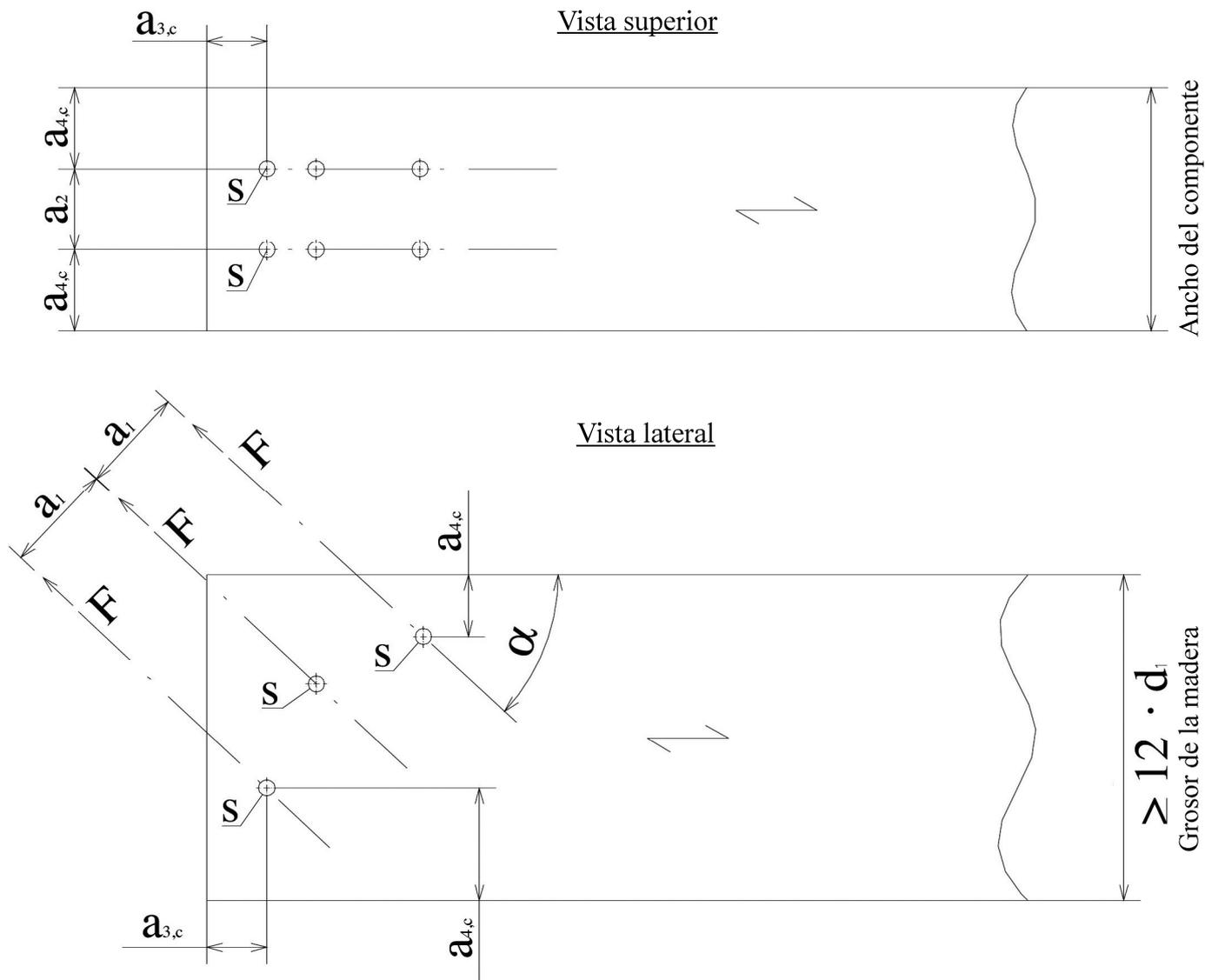
No se requiere mantenimiento durante el ciclo de vida útil previsto asumido. En caso de que fuera necesaria una reparación, es normal sustituir el tornillo.

Thomas Bruun
Manager, ETA-Dänemark

Anexo B Distancias mínimas y espaciado

Las distancias mínimas y espaciado para los tornillos SPAX cargados exclusivamente sobre los ejes con punta CUT o 4CUT o con ≤ 8 mm en agujeros no pre-taladrados en miembros de madera maciza, de madera laminada encolada o de productos encolados similares.

Configuración única



- dirección de la veta
- eje del tornillo
- S centro de gravedad de la parte del tornillo en la madera
- $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$$a_1 \geq 5 \cdot d$$

$$a_2 \geq 2,5 \cdot d$$

$$a_{3,c} \geq 5 \cdot d$$

$$a_{4,c} \geq 4 \cdot d$$

$$\geq 3 \cdot d \text{ para tornillos con punta CUT o 4CUT}$$

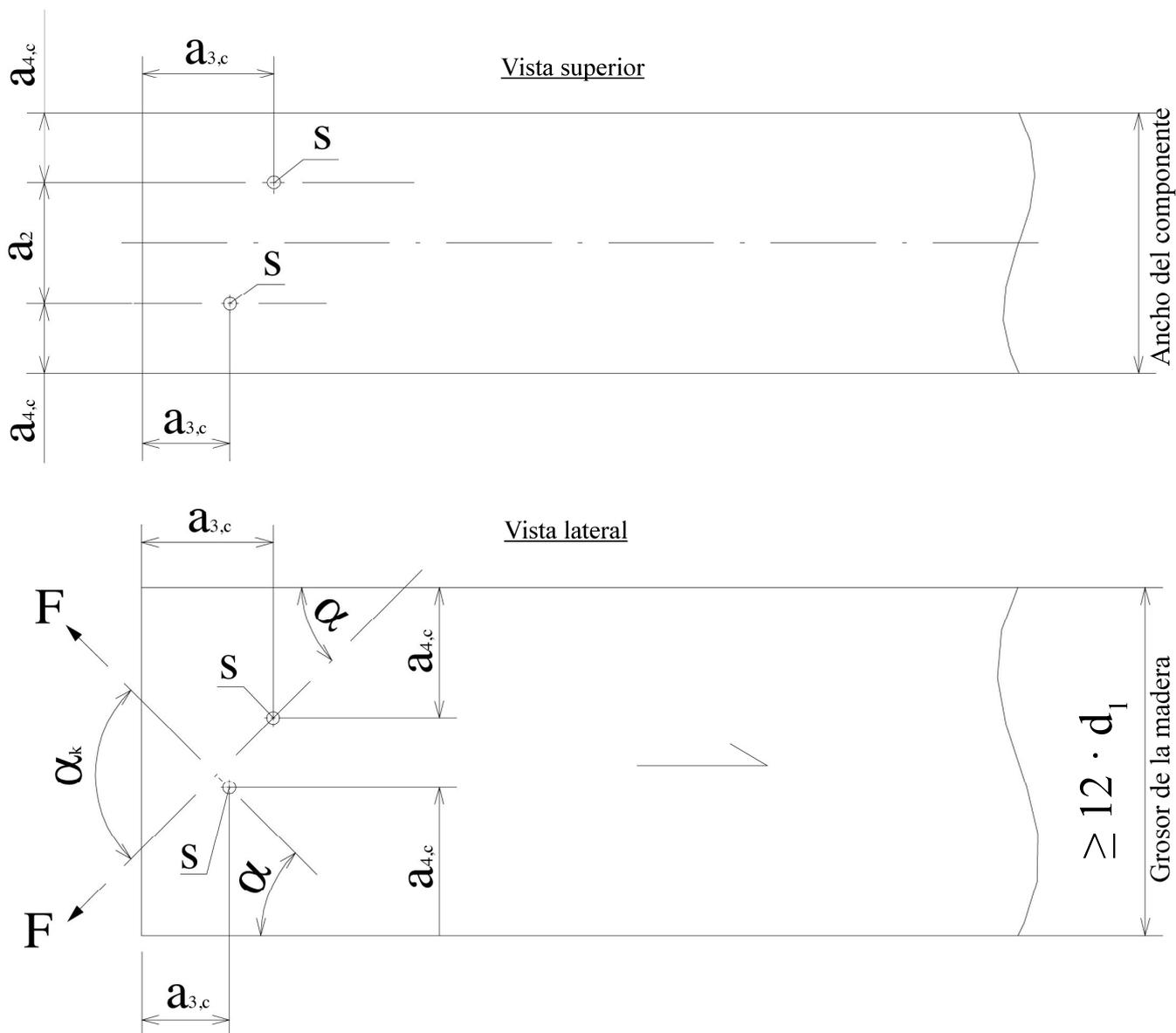
$$a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$$

Para distancias mínimas y espaciado ver también el punto 4.2

Para el grosor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o encolada laminada y $t = 6 \cdot d$ para madera microlaminada, ver también el punto 4.2

Distancias mínimas y espaciado para los tornillos SPAX cargados exclusivamente sobre los ejes con punta CUT o 4CUT o con ≤ 8 mm en agujeros no pre-taladrados en miembros de madera maciza, en madera laminada encolada o en productos encolados similares.

Configuración transversal



- dirección de la veta
- eje del tornillo
- S centro de gravedad del tornillo en la madera
- $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$$a_1 \geq 5 \cdot d$$

$$a_2 \geq 1,5 \cdot d \quad \text{para } 70^\circ < \alpha_k \leq 90^\circ$$

$$\geq 2,5 \cdot d \cdot (1 - \alpha_k / 180^\circ) \quad \text{para } 30^\circ \leq \alpha_k \leq 70^\circ$$

$$a_{3,c} \geq 5 \cdot d$$

$$a_{4,c} \geq 4 \cdot d$$

$$\geq 3 \cdot d \quad \text{para tornillos con punta CUT o 4CUT}$$

$$a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$$

Para distancias mínimas y espaciado ver también el punto 4.2

Para el mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o encolada laminada y $t = 6 \cdot d$ para madera microlaminada, ver también el punto 4.2

Vigas unidas mecánicamente

Pueden utilizarse tornillos SPAX con rosca completa o varillas roscadas para conexiones en miembros estructurales que están compuestos por varias piezas en vigas unidas mecánicamente o columnas.

El módulo de desviación axial K_{ser} e un tornillo o varilla roscada con una rosca completa para el estado del límite de capacidad de servicio debería tomarse de manera independiente del ángulo α hasta la veta, así:

$$C = K_{ser} = 780 \cdot d^{0.2} \cdot \ell_{ef}^{0.4} \quad [\text{N/mm}] \text{ para tornillos o varillas roscadas en madera blanda}$$

$$C = K_{ser} = 870 \cdot d^{0.2} \cdot \ell_{ef}^{0.4} \quad [\text{N/mm}] \text{ para tornillos en madera dura pre-taladrada}$$

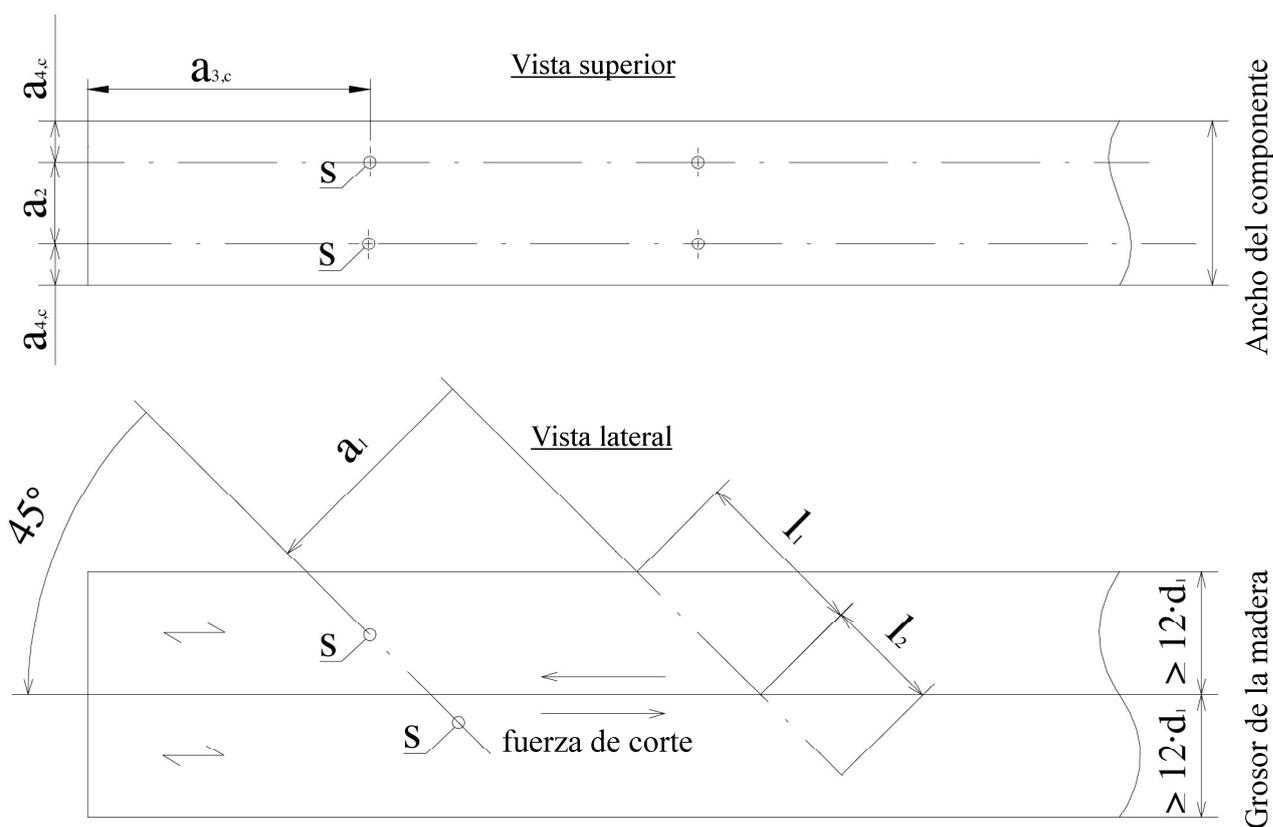
Donde

d es el diámetro de la rosca exterior [mm]

ℓ_{ef} es la longitud de penetración en el miembro estructural [mm]

Tornillos SPAX cargados perpendicularmente al eje o varillas roscadas en madera laminada maciza o encolada o madera microlaminada.

Configuración única



- \leftarrow dirección de la veta
- · — · — eje del tornillo
- S centro de gravedad de la parte del tornillo en la madera

$$a_1 \geq 5 \cdot d$$

$$a_2 \geq 2,5 \cdot d$$

$$a_{3,c} \geq 5 \cdot d$$

$$a_{4,c} \geq 4 \cdot d$$

$$\geq 3 \cdot d \text{ para tornillos con punta CUT o 4CUT}$$

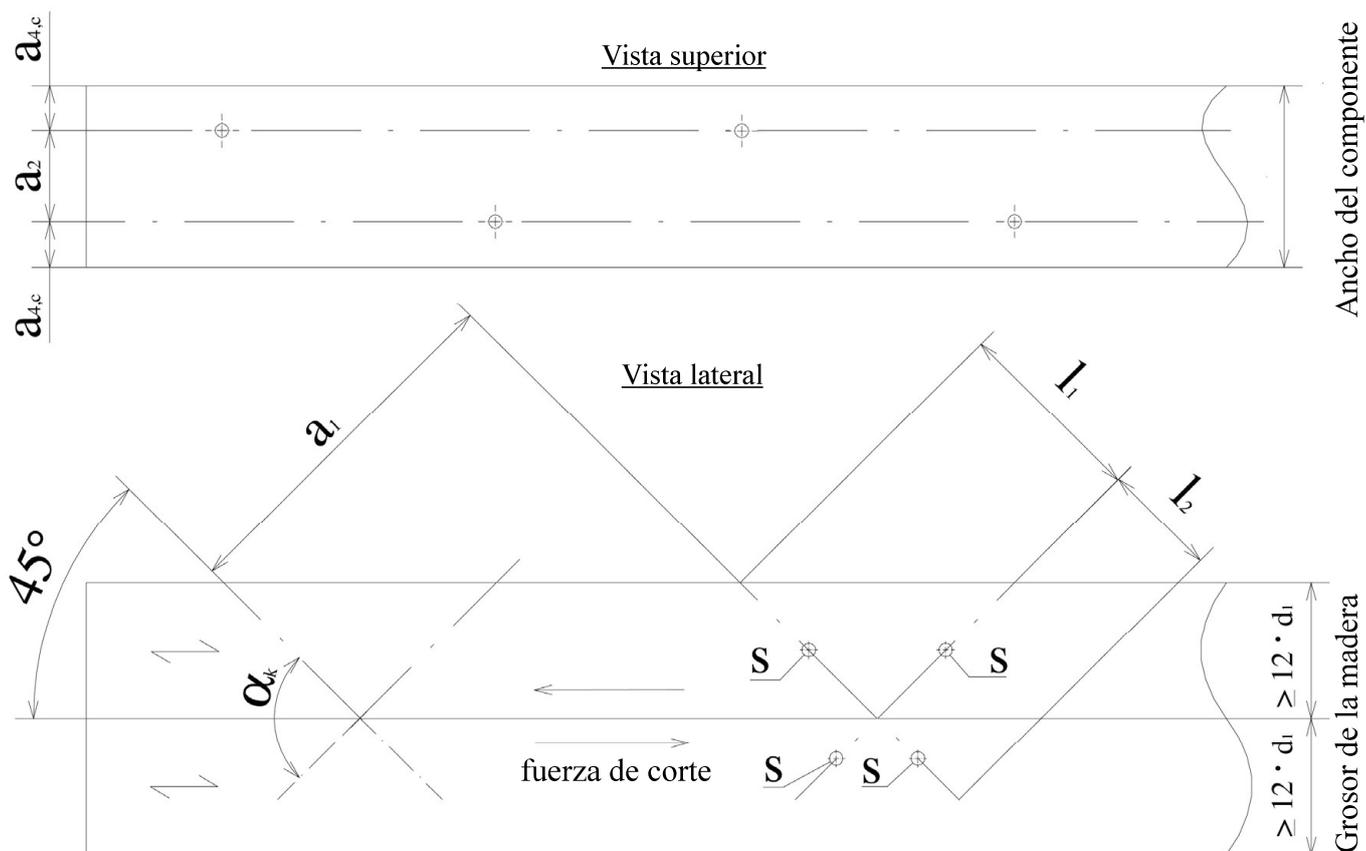
$$a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$$

Para distancias mínimas y espaciado ver también el punto 4.2

Para el grosor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o encolada laminada y $t = 6 \cdot d$ para madera microlaminada, ver también el punto 4.2

Tornillos SPAX cargados perpendicularmente al eje o varillas roscadas en madera laminada maciza o encolada o madera microlaminada.

Configuración transversal



- dirección de la veta
- eje del tornillo
- S centro de gravedad de la parte del tornillo en la madera

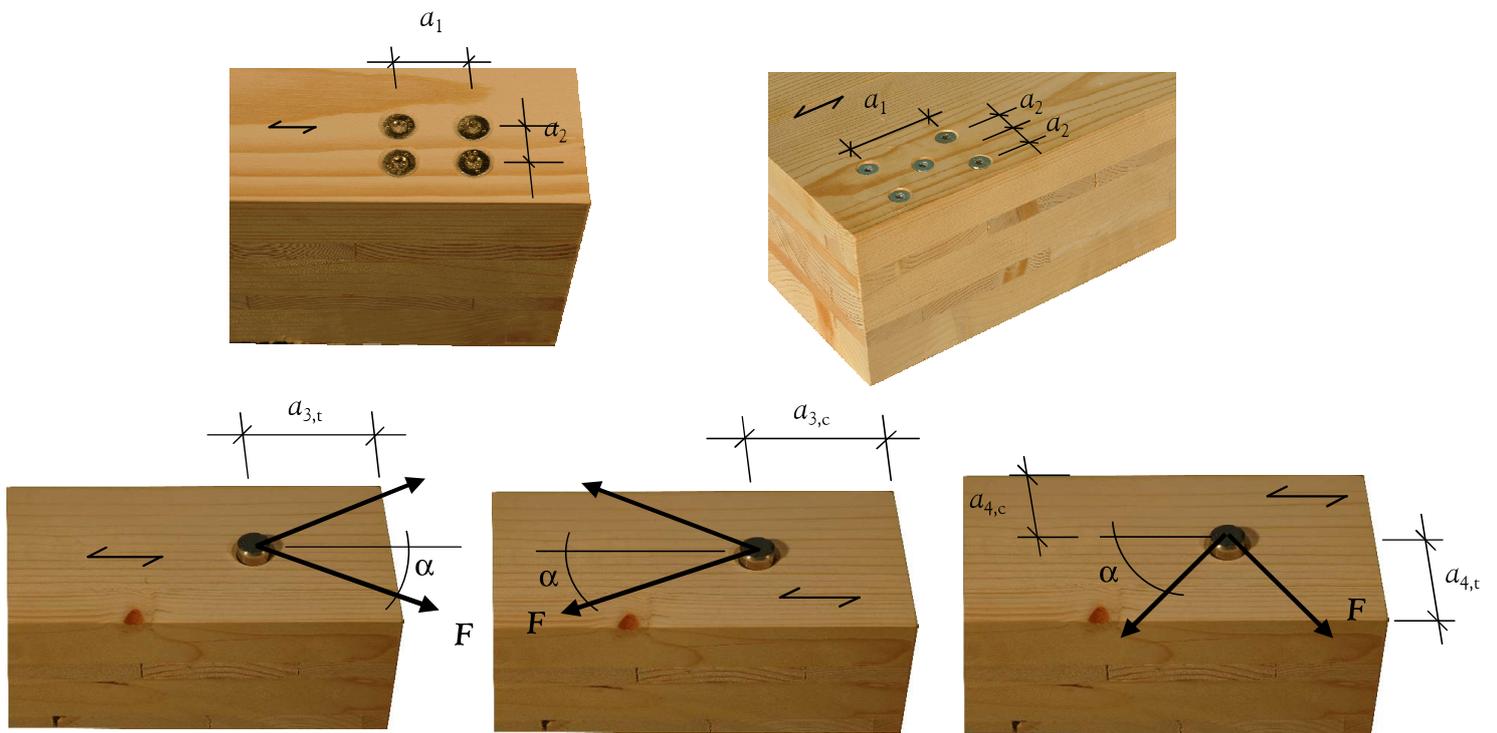
- $a_1 \geq 5 \cdot d$
- $a_2 \geq 2,5 \cdot d$ ($a_2 \geq 1,5 \cdot d$ entre los tornillos cruzados de un par de tornillos)
- $a_{3,c} \geq 5 \cdot d$
- $a_{4,c} \geq 4 \cdot d$
- $\geq 3 \cdot d$ para tornillos con punta CUT o 4CUT
- $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$

Para distancias mínimas y espaciado ver también el punto 4.2

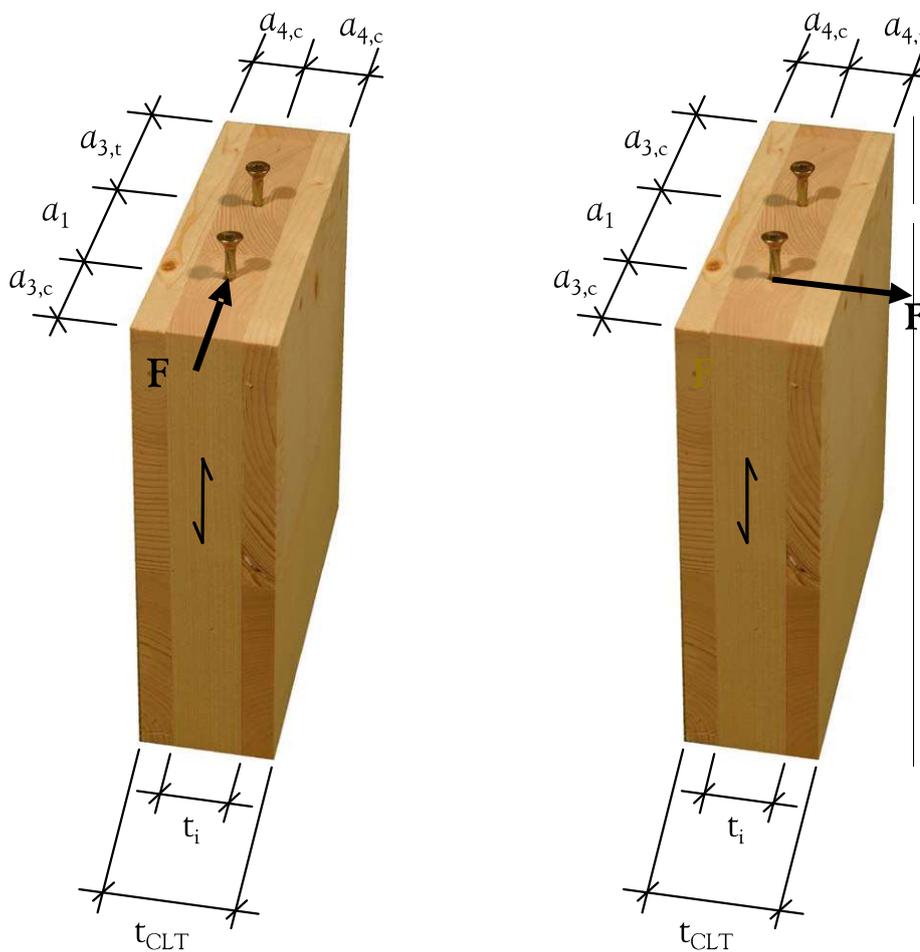
Para el grosor mínimo de la madera $t = 12 \cdot d$ para madera maciza o encolada laminada y $t = 6 \cdot d$ para madera microlaminada, ver también el punto 4.2

Madera laminada: tornillos cargados axial o lateralmente en la superficie o extremo de la viga.

Gráfico de espaciado para distancias al borde y extremo en superficie plana salvo se especifique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) para la madera contralaminada:



Definición de espaciado, distancias hasta el extremo y el eje en la superficie del plano salvo se especifique lo contrario en la especificación técnica (ETA o hEN) para la madera laminada:



Anexo C Refuerzo de compresión

Se pueden utilizar tornillos o varillas roscadas SPAX con rosca completa para el refuerzo de miembros de madera con tensión de compresión a un ángulo α con respecto a la veta de $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

La fuerza de compresión debe distribuirse uniformemente por todos los tornillos.

La capacidad de carga característica para una zona de contacto con tornillos con rosca completa a un ángulo α con respecto a la veta de $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ se calculará a partir de:

$$F_{90, \text{Rk}} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot B \cdot \ell_{\text{ef},1} \cdot f_{c,90,k} + n \cdot F_{\text{ax,Rk}} \\ B \cdot \ell_{\text{ef},2} \cdot f_{c,90,k} \end{array} \right.$$

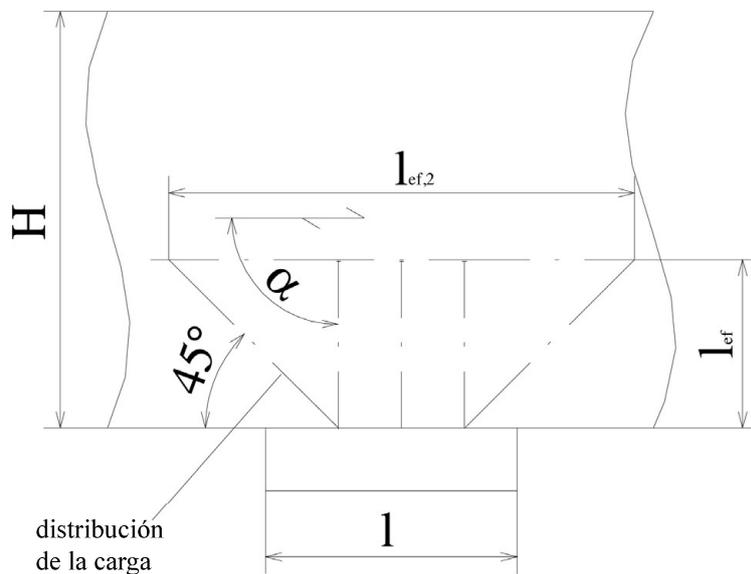
Donde

$F_{90, \text{Rk}}$	Capacidad de carga de zona de contacto reforzada [N]
$k_{c,90}$	factor para compresión perpendicular a la veta conforme a EN 1995-1-1
B	ancho de apoyo [mm]
$\ell_{\text{ef},1}$	longitud del área de contacto conforme a EN 1995-1-1 [mm]
$f_{c,90,k}$	resistencia a la compresión perpendicular a la veta [N/mm ²]
n	número de tornillos de refuerzo, $n = n_0 \cdot n_{90}$
n_0	número de tornillos de refuerzo colocados en una fila paralela a la veta
n_{90}	número de tornillos de refuerzo colocados en una fila perpendicular a la veta
$F_{\text{ax,Rk}}$	capacidad de compresión particular [N]
$\ell_{\text{ef},2}$	longitud de distribución efectiva en el plano de las puntas de los tornillos [mm]
$\ell_{\text{ef},2}$	$= \ell_{\text{ef}} + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min(\ell_{\text{ef}}; a_{3,c})$ para apoyos en los extremos [mm]
$\ell_{\text{ef},2}$	$= 2 \cdot \ell_{\text{ef}} + (n_0 - 1) \cdot a_1$ para apoyos centrales [mm]
ℓ_{ef}	longitud de penetración lateral [mm]
a_1	espaciado paralelo a la veta [mm]
$a_{3,c}$	distancia del extremo [mm]

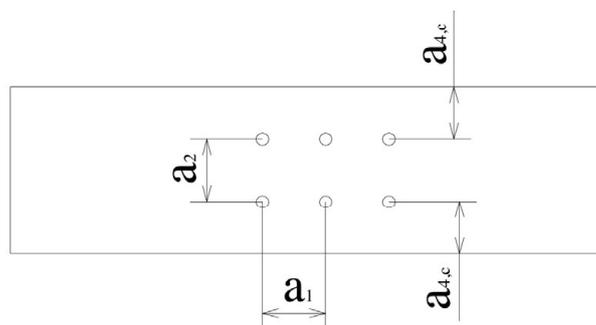
Los tornillos de refuerzo o varillas roscadas para tableros a base de madera no están cubiertos por esta Evaluación Técnica Europea.

Apoyo central reforzado

- H altura del componente [mm]
- B ancho de apoyo [mm]
- ℓ_{ef} longitud de penetración lateral [mm]
- $\ell_{ef,2}$ longitud de distribución efectiva en el plano de las puntas del tornillo [mm]
 $= 2 \cdot \ell_{ef} + (n_0 - 1) \cdot a_1$ para apoyos centrales

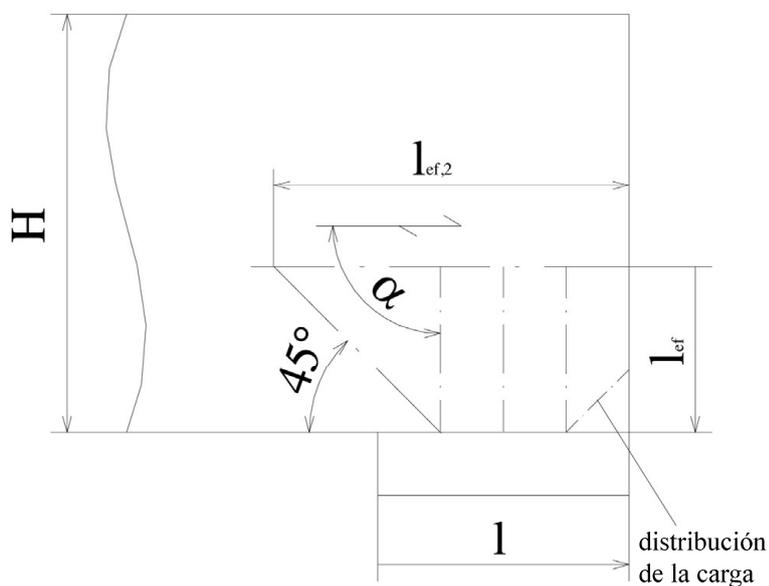


- \leftarrow dirección de la veta
- .-.- eje del tornillo
- $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$



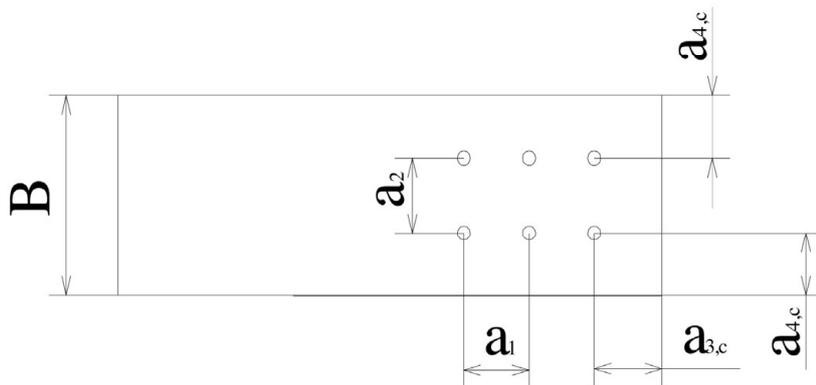
Apoyos de los extremos reforzados

- H altura del componente [mm]
- B ancho del apoyo [mm]
- ℓ_{ef} longitud de penetración lateral [mm]
- $\ell_{ef,2}$ longitud de distribución efectiva en el plano de las puntas del tornillo [mm]
 $= \ell_{ef} + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min(\ell_{ef}; a_{3,c})$ para apoyos en los extremos



- \leftarrow dirección de la veta
- .-.- eje del tornillo
- $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

- $a_1 \geq 5 \cdot d$
- $a_2 \geq 2,5 \cdot d$
- $a_{3,c} \geq 5 \cdot d$
- $a_{4,c} \geq 4 \cdot d$
- $\geq 3 \cdot d$ para tornillos con punta CUT o 4CUT
- $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$



Anexo D Refuerzo de tracción perpendicular a la veta

Salvo se especifique lo contrario en las disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación, la capacidad axial de un refuerzo de un miembro de madera cargado mediante una fuerza de conexión perpendicular a la veta, cumplirá la siguiente condición:

$$\frac{[1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3] \cdot F_{90,d}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

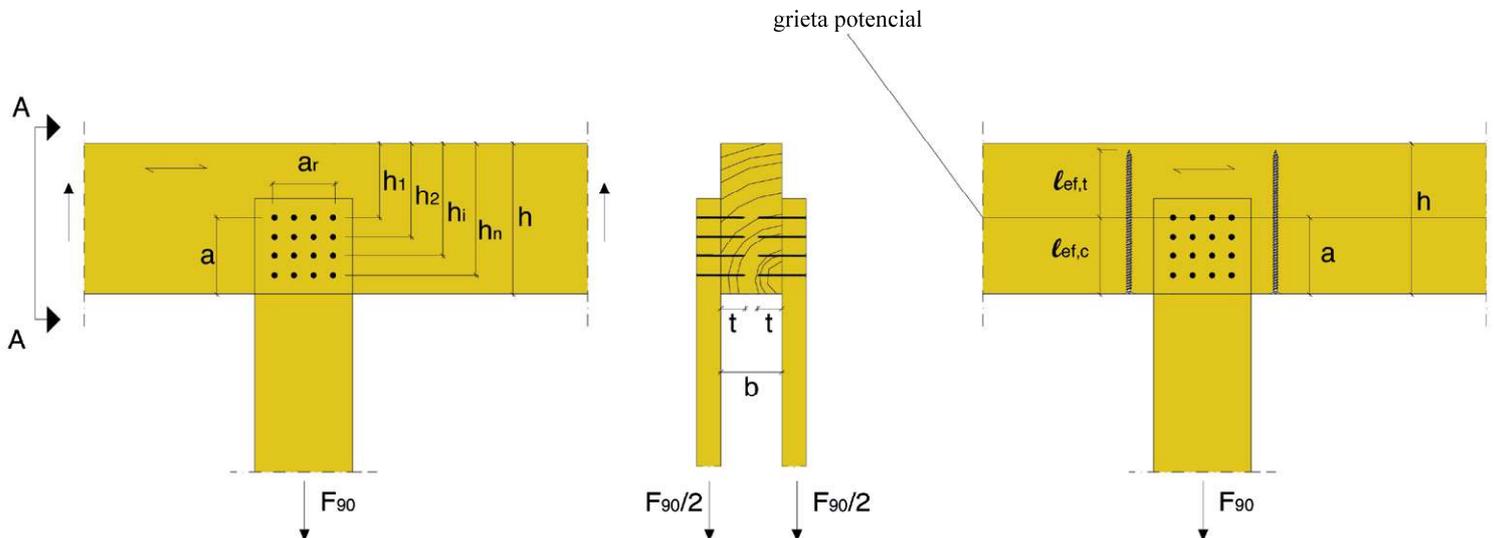
Donde

$F_{90,d}$ Valor de diseño del componente de resistencia perpendicular a la veta,

$\alpha = a/h$

h profundidad del miembro

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de retirada y de la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o varillas roscadas donde ℓ_{ef} es el valor más pequeño de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la grieta potencial.



Salvo se especifique lo contrario en las disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación, la capacidad axial de un refuerzo de una viga con dientes, cumplirá la siguiente condición:

$$\frac{1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3]}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

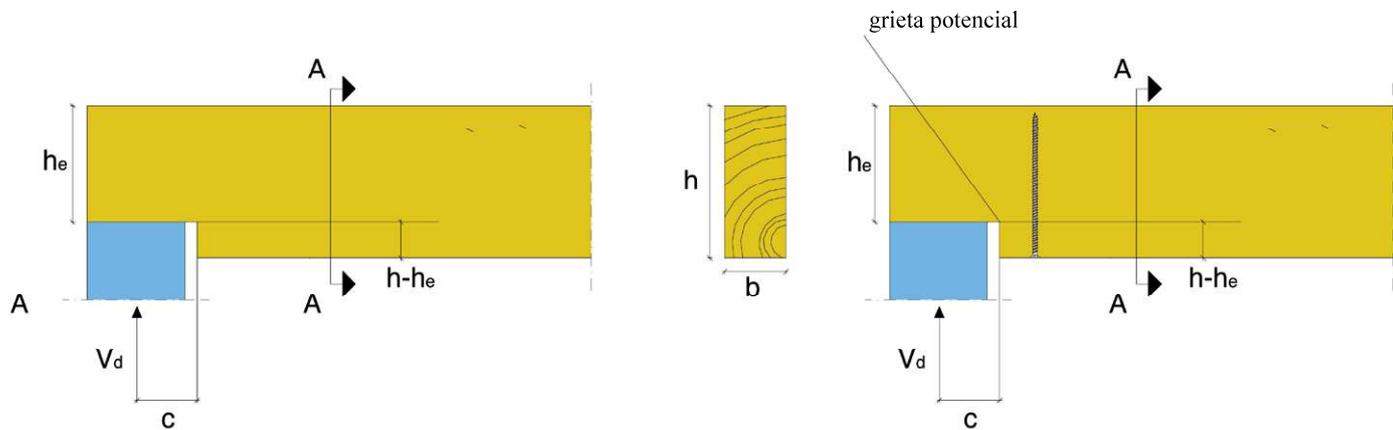
Donde

V_d Valor de diseño de la fuerza de corte,

$\alpha = h_g / h$

h profundidad del miembro

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de retirada y la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o varillas roscadas donde ℓ_{ef} es el valor más pequeño de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la grieta potencial.



Salvo se especifique lo contrario en las disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación, la capacidad axial de un agujero en una viga, cumplirá la siguiente condición:

$$\frac{F_{t,V,d} + F_{t,M,d}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

Donde

$F_{t,V,d}$ Valor de diseño de la fuerza perpendicular a la veta debido a la fuerza de corte:

$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right]$$

V_d Valor de diseño de la fuerza de corte del miembro en el extremo del agujero,
 h profundidad del miembro

h_d profundidad del agujero para agujeros rectangulares

h_d 70 % del diámetro del agujero para agujeros circulares

$F_{t,M,d}$ Valor de diseño de la fuerza perpendicular a la veta debido al momento de flexión:

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$$

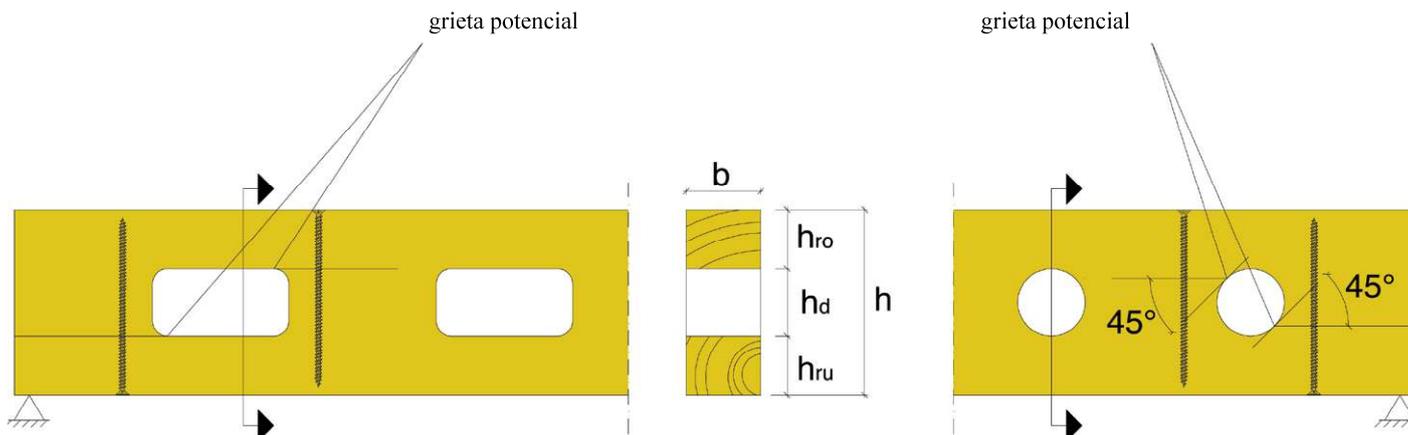
M_d Valor de diseño del momento de flexión del miembro en el extremo del agujero,

$h_r = \min(h_{ro}; h_{ru})$ para agujeros rectangulares

$h_r = \min(h_{ro}; h_{ru}) + 0,15 \cdot h_d$ para agujeros circulares

$F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de retirada y la capacidad de tracción de los tornillos de refuerzo o varillas roscadas donde ℓ_{ef} es el valor más pequeño de la profundidad de penetración por debajo o por encima de la grieta potencial.

Cabe destacar que junto al refuerzo con tornillos, además es necesaria una verificación de resistencia para la resistencia al corte de la madera en las inmediaciones del agujero.



Anexo E Refuerzo de corte

Salvo se especifique lo contrario en las disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación, la resistencia al corte en las áreas reforzadas de los miembros de madera con un componente de resistencia paralelo a la veta, cumplirá la siguiente condición:

$$\tau_d \leq \frac{f_{v,d} \cdot k_\tau}{\eta_H}$$

Donde

τ_d es el esfuerzo cortante de diseño sin tener en cuenta el refuerzo;
 $f_{v,d}$ es la resistencia al corte del diseño;
 $k_\tau = 1 - 0,46 \cdot \sigma_{90,d} - 0,052 \cdot \sigma_{90,d}^2$
 $\sigma_{90,d}$ es la resistencia al corte de diseño perpendicular a la veta (valor negativo para compresión);

$$\sigma_{90,d} = \frac{F_{ax,d}}{\sqrt{2} \cdot b \cdot a_1}$$

$$F_{ax,d} = \frac{\sqrt{2} \cdot (1 - \eta_H) \cdot V_d \cdot a_1}{h}$$

$$\eta_H = \frac{G \cdot b}{G \cdot b + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2} \left(\frac{6}{\pi \cdot d \cdot h \cdot k_{ax}} + \frac{a_1}{EA_s} \right)}}$$

V_d es la fuerza de corte de diseño;
 G es el módulo de corte del miembro de madera, $G = 650 \text{ N/mm}^2$,
 b es el ancho del miembro de madera en mm,
 d es el diámetro de la rosca exterior en mm, (d_1 en los planos en el anexo)
 h profundidad del miembro en mm,
 k_{ax} es la rigidez de conexión entre la varilla o el tornillo y el miembro de madera N/mm^3 ,
 $k_{ax} = 5 \text{ N/mm}^3$ para varillas roscadas $d = 16 \text{ mm}$, $k_{ax} = 12,5 \text{ N/mm}^3$ para tornillos de rosca cortante $d = 8 \text{ mm}$,
 a_1 es el espaciado paralelo a la veta de las varillas o tornillos colocados en una fila en mm,
 EA_s es la rigidez axial de una varilla o tornillo,

$$EA_s = \frac{E \cdot \pi \cdot d_2^2}{4} = 165.000 d_2^2$$

d_2 es el diámetro de rosca exterior de la varilla o tornillo,
 $d_2 = 12 \text{ mm}$ para varillas roscadas $d = 16 \text{ mm}$, $d_2 = 5 \text{ mm}$ para tornillos $d = 8 \text{ mm}$.

La capacidad axial de una varilla roscada o tornillo cumplirá la siguiente condición:

$$\frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

Donde: $F_{ax,Rd}$ Mínimo de los valores de diseño de la capacidad de retirada y de la capacidad de tracción de las varillas o tornillos de refuerzo. La longitud de penetración efectiva es el 50% de la longitud roscada.

Fuera de las áreas de refuerzo (área sombreada en la Figura E. 1) el diseño del corte cumplirá las condiciones para miembros no reforzados.

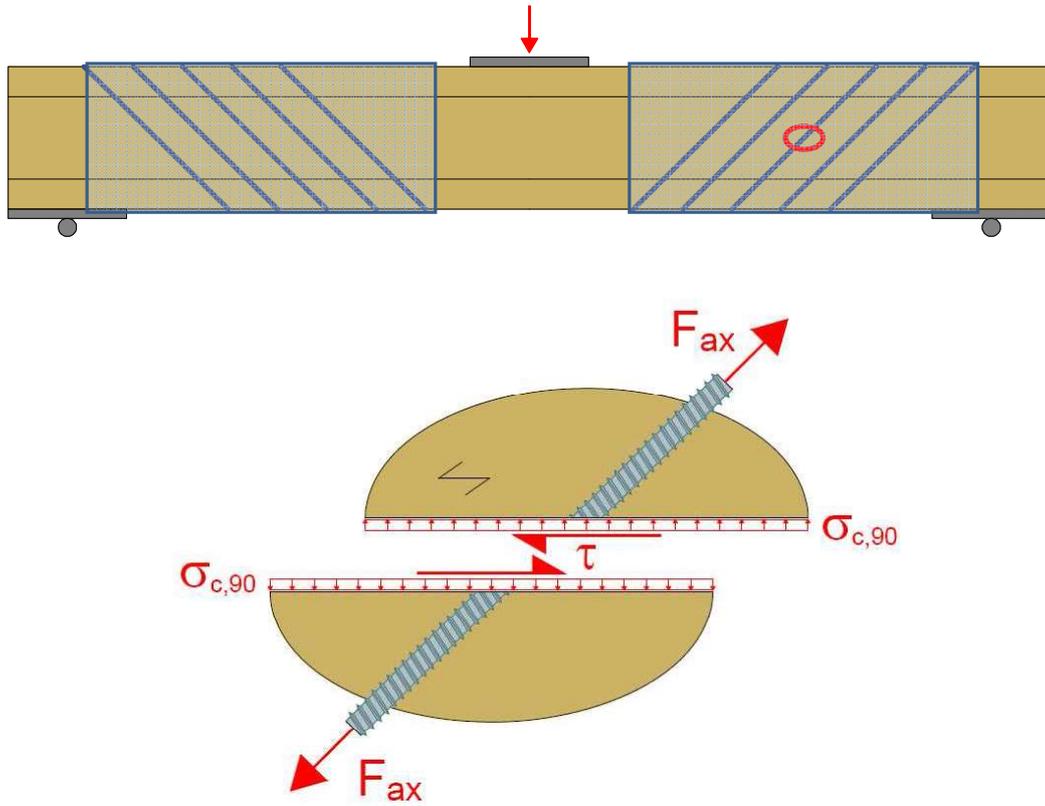


Figura E.1: miembro de madera con refuerzo cortante; áreas sombreadas: áreas reforzadas

Anexo F**Material de aislamiento térmico en la parte superior de los cabios**

Podrán utilizarse tornillos SPAX con un diámetro de rosca exterior de $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ para la fijación del material de aislamiento térmico en la parte superior de los cabios.

El grosor del aislamiento no excederá los 400 mm. El aislamiento del cabio deberá colocarse en la parte superior de cabios de madera maciza o de madera laminada encolada y se fijarán mediante listones colocados en paralelo a los cabios o mediante tableros a base de madera en la parte superior de la capa de aislamiento.

Los tornillos se atornillarán en el cabio a través de los listones o tableros y el aislamiento, sin pre-taladro y en una secuencia.

El ángulo α entre el eje del tornillo y la dirección de la veta del cabio será de entre 30° y 90° .

El cabio deberá ser de madera maciza (madera blanda) conforme a EN 14081-1, de madera laminada encolada, conforme a EN 14080, de madera contralaminada, o de madera de microlaminada conforme a EN 14374 o con la Aprobación Técnica Europea o de miembros encolados similares conforme a la Aprobación Técnica Europea y tener un ancho mínimo de 60 mm.

Los listones serán de madera maciza (madera blanda) conforme a EN 338-2003-04. El grosor mínimo t y el ancho mínimo b de los listones son los siguientes:

Tornillos $d \leq 8,0 \text{ mm}$:	$b_{\min} = 50 \text{ mm}$	$t_{\min} = 30 \text{ mm}$
Tornillos $d = 10,0 \text{ mm}$:	$b_{\min} = 60 \text{ mm}$	$t_{\min} = 40 \text{ mm}$
Tornillos $d = 12,0 \text{ mm}$:	$b_{\min} = 80 \text{ mm}$	$t_{\min} = 100 \text{ mm}$

Alternativamente a los listones, podrán utilizarse tableros con un grosor mínimo de 20 mm de contrachapado conforme a EN 636, tableros de partículas conforme a EN 312, tableros con filamentos orientados OSB/3 y OSB/4 conforme a EN 300 o con la Aprobación Técnica Europea y tableros de madera maciza conforme a EN 13353. Esto solo se aplica al sistema con tornillos inclinados paralelos.

El aislamiento deberá cumplir una Evaluación Técnica Europea.

Las fuerzas de rozamiento no se tendrán en cuenta para el diseño de la capacidad axial característica de los tornillos.

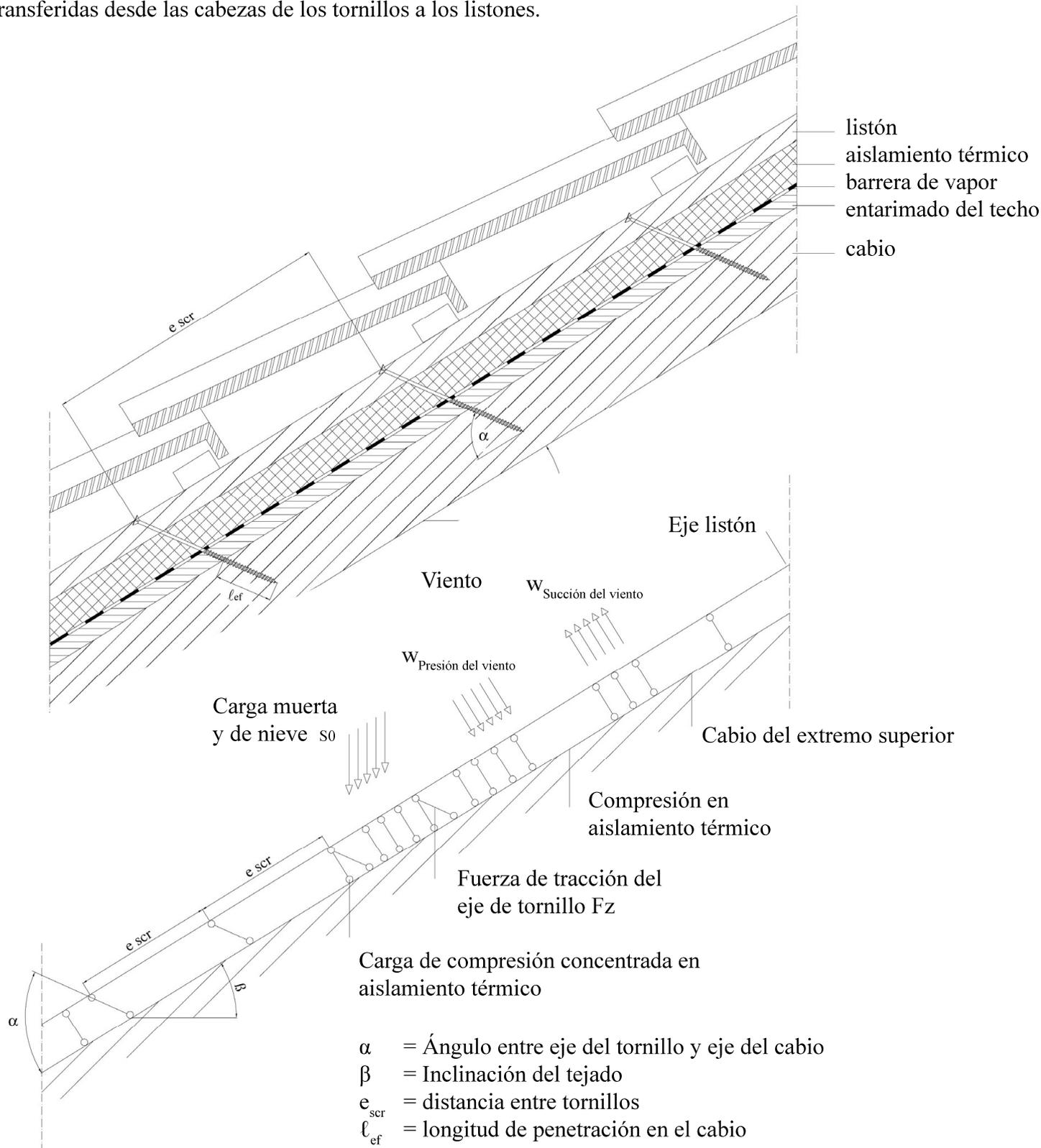
El anclaje de fuerzas de succión del viento así como la resistencia a la flexión de los listones o los tableros respectivamente, deberán tenerse en cuenta en el diseño. En caso de necesidad, podrán colocarse tornillos adicionales perpendiculares a la veta del cabio (ángulo $\alpha = 90^\circ$).

El espaciado máximo entre tornillos es de $e_s = 1,75 \text{ m}$.

Material de aislamiento térmico en cabios con tornillos inclinados paralelos

Modelo mecánico

En el sistema de cabios, el material de aislamiento térmico colocado en la parte superior y en los listones paralelos a los cabios, podrá considerarse como una viga sobre un soporte elástico. El listón representa a la viga, y el material de aislamiento térmico al soporte elástico. La deformación mínima por compresión del material de aislamiento térmico es de un 10%, medida conforme a EN 826², será de $\sigma_{(10\%)} = 0,05 \text{ N/mm}^2$. El listón se carga perpendicular al eje mediante cargas en las puntas F_b . Los demás puntos de carga F_s provienen de la carga de corte del tejado a causa de las cargas muerta y de la nieve, las cuáles son transferidas desde las cabezas de los tornillos a los listones.



²EN 826:1996

Diseño de los listones

La resistencia a la flexión se calculará de la siguiente manera:

$$M = \frac{(F_b + F_s) \cdot \ell_{\text{char}}}{4}$$

Donde

ℓ_{char} = longitud particular

$$\ell_{\text{char}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{w_{\text{ef}} \cdot K}}$$

EI = rigidez de flexión del listón

K = coeficiente de subgrado

w_{ef} = ancho efectivo del material de aislamiento térmico

F_b = Cargas en puntas perpendiculares a los listones

F_s = Cargas en puntas perpendiculares a los listones, aplicación de la carga en el área de las cabezas de los tornillos

El coeficiente de subgrado K puede calcularse a partir del módulo de elasticidad E_{HI} y del grosor t_{HI} del material de aislamiento térmico si se conoce el ancho efectivo w_{ef} del material de aislamiento térmico bajo compresión. Debido a la extensión de la carga en el material de aislamiento térmico, el ancho efectivo w_{ef} es mayor que el ancho del listón o cabio, respectivamente. Para cálculos adicionales, el ancho efectivo w_{ef} del material de aislamiento térmico puede determinarse conforme a:

$$w_{\text{ef}} = w + t_{\text{HI}} / 2$$

Donde

w = ancho mínimo del listón o cabio, respectivamente

t_{HI} = grosor del material de aislamiento térmico

$$K = \frac{E_{\text{HI}}}{t_{\text{HI}}}$$

Se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\frac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d}}} = \frac{M_{\text{d}}}{W \cdot f_{\text{m,d}}} \leq 1$$

Para el cálculo de módulo de sección W, se considerará la sección transversal neta.

Los esfuerzos de corte se calcularán conforme a:

$$V = \frac{(F_b + F_s)}{2}$$

Se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\frac{\tau_{\text{d}}}{f_{\text{v,d}}} = \frac{1,5 \cdot V_{\text{d}}}{A \cdot f_{\text{v,d}}} \leq 1$$

Para el cálculo del área transversal, tiene que considerarse la sección transversal neta.

Diseño del material de aislamiento térmico

La resistencia a la compresión en el material de aislamiento térmico se calculará conforme a:

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot F_b + F_s}{2 \cdot \ell_{\text{char}} \cdot w}$$

El valor de diseño de la resistencia a la compresión no será mayor del 110% de la resistencia a la compresión a una deformación del 10% calculado conforme a EN 826.

Diseño de los tornillos

Los tornillos se cargan predominantemente de manera axial. La resistencia a la tensión axial en el tornillo puede calcularse a partir de las cargas de corte del tejado R_s :

$$T_s = \frac{R_s}{\cos \alpha}$$

La capacidad de carga de los tornillos cargados en el eje es el valor de diseño mínimo de la capacidad de retirada axial de la parte roscada del tornillo, de la capacidad de arrastre de la cabeza del tornillo y de la capacidad de tracción del tornillo.

Para limitar la deformación de la cabeza del tornillo para material de aislamiento térmico con un grosor sobre 200 mm o con una resistencia a la compresión por debajo de 0,12 N/mm² respectivamente, la capacidad de retirada axial de los tornillos se verá reducida por los factores k_1 y k_2 :

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef} \cdot k_1 \cdot k_2}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}; f_{head,d} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}; \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \right\} \quad \text{para tornillos SPAX con rosca parcial}$$

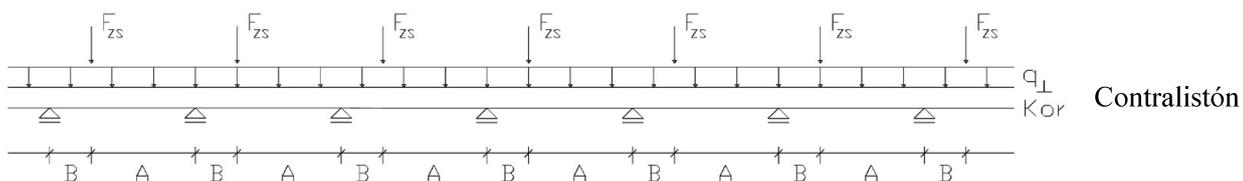
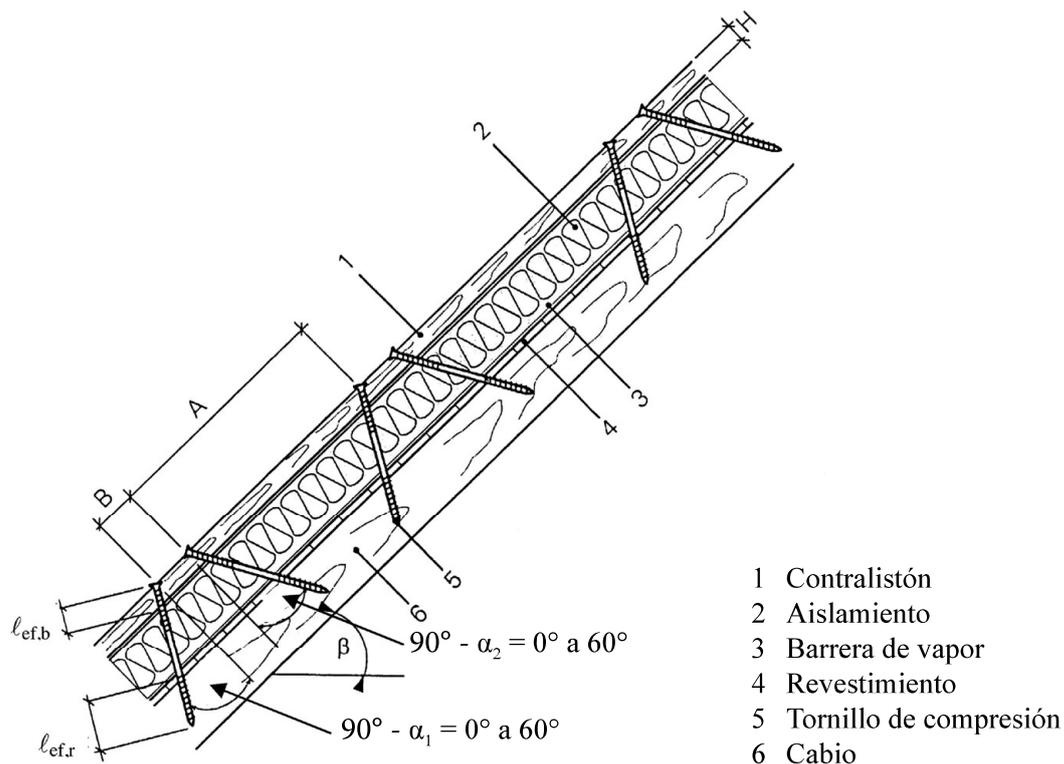
$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \max \left\{ \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef} \cdot k_1 \cdot k_2}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}; f_{head,d} \cdot d_h^2; \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,b} \cdot k_1 \cdot k_2}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \right\} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}; \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \right\} \quad \text{para tornillos SPAX con rosca completa}$$

Donde

- $f_{ax,d}$ valor de diseño del parámetro de retirada axial de la parte roscada del tornillo en el cabio o listón, $f_{ax,d}$ no se aplica a tableros a base de madera salvo contrachapado, madera microlaminada o tableros de madera maciza
- d diámetro de la rosca exterior del tornillo, (d_1 en los planos en el anexo)
- ℓ_{ef} longitud de penetración lateral de la parte roscada del tornillo en el cabio, $\ell_{ef} \geq 40$ mm
- $\ell_{ef,b}$ longitud de la parte roscada en el listón incluyendo la cabeza para resistencia a la tracción y excluyendo la cabeza para resistencia a la compresión [mm]
- α ángulo entre la veta y el eje del tornillo ($\alpha \geq 30^\circ$)
- ρ_k densidad particular del miembro a base de madera [kg/m³]
- $f_{head,d}$ valor de diseño de la capacidad de arrastre de la cabeza del tornillo
- d_h diámetro de la cabeza (d_k en los planos en el anexo)
- $f_{tens,k}$ capacidad de tracción característica del tornillo
- γ_{M2} factor parcial conforme a EN 1993-1-1 o al anexo nacional particular
- k_1 $\min \{1; 220/t_{HI}\}$
- k_2 $\min \{1; \sigma_{10\%} / 0,12\}$
- t_{HI} grosor del material de aislamiento térmico [mm]
- $\sigma_{10\%}$ resistencia a la compresión del material de aislamiento térmico en virtud de una deformación del 10% [N/mm²]

Si la ecuación k_1 y k_2 se tienen en cuenta, la desviación de los listones no se debe tener en cuenta. Alternativamente a los listones, podrán utilizarse tableros con un grosor mínimo de 20 mm de contrachapado conforme a EN 636 o con ETA o disposiciones nacionales que sean aplicables al emplazamiento de la instalación, tableros de partículas conforme a EN 312 o a un ETA o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación, tableros con filamentos orientados conforme a EN 300 o a ETA o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la instalación y tableros de madera maciza conforme a EN 13353 o a una ETA o con disposiciones nacionales aplicables al emplazamiento de la construcción o madera contralaminada conforme a una ETA.

Material de aislamiento térmico en cabios con tornillos inclinados alternativamente



Modelo mecánico

Dependiendo del espaciado del tornillo y de la disposición de tornillos de tracción y compresión con diferentes inclinaciones, los listones se cargan mediante momentos de flexión significativos. Los momentos de flexión se derivan en base a las siguientes asunciones:

- Las resistencias a la tracción y a la compresión en los tornillos se determinan en base a las condiciones de equilibrio de las acciones paralelas y perpendiculares al plano del tejado. Estas acciones son cargas lineales constantes q_{\perp} y q_{\parallel} .
- Los tornillos actúan como columnas articuladas soportadas 10 mm dentro del listón o del cable, respectivamente. La longitud de columna efectiva consecuentemente es igual a la longitud del tornillo entre el listón y el cable más 20 mm.
- El listón es considerado como una viga continua con un intervalo constante $\ell = A + B$. Los tornillos de compresión constituyen los soportes de la viga continua, mientras que los tornillos de tracción transfieren cargas concentradas perpendiculares al eje del listón.

Los tornillos se cargan predominantemente en retirada o compresión, respectivamente. Las resistencias normales de los tornillos se determinan en base a las cargas paralelas o perpendiculares al plano del tejado:

Tornillo de compresión:
$$F_{c,Ed} = (A + B) \cdot \left(-\frac{q_{\parallel}}{\cos \alpha_1 + \sin \alpha_1 / \tan \alpha_2} - \frac{q_{\perp} \cdot \sin (90^\circ - \alpha_2)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \right)$$

Tornillo de tracción:
$$F_{t,Ed} = (A + B) \cdot \left(\frac{q_{\parallel}}{\cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 / \tan \alpha_1} - \frac{q_{\perp} \cdot \sin (90^\circ - \alpha_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \right)$$

Los momentos de flexión en el listón siguen de la carga lineal constante q_{\perp} y los componentes de carga perpendiculares a los listones desde los tornillos de tracción. El intervalo de la viga continua es (A + B). El componente de carga perpendicular al listón desde el tornillo de tracción es:

$$F_{ZS,Ed} = (A + B) \cdot \left(\frac{q_{\parallel}}{1/\tan \alpha_1 + 1/\tan \alpha_2} - \frac{q_{\perp} \cdot \sin(90^{\circ} - \alpha_1) \cdot \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \right)$$

Donde

- q_{\parallel} Carga lineal constante paralela al listón
- q_{\perp} Carga lineal constante perpendicular al listón
- α_1 Ángulo entre el tornillo de compresión y la dirección de la veta
- α_2 Ángulo entre el eje del tornillo de tracción y la dirección de la veta

Un valor positivo para F_{ZS} significa una carga hacia el cable, un valor negativo a con la carga apartada del cable.

Diseño de los tornillos

La capacidad de carga de los tornillos se calculará de la siguiente manera:

Tornillos cargados en tensión:

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,b}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_2} \cdot \left(\frac{\rho_{b,k}}{350} \right)^{0,8} ; \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,r}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_2} \cdot \left(\frac{\rho_{r,k}}{350} \right)^{0,8} ; \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \right\}$$

Tornillos cargados en compresión:

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \min \left\{ \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,b}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_1} \cdot \left(\frac{\rho_{b,k}}{350} \right)^{0,8} ; \frac{f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ef,r}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_1} \cdot \left(\frac{\rho_{r,k}}{350} \right)^{0,8} ; \frac{\kappa_c \cdot N_{pl,k}}{\gamma_{M1}} \right\}$$

Donde

- $f_{ax,d}$ valor de diseño del parámetro de retirada axial de la parte roscada del tornillo en el cable o listón, $f_{ax,d}$ no se aplican a tableros a base de madera salvo contrachapado, tableros de microfibras o tableros de madera maciza
- d diámetro de rosca exterior del tornillo, (d_1 en los planos en el anexo)
- $\ell_{ef,b}$ longitud de penetración de la parte roscada del tornillo el listón
- $\ell_{ef,r}$ longitud de penetración de la parte roscada del tornillo en el cable, $\ell_{ef} \geq 40$ mm
- $\rho_{b,k}$ densidad característica del listón [kg/m^3]
- $\rho_{r,k}$ densidad característica del cable [kg/m^3]
- α ángulo α_1 (compresión) o α_2 (tensión) entre el eje del tornillo y la dirección de la veta, $30^{\circ} \leq \alpha_1 \leq 90^{\circ}$, $30^{\circ} \leq \alpha_2 \leq 90^{\circ}$
- $f_{tens,k}$ capacidad de tracción particular del tornillo
- γ_{M1}, γ_{M2} factor parcial conforme a EN 1993-1-1 o conforme al anexo nacional concreto
- $\kappa_c \cdot N_{pl,k}$ capacidad de deformación por pandeo del tornillo

Longitud libre de tornillo [mm]	Acero al carbono ¹				Acero inoxidable	
	6,0 mm	8,0 mm	10,0 mm	12,0 mm	10,0 mm	12,0 mm
	$\kappa_c \cdot N_{pl,k}$ [kN]					
≤ 100	1,12	2,79	6,09	12,0	5,22	9,68
120	0,85	2,12	4,68	9,39	4,16	7,97
140	0,66	1,66	3,70	7,50	3,36	6,58
160	0,53	1,34	2,99	6,10	2,76	5,48
180	0,43	1,10	2,48	5,06	2,30	4,62
200		0,92	2,07	4,26	1,94	3,93
220		0,78	1,76	3,65	1,66	3,38
240		0,67	1,51	3,14	1,44	2,94
260		0,58	1,32	2,73	1,26	2,58
280		0,51	1,15	2,40	1,11	2,28
300		0,45	1,02	2,13	0,98	2,02
320		0,40	0,91	1,90	0,88	1,82
340		0,36	0,82	1,70	0,79	1,63
360		0,32	0,73	1,53	0,71	1,48
380		0,29	0,67	1,39	0,65	1,34
400		0,26	0,61	1,27	0,59	1,22
420		0,24	0,55	1,16	0,54	1,12
440		0,22	0,51	1,06	0,49	1,03
460		0,20	0,47	0,98	0,46	0,95
480		0,19	0,43	0,91	0,42	0,88